Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Les écosystèmes urbains

T H
Analyse É
M A

BIODIVERSITÉ

Octobre 2018

EFESE



L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques

Avant-Propos

Face à l'érosion de la trame vivante de notre environnement, l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) vise à renforcer, progressivement et de manière itérative, notre capacité à prendre en compte les multiples valeurs de la biodiversité dans nos décisions.

Dans sa première phase, le programme comprend une série d'évaluations destinée à couvrir l'ensemble des écosystèmes français. Ces évaluations permettent de mieux connaître, à l'échelle de la France, l'état des écosystèmes et les enjeux associés. Ce rapport en constitue le volet urbain.

Il constitue une référence précieuse pour l'ensemble des acteurs désireux de comprendre leurs impacts et leurs dépendances à la biodiversité. Il constitue aussi un socle nécessaire pour les travaux futurs, à visée stratégique et opérationnelle, qui seront conduits dans le cadre du programme EFESE.

Laurence Monnoyer-Smith
Commissaire générale au développement durable



MESSAGES-CLÉS À L'ATTENTION DES DÉCIDEURS

Rappels sur les messages clés issus des évaluations EFESE

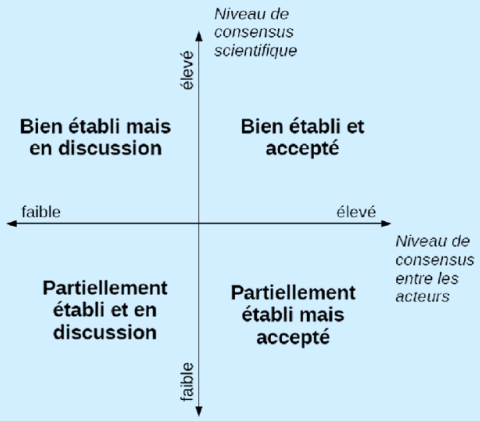
Les messages clés à l'attention des décideurs reflètent le contenu de l'étude le plus pertinent pour les décideurs. Ils sont rédigés conjointement par l'équipe projet du ministère et les auteurs des études. Sont recherchés :

- Des messages pertinents pour les décideurs mais non-prescriptifs ;
- Des messages étayés par le rapport et qui en reflètent le contenu de manière équilibrée ;
- Des messages clairs et synthétiques ;
- Des messages qualifiés et partagés.

L'évaluation de ces messages est réalisée sur les deux dimensions et selon les modalités suivantes :

- Le niveau de **consensus scientifique** est renseigné sur deux niveaux (élevé / faible). Il est proposé par les auteurs de l'étude et soumis à l'arbitrage du Conseil Scientifique et Technique de l'EFESE.
- Le niveau de **consensus entre les acteurs** est aussi renseigné sur deux niveaux ("élevé" / "faible"). Le niveau par défaut est "élevé" et l'arbitrage final est validé lors d'une réunion du Comité national des parties prenantes de l'EFESE.

Cela donne lieu à la qualification de chacune des assertions composant les messages clés selon quatre modalités :



Les messages clés issus des évaluations EFESE

Dans le cadre de cette étude, les écosystèmes urbains comprennent une mosaïque d'espaces de nature terrestres et/ou aquatiques, au degré de naturalité très variable, qui sont en interaction entre eux, avec le milieu urbanisé ainsi que l'environnement plus global dans lequel s'inscrit la ville.

Situation des écosystèmes urbains en France

1. **En France métropolitaine, les milieux urbanisés continuent de s'étendre. Ils regroupent 77 % de la population[1].** 2,7 millions d'hectares sur les 55 de la métropole sont artificialisés. Le tissu urbain progresse de 1,6 % entre 2000 et 2006, tendance qui tend à se confirmer[2]. En Outre-mer, Réunion, Martinique et Guadeloupe offrent des niveaux comparables de l'ordre de 11 % d'urbanisation tandis que la Guyane se démarque, restant en dessous de 0,1 %[3]. Les espaces de nature représentent en moyenne 40 % de la surface des 28 villes françaises de plus de 200 000 habitants analysées[4]. Selon l'atlas urbain européen, les espaces de nature d'une aire urbaine représentent en moyenne 39 m^2 par habitant mais cette superficie s'affaiblit nettement en zone dense, particulièrement à Paris[5]. Des recommandations portent sur une surface de 25m^2 par habitant en zone périphérique et de 10m^2 en zone dense[6].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 2.1)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 7.1)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 7.1)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 2.2)

[5] Bien établi et accepté (Chapitres 2.2 et 5.2)

[6] Bien établi et accepté (Chapitre 2.2)

2. **Les milieux urbains correspondent à des réalités variées (périmètre, gouvernance, etc…)[1]. Les espaces de nature y prennent des formes très diverses selon leurs tailles et**

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 3.3)

leurs degrés de naturalité ou d'artificialité : bois, milieux humides, potagers, jardins privés, squares, arbres d'alignement, toitures végétalisées, etc[2].

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 1.2.2)

État écologique des écosystèmes urbains

3. **Aménagés par et pour l'homme, les écosystèmes urbains sont fortement dépendants des sols qui donnent à la ville ses différentes facettes[1]. Les sols sont très variables en termes d'épaisseur et de teneur en matières organiques[2] ; ils sont souvent artificialisés ou imperméabilisés, régulièrement compactés[3] et parfois pollués[4].** Lorsqu'ils supportent des espaces de nature, ces derniers restent peu connectés, notamment avec les trames vertes et bleues[5].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 3.3.2)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 3.1.1 et 3.4.4

[3] Bien établi et accepté (Chapitres 5.2.2 et 6.1.2)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 3.1.1)

[5] Bien établi et accepté (Chapitres 3.3.3 et 4.2)

4. **La faune et la flore urbaines recèlent une forte proportion d'espèces pionnières, ubiquistes, anthropophiles[1] ou présentant des fortes capacités d'adaptation (ex : tolérance à certaines pressions)[2].** La diversité des espèces peut s'avérer élevée : par exemple, Paris compte 1382 des 1800 espèces végétales recensées en Île-de-France[3]. Ces espèces doivent également composer avec des espèces exotiques parfois envahissantes et des espèces commensales à l'homme que sont les espèces horticoles et domestiques[4].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 3.2.1)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 3.2.2)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 3.2)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 3.2.3)

5. **Des espaces protégés pour l'intérêt de leur biodiversité et des espèces à forte valeur patrimoniale sont identifiés au sein**

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 11.1).

des écosystèmes urbains[1]. Pour un échantillon de 12 inter-communalités de grandes villes françaises, la part des espaces protégés recensés par l'Inventaire national du patrimoine naturel est en moyenne de 4,2 % du territoire. Des espèces végétales emblématiques, endémiques et/ou protégées peuvent aussi s'accommoder de la ville comme l'Angélique des estuaires à Nantes[3].

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 2.1, 2.2 et Annexe 28)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 11)

Pressions et facteurs de changement

6. **Les pressions s'exerçant par les milieux urbains sur leurs espaces de nature sont multiples et intenses ; il s'agit notamment de l'imperméabilisation des sols et sous-sols[1].** La plupart des grandes aires urbaines continuent de s'étendre ou de se densifier sous l'influence d'une forte demande de constructions de toutes natures consommant toujours plus d'espaces[2] et générant : une forte fragmentation des milieux naturels[3] ; des perturbations des habitats naturels et des espèces[4] ; des émissions de polluants dans les sols, l'air et l'eau[5] ; des nuisances sonores, olfactives, lumineuses[6]. Une fréquentation inadaptée des espaces de nature par le public peut aussi être à l'origine de pressions pour la biodiversité[7].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 6.1)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 7)

[3] Bien établi et accepté (Chapitres 6.1.2 et 6.2.1)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 6.1.2)

[5] Bien établi et accepté (Chapitre 6.1.3)

[6] Bien établi et accepté (Chapitre 6.1.3)

[7] Bien établi et accepté (Chapitre 6.2.3)

7. **Sous l'effet d'une demande de plus en plus forte des citadins pour une meilleure qualité de leur cadre de vie (et d'exigences réglementaires), les villes évoluent lentement et s'affirment « durables » et « résilientes »[1].** Ainsi, certaines démarches de planification s'élaborent

[1] Partiellement établi mais accepté (général)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 13.3 et 18)

en cherchant à minimiser au mieux les pressions (atténuer le changement climatique, protéger et promouvoir la biodiversité, réduire la pollution, préserver la qualité et la disponibilité des ressources naturelles, etc.)[2]. La qualité des sols reste le parent pauvre de la planification urbaine[3].

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 18)

Biens et services écosystémiques, patrimoine naturel

8. **Les services écosystémiques dont les citadins bénéficient au travers des espaces de nature sont principalement des services de régulation et culturels, d'approvisionnement dans une moindre mesure[1]. La quantité et la qualité des services écosystémiques dépendent de la conception de l'espace public ainsi que de son exploitation[2].** Rechercher une mosaïque de milieux fonctionnels et maintenir des sols perméables lors des opérations d'aménagement, s'engager sur des modes de gestion écologiques (gestion différenciée, « zéro phyto », etc.) sont favorables à une offre diversifiée de services culturels et de régulation.

[1] Bien établi et accepté (intro partie 3 et Chapitre 13.1)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 8, 9, 10, 11 et 14.2)

[3] Bien établi et accepté (Chapitres 8, 9, 10, 11 et 14.2)

9. **La ville est dépendante d'écosystèmes voisins pour son approvisionnement en nourriture et son alimentation en eau potable[1].** L'agriculture, l'eau et la ville ont toujours été liées. Aujourd'hui, les biens produits par les écosystèmes urbains sont insuffisants au regard des besoins des populations citadines[2]. Les jardins partagés et familiaux, les ruchers urbains proposent une production dont l'importance est aujourd'hui plus symbolique que quantitative. Les terres agricoles périurbaines constituent un enjeu de premier ordre dans le développement d'un approvisionnement en circuit de proximité[3].

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 9 et 17.2)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 9 et 17.2)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 9)

10. **En fonction de la forme de la ville (ex :**

[1] Bien établi et accepté

hauteur et densité du bâti, largeur des rues), les espaces de nature participent à la régulation de la qualité de l'air[1] et du climat local[2]. Ils contribuent à l'amélioration de la qualité de l'air en interceptant et / ou absorbant certains polluants et particules atmosphériques (les végétaux pouvant aussi émettre des particules).[2]
La température au sein des îlots de chaleur urbains est atténuée par les espaces arborés et les milieux aquatiques (ombrage, effet sur la circulation de l'air, diminution de chaleur par évaporation et évapotranspiration). Cette influence favorable est particulièrement appréciée par les citadins en période caniculaire.[4]

(Chapitre 8.3)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 8.2)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 8.3)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 8.2)

11. **Les ouvrages de gestion des eaux pluviales végétalisés (ex : noues, jardins de pluie), les sols perméables, et les espaces de nature participent à la régulation qualitative et quantitative du cycle de l'eau[1].** Ils diminuent le risque d'inondations par ruissellement et l'ampleur de leurs conséquences sanitaires et économiques (régulation quantitative)[2]. Ils jouent également un rôle d'épuration en retenant et/ou en dégradant les polluants contenus dans l'eau et réduisent significativement les coûts de traitement (régulation qualitative). Une collectivité a diminué ses coûts d'exploitation des réseaux (d'eaux pluviales et usées) de près d'un million d'euros en créant un réseau séparatif alternatif pour 25 % des eaux pluviales collectées[3]. Les phénomènes de saturation des réseaux ont également été divisés par trois[4].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 8.6)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 8.6)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 8.6)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 8.6)

12. **Les citadins retirent de nombreux services récréatifs, éducatifs et de loisirs sportifs des espaces de nature en ville[1], souvent conçus dans l'optique de leur offrir des lieux esthétiques et récréatifs[2]. Ces espaces**

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 10.1.2)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 10.2.2)

participent aussi à la dynamisation et à l'attractivité du territoire[3]. Pour plus de 8 Français sur 10 la proximité d'un espace vert est un critère important dans le choix de leur lieu d'habitation[4]. Cependant, la proximité d'un espace vert peut être à l'origine d'une augmentation des prix de l'immobilier[5].Il peut exister au sein d'une même ville, une inégalité d'accessibilité à ces espaces de nature[6].

[3] Bien établi et accepté (Chapitres 10 et 17.4)

[4] Bien établi et accepté (Chapitres 10 et 17.4)

[5] Bien établi et accepté (Chapitres 10.3.2.2 et 17.3)

[6] Bien établi et accepté (Chapitres 10.2.4 et 17.3)

13. **Les espaces de nature en ville, lorsqu'ils sont conçus et/ou gérés de façon écologique, participent à l'éducation et à la sensibilisation à la biodiversité des citadins[1].** Les services écosystémiques culturels d'éducation constituent un enjeu d'envergure pour sensibiliser à la biodiversité[2]. Ils concernent tous les publics, et nécessitent souvent un médiateur[3]. Les sciences participatives naturalistes (Vigie-Nature, Spipoll…) jouent un nouveau rôle ; elles permettent à chacun de devenir acteur de la biodiversité et de construire son rapport à la nature[4]. Pour les scolaires, la proximité d'espaces de nature est essentielle en tant que support d'éducation ; des actions de renaturation des cours d'école pourraient parfaitement s'insérer dans un projet pédagogique[5].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 10.4 et 14.2.1)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 10.4 et 18)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 10.4)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 10.4)

[5] Bien établi et accepté (Chapitres 10.4 et 18)

14**. Les caractéristiques des espaces de nature mettant en interaction un sol, des végétaux et des flux d'eau sont le support de bouquets de services diversifiés[1].** La prépondérance d'un couvert arboré favorise des bouquets de services comprenant les services de régulation du climat (global

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 13 et 14)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 13.1.2.1)

et local) et de la qualité de l'air[2], tandis que celle des zones humides favorise les services de régulation de la qualité de l'eau et des inondations[3]. Les services récréatifs sont quant à eux quasiment toujours présents[4].

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 13.1.2.2)

[4] Bien établi et accepté (Chapitres 13 et 14)

15. **La prolifération et la promiscuité avec l'homme de certaines espèces animales ou végétales peuvent engendrer des contraintes sanitaires, de l'inconfort et des dégradations matérielles[1].** En revanche, un bon fonctionnement des écosystèmes favorise la compétition interspécifique qui limite ces contraintes[2]. Le nombre des espèces incriminées est restreint[3]. Leur prolifération est en partie imputable aux déséquilibres trophiques ainsi qu'à certaines pratiques[4]. Mais les coûts financiers pour la société peuvent être élevés comme c'est le cas des pollinoses[5]. La prévalence des maladies ou zoonoses graves transmises à l'homme est faible en France métropolitaine mais reste élevée dans les collectivités d'outre-mer[6].

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 12)

[2] Partiellement établi mais accepté (Chapitre 12.4)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 12.2)

[4] Bien établi et accepté (Chapitre 12)

[5] Bien établi et accepté (Chapitres 12.2 et 15.5)

[6] Bien établi et accepté (Chapitres 12 et 15.5)

16. **L'évaluation des services écosystémiques en ville permet d'adopter une approche intégrée des projets de territoire combinant environnement, société et économie[1].** L'étude des services écosystémiques urbains gagne à être ancrée dans un territoire à une échelle pertinente et à articuler la réalité biophysique des phénomènes et les zones de gouvernance.[2]

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 13 et 14)

[2] Bien établi et accepté

17. **L'analyse des services écosystémiques peut constituer un outil d'aide à la décision[1].** Elle étaye certaines pratiques actuelles : ingénierie écologique, solutions fondées sur la nature, gestion alternative

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14)

des eaux pluviales. Ces pratiques permettent d'optimiser la fourniture de services écosystémiques et de répondre aux enjeux du territoire[2]. Plusieurs collectivités travaillent déjà en ce sens. L'exemple de la Métropole de Lyon démontre l'efficience d'un travail intégrateur : pour favoriser le rafraîchissement de la rue Garibaldi soumise à l'îlot de chaleur, les eaux pluviales hivernales sont stockées jusqu'en période caniculaire pour arroser les allées plantées et permettre aux grands arbres de jouer un rôle de « climatiseur naturel urbain »[3]. La mise en œuvre opérationnelle du modèle États et Transitions permet de déterminer l'influence de la gestion et de l'aménagement d'un espace de nature sur son état écologique et les services ecosystémiques[4].

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 8 et 18)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 8)

[4] Bien établi et accepté (Chapitres 13, 14 et 18)

Besoins de connaissances, de données et d'études

18. **Les connaissances biophysiques (fonctionnement et interdépendance spatiale des écosystèmes, relations entre fonctions et services écosystémiques) constituent une étape nécessaire et centrale pour une évaluation robuste et fiable des services à l'échelle urbaine[1].** La description détaillée des espaces de nature en ville associée à une cartographie fine est également un préalable indispensable à toute évaluation mais n'est à ce jour pas disponible pour toutes les collectivités territoriales[2]. Les outils de modélisation et d'évaluation des services écosystémiques existent, mais ne peuvent fonctionner sans ces données d'entrée[3].

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 2, 3 et 8)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 1, 2 et 3)

[3] Bien établi et accepté (Chapitre 8)

19. **Le développement de méthodes d'attribution de valeurs est nécessaire pour les services culturels en milieu urbain[1].** L'évaluation de ces services peut se faire par des méthodes manipulant des données sur le ressenti des individus et des appréciations subjectives[2]. Il serait

[1] Bien établi et accepté (Chapitre 10)

[2] Bien établi et accepté (Chapitre 10.2.2)

utile de les compléter par des données quantitatives telles que des comptages de visites des parcs urbains qui pourraient permettre d'établir un indicateur de fréquentation[3]. Un manque de connaissances a été constaté sur le rôle que peut jouer l'accès aux espaces de nature dans le renforcement ou l'atténuation des inégalités socio-économiques existantes[4].

[3] Partiellement établi mais accepté (Chapitre 10.2.5)

[4] Bien établi et accepté (Chapitres 10.2.4 et 18)

20. **La monétarisation des services écosystémiques urbains est possible mais demeure complexe[1].** Elle est basée sur des expérimentations ponctuelles aux résultats non transférables en raison d'une forte hétérogénéité des contextes urbains[2]. D'autres disciplines (sociologie, urbanisme) adoptent des postures et mobilisent des méthodes qui engendrent des résultats parfois contrastés[3].

[1] Bien établi et accepté (Chapitres 8 et 17)

[2] Bien établi et accepté (Chapitres 8 et 17)

[3] Bien établi et accepté (Chapitres 8 et 17)



RAPPORT TECHNIQUE

EFESE
L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques
Écosystèmes urbains

Évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques

Écosystèmes urbains

Juillet 2018

Écosystèmes urbains

Cerema

Sommaire

Avant-Propos

Messages-clés à l'attention des décideurs

Rapport technique

PARTIE 1
Présentation de l'écosystème urbain

L'écosystème urbain, un écosystème comme les autres ?

CHAPITRE 1
Définition et typologie

1.1 Définitions

1.2 Typologie des espaces de nature pour l'EFESE urbain

1.3 Dessiner un périmètre d'évaluation pour les écosystèmes urbains

CHAPITRE 2
Place en France, cartographie et interfaces avec d'autres écosystèmes

2.1 Place et cartographie des milieux urbains en France

2.2 Place et cartographie des espaces de nature au sein des villes françaises

2.3 Interface avec les autres écosystèmes

CHAPITRE 3
Fonctionnement de l'écosystème et biodiversité

3.1 Caractéristiques du biotope

3.2 Caractéristiques de la biocénose

3.3 Combinaison des caractéristiques du biotope et de la biocénose : des écosystèmes élémentaires particuliers et variés

3.4 Spécificités urbaines des 5 fonctions écologiques retenues pour l'EFESE

3.5 Synthèse

CHAPITRE 4
Interactions avec les autres écosystèmes

4.1 Synthèse des interactions écosystèmes urbains et écosystèmes environnants

4.2 Interactions avec les autres écosystèmes à l'échelle des espaces de nature en ville : les trames vertes

4.3 Interaction à l'échelle de la ville : dépendance, pollution et empreinte écologique

PARTIE 2
État des écosystèmes urbains et tendances d'évolution

CHAPITRE 5
Indicateurs d'état et de fonctionnement des écosystèmes urbains

5.1 Etat des écosystèmes urbains : quelles méthodes existent, quelles villes les ont mises en pratique ?

5.2 Indicateurs d'état et de fonctionnement des écosystèmes urbains pour l'EFESE à l'échelle de la ville

5.3 Évaluer l'état des espaces de nature en ville avec le modèle "état et transition"

CHAPITRE 6
Facteurs de changements de l'écosystème urbain

6.1 Les facteurs de changement à l'échelle des villes

6.2 Les facteurs de changement des écosystèmes urbains à l'échelle des espaces de nature.

CHAPITRE 7
Tendances d'évolution et dynamiques paysagères

7.1 Tendances nationales de l'artificialisation

7.2 Tendances d'évolution des espaces de nature en ville

7.3 Dynamiques paysagères

Conclusion des parties 1 et 2

PARTIE 3
Services écosystémiques et biens retirés de l'écosystème, patrimoine naturel, contraintes

Introduction générale de la partie 3

CHAPITRE 8
Services écosystémiques de régulation

8.1 Synthèse

8.2 Service Régulation du climat global

8.3 Service Régulation du climat local

8.4 Service Régulation de la qualité de l'air

8.5 Service Régulation des nuisances sonores

8.6 Service Auto-épuration des milieux aquatiques

8.7 Service de Régulation des inondations

CHAPITRE 9
Biens produits par les écosystèmes urbains

9.1 L'agriculture urbaine : définitions et échelles

9.2 L'évolution du rapport ville / agriculture

9.3 L'alimentation, fil rouge des interactions entre écosystèmes urbain et agricole

CHAPITRE 10
Services culturels rendus par les écosystèmes urbains

10.1 Dénomination, sélection, bénéficiaires et méthode d'attribution de valeurs

10.2 Services écosystémiques culturels « récréatifs » : du besoin de nature à l'offre de nature

CHAPITRE 11
Patrimoine naturel au sein des écosystèmes urbains

11.1 Le patrimoine naturel urbain et les réglementations ou labellisations

11.2 Le patrimoine naturel urbain perçu par les collectivités et les citoyens

11.3 Vers une caractérisation du patrimoine naturel

11.4 Les espaces patrimoniaux urbains et périurbains sont-ils menacés face à la pression de l'urbanisation ?

11.5 La préservation du patrimoine naturel : réalité ou utopie ?

11.6 Synthèse

CHAPITRE 12
Contraintes

12.1 Principales contraintes

12.2 Contraintes sanitaires

12.3 Contraintes de confort

12.4 Limiter les contraintes

12.5 Synthèse

Synthèse générale de la partie 3

PARTIE 4
Interactions entre services écosystémiques

Introduction générale de la partie 4

CHAPITRE 13
Interactions de services écosystémiques à l'échelle territoriale

13.1 Identification de bouquets de services écosystémiques en milieu urbain.

13.2 Modélisation des services rendus par les arbres urbains à Strasbourg avec I-tree

13.3 Prospective territoriale à l'horizon 2030 pour Bordeaux Métropole avec Invest, outil d'évaluation des services écosystémiques à l'échelle du SCoT

CHAPITRE 14
Interactions entre services écosystémiques à l'échelle des espaces de nature : approche avec le modèle états transitions

14.1 Méthodologie

14.2 Résultats

14.3 Identification des bouquets et interactions entre services par l'observation des transitions du modèle

14.4 Tendances/trajectoires d'évolution des territoires et services écosystémiques

PARTIE 5
Enjeux socio-économiques

CHAPITRE 15
Enjeux de santé et bien-être

15.1 La qualité de l'air (pollution atmosphérique)

15.2 Climat local (îlots de chaleur urbain)

15.3 Qualité de l'eau (pollution des eaux)

15.4 Environnements sonore, olfactif et visuel

15.5 Présence de nature dans la ville

15.6 Lien avec le Plan national Santé environnement 2015-2019

15.7 Synthèse

CHAPITRE 16
Enjeu « protection des populations en milieu urbain »

16.1 Définition de l'enjeu « protection des populations en milieu urbain »

16.2 Un accès sécurisé aux ressources

16.3 Les risques hydrologiques

16.4 Enjeux liés aux cours d'eau (inondation et sécheresse) – rappel

16.5 Synthèse

CHAPITRE 17
Économie (emploi, croissance)

17.1 Introduction

17.2 Emploi : Des évaluations protéiformes

17.3 Espaces verts et foncier : une corrélation le plus souvent positive

17.4 Les espaces verts, un argument d'attractivité pour les collectivités

17.5 Les services écosystémiques diminuent les coûts environnementaux, les dépenses de santé et d'énergie

PARTIE 6
Options de développement durable

CHAPITRE 18
Options pour la transition écologique et, pour les politiques de préservation et l'utilisation durable de la biodiversité et options

18.1 Donner aux sols vivants une place à la hauteur des services écosystémiques qu'ils fournissent

18.2 Aménagement, conception et gestion écologiques des espaces publics, des quartiers et des espaces de nature

18.3 La santé des citadins et espaces de nature : améliorer le bien être, éviter les nuisances

18.4 L'éducation à l'environnement : connaître pour mieux agir.

18.5 Réduire les inégalités environnementales

PARTIE 7
Besoin de connaissances et identification de question de recherche

CHAPITRE 19
Données et connaissances manquantes

19.1 Difficultés rencontrées

19.2 Besoins de données, d'études et de connaissances

19.3 Autres besoins

Bibliographie

ANNEXES
Évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques

ANNEXE 1
User's Manual for the city biodiversity index (extraits), 2010

ANNEXE 2
User's Manual for the city biodiversity index, 2010 Indicateur 1 : Proportion d'aires naturelles dans la ville

ANNEXE 3
User's Manual for the city biodiversity index, 2010 Indicateur 2 : Mesure de connectivité

ANNEXE 4
User's Manual for the city biodiversity index, 2010 Indicateur 3 à 8 : Biodiversité native

ANNEXE 5
Fiches indicateurs de l'observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais

ANNEXE 6
Observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais Mesure de fragmentation urbaine

ANNEXE 7
Observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais - Nombre d'espèces animales et végétales

ANNEXE 8
Référentiel européen de la ville durable Fiche indicateur : Taux de surface imperméabilisées

ANNEXE 9
Sélection de 12 grandes villes de France métropolitaine et région Île de France

ANNEXE 10
Taux d'imperméabilisation des sols

ANNEXE 11
Proportion des masses d'eau

ANNEXE 12
Mesure de la fragmentation (Proportion de la maille effective) pour une sélection de 12 villes françaises

ANNEXE 13
EFESE[U] Indicateurs : Part des forêts pour une sélection de grandes villes

ANNEXE 14
EFESE[U] Indicateurs : Superficie et part des milieux humides pour une sélection de grandes villes

ANNEXE 15
EFESE[U] Indicateurs : Part des espaces verts urbains et de loisirs pour une sélection de grandes villes

ANNEXE 16
EFESE[U] Indicateurs : Part de couvert arboré pour une sélection de villes françaises

ANNEXE 17
Méthode de choix des indicateurs d'état : jeu d'indicateurs d'intégrité écologique proposé par Burkard et al. (2012)

ANNEXE 18
EFESE[U] Fiche indicateur 1 espace nature : Taux d'imperméabilisation des sols

ANNEXE 19
EFESE[U] Fiche indicateur 2 espace nature : Biodiversité / Habitat

ANNEXE 20
EFESE[U] Fiche indicateur 3 espace nature : Biodiversité / Faune, flore

ANNEXE 21
EFESE[U] Fiche indicateur 4 espace nature : Connectivité

ANNEXE 22
EFESE[U] Fiche indicateur 5 espace nature : Capacité d'infiltration à saturation des sols / perméabilité du sol

ANNEXE 23
EFESE[U] Fiche indicateur 6 : Volume (ou surface) de stockage des eaux en surface

ANNEXE 24
EFESE[U] Fiche indicateur 7 : Qualité chimique des sols urbains - à terminer

ANNEXE 25
EFESE[U] Fiche indicateur 8 : Qualité chimique des eaux douces

ANNEXE 26
EFESE[U] Fiche indicateur 9 espace nature : ICU - Taux de couvert arboré (à verser au chapitre 8)

ANNEXE 27
EFESE[U] Indicateurs : Part des espaces protégés dans une sélection de villes de France métropolitaine

ANNEXE 28
Description rapide des sources de pollution des eaux urbaines

ANNEXE 29
Données sur la qualité des eaux pluviales et usées

Index des illustrations

Index des tableaux

Mentions légales



PRÉSENTATION DE L'ÉCOSYSTÈME URBAIN

Partie 1

L'écosystème urbain, un écosystème comme les autres ?

Le Ministère en charge de l'écologie a considéré l'écosystème urbain comme un écosystème à part entière, au même titre que la forêt, les zones humides, en lui dédiant un groupe de travail dans le cadre de l'Efese. Il s'inscrit en cela dans les traces de l'évaluation mondiale des écosystèmes pour le millénaire (MEA) qui considère tous les écosystèmes "depuis ceux relativement intacts, tels que les forêts naturelles, aux paysages caractérisés par des témoins variés de l'exploitation d'origine humaine, jusqu'aux systèmes sous contrôle intensif de l'Homme et subissant des modifications dues à son action, tels que les terres agricoles et les trames urbaines (« MEA » 2005). Définitions, méthodes, et concepts issus des débats du groupe "Écosystèmes urbains" viennent réinterroger l'écologie scientifique, l'urbanisme et la sociologie. Il s'agit de penser une écologie de projet humain et urbain : fabriquer une ville vivante et vivable déjà présente dans l'imaginaire de Luc Schuiten, le rêveur de la ville végétale (Figure 1.0). Ces visions de ville verte, durable et résiliente contrastent avec la consommation de sols périurbains toujours à l'œuvre, visible dans les chiffres de l'INSEE et imprimée dans les paysages péri-urbains. Malgré des politiques publiques actives, la ville se situe dans un rapport de prédation vis-à-vis des autres écosystèmes proches et lointains. Les politiques de densification de la ville, apportée en réponse à la consommation des sols, sont mises à l'épreuve par cette vision de ville verte, vivable et respirable pour les citadins, vivante pour la biodiversité, et économiquement attractive.

Figure 1 : Dessin de Luc Schuiten pour l'exposition Cités végétales Lyon 2010- Lyon 2100

(https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/urbanisme-ville/lyon-s-imagine-en-cite-vegetale-4227.php)



CHAPITRE 1

Définition et typologie

Fabrication de la société humaine, la ville concentre les plus hauts niveaux d'artificialité, et modèle des espaces de nature arrangés à son goût. La qualifier d'écosystème [1] relève plus d'une projection que d'une réalité palpable [2]. Raisonner en termes d'écosystème urbain régénère la vision habituelle de la ville. Il s'agit de s'extraire de l'opposition entre la ville et la nature, pour chercher à s'inspirer de mécanismes fonctionnel naturel au cœur même de la cité et en lien avec son environnement. L'ambition de ce chapitre est de définir l'écosystème urbain valable et opérante dans le cadre de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques.

Du coquelicot qui s'est immiscé dans la fissure du bitume, au grand parc urbain en passant par la haie qui entoure le jardin d'une maison de lotissement en périphérie, la ville englobe une somme d'écosystèmes diversifiés de taille variable au caractère naturel plus ou moins affirmé. Dans cette diversité, quel est le plus petit dénominateur commun qui nous permettra de définir l'écosystème urbain ?

1.1 – Définitions

Pour bien appréhender la notion d'écosystème urbain, il paraît important d'une part, de noter qu'il n'existe pas de définition académique de la ville admise internationalement, d'autre part de revenir sur la définition de « l'écosystème » du point de vue de l'écologue.

Le glossaire réalisé pour le projet EFESE définit l'écosystème comme suit ("L'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) Volume 1 : Objectifs, cadre conceptuel et glossaire analytique," n.d.) : *« Un écosystème est un complexe dynamique de populations végétales, animales et de micro-organismes,*

associées à leur milieu non-vivant et interagissant en tant qu'unité fonctionnelle » (MEA 2005).

Comme le fait remarquer le GIEC, « les *limites de ce que l'on peut appeler un écosystème sont quelque peu arbitraires, et dépendent du centre d'intérêt ou de l'étude.*

Par conséquent, l'étendue d'un écosystème peut aller de très petites échelles spatiales jusqu'à l'ensemble de la terre ». (IPCC, Intergovernemental Panel on climate Change, 2007, https://www.wunderground.com/resources/climate/ipcc2007.asp). Ainsi, l'étendue de l'écosystème dépend de l'échelle à laquelle on travaille et du niveau de précision que l'on souhaite atteindre.

Nous considérerons trois niveaux d'échelle dans la présente étude : l'espace de nature, la ville et la ville dans son environnement.

1.1.1 – Petite histoire de la notion d'« écosystème urbain »

La notion d'écosystème urbain, apparue dans les années 1970 est postérieure à celle d'écologie urbaine née en 1925. La terminologie d'écosystème urbain ne se manifeste pas systématiquement lorsqu'on invoque l'écologie urbaine. Cependant, la définition de l'écosystème urbain reste intimement liée à celle de l'écologie urbaine qui se stabilise peu à peu.

Dans son article "1925-1990, histoire de l'écologie et du rapport ville-nature", Nathalie Blanc nous offre une vision de l'apparition et de l'évolution de ces concepts, articulée en 4 étapes récapitulées dans le tableau ci-dessous (N. Blanc 1998).

Figure 2 : 1925-1990 - Usages de l'écologie urbaine

Quelle époque ?	Quels acteurs ?	Quel usage de la notion d'écologie urbaine ?	Quel contenu pour le terme de nature ?
1925	Sociologues et journalistes de l'université de Chicago	Étude des phénomènes urbains liés à l'immigration	Force désignant des lois qui organisent les rapports humains
1960-1970	Écologues	Étude de la ville comme ensemble afin d'être à même d'offrir une expertise pour la gestion urbaine	Terme peu utilisé auquel se réfèrent des éléments matériels (plantes, soleil...)
1980	Chercheurs en sciences sociales	Renouveler l'étude de la ville comme ensemble complexe	Terme désignant ce qui s'oppose à la technique et qui permet de déconsidérer dans un objectif politique les politiques de l'équipement et de l'urbanisme
1990	Praticiens et gestionnaires urbains	Renouveler le cadre des interventions urbaines	Renvoie à l'idée de terre et même de biosphère, c'est-à-dire de terre vivante

C'est dans les années 1920 que la notion d'écologie urbaine naît, portée par des journalistes et des sociologues américains. Certaines notions et méthodes des théories de l'écologie végétale sont alors déployées en sciences sociales, pour être expérimentées sur le territoire de Chicago. Selon cette école, la ville est le produit de ses habitants : comme dans le milieu naturel, l'individu s'adapte à la ville qu'il modifie à son tour. C'est le fonctionnement sociétal de la ville qui est alors analysé (étude des relations entre les populations et leur établissement sur un territoire) plus que le rapport avec le milieu physique.

"Les biologistes ont longtemps écarté le milieu urbain de leur champ habituel de recherche, la ville étant considérée comme un environnement hostile à la vie sauvage. Il faut attendre les années 70 pour que de timides inventaires "faune flore" voient le jour, amenant certains scientifiques à réviser leur jugement et à considérer la ville comme un "écosystème"à part entière" (Duvigneaud 1974) cité par (Boutefeu 2007).

Du côté des écologues, se développe dans les années 1960 une approche écosystémique de la ville, vraiment nouvelle. Ils proposent une méthode permettant d'analyser la ville en étudiant les interactions entre les hommes et les autres espèces, et entre ceux-ci et le milieu. Ainsi, (Duvigneaud 1974) pour Bruxelles et (Dambrin 1982) pour Paris modélisent l'écosystème urbain sous l'angle des flux entrants et sortants, d'énergies, de matières et de population. La connaissance de l'écosystème urbain a une visée gestionnaire d'aménageur soucieux et conscient des limites de l'environnement. En 1971, l'Unesco crée le programme Man and Biosphere, qui permit de clarifier un certain nombre de concepts et de mutualiser les recherches sur l'approche écosystémique de la ville. L'approche initiale, basée exclusivement sur les flux d'énergie va être progressivement élargie pour intégrer d'abord les flux d'eau et de matière et enfin l'homme et son bien-être en 1975. Les phénomènes urbains sont alors étudiés en mettant en perspective la globalité et la complexité de la ville (éco-socio-système urbain) (N. Blanc 1998).

À partir des années 80 s'opère un glissement des recherches scientifiques vers une opérationalisation des politiques d'environnement en milieu urbain, tant au niveau ministériel qu'au niveau des collectivités territoriales. Là, l'intérêt porté à la nature en ville naît parfois d'une réflexion économique ou sanitaire en vue d'améliorer la gestion de la nature ou des espaces verts présents sur la commune. Cet intérêt s'est accru avec la prise de conscience des enjeux biodiversité au niveau planétaire. En revanche, le système complexe que constitue la ville dans son entier -auquel

le chercheur s'intéressait- ne conquiert pas les gestionnaires qui continuent de se développer et se spécialiser par domaines de l'environnement (services eau, espaces verts, déchets,). Un vocabulaire s'instaure dans les collectivités, distinct de celui des chercheurs : environnement, cadre de vie, espaces verts, qualité de vie, nuisances et pollutions.

Les années 1990 voient l'ensemble des facettes de l'écologie réapparaître et coexister : opérationnelle (Nature en ville), politique (lutte contre les nuisances) et scientifique (écologie urbaine, biodiversité urbaine) dans l'objectif partagé de soigner une ville en crise et malsaine. Les services espaces verts des collectivités, de culture paysagère ou horticole se teintent peu à peu d'écologie, comme le montre l'évolution de leurs dénominations.

L'écologie urbaine va être influencée par l'écologie du paysage. Elle se saisit de ses méthodes et concepts majeurs (fragmentation, trame, corridor…) pour tenter d'en opérer la transposition. "*L'écologie du paysage est l'écologie du paysage modifié par l'homme industriel. Elle est faite pour dialoguer avec les aménageurs et élaborer avec eux un consensus, selon l'idée que l'on peut faire cohabiter développement humain et bonne santé écologique des espaces*" (Lanaspeze 2012).

La politique environnementale européenne dite des infrastructures vertes déclinée en France par les schémas régionaux de cohérence écologiques n'évite plus la ville. Pour transposer les trames vertes et bleues dans les documents de planification Scot[3] et les plans locaux d'urbanisme, les méthodes et outils se construisent. Ainsi, la réflexion menée au sujet de la cohérence écologique est l'occasion de partenariats de recherche-action entre des villes et des chercheurs pluridisciplinaires.

L'arrivée des services écosystémiques sur le devant de la scène internationale remobilise et vise à opérer un rapprochement des mondes scientifique et politique avec des publications de synthèse à destination des praticiens et des "décideurs", Même si les chercheurs français y sont peu impliqués, **la ville y est considérée comme possible écosystème**. Le saisissement qui est fait de cette notion par les décideurs et les gestionnaires des villes n'est pas pourtant pas immédiat : selon une enquête internet menée par le Cerema en 2014, seules 11 personnes sur 217 connaissent les 4 catégories de services écosystémiques définies par le Millenium Ecosystems Assessment.

Cela confirme que peu à peu *"La notion de nature s'efface au profit de celle d'écosystème, terme qui permet d'englober les systèmes naturels comme les systèmes sociaux. La nature est alors un des éléments de l'écosystème et peut être alors intégrée à l'écosystème urbain."*

(N. Blanc 1998)

L'écologie urbaine peut se définir sobrement comme "l'étude de la manière dont les humains et les systèmes écologiques évoluent ensemble dans les zones urbanisées." (Marina Alberti 2008). L'écosystème urbain s'entend alors comme le système de relations entre les systèmes écologiques (au sens strict) et les systèmes sociaux dans les zones urbanisées. Dans la mesure où il est inclus dans le système, l'homme dans son double rôle d'habitant et de décideur renvoie à une définition de l'écologie urbaine comme projet politique. *« L'écologie urbaine est avant tout sociale, parce qu'elle est mise en œuvre par et pour les gens eux-mêmes. »*

En conclusion, la définition de l'écologie urbaine évolue avec le temps et en fonction des champs disciplinaires qui l'utilisent, avec ou non en arrière-plan un projet politique ou normatif. L'anticipation de difficultés méthodologiques liées à une définition prenant en considération les systèmes écologiques et les systèmes sociaux a orienté les travaux qui vont suivre. En effet, l'équipe projet de l'EFESE et la Conseil scientifique et technique ont le choix de centrer l'évaluation sur les seuls systèmes écologiques, que l'on nommera espaces de nature.

1.1.2 – Les trois échelles d'analyse de l'écosystème urbain

En partant du postulat de l'existence de l'écosystème urbain, de l'historique de la notion d'écologie urbaine et de son opérationalisation par les praticiens, il apparaît deux façons imbriquées de conceptualiser cette notion : la ville est un écosystème à part entière, et des écosystèmes élémentaires sont présents en ville. Travailler sur l'écosystème urbain nécessite donc, une approche à plusieurs niveaux. Cette approche a été élaborée par le groupe de travail EFESE écosystème urbain. Ainsi, nous retiendrons l'idée formulée par la philosophe Chris Younes : « *la ville est un objet d'étude paradoxal. Elle est à la fois, un et des écosystèmes. Il faut travailler avec le singulier et le pluriel. L'association des différents écosystèmes va produire un milieu spécifique. Si on met l'accent sur le « un », on va insister sur le tout. Au pluriel, on parle plus des coexistences.* » (Groupe de travail « Ecosystèmes et services écosystèmiques » 2013).

Une définition inclusive de l'écosystème urbain telle que citée ici ne rentre pas dans le cadre conceptuel de l'EFESE. Il est donc convenu par convention en respect du cadre conceptuel du programme EFESE que le bâti et l'humain ne font donc pas

partie de l'écosystème urbain.

L'écosystème urbain, dans le cadre de l'EFESE, renvoie à trois niveaux d'analyse :

- **le niveau de l'environnement régional. Il s'agit de l'écosystème urbain inscrit dans un paysage donné, en lien avec les autres écosystèmes (voir 2.3.) ;**
- **le niveau de la zone urbanisée comprenant une mosaïque d'espaces de nature en interaction ;**
- **le niveau des espaces de nature, notamment ceux qui disposent d'un sol non complètement imperméabilisé. Ils constituent des écosystèmes en interaction, dénommés écosystèmes élémentaires. Ils font référence à ce que l'on nomme classiquement dans les sphères opérationnelles nature en ville.**

1.1.2.1 – Une ville écosystème…

La ville est considérée comme un écosystème urbain à part entière, très ouvert et en interrelation avec les autres écosystèmes. L'espèce humaine joue un rôle essentiel et structurant au sein d'un milieu artificialisé et dominé par le minéral. La ville est traversée en permanence par un flux d'énergie qui actionne des transferts de matière entre le milieu physico-chimique et la biomasse (celle-ci présentant également une forme transitoire de stockage de l'énergie). Ses habitants consomment des matériaux, des aliments, de l'énergie, de l'eau et parallèlement rejettent leurs résidus dans les écosystèmes plus ou moins proches (déchets, résidus, gaz à effet de serre, etc.).

1.1.2.2 – … composée d'espaces de nature en ville

Des écosystèmes sont présents en ville et sont fortement influencés par celle-ci : l'espace urbain peut aussi être perçu comme un milieu fortement hétérogène composé d'une association ou d'une juxtaposition de plusieurs écosystèmes avec des limites plus ou moins diffuses et qui interagissent plus ou moins entre eux. On parle alors d'une mosaïque d'écosystèmes. Au sein des espaces, les fragmentations peuvent être relativement importantes (bâtiments et infrastructures routières, etc.) et ainsi empêcher ou limiter les échanges entre les différents habitats. Nous les appelons espaces de **nature en ville.**

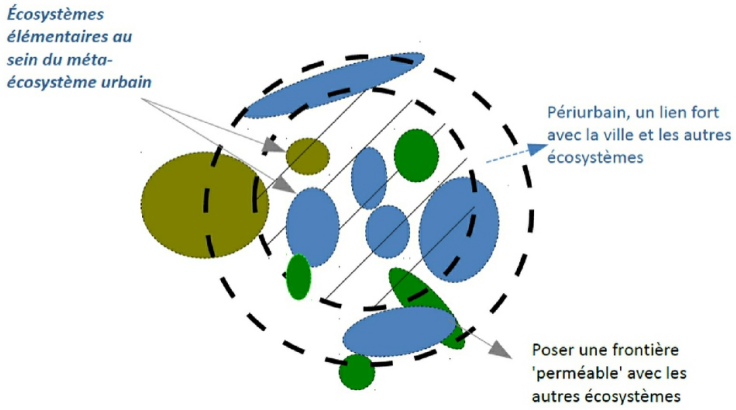
Le terme de nature en ville rassemble largement les espèces comme leurs habitats tant terrestres qu'aquatiques. Il est fréquent d'assimiler et de réduire la nature en ville aux espaces verts, qu'ils soient publics ou privés. C'est une démarche tout à fait courante tant de la part des citadins que des aménageurs. Il est important de ne pas oublier le côté "bleu" de la nature en ville. Les milieux aquatiques et les zones humides peuvent revêtir une grande importance dans nombre de villes françaises. Ceci dit, le terme « espaces verts » possède une dimension générique importante qui permet une large utilisation quel que soit le type de couverture végétale. Sous le terme espaces verts sont regroupés tous les espaces végétalisés, arborés ou non, qui prennent place dans le tissu urbain. Qu'ils soient privés ou publics, ouverts ou fermés aux habitants, les espaces verts ménagent une discontinuité végétale entre les zones bâties et les annexes minéralisées. Les espaces verts composent un maillage interstitiel de verdure (espace libre) et ils se définissent par opposition aux espaces construits (Certu 2001).

1.1.2.3 – Inscrite dans un grand paysage

Si l'écosystème urbain se caractérise par une dépendance forte vis-à-vis des autres écosystèmes, par exemple pour son approvisionnement en eau potable, on ne saurait ni les assimiler à la ville, ni les en détacher totalement. La biodiversité urbaine se nourrit de celle des écosystèmes environnants, comme le montre l'écologie du paysage. Les interactions entre les citadins et leur environnement immédiat sont multiples, et toujours fortes, que ce soit pour l'approvisionnement, ou les services récréatifs (Nathalie Blanc et Clergeau 2013).

Aussi est-il important de considérer la ville dans une spatialité élargie, dans une enveloppe écologique plus riche, en somme. La vue sur la chaîne des Alpes depuis la terrasse de Fourvière à Lyon, celle sur le large à Marseille, les berges de la Loire à Nantes, celles de la Garonne à Bordeaux, la plaine de la Beauce à Chartres, ne participent-elles pas grandement à la fabrication de la ville, à son esthétique et finalement à son âme ?

Figure 3 : Les 3 niveaux d'appréhension de l'écosystème urbain (Groupe de travail « Ecosystèmes et services écosystèmiques » 2013)



En conclusion, dans les milieux urbains, l'écosystème est appréhendé selon trois échelles d'analyse : l'espace de nature, la ville et la ville dans son environnement global. L'appréhension à différentes échelles permet d'étudier une diversité de niveaux de fonctionnements écologiques. Concernant l'évaluation, on sait qu'un certain nombre de données existent à l'échelle du parc -les inventaires d'espèces- et non à l'échelle de la ville, ou inversement. Ainsi, l'évaluation de l'écosystème urbain dans le cadre de l'EFESE consiste plus à définir la juste échelle d'évaluation par rapport à une intention d'évaluation, plutôt que d'évaluer systématiquement aux trois échelles ci-dessus définies. L'organisation des collectivités territoriales gestionnaires les mènent à avoir une approche compartimentée, (espaces verts, voiries, gestion des eaux…) que la vision systémique engage à dé-compartimenter et invite à rapprocher pour une optique évaluative.

1.2 – Typologie des espaces de nature pour l'EFESE urbain

En accord avec le groupe de travail EFESE écosystème urbain, la typologie s'appliquera à l'échelle des espaces de nature et reflète leur grande diversité.

1.2.1 – Nomenclatures existantes

Différentes typologies basées sur l'occupation des sols existent et pourraient être utilisées pour construire une typologie des écosystèmes élémentaires constituant l'écosystème urbain : il s'agit de la nomenclature "Corine Land Cover" et des typologies "Corine Biotopes" et "Eunis" [4]. Par ailleurs, l'Association des ingénieurs des villes de France a présenté en 1995 un projet de classement des espaces verts publics disséminés dans les communes, identifiant ainsi une douzaine de types d'espaces verts. L'ensemble est exposé dans le tableau de synthèse suivant.

Tableau 1 :

Comparaison de typologies appliquées aux milieux urbains.
Source (Cerema DTer Centre Est, adapté des typologies CLC, EUNIS, et AITF)

	Nomenclature Corine Land Cover	Typologie "Corine Biotopes"	Typologie Eunis	Typologie des espaces verts (AITF)
Principales catégories identifiables au sein de l'écosystème urbain (non exhaustif)	**1. TERRITOIRES ARTIFICIALISES** 14 Espaces verts artificialisés, non agricoles 141 Espaces verts urbains 142 Équipements sportifs et de loisirs + 51 Eaux continentales 511 Cours et voies d'eau 512 Plans d'eau	84. Alignement d'arbres, haies, petits bois, bocage, parc 85. Parcs urbains et grands jardins 87. Terrains en friche et terrains vagues 89. Lagunes et réservoirs industriels, canaux	FA. Haies FB3. Plantations d'arbustes (à des fins ornementales) G5. Alignements d'arbres, petits bois anthropiques, boisement récemment abattus, stades initiaux de boisements et taillis I1. Cultures et jardins maraîchers I2. Zones cultivées des jardins et des parcs J5. Plans d'eau très artificiels et structures connexes X11. Grands parcs X22. Petits jardins non domestiques des centres-villes X23. Grands jardins non domestiques X24. Jardins domestiques des villes et des centres-villes X25. Jardins domestiques des villages et des périphéries urbaines	Parcs, jardins, squares 1. Espaces verts (EV) d'accompagnement des voies 2. EV d'accompagnement des bâtiments publics 3. EV d'accompagnement des habitations 4. EV d'accompagnement des établissements industriels et commerciaux 5. EV des établissements sociaux ou éducatifs 6. EV des stades et des centres de sports 7. Cimetières 8. Campings 9. Jardins familiaux 10. Établissements horticoles à vocation publique 11. Espaces naturels aménagés 12. Arbres d'alignement à l'unité sur la voirie publique, groupés ou n

	Nomenclature Corine Land Cover	Typologie "Corine Biotopes"	Typologie Eunis	Typologie des espaces verts (AITF)
Analyse et intérêt pour l'EFESE urbain	Typologie intéressante pouvant servir à délimiter les limites géographiques des écosystèmes urbains mais insuffisante pour appréhender correctement l'ensemble des écosystèmes élémentaires	Typologie plus imprécise sur le milieu urbain	Typologie très précise dont les éléments peuvent être utilisés pour construire une typologie des écosystèmes élémentaires	Typologie intéressante mais qui se limite aux espaces verts, or l''EFESE souhaite marqué l'importance des espaces aquatiques et milieux humides.

1.2.2 – Typologie proposée pour les écosystèmes urbains

Une typologie des écosystèmes urbains en 3 niveaux est requise dans le projet EFESE. En l'absence de typologies internationales normées dédiées à la ville, la typologie proposée *(Tableau 1.3)* – et suggérée par le Groupe de travail Ecosystèmes urbains- s'inspire de classifications existantes pour les milieux urbanisés type Corine Land Cover, et descend à des niveaux de précision plus fins pour les espaces de nature en ville en se basant sur d'autres sources (EUNIS, ECOMOS..).

Le premier niveau distingue les 5 grandes catégories fondées :

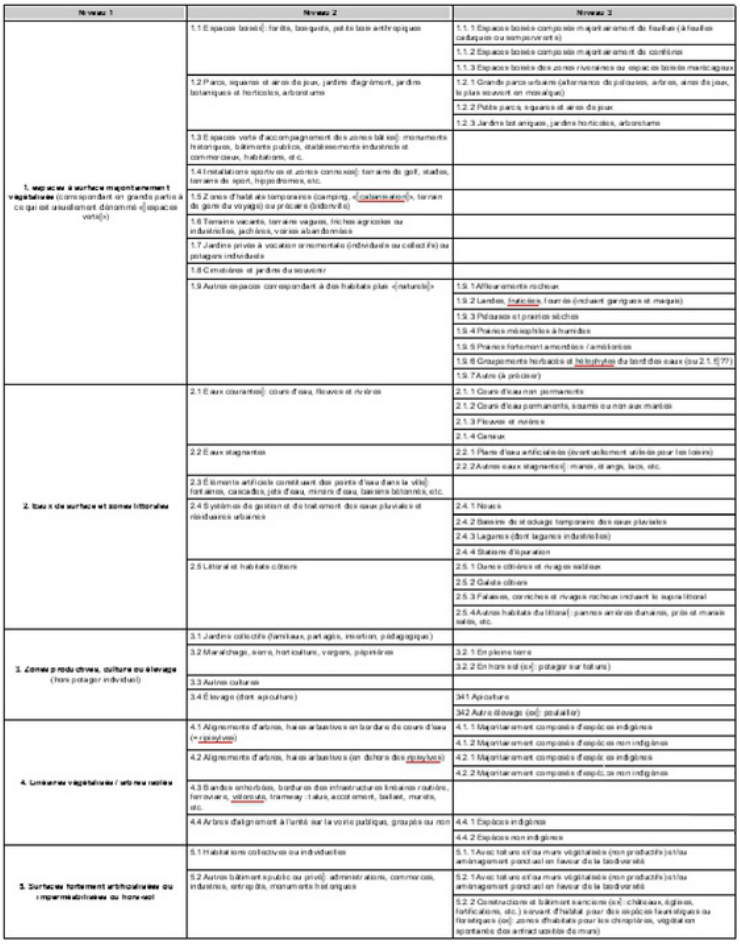
- sur des caractéristiques structurelles : présence de végétation, ou d'eau, niveau d'artificialisation ou d'imperméabilisation.
- sur des caractéristiques fonctionnelles : les surfaces cultivées productives. Cette fonction de production, plutôt remarquable en ville, fait de cet écosystème une catégorie à part entière (voir Chapitre 4.2).

Ces 5 catégories permettent de proposer une typologie généralisable à toutes les tailles de villes et toutes les échelles :

1. **Espaces à surface majoritairement végétalisée**
2. **Eaux de surface et zones littorales**
3. **Zones productives, culture ou élevage**
4. **Linéaires végétalisés / arbres isolés**
5. **Surfaces fortement artificialisées ou imperméabilisées ou hors-sol)**

Tableau 2 :

Typologie des écosystèmes urbains pour l'EFESE
Source : Cerema



Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1. espaces à surface majoritairement végétalisée (correspondant en grande partie à ce qui est usuellement dénommé « espaces verts »)	1.1 Espaces boisés : forêts, bosquets, petits bois anthropiques	1.1.1 Espaces boisés composés majoritairement de feuillus (à feuilles caduques ou sempervirents)
		1.1.2 Espaces boisés composés majoritairement de conifères
		1.1.3 Espaces boisés des zones riveraines ou espaces boisés marécageux
	1.2 Parcs, squares et aires de jeux, jardins d'agrément, jardins botaniques et horticoles, arboretums	1.2.1 Grands parcs urbains (alternance de pelouses, arbres, aires de jeux, le plus souvent en mosaïque)
		1.2.2 Petits parcs, squares et aires de jeux
		1.2.3 Jardins botaniques, jardins horticoles, arboretums
	1.3 Espaces verts d'accompagnement des zones bâties : monuments historiques, bâtiments publics, établissements industriels et commerciaux, habitations, etc.	
	1.4 Installations sportives et zones connexes : terrains de golf, stades, terrains de sport, hippodromes, etc.	
	1.5 Zones d'habitat légères temporaires (camping, « caravanage », terrain de gens du voyage) ou précaires (bidonville)	
	1.6 Terrains vacants, terrains vagues, friches agricoles ou industrielles, jachères, vergers abandonnés	
	1.7 Jardins privés à vocation ornementale (individuels ou collectifs) ou potagers individuels	
	1.8 Cimetières et jardins du souvenir	
	1.9 Autres espaces correspondant à des habitats plus « naturels »	1.9.1 Alluvions riches
		1.9.2 Landes, fruticées, fourrés (incluant garrigues et maquis)
		1.9.3 Pelouses et prairies sèches
		1.9.4 Prairies mésophiles à humides
		1.9.5 Prairies fortement amendées / améliorées
		1.9.6 Groupements herbacés et hélophytes du bord des eaux (ou 2.1.5[?])
		1.9.7 Autre (à préciser)
2. Eaux de surface et zones littorales	2.1 Eaux courantes : cours d'eau, fleuves et rivières	2.1.1 Cours d'eau non permanents
		2.1.2 Cours d'eau permanents, soumis ou non aux marées
		2.1.3 Fleuves et rivières
		2.1.4 Canaux
	2.2 Eaux stagnantes	2.2.1 Plans d'eau artificiels (ouvrages utilisés pour les loisirs)
		2.2.2 Autres eaux stagnantes : mares, étangs, lacs, etc.
	2.3 Éléments artificiels constituant des points d'eau dans la ville : fontaines, cascades, jets d'eau, miroirs d'eau, bassins bétonnés, etc.	
	2.4 Systèmes de gestion et de traitement des eaux pluviales et résiduaires urbaines	2.4.1 Noues
		2.4.2 Bassins de stockage temporaire des eaux pluviales
		2.4.3 Lagunes (dont lagunes industrielles)
		2.4.4 Stations d'épuration
	2.5 Littoral et habitats côtiers	2.5.1 Dunes côtières et rivages sableux
		2.5.2 Galets côtiers
		2.5.3 Falaises, corniches et rivages rocheux incluant le supralittoral
		2.5.4 Autres habitats du littoral : prairies arrière-dunaires, prés et marais salés, etc.
3. Zones productives, culture ou élevage (hors potager individuel)	3.1 Jardins collectifs (familiaux, partagés, insertion, pédagogique)	
	3.2 Maraîchage, serre, horticulture, vergers, pépinières	3.2.1 En pleine terre
		3.2.2 En hors sol (ex : potager sur toitures)
	3.3 Autres cultures	
	3.4 Élevage (dont apiculture)	3.4.1 Apiculture
		3.4.2 Autre élevage (ex : poulailler)
4. Linéaires végétalisés / structurants	4.1 Alignements d'arbres, haies arbustives en bordure de cours d'eau (« ripisylve»)	4.1.1 Majoritairement composés d'espèces indigènes
		4.1.2 Majoritairement composés d'espèces non indigènes
	4.2 Alignements d'arbres, haies arbustives (en dehors des ripisylves)	4.2.1 Majoritairement composés d'espèces indigènes
		4.2.2 Majoritairement composés d'espèces non indigènes
	4.3 Bandes enherbées, bordures des infrastructures linéaires routière, ferroviaire, voiesvertes, tramway : talus, accotement, ballast, murets, etc.	
	4.4 Arbres d'alignement à l'unité sur la voirie publique, groupés ou non	4.4.1 Espèces indigènes
		4.4.2 Espèces non indigènes
5. Surfaces fortement artificialisées ou imperméabilisées ou hors-sol	5.1 Habitations collectives ou individuelles	5.1.1 Avec toitures et/ou murs végétalisés (non productifs) et/ou aménagement ponctuel en faveur de la biodiversité
	5.2 Autres bâtiment public ou privé : administrations, commerces, industries, entrepôts, monuments historiques	5.2.1 Avec toitures et/ou murs végétalisés (non productifs) et/ou aménagement ponctuel en faveur de la biodiversité
		5.2.2 Constructions et bâtiment vacants (ex : châteaux, églises, fortifications, etc.) servant d'habitat pour des espèces faunistiques ou floristiques (ex : zones d'habitats pour les chiroptères, végétation spontanée des anfractuosités de murs)

Le niveau 2 s'appuie également sur des critères structurels et fonctionnels. Pour ce qui est des espaces végétalisés non productifs, le niveau 2 reprend les bases d'une classification des espaces verts en usage dans les services des collectivités territoriales, et elle relate aussi un gradient de naturalité des espaces verts. Les sous-catégories du niveau 3 explicitent un certain nombre d'espaces trouvés en ville, ces sous-types sont rarement cartographiés.

Le caractère anthropisé du milieu urbain pourrait nous amener à considérer la gestion des espaces végétalisés comme un critère particulièrement important. En effet, cette gestion peut créer une importante pression sur les milieux et impacter fortement leur qualité écologique notamment en termes d'abondance et de richesse des espèces. La gestion est donc un facteur majeur pour le maintien de la biodiversité

et donc des services qui pourront être fournis. Pour autant, les données de gestion sont difficilement mobilisables, déjà à un niveau local, et encore plus difficilement au niveau national.

Il convient de rester vigilant sur cette typologie qui s'inspire des diverses typologies en usage, au niveau européen et local. Certains facteurs, pourtant relativement impactants pour les écosystèmes et la biodiversité n'ont pas été pris en compte, du fait du manque de conventions académiques ou normatives. C'est le cas de la taille des villes et de la localisation des espaces de nature considérés. De plus, les bases de données de cette finesse sont construites et détenues par les collectivités elles-mêmes et sont rarement interopérables. La mise en application d'une typologie unique au niveau national est tout à la fois nécessaire mais assez optimiste. Cependant, à l'échelle de la région, quelques systèmes d'informations géographiques des milieux naturels dotées de typologies fines sont en cours d'élaboration, en lien avec la réalisation des SRCAE.

1.3 – Dessiner un périmètre d'évaluation pour les écosystèmes urbains

Le projet EFESE propose de retenir la définition d'écosystème du (« MEA » 2005), en y intégrant des éléments sur les questions d'échelles :

« Dans le cadre d'une évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques, la détermination des limites physiques des écosystèmes constitue une étape très importante. Les limites considérées dépendront de l'échelle de l'évaluation (locale, régionale ou nationale), de la précision que l'on souhaite atteindre, et des connaissances scientifiques et des capacités technologiques à disposition. » ("L'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) Volume 1 : Objectifs, cadre conceptuel et glossaire analytique," (Puydarrieux et al. 2014).

L'écosystème urbain compte 3 échelles d'appréhension. Idéalement, il conviendrait donc de fixer trois limites physiques : celles des espaces de nature en ville, celles de la ville, celles de la ville dans son environnement. Mais quelles limites les données disponibles permettent-elles de tracer ?

1.3.1 – Les limites multiples et fluctuantes de l'urbain

Évaluer un écosystème urbain oblige à en circonscrire le territoire. Or, la notion d'écosystème relativement bien définie dans la bibliographie ne comporte pas de limite claire, et contre toute attente, le terme urbain semble quant à lui compliqué à circonscrire. La ville ou la notion d'urbain ne possède pas de définition académique au niveau international, ni de délimitation normée, ceci a donné lieu à d'abondantes interprétations (INSEE, Eurostat,…). Si ce n'est les limites de gouvernance (communes, métropoles, agglomérations), il n'y a donc pas de fixité de la limite. L'étude passe en revue un certain nombre de ces limites pour retenir celle qui correspondra le plus justement à l'objectif de l'étude EFESE.

1.3.1.1 – D'après l'INSEE

En France, l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) nous confronte non pas à l'absence de définition de l'urbain mais à une certaine abondance, si bien que selon que l'on opte pour l'une ou l'autre, chiffres et résultats fluctuent. Ces définitions ont tenté de suivre l'évolution rapide et multiforme du phénomène urbain depuis la deuxième moitié du XXème siècle mais peinent à l'appréhender uniquement sur la base de paramètres spatiaux.

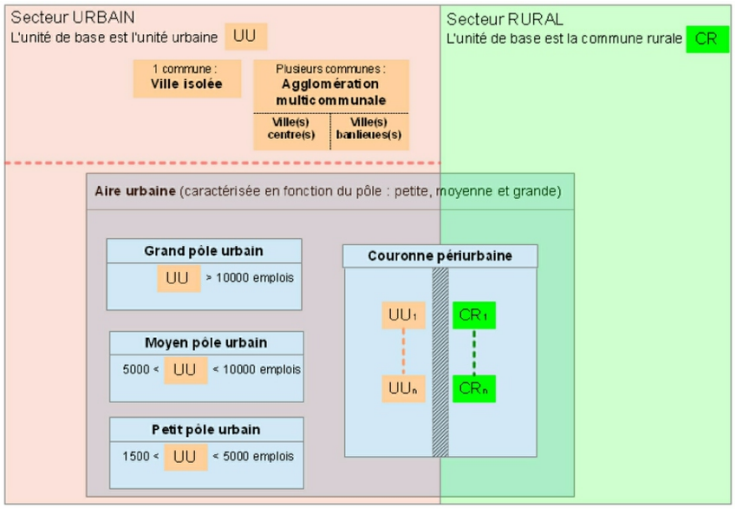
Faisons le tour des différentes notions très proches qui peuvent être rattachées à l'urbain, définies par l'INSEE.

L'unité de base utilisée par l'Insee est la commune. Aussi, une commune urbaine telle que définie par l'Insee peut ne présenter les critères de l'urbain (continuité, seuil de population) que sur une partie de son territoire. Dans ce cas, la commune dite urbaine peut inclure de grandes surfaces ne correspondant pas aux caractéristiques urbaines (ex : zones agricoles ou forestières, milieux naturels, etc.).

L'unité urbaine repose sur la continuité du bâti et le nombre d'habitants. Elle est développée dès les années soixante afin d'établir un périmètre pour appréhender la ville et les agglomérations.

L'aire urbaine est une notion apparue au milieu des années 90 et intégrant des critères de fonctionnement comme le nombre d'emplois offerts et les déplacements domicile-travail. Elle comprend des pôles urbains, et des communes multi-polarisées, etc. Les descriptions et caractéristiques peuvent alors être très différentes suivant les cas.

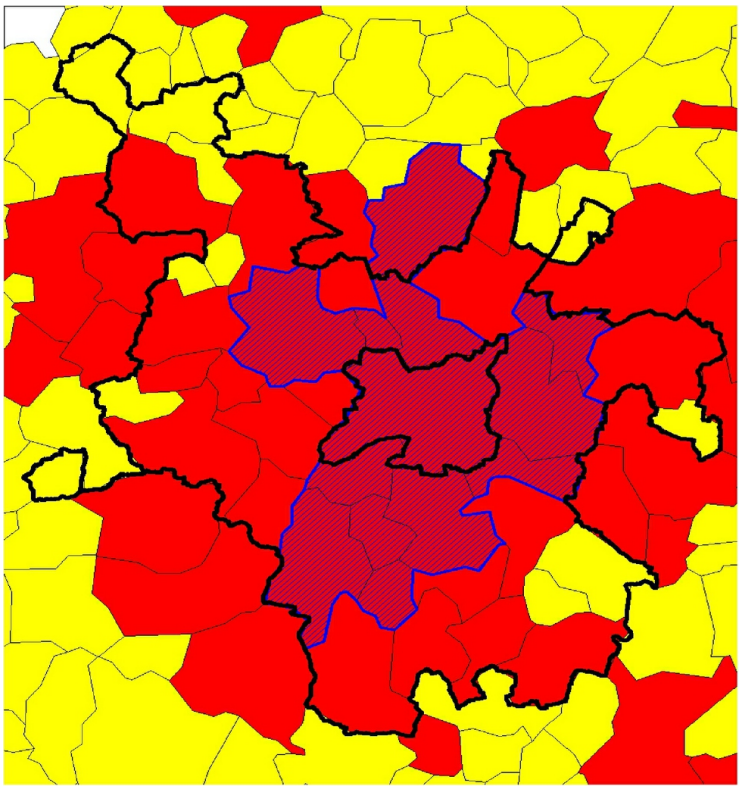
Figure 4 : Représentation schématique des différentes notions de qualification de l'urbain



Pour l'Insee, sont considérées comme rurales les communes qui ne rentrent pas dans la constitution d'une unité urbaine : les communes sans zone de bâti continu de 2000 habitants, et celles dont moins de la moitié de la population municipale est dans une zone de bâti continu.

Voici un aperçu cartographique des différentes délimitations administratives (commune et agglomération) et celle de l'unité urbaine, ainsi que la différenciation urbain (rouge) /rural (jaune). Si l'unité urbaine ne recouvre que des communes qui entrent dans la catégorie urbaine, en revanche ces dernières la dépassent largement. L'absence de cohérence et de superposition entre les limites de l'unité urbaine et de l'agglomération est aussi constatée.

Figure 5 : Carte de l'agglomération rennaise (en noir, limite communale et d'agglomération), en jaune, communes rurales, en rouge communes urbaines



1.3.1.2 – D'après Eurostat

Selon la **commission européenne** (source Eurostat), la dichotomie urbain-rural est basée sur la classification de mailles de 1 km^2, définies comme étant soit urbaines, soit rurales. Les mailles urbaines doivent remplir deux conditions : **une densité de population d'au moins 300 habitants par km^2 et un minimum de 5 000 habitants** au-delà du seuil de densité dans les mailles contiguës. Les autres mailles sont considérées comme rurales.

1.3.1.3 – D'après Corine Land Cover

Les limites géographiques des milieux urbains peuvent aussi être appréhendées à partir de la base de données Corine Land Cover (CLC). C'est donc la notion de **tissu urbain** qui est ici prise en compte pour définir les zones urbanisées. Trois classes (essentielles mais non suffisantes pour considérer l'écosystème urbain dans sa globalité) peuvent être considérées :

- la classe « tissu urbain continu » comprend les espaces structurés par des bâtiments et les voies de communication. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes représentent plus de 80 % de la surface totale. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels.

- la classe « tissu urbain discontinu », comprend quant à elle les zones d'habitation périphériques des centres des agglomérations et certaines agglomérations des zones rurales. Ces unités se composent d'immeubles, de maisons individuelles, de jardins, de rues et d'espaces verts, chacun de ces éléments ayant une surface inférieure à 25 ha. La différence avec le tissu urbain continu réside dans la présence de surfaces non imperméabilisées : jardins, espaces verts, plantations, espaces communs non revêtus. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes occupent plus de 30 % et moins de 80 % de la surface totale de l'unité.

- la classe « **espaces verts urbains** » est constituée par des espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain, y compris les parcs urbains et les cimetières avec végétation, ainsi que les châteaux et leurs parcs. Le contenu de cette classe est donc très diversifié : parcs publics, espaces verts privés, cimetières végétalisés d'une surface supérieure à 25 ha.

Parmi les autres catégories de la nomenclature Corine Land Cover, il paraît également pertinent d'intégrer dans les écosystèmes urbains, les cours d'eau traversant les surfaces artificialisées. En effet, ces derniers sont potentiellement pourvoyeurs de services à prendre en compte : bien être de la population, rafraîchissement, pouvoir tampon contre les inondations, etc. Il semble aussi plus pertinent d'y associer les « territoires artificialisés » dont le fonctionnement est solidaire des centres urbains, comme les zones industrielles ou commerciales, les équipements sportifs et de loisirs.

1.3.1.4 – Synthèse et résultats

Tableau 3 :

Synthèse des différentes notions de qualification de l'urbain (Cerema 2013)

	Unité urbaine (Insee)	Pôle urbain (Insee)	Aire urbaine (Insee)	Dichotomie Urbain/Rural au sein de la Commission Européenne	Zones urbanisées (Corine Land Cover)
Critères	■ Critère morphologique (continuité du bâti) ■ Critère démographique (seuil de population)	■ Critère morphologique (continuité du bâti) ■ Critère démographique (seuil de population) ■ Critère fonctionnel (nombre d'emplois)	■ Critère morphologique (continuité du bâti) ■ Critère démographique (seuil de population) ■ Critère fonctionnel (nombre d'emplois) ■ Aire d'influence	■ Critères démographiques (densité + seuil de population)	■ Critère morphologique (occupation du sol, seuil d'artificialisation du sol)

	Unité urbaine (Insee)	Pôle urbain (Insee)	Aire urbaine (Insee)	Dichotomie Urbain/Rural au sein de la Commission Européenne	Zones urbanisées (Corine Land Cover)
Définition	■ Commune ou ensemble de communes ■ et continuité du bâti (pas de coupure > 200m) ■ et > 2 000 habitants	■ Unité urbaine (non située dans la couronne d'un autre pôle urbain) ayant plus de 10 000 emplois. ■ On distingue les : • **Pôles urbains (ou grands pôles urbains) :** > 10 000 emplois) • **Moyens pôles urbains :** de 5 000 à 10 emplois • **Petits pôles urbains :** de 1500 à 5000 emplois	■ Ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave ■ **Aire = Pôle urbain+ couronne périurbaine** (communes rurales ou unités urbaines dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci) ■ On distingue les : • **Aires urbaines (ou grandes aires urbaines)** = Pôle urbain + couronne périurbaine • **Moyennes aires urbaines** = Moyen pôle + couronne périurbaine • **Petites aires urbaines** = Petits pôle urbain + couronne périurbaine	■ Mailles urbaines : • densité de population > 300 hab/km^2 • et population > 5 000 hab	■ Espaces structurés par des bâtiments et les voies de communication. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes représentent plus de 30 % de la surface totale. (Au-delà de 80 %, le tissu urbain est qualifié de continu)

	Unité urbaine (Insee)	Pôle urbain (Insee)	Aire urbaine (Insee)	Dichotomie Urbain/Rural au sein de la Commission Européenne	Zones urbanisées (Corine Land Cover)
Notions associées	■ **Communes urbaines / rurales :** une commune urbaine est une commune appartenant à une unité urbaine. Les autres communes sont dites rurales. ■ **Ville isolée :** unité urbaine située sur une seule commune. ■ **Agglomération multicommunale :** unité urbaine constituée de plusieurs communes, dont chacune concentre plus de la moitié de sa population dans la zone de bâti continu.		■ Les **communes multipolarisées** sont les communes dont au moins 40 % des actifs occupés résidents travaillent dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant. : NB : Ces communes ne font pas partie des aires urbaines. Elles leurs sont associées. ■ Les **communes périurbaines** sont les communes des couronnes périurbaines et les communes multipolarisées.		■ Territoires artificialisés : territoires constitués des zones suivantes : • Zones urbanisées • Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication • Mines, décharges et chantiers • Espaces verts artificialisés, non agricoles (+ cours d'eau)

Le maillon de base sur lequel nous appuierons pour l'Efese urbain est la commune, même si des données plus fines sont potentiellement disponibles (données infracommunales ou données satellitaires). À cette échelle en effet, les données sont gratuites et mobilisables à l'échelle nationale. Or, une commune réputée urbaine au sens de l'INSEE répond à un des critères de définition mais n'est donc pas entièrement couverte par l'urbanisation. À titre d'exemple, les 19 542 communes constituant la surface des grandes aires urbaines sur un total de 36 699 communes françaises sont réputées urbaines mais ne doivent pas nous renvoyer à une image de ville entièrement bâtie. Les données de population et

de densité de population sont disponibles à l'échelle communale et à l'échelle des aires urbaines (voir 2.1.2).

Les données de CLC permettent d'extraire des surfaces couvertes par l'urbain au niveau national et comparables à l'échelle européenne, mais leur maillage large de 25 hectares n'a pas d'intérêt pour une évaluation locale.

En revanche, les seules données disponibles sur les espaces de nature en ville à l'échelle nationale sont celles de l'urban atlas et ce seulement pour 28 unités urbaines en 2015 (voir 2.2.1).

Nombre de villes et agglomérations, et leurs agences d'urbanisme possèdent leurs propres données. Elles ont élaboré leur système d'information géographique et ont construit leur typologie. Il en résulte que ces données ne sont pas interopérables et donc pas adaptées à une exploitation nationale. Inversement, les données mobilisables à l'échelle nationale n'ont pour les collectivités qu'un intérêt mineur.

La région Île-de-France a réalisé des efforts considérables d'harmonisation des données, pour aboutir à une cartographie fine et homogène des modes d'occupation des sols (MOS). Elle a inventorié et cartographié sur un fonds parcellaire cadastral les éléments surfaciques et linéaires des milieux naturels dans ECOMOS et ECOLINE. Même si cette démarche régionale est novatrice, le travail essaime et d'autres collectivités semblent emboîter le pas… Mais si cette source de données présente un intérêt écologique certain pour l'évaluation aux différentes échelles de l'écosystème urbain, elle ne répond pas au souci de généralisation porté par l'EFESE, et ne pourra donc être mobilisée qu'à titre d'exemples.

Zoom

Les limites de l'écosystème urbain pour 2 pays européens

Espagne

Dans son rapport, l'Espagne a défini les principales caractéristiques des écosystèmes urbains par la présence d'une forte densité de population et les a cartographiés via les surfaces artificielles liées aux noyaux urbains. Elle a considéré que la ville est dans ce cas l'habitat de l'espèce humaine. Les espaces de nature présents dans les villes, ainsi que les éléments construits, doivent apporter et maintenir des services pour le bien-être humain. « L'écosystème urbain » représente un peu plus d'un million d'hectares, soit **2 % du territoire espagnol.** La carte de distribution de Surfaces artificielles en Espagne est basée sur **Corine Land Cover 2006.** Les limites des écosystèmes urbains sont étendues au-delà des noyaux habités, elles incluent toutes ces surfaces artificielles en rapport avec le fonctionnement des écosystèmes urbains.

Royaume-Uni

La frontière de l'urbain est également un élément analysé par le Royaume-Uni dans le cadre de l'évaluation des services écosystémiques. D'une manière générale les grands habitats identifiés au Royaume-Uni (Écosystèmes urbain, côtiers, marins, etc) ont été classés à partir de « **UK Land Cover Map 2000** » (LCM2000). Les aires urbaines sont définies comme « Built up Areas and Gardens » et comprennent les routes, les chemins de fer, les terrains à l'abandon (incluant les terrains vagues végétalisés), les jardins et les arbres urbains. Cela correspond à approximativement **6,8 % du territoire.**

Toutefois, dans le cadre des écosystèmes urbains, la définition de l'office national des statistiques (ONS, 2005) a également été utilisée. Elle correspond aux **aires contiguës avec plus de 10 000 habitants.** Cette définition reflète plus l'extension de l'urbanisation que ne le fait le LCM. Le critère de population supérieure à 10 000 habitants a été utilisé pour illustrer la répartition des aires urbaines. Il est important de noter que suivant les pays du Royaume-Uni, les méthodes pour délimiter les aires urbaines diffèrent. L'Irlande du Nord considère le bord des aires urbanisées des villes (towns et cities). En Angleterre et Pays de Galle, les limites sont basées sur des critères comprenant un certain nombre de ménages et de population. Ces aires sont nommées « ouput areas ». Elles varient en taille suivant la localisation, allant de petites aires à des aires de plusieurs centaines d'hectares.

1.3.2 – Limites retenues : le pragmatisme des limites de gouvernance

Deux tests cartographiques réalisés par le Cerema sur les villes de Rennes et Grenoble, illustrent deux manières de tracer le périmètre pour une évaluation de l'écosystème urbain, deux philosophies, limite conventionnelle ou limite fonctionnelle. L'une pragmatique s'appuie sur une limite existante priorisant la gouvernance en place. L'autre s'aventure à déplacer le trait de limite, à redessiner le périmètre de la ville pour qu'elle adopte le caractère de ville écosystème, ce

qui implique d'intégrer les facteurs de transformation comme la densité du bâti et de la population.

Dans tous les cas, contenir la ville dans un trait est un exercice périlleux dicté par l'évaluation qui ne s'accommode pas de la réalité d'un contour mouvant et flou. Ce trait en constante évolution, n'est-il pas déjà un des indicateurs pertinents de la dynamique de la ville ? Ces changements de limites seraient à mettre en correspondance avec les indicateurs de consommation d'espaces, qui ont peut-être vocation à devenir un indicateur d'interaction ou d'extension de l'écosystème urbain par rapport aux autres écosystèmes.

1.3.2.1 – S'appuyer sur une limite de gouvernance existante mais laquelle ?

Logiquement, les collectivités locales ont tendance à privilégier les frontières de leurs territoires, priorisant l'opérabilité de cette limite sur son caractère scientifique. Cependant, cette limite n'est pas unique : commune, agglomération, périmètre du SCoT (schéma de cohérence et d'organisation territoriale).

Zoom

Les limites de gouvernance de Grenoble et son agglomération

Le test a porté sur 2 limites de gouvernance, celle de la commune (16 100 habitants en 2015, 18,13 km^2) et celle de l'agglomération de Grenoble Alpes Métropole (450 000 habitants, 55 km^2).

La photographie aérienne ci-dessous est éloquente. L'urbain déborde par-delà le trait rouge de la limite communale de Grenoble malgré ses 1843 hectares. A l'opposé, on note l'inclusion au nord (haut de l'image) du quartier de la Bastille, en éperon montagneux sur la rive droite de l'Isère, qui contraste par sa tonalité verte. Au vu de cette première image, il paraît difficile de ne s'en tenir qu'à cette limite « exiguë ». L'écosystème urbain, se retrouve à l'étroit dans sa limite communale.

Avec 49 communes, l'agglomération grenobloise s'étend largement sur des milieux auxquels on n'attribue pas spontanément de caractère urbain : les rebords montagneux de la Chartreuse, du Vercors et de Belledonne. Aussi, apparenter ce territoire très extensif à l'écosystème urbain apparaît-il un peu abusif. En revanche, on saisit très nettement l'aptitude de cette photographie aérienne à parler de la ville dans son environnement naturel. Elle révèle l'identité de la ville en rapport avec les écosystèmes naturels alentours. Plus que la limite de l'écosystème urbain, la limite d'agglomération exprime les interfaces de cet écosystème avec ses voisins proches : les 3 montagnes, les vallées de l'Isère et du Drac, la confluence. Ceci participe nettement à la caractérisation biophysique de la ville écosystème.

Figure 6 : Photographie aérienne de la commune de Grenoble



Figure 7 : Photographie aérienne de l'agglomération Grenoble Alpes Métropole.



Tableau Comparaisons des ratios de surfaces occupées par la végétation, l'hydrographie et les bâtiments selon les 2 bases de données Corine Land Cover et la Bd topo pour l'agglomération de Grenoble.

1.3.2.2 – La limite communale, maillon stable, incontournable, et insuffisant

La limite communale n'est pas une limite scientifique, ce n'est donc pas une proposition écologique, mais elle n'est pas dénuée de pertinence, loin s'en faut. C'est un maillon de découpage stable proche du terrain sur lequel l'évaluation devra s'appuyer même si l'on venait à définir d'autres limites. Si l'on se fixe sur la limite d'agglomération, sur un plan purement pratique, on s'appuiera d'abord sur le maillon communal. Il faudra ensuite agglomérer les données à l'échelon communal.

1.3.2.3 – La limite d'agglomération, reflet de la ville en interface avec les écosystèmes environnants

Le périmètre d'agglomération est quelquefois très « extensif ». Aussi, les communes qui le composent ne se reconnaissent pas forcément elles-mêmes comme urbaines, même si leur activité et leur fonctionnement est en interdépendance avec la ville. En revanche, ce périmètre est apte à traduire la relation de l'écosystème urbain

à son environnement, notamment des habitants, de leurs migrations d'emploi, et de leur pratique de naturalité. Les stations montagnardes du Vercors, de Chartreuse et de Belledonne, qui jouxtent Grenoble, accueillent de nombreux habitants, qui privilégient un cadre d'habitat naturel, à proximité de la ville, qui leur offre un emploi. Et les citadins ont les trois massifs comme terrain de jeux pour le week-end et les vacances. La confluence du Drac et de l'Isère forme le « Y » grenoblois pris en étau entre les trois imposants massifs calcaires qui plantent le décor d'une ville à la montagne. L'étalement urbain stoppé par les abrupts les plus forts prend sa revanche dans les vallées. Point de convergence, horizon rapproché, la montagne entre dans les perspectives des rues grenobloises. Dans ce test, le périmètre d'agglomération autorise un dialogue des plus utiles entre la ville et son environnement, il est révélateur du paysage urbain. Il est apte à traduire les interfaces écosystème urbain/écosystèmes environnants. L'utilisation de cette limite de gouvernance suggère et raconte les interfaces et les interactions.

"Bien que l'on s'expose à certaines contradictions en se restreignant à une délimitation d'ordre purement politique et administrative, on y trouve par contre de grands avantages sur les plans pratiques et méthodologiques. L'unité structurale commune facilite la récolte de données statistiques et constitue un premier niveau de comparaison très utile." (Perez Mibelli 1978)

Ce qui au départ s'est posé comme une alternative entre l'une et l'autre, évolue vers une complémentarité. La commune s'impose comme le maillon pour le recueil de données, et la communauté d'agglomération comme le reflet de l'écosystème en interface avec les milieux environnants. Les échelles dialoguent, et leur emboîtement est le plus à même de décrire la ville dense dans son environnement plus large. À l'échelle européenne, les limites des territoires artificialisés de CLC pourront donner une estimation de la surface couverte par l'urbain sur le territoire national. Ainsi, les indicateurs d'état et de pressions des chapitres 5 et 6, fournissent des résultats au niveau de la commune et de l'agglomération.

1.3.3 – Affiner les limites des écosystèmes urbains en vue d'une évaluation locale

Bien qu'elle n'ait pas été retenue pour l'évaluation, cette hypothèse est présentée car elle nous semble avoir une valeur normative et opératoire pour des agglomérations qui se lanceraient dans une évaluation locale.

L 'approche de l'écologue pour qui un écosystème est avant tout un système fonctionnel, a conduit le groupe de travail écosystèmes urbains à envisager de "redessiner" des contours fins de la ville écosystème, selon des critères fonctionnels (Gt urbain, septembre 2013). Pour ce faire, l'hypothèse était de partir des limites administratives de l'agglomération et d'y inclure les principaux « drivers » ou "pilotes", densité de population et de bâti. Les données fonctionnelles disponibles en géomatique ont été mobilisées (tâche urbaine de la BD topo et carreaux de densité de population de l'INSEE supérieure à 10 habitants) et testées sur l'agglomération rennaise (Ille-et-Vilaine).

Les critères d'appartenance à l'écosystème urbain ont ainsi été retenus avec 4 niveaux :

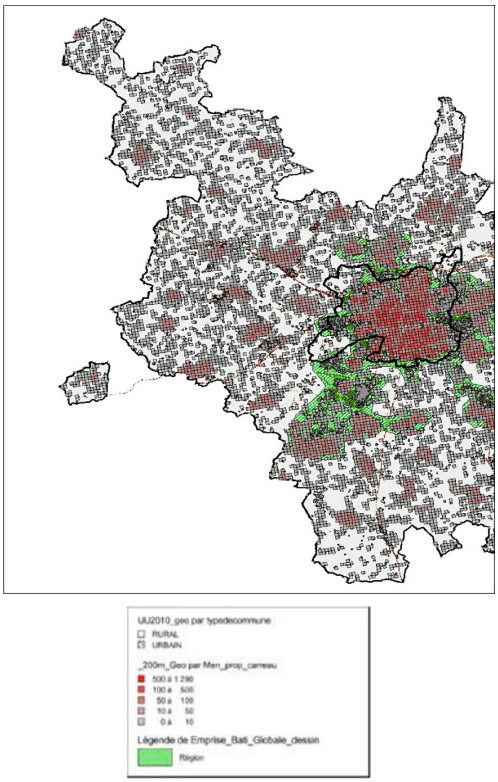
1er niveau : Respect de la dichotomie urbain / rural utilisée au sein de la commission européenne (Rappel : densité de population > 300 habitants/Km^2 et Population > 5000 habitants)

2e niveau : Appartenance à une agglomération unité urbaine telle que définie par l'Insee (Rappel : Continuité du bâti (pas de coupure > 200m) et Population > 2000 habitants)

3e niveau : Respect de critères de densité supérieure à 10 habitants selon l'IRIS ('INSEE.)

4e niveau : Respect de critères de continuités infracommunales (unité de base de l'Insee) avec outils basés sur l'occupation du sol BdTopo Tache bâtie et HR Layers imperméable, ou images stellitaires.

Figure 8 : En vert, l'écosystème urbain « Rennes » selon les 4 critères définis ci-dessus sur une base cartographique de l'agglomération rennaise et de la commune de Rennes



Le résultat (en vert sur la carte ci-dessus) est probant : il donne une appréciation plus fine et restrictive de l'écosystème urbain de Rennes, et reflète une meilleure hétérogénéité des milieux. Mais ce nouveau contour ne correspond plus en rien aux limites administratives ni à celles de l'INSEE : il n'est pas directement mobilisable à l'échelle nationale. Ainsi, cette méthode a été écartée pour l'EFESE.

Les limites administratives ou géomatiques sans "retouche" offrent une issue plus immédiatement opérante pour l'évaluation nationale. Pour une agglomération qui souhaiterait réaliser l'exercice d'évaluation, cette méthode permet de redessiner les contours de l'écosystème urbain selon des critères cartographiques de la Bd topo ou des critères de l'INSEE, et aller en deçà des limites communales.

Synthèse

Ce premier chapitre est dédié aux définitions, aux périmètres et aux typologies nécessaires au cadrage de ce qu'est un écosystème urbain et à son évaluation. Malgré leurs indéniables particularités, les écosystèmes urbains sont à considérer au même titre que les autres écosystèmes. Bien que pouvant être perçu comme un écosystème transformé de façon drastique comparativement à d'autres dont la naturalité est plus élevée, l'écosystème urbain a sa place dans l'évaluation nationale.

Le terme « d'écosystème urbain » est lié à un long historique, débuté en 1925, d'évolution d'une terminologie visant à qualifier la partie « naturelle » de la ville ou plus largement les interactions de l'homme avec celle-ci : écologie urbaine, espaces verts, nature en ville, cadre de vie, qualité de vie… Suivant les époques et les acteurs (sociologues, biologistes, écologues, chercheurs, politiques, collectivités), l'utilisation de ces termes reste très variable.

L'écosystème urbain se constitue d'espaces très divers dans leurs formes, tailles, leurs degrés de naturalité ou d'artificialité (arbres d'alignement, toitures végétalisés, squares, jardins privés, potagers, milieux humides, bois, etc.) Selon leur degré de naturalité, certains pourraient être rattachés à d'autres écosystèmes étudiés dans l'EFESE.

L'entité à étudier est de surcroit difficile à circonscrire ; aucune définition de la ville ou de l'urbain n'est disponible réglementairement parlant, ni consensuelle. Les contours d'études doivent donc s'articuler entre des délimitations physiques pertinentes et des zones de gouvernance cohérentes. Les écosystèmes ont des définitions très diverses selon les disciplines.

Nous retiendrons ici, en lien avec le cadre conceptuel de l'Efese, que le bâti et l'humain ne font pas partie de l'écosystème urbain. L'EFESE urbain centre son évaluation sur les espaces de nature. Cela constitue un cadre d'analyse mais aussi une limite.

Selon le niveau de « naturalité », le niveau des fonctionnements écologiques étudiés et les données disponibles, plusieurs échelles d'analyses de cet écosystème urbain restent nécessaires. Ainsi, 3 niveaux se complètent : l'espace de nature terrestre ou aquatique (vision plus écologique), la ville dense (vision de fonctionnalité) et le milieu urbain inscrit dans un paysage (vision d'interface).

1. L'écosystème urbain renvoie à trois niveaux d'appréhension : 1) L'espace de nature 2) La ville 3) La ville dans son environnement
2. Notons cependant que les autres écosystèmes étudiés dans la cadre du programme Efese, bien que paraissant plus "naturels" d'un premier abord, ne peuvent se prévaloir non plus totalement de ce terme.
3. Schéma de cohérence territoriale : document d'urbanisme qui détermine, à l'échelle de plusieurs communes ou groupements de communes, un projet de territoire visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles.
4. Il existe également quelques expériences à l'étranger : une nomenclature basée sur 12 « sous-habitats » proposée par le Royaume-Uni et une typologie proposée par (Bolund et Hunhammar 1999).

CHAPITRE 2

Place en France, cartographie et interfaces avec d'autres écosystèmes

En 2010, 51,6 % de la population mondiale vivait dans les aires urbaines. Cette moyenne variait jusqu'à 77,5 % pour les régions les plus développées (*Cf.* Tableau 2.1). À l'horizon 2050, la population urbaine mondiale atteindrait, sous l'influence de la croissance démographique et de l'attractivité des villes ou de l'exode rural, 67,2 % en moyenne. Amérique du Nord, Amérique du Sud et Europe, resteraient comme aujourd'hui les continents présentant la plus forte population urbaine de la planète. Mais le déséquilibre entre régions moins développées (64,1 %) et régions plus développées (85,9 %) serait moins important. (IPCC WGII AR5 Chapitre 8 – (GIEC 2013)). La France ne déroge pas à la tendance mondiale, ce qui rend la question de la ville durable toujours plus déterminante. Même si ces chiffres sont souvent avancés, il ne faudrait pas perdre de vue leur relativité, pour l'évaluation espagnole, la ville commence à 10 000 habitants, pour la France à 2000.

Tableau 4 :

Distribution de la population urbaine par région de 1950 à 2010 avec les projections 2030 et 2050.
(Source IPCC WGII AR5 Chapter 8)
(GIEC 2013)

Urban population (millions of inhabitants)						
Major area, region, country or area	**1950**	**1970**	**1990**	**2010**	**Projected for 2030**	**Projected for 2050**
World	745	1,352	2,281	3,559	4,984	6,252
More developed regions	442	671	827	957	1,064	1,127
Less developed regions	304	682	1,454	2,601	3,920	5,125
Least developed countries	15	41	107	234	477	860
Sub-Saharan Africa	20	56	139	298	596	1,069
Northern Africa	13	31	64	102	149	196
Asia	245	506	1,032	1,848	2,703	3,310
China	65	142	303	660	958	1,002
India	63	109	223	379	606	875
Europe	281	412	503	537	573	591
Latin America and the Caribbean	69	163	312	465	585	650
Northern America	110	171	212	282	344	396
Oceania	8	14	19	26	34	40
Percent of the population in urban areas						
World	29.4	36.6	43.0	51.6	59.9	67.2
More developed regions	54.5	66.6	72.3	77.5	82.1	85.9
Less developed regions	17.6	25.3	34.9	46.0	55.8	64.1
Least developed countries	7.4	13.0	21.0	28.1	38.0	49.8
Sub-Saharan Africa	11.2	19.5	28.2	36.3	45.7	56.5
Northern Africa	25.8	37.2	45.6	51.2	57.5	65.3
Asia	17.5	23.7	32.3	44.4	55.5	64.4
China	11.8	17.4	26.4	49.2	68.7	77.3
India	17.0	19.8	25.5	30.9	39.8	51.7
Europe	51.3	62.8	69.8	72.7	77.4	82.2
Latin America and the Caribbean	41.4	57.1	70.3	78.8	83.4	86.6
Northern America	63.9	73.8	75.4	82.0	85.8	88.6
Oceania	62.4	71.2	70.7	70.7	71.4	73.0

2.1 – Place et cartographie des milieux urbains en France

L'image des pollutions lumineuses donne une première visualisation de la place des écosystèmes urbains sur le territoire métropolitain. Comme dans un diptyque, la carte des 241 grands pôles urbains français, produite par l'Institut National de la statistique et des études économiques, lui répond, s'appuyant sur les données de population et d'emploi. Confirmant les chiffres mondiaux, les deux s'accordent à dire que la France s'est urbanisée sur une grande partie de son territoire. Elles illustrent les propos de Jean-Pierre Paulet, « L'ère des villes bien circonscrites, s'opposant clairement à la campagne est terminée : on est entré dans une époque d'urbanisation diffuse, complexe mais générale » (Paulet 2010).

2.1.1 – La pollution lumineuse, témoin de la place des milieux urbanisés en France

Les images satellitaires de la France nocturne fournissent une première visualisation de la place et la répartition des villes de la métropole (site Avex, 2011, https://www.avex-asso.org/dossiers/wordpress/fr_FR/).L'éclairage constitue un élément de contraste notable apte à traduire une gradation de l'anthropisation des milieux. Les dégradés de jaune oranger font ressortir par leur luminosité l'urbain dense et sa large périphérie et s'affichent sur la quasi-totalité du territoire. Les hauts sommets de l'arc alpin et des Pyrénées, les Cévennes, les lacs et estuaires se distinguent au contraire par leur teinte sombre, où s'affirme une plus grande naturalité. Même si le code couleur joue son rôle dans l'interprétation, on notera le manque de contrastes net entre l'urbain et le rural qui reflète une dichotomie ville campagne de moins en moins tranchée.

Figure 9 : Pollutions lumineuses
Source/autorisation publication : http://avex-asso.org/dossiers/pl/france/zoom/cdf-normale.html



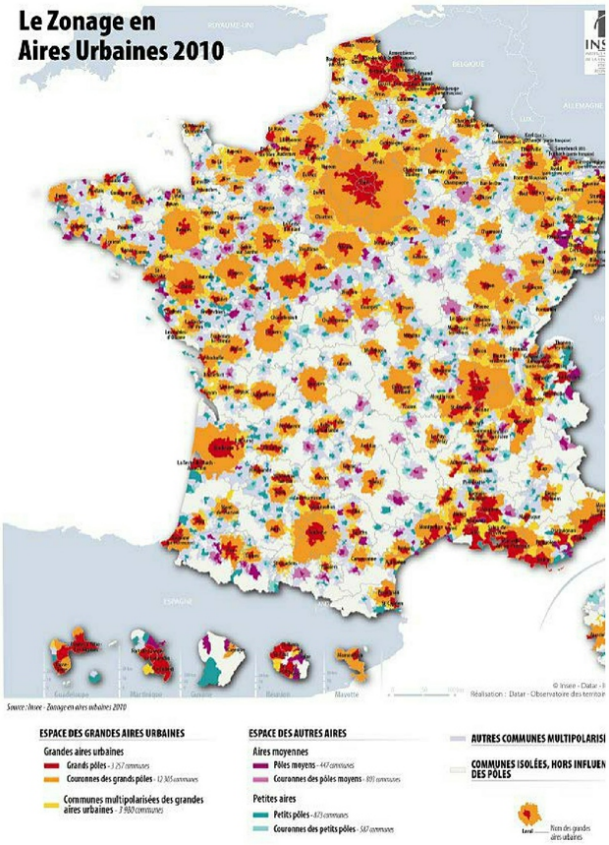
2.1.2 – *Les aires urbaines françaises selon l'INSEE*

La population urbaine française (Source : *https://www.insee.fr/fr/information/2115011*) a été caractérisée selon qu'elle réside ou non dans l'une des 792 aires urbaines selon le découpage établi par l'Insee en 2010 (données basées sur le recensement 2008) et atteindrait selon cette classification 85 % de la population nationale. Si l'on considère

seulement les 241 grandes aires urbaines, le pourcentage est de 77,4 %, soit dans la moyenne des régions françaises les plus développées (77,5 %) mais est 5 % plus élevé que la moyenne européenne.

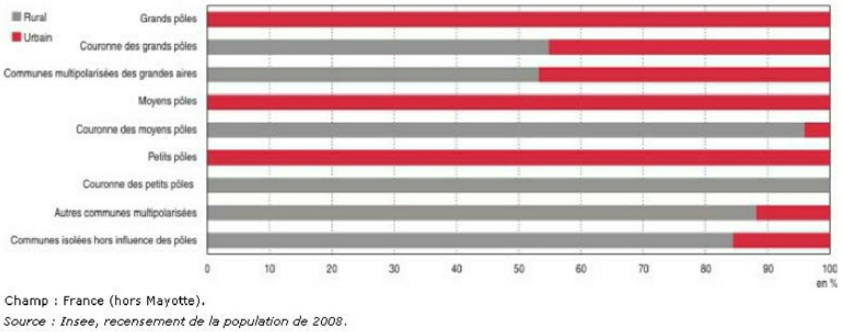
En métropole, entre 1999 et 2008, la périurbanisation se poursuit. Les emplois se concentrent davantage dans les grands pôles urbains, alors que de nombreux ménages font le choix de s'en éloigner. Résultat de ces deux effets conjugués, un grand nombre de communes entrent dans l'espace d'influence des grandes aires urbaines. Pour l'Insee, le périurbain correspond aux communes dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans un (ou des) pôle(s) ou dans des communes attirées par celui-ci. Les communes périurbaines sont ainsi les communes des couronnes périurbaines et les communes multi-polarisées.

Figure 10 : Zonage en aires urbaines 2010
source : INSEE



La croissance des grands pôles urbains est forte, mais celle de leurs couronnes est encore plus marquée. Les grands pôles urbains et l'espace périurbain couvrent en 2008 la moitié du territoire et rassemblent plus de 80 % de la population et des emplois. La plupart des grandes aires continuent de s'étendre certaines très fortement, comme Lyon, Avignon ou Saint-Étienne. D'autres, comme Lille, conservent leur périmètre de 1999. L'extension territoriale s'accompagne souvent d'une densification de la population sur certaines parties du territoire. La combinaison et l'intensité de ces deux mouvements (extension territoriale et densification) permet de distinguer plusieurs types de croissance des grandes aires urbaines (Insee) (Brutel et Levy 2011). L'Insee met également en évidence, de par son zonage en aire urbaine, la présence simultanée de communes rurales et urbaines au sein des mêmes zones d'échanges entre domicile et travail.

Figure 11 : Part de la population urbaine et rurale selon les catégories du zonage en aires urbaines
Source : INSEE



Champ : France (hors Mayotte).
Source : Insee, recensement de la population de 2008.

2.1.3 – *Un écosystème humain toujours plus urbain*

« En 1934, la population urbaine est équivalente à la population des communes rurales. Aujourd'hui la population urbaine est majoritaire. » (Paulet 2010). L'Insee a également mis en évidence que, selon une approche fonctionnelle du territoire qui permet d'apprécier l'influence des villes au-delà de leurs limites physiques définies par la continuité du bâti, ce serait 95 % de la population totale qui vit sous l'influence des villes.

La France a une densité de population de 115 habitants au km^2 en métropole et 97 habitants/km^2 en comptant l'outre-mer. Mais la densité de population en région parisienne atteint près de 1000 hab/km^2 soit près de 9 fois la densité moyenne française.

Les 5 plus grandes aires urbaines en nombre d'habitants, population des agglomérations comprises, étaient en 2006 : Paris, Lyon, Marseille, Lille, Toulouse. Les 5 plus grandes villes de France en nombre d'habitants en ne tenant compte que de la population communale, hors agglomération, étaient en 2006 : Paris, Marseille, Lyon, Toulouse, Nice. Paris est la plus grande ville de France avec plus de 2,2 millions d'habitants (population communale). Son aire urbaine représente plus de 11,7 millions d'habitants pour plus de 1500 communes.

2.1.4 – Une poussée urbaine toujours à l'œuvre

Au sein de l'Union européenne, en matière d'occupation du sol, Corine Land Cover 2006 nous permet de dire que sur les 55 millions d'hectares que couvre la France métropolitaine 2,7 sont artificialisés, soit **environ 5,8 % de la superficie totale en 2006, contre 4,8 % en 2000, et 4,4 % en 1990.** Pour l'outre-mer, la Guyane avec la forêt amazonienne se démarque en restant largement en dessous de 0,1 %, tandis que Martinique, Réunion et Guadeloupe offrent des niveaux comparables et relativement élevés de 11 %. Ont été retenues ici les catégories Zones urbanisées ; Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication, Espaces verts artificialisés, non agricoles et à l'exclusion de la Mines, décharges et chantiers. La progression est nette et sans appel : le développement de l'urbanité s'accompagne d'une prédation de la ressource sol, par définition inextensible.

2.2 – Place et cartographie des espaces de nature au sein des villes françaises

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, chaque individu doit avoir accès à un espace de nature de proximité et le territoire doit être en mesure de répondre à cette norme pour une question de santé publique. **La circulaire du 8 février 1973 relative à la politique des espaces verts donne une référence de 10 m^2 par habitant en zone centrale urbaine et de 25m^2 d'espaces verts en zone périurbaine** (Ministre délégué auprès du Premier Ministre, chargé de la protection de la nature et de l'environnement 1973). **Ainsi, les "m^2/habitant" constituent l'indicateur usuel pour faire état des potentialités et des carences du territoire en matière d'espaces de nature en ville**. Il a été introduit par l'urbaniste Eugène Hénard dès 1903 pour comparer les surfaces d'espaces verts de Londres et Paris. La superficie d'espaces de nature urbaine se trouve être principalement corrélée à la superficie totale de la ville. Ainsi, la plus grande ville de France dispose-t-elle de la plus grande étendue de surfaces de nature tout en étant l'une des agglomérations où la densité d'espaces verts, 2,50 m^2 par habitant (11 m^2 si l'on compte les bois) s'affiche comme la plus faible d'Europe.

(Circulaire du 8 février 1973
http://publications.eti-construction.fr/publications/espaces-paysagers-ti286/reperes-juridiques-sl5407375en/circulaire-du-8-fevrier-1973-relative-a-la-politique-d-espaces-verts-1-sl5407547.html)

2.2.1 – *Données européennes versus données locales*

L'examen de quatre bases de données à l'échelle communale (CLC, BD topo, Urban atlas, BD communale) met en évidence des écarts notables sur le recensement des bâtiments, de l'hydrographie et de la végétation.

Figure 12 : Surface de la végétation, l'hydrographie et les bâtiments sur la surface totale de la commune selon 4 bases de données à Grenoble.

	Végétation	Hydrographie	Bâtiments
BD TOPO	12,37 %	4 %	22,25 %
CLC	3,3 %	3,5 %	60,4 %
Urban Atlas	10,8	6,4 %	62,2 %
BD Locale	23 %	4 %	22,25 %

Corine Land Cover est une base de données produite au 1/100 000e. Elle est efficiente pour donner une image de la couverture spatiale de l'urbain au niveau national. En revanche, elle manque de pertinence lorsqu'il s'agit d'exprimer la surface et la répartition de la végétation qu'elle minimise en raison d'une absence de comptage des linéaires, et d'une maille de 25 ha "démesurée" pour le recensement des espaces verts urbains hormis les grands parcs. Aussi aboutit-elle à 3,3 % de végétation là où une base de données locale grenobloise en compte 23 %.

Mais à la différence de CLC, cette base locale n'a pas la vertu de la réplicabilité aux autres villes françaises. Elle référence souvent les linéaires, que l'emprise surfacique va exclure des autres bases.

L'Urban atlas couvre en 2015 une trentaine de villes françaises avec un niveau de détail médian, qui approche celui de la BD topo. La BD Topo est une base de données grande échelle de l'IGN (Institut national de l'information géographique) qui pourrait être mobilisable à l'échelle nationale.

Les représentations ci-dessous s'y référant témoigne du différentiel entre les résultats de 3 base de données. Que les différentes sources de données aux échelles européennes, nationales ou locales n'aboutissent pas aux mêmes résultats n'est pas une surprise mais cela parait amplifié en milieu urbain. Les moyens techniques et les compétences dont disposent la plupart des collectivités, leur ont permis de produire leurs propres bases de données avec une finesse d'échelle adaptée à leurs besoins. Ces bases, si elles s'inspirent le plus souvent de celles nationales de l'IGN ou européennes comme CLC, restent des « spécimens ». La dispersion et la spécificité locale des données cartographiques entravent leur utilisation et exploitation pour une échelle nationale.

Figure 13 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source BD topo)

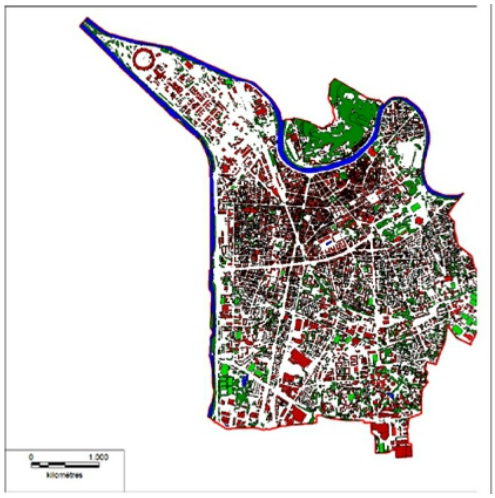
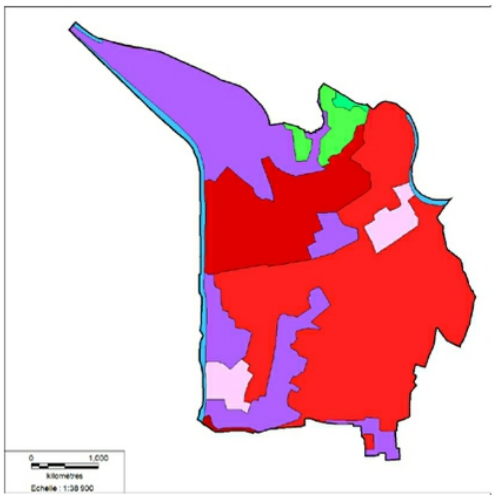


Figure 14 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : Urban Atlas)



Figure 15 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : CLC)



Ainsi, la base de données CLC privilégiée pour l'EFESE s'avère efficiente pour révéler les surfaces urbanisées, mais insuffisamment efficiente à l'échelle des espaces de nature. Les BD locales sont sous certaines réserves mobilisables mais rarement comparables à l'échelle nationale.

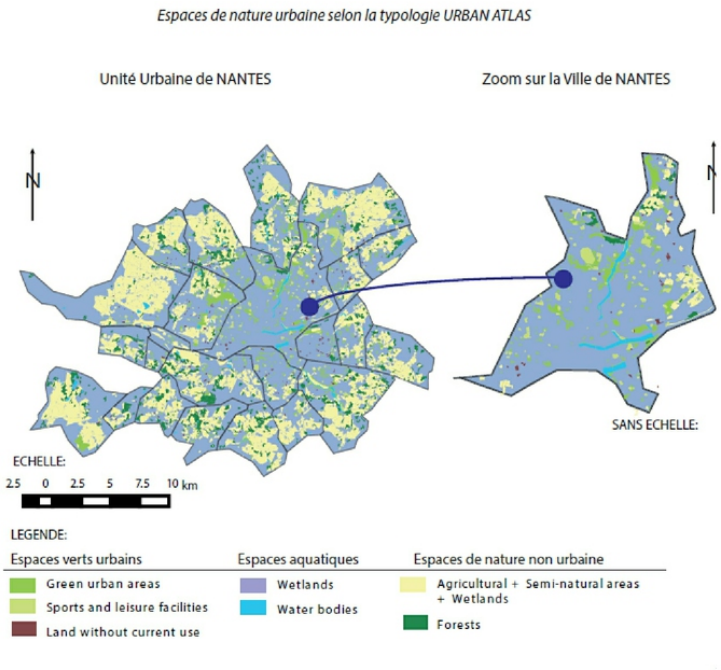
Cela amène pour la suite à opter pour l'Urban atlas qui couvre en 2015 une trentaine de villes françaises, complété des cartographies spécifiques.

2.2.2 – Panorama de 28 unités urbaines de plus de 200 000 habitants selon l'urban atlas

La base cartographique européenne Urban Atlas permet d'élaborer un panorama des surfaces de nature en ville sur le panel de 28 unités urbaines françaises qui dépassent 200 000 habitants définies par l'INSEE (Voir Annexe n° 2.2 : Tableau Récapitulatif des 28 Unités Urbaines. Les trois cartes ci-dessous présentent le pourcentage d'espaces verts pour la première, celui d'espaces aquatiques pour la deuxième, la densité d'espaces verts par habitant pour la troisième. La typologie de l'Urban atlas compte sept types d'espaces à caractère naturel dont l'agriculture et la forêt, que nous avons regroupés en trois catégories afin de mettre en évidence les espaces verts qualifiés d'urbains, et les milieux aquatiques (illustration 15).

L'analyse des trois cartographies permet de constater que plus la superficie de l'unité urbaine est grande, plus la superficie d'espaces de nature urbaine terrestre augmente. Paris justifie sa place de première avec sa superficie qui devance de loin les autres unités urbaines. Le même constat s'applique au taux de surfaces aquatiques. Pour les unités urbaines côtières comme Montpellier, Toulon ou Le Havre dont les eaux littorales ne sont pas prises en compte par les données urban atlas, l'interprétation est rendue hasardeuse.

Figure 16 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : CLC)



Typologie des espaces de nature urbaine Urban Atlas de Nantes (Sources Urban Atlas)

Figure 17 : Pourcentage d'espaces de nature sur 28 unités urbaines (source Cerema d'après données urban atlas)

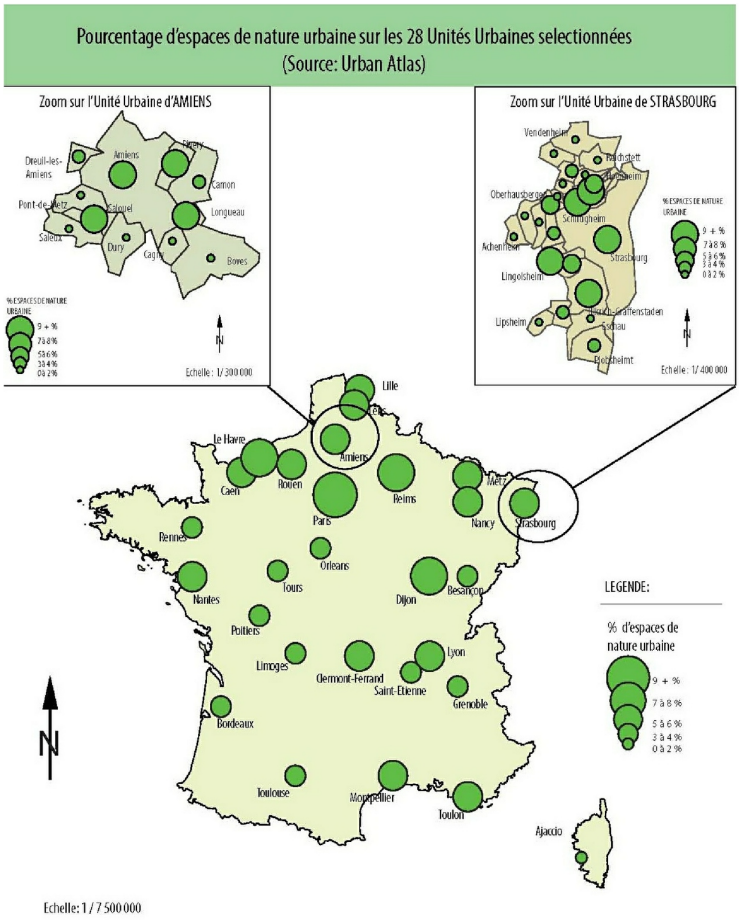
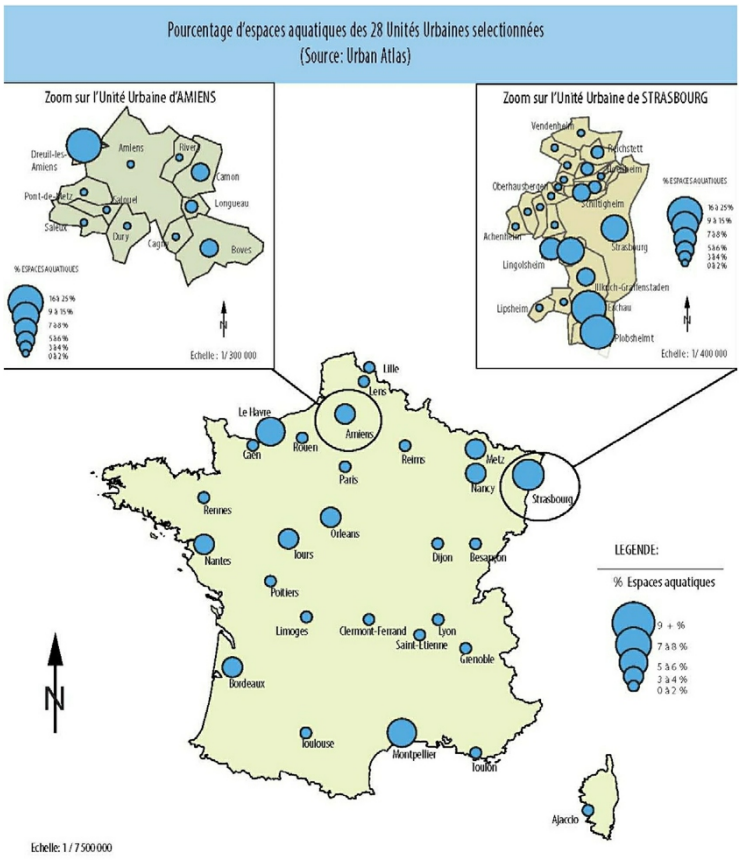


Figure 18 : Carte du pourcentage d'espaces aquatiques par unité urbaine.

(Sources : Données Urban Atlas ; Appartenance géographique des communes à l'unité urbaine au 1er janvier 2013 de l'INSEE, https://statistiques-locales.insee.fr/#c=home)



Aucune corrélation n'a pu être effectuée entre la superficie totale de l'unité urbaine et sa densité en espaces de nature urbaine par habitant. Une unité urbaine de grande superficie ne présente pas obligatoirement une forte superficie d'espaces de nature urbaine ramenée à sa population. Ainsi, Paris se caractérise par la superficie la plus élevée d'espaces verts, mais par la dernière place pour la densité d'espaces de nature urbaine par habitant. L'exemple de l'Unité Urbaine du Havre conforte cette hypothèse. Avec une superficie 14 fois inférieure à celle de Paris, le Havre présente la deuxième plus forte densité de nature urbaine par habitant.

Intéressons-nous maintenant à la densité d'espaces de nature par habitant comparées à la densité de population, les résultats montrent dans ce cas une forte corrélation négative. Les unités urbaines les plus densément peuplées présentent les densités

d'espaces de nature urbaine par habitant les plus faibles, même si de par leurs grandes superficies totales celles-ci présentent un fort taux d'espaces de nature urbaine.

Parler en termes de pourcentage de superficie d'espaces de nature urbaine ne représente donc pas l'analyse la plus justifiée pour faire état des niveaux de présence de nature en ville des unités urbaines. La densité par habitant apparaît comme un indicateur plus pertinent. De plus le taux moyen préconisé dans la circulaire du 8 février 1973 relative à la politique d'espaces verts, pose une référence et permet aux communes des unités urbaines de pouvoir se positionner et s'orienter en fonction de leurs potentialités et carences.

Les moyennes placent les espaces de nature urbaine autour de 40m^2 par habitant. Dans **95 %** des cas les unités urbaines respectent avec une marge importante les **10m^2** recommandés par la circulaire du 8 février 1973.

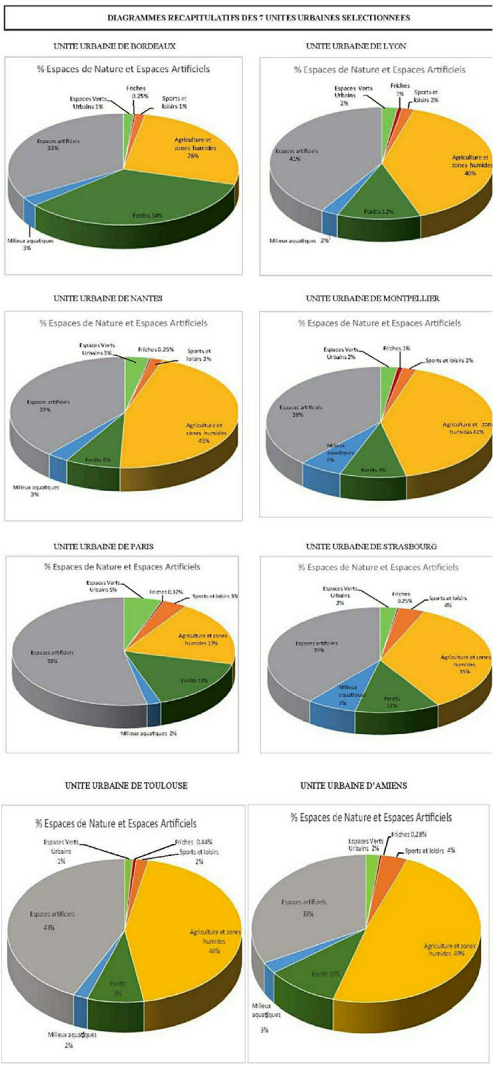
Compte tenu de la disparité de répartition des espaces de nature au sein d'une unité urbaine, il est important d'approfondir ces analyses à l'échelle des communes la composant. L'équilibre dynamique d'un territoire en matière d'espaces de nature urbaine n'est pas homogène et témoigne de grandes inégalités de répartitions sur certaines communes comme l'illustre le détail des unités urbaines de Strasbourg et d'Amiens. Concernant l'unité urbaine d'Amiens, la contribution au taux d'espaces de nature urbaine de la commune de Boves par exemple est 10 fois inférieure à celle de Salouel. (Annexes n° 2.2 : Tableau Zoom sur Amiens et Strasbourg et 2.3 : Analyses statistiques des 28 unités urbaines)

Les données de l'urban atlas sur 28 unités urbaines sont parlantes au niveau national pour la densité d'espaces verts par habitant -notons cependant l'absence de villes ultramarines-. La comparaison des milieux aquatiques présents dans les villes n'est permise que pour les unités urbaines non côtières. Pour les agglomérations concernées, la comparaison est intéressante. D'autres indicateurs comme la proximité et l'accessibilité à des espaces de nature diversifiés (square avec jeux d'enfants, parc propice aux sports, espace très naturel en rupture avec l'ambiance urbaine, espaces forestiers et agricoles, zones calmes) s'avère un enjeu majeur pour les politiques publiques territoriales.

2.2.3 – Zoom sur 8 métropoles françaises

Les nouvelles attentes des citadins en matière de nature en ville ont un impact affirmé aujourd'hui sur l'action publique dans le domaine de l'aménagement du territoire urbain. Excepté les grandes unités urbaines de Paris et Bordeaux qui se distinguent par une forte proportion de forets urbaines, les autres unités urbaines du territoire présentent une répartition spatiale des différents espaces de nature et artificiels qui les composent relativement homogène. (Annexe n° 2.4 : Zoom sur les résultats des 8 unités urbaine

Figure 19 : Diagrammes récapitulatifs des 8 unités urbaines sélectionnées.
(Sources :
Données Urban Atlas ; Appartenance géographique des communes
au 1er janvier 2013 et Population légale de 2011 de l'INSEE, https://statistiques-locales.insee.fr/#c=home)



On remarque une répartition globale relativement homogène sur 8 des unités urbaines. Le couvert artificiel se situe entre 30 % et 40 % pour 6 unités urbaines exceptée Paris qui se place en première position avec 53 %.

Le couvert forestier sur 5 des unités urbaines est compris entre 8 % et 12 %. Paris présente un taux de 16 %. Bordeaux quant à elle, présente le taux le plus fort de 34 % générant un fort contraste avec les autres unités urbaines.

Le couvert agricole avoisine 40 % relativement sur 5 des unités urbaines. Seules Paris et Bordeaux présentent un taux plus faible, compensé par l'espace forestier pour Bordeaux et artificialisé pour Paris.

La corrélation entre la superficie de l'unité urbaine et les espaces verts urbains s'exprime au travers du fait que Paris affiche le plus fort pourcentage : 5 %. Nantes présente un taux de 3 % d'espaces de nature pour une superficie urbaine inférieure à celles de Lyon, Bordeaux et Toulouse, dont les pourcentages oscillent entre 1 % et 2 %. Les friches restent les espaces les plus faiblement représentés (inférieur à 1 %).

Strasbourg présente un taux d'espaces de sport et loisir de 4 %, là où les autres unités urbaines se situent entre 1 % et 3 %.

Les milieux aquatiques démarquent Strasbourg et Montpellier des 5 autres unités urbaines (6 % et 7 %). Mais ces résultats sont à relativiser avec l'exclusion des eaux littorales. En effet Montpellier verrait son taux fortement modifié avec la prise en compte des superficies d'eaux littorales.

L'intégration des superficies agricoles et forestières dans cette analyse est une façon de rappeler les échelles d'appréhension de la nature en ville et de la ville dans le grand paysage. Cependant, les espaces agricole et forestier des périphéries urbaines peuvent donner lieu à des perceptions, des usages et des appropriations très contrastées. L'espace agricole peut être perçu quelquefois comme un "ailleurs radical, un espace étranger à la ville, et non comme une opportunité d'élargir l'espace récréatif au quotidien." Le fait de pouvoir aller à pied "à la campagne" plus facilement qu'en centre-ville, n'est pas un argument influençant leur fréquentation (Dumont et Hellier 2010).

2.3 – Interface avec les autres écosystèmes

Ce sont les ménages contre les aménageurs qui ont fabriqué l'expansion périurbaine, se plaît à dire Martine Berger (2004) (Bailly et Duret 2012). Les interfaces entre l'écosystème urbain et les écosystèmes en continuité sont rarement linéaires. Il peut s'agir d'un face à face prompt et brutal, ou plutôt d'une intrication. L'interface ne se contente plus d'obéir à des critères de spatialité, il fait appel à la fonctionnalité. Les périphéries urbaines sont devenues un fait sociétal que l'on peine encore à appréhender (Dumont et Hellier 2010).

Comme l'explique clairement (Aguejdad 2009) dans sa thèse sur l'étalement urbain, « le clivage ville/campagne, urbain/rural s'estompe de plus en plus et on se trouve en face d'une autre réalité beaucoup plus complexe, les espaces périurbains. Ces espaces mixtes offrent le sentiment d'être à la fois en ville et en campagne ou posent un problème d'identité : on ne sait plus si on est en ville ou en campagne. « Désormais omniprésent, l'étalement urbain combiné à la recomposition de villes remodèle la géographie fabriquant des territoires hybrides, ni urbains ni ruraux » (Mangin 2004), qui sont une marque récente des mutations profondes du couple espace-société ».

Sous l'œil de l'écologue qui s'attache à définir leur biodiversité, les villes présentent plus de ressemblances que de caractères distinctifs. C'est leur insertion dans le paysage qui les entoure et les a fabriquées, qui leur confère une singularité écologique, paysagère et symbolique. (Groupe de travail « Ecosystèmes et services écosystèmiques » 2013).

Les atlas de paysage qui incluent de plus en plus systématiquement les milieux urbains pourraient contribuer à traduire cette singularité, qui fait que le paysage urbain de Nantes n'est pas celui de Bordeaux tout aussi fluviale et atlantique (Atlas de Gironde, de Loire Atlantique, Bouches du Rhône…). Les atlas des paysages, outil de connaissance, se sont déployés depuis la loi paysage de 1993 sur l'ensemble du territoire national, portés par les départements. Si les méthodologies ne sont pas strictement homogènes, ils subdivisent généralement leur territoire en unités paysagères, qu'ils décrivent précisément dans leur structure, leur organisation comme dans leur évolution. Si ce n'était pas le cas des premiers atlas de paysage, les atlas les plus récents, ou ceux qui ont été réactualisés se sont aventurés à inclure aussi les paysages urbains.

L'interface entre les écosystèmes urbains et les autres écosystèmes constituent les espaces péri-urbains. Ceux-ci sont difficiles à délimiter par un trait de crayon, et se caractérisent par leur dynamique (chapitre 7).

Les atlas de paysage constituent, dans le cadre de l'évaluation des écosystèmes urbains, une ressource précieuse, gratuite et disponible pour aborder de manière qualitative la question des interfaces entre le paysage urbain et les autres unités paysagères.

Synthèse

Ce deuxième chapitre présente la place que prend l'urbain en France et dans le monde, son expansion galopante et ses limites géographiques de plus en plus difficiles à définir. Il questionne les échelles d'urbanités et les outils disponibles pour l'élaboration d'indicateurs, quantitatifs mais aussi qualitatifs, homogènes et pertinents.

La population mondiale est de plus en plus urbaine et constitue 72,7 % en moyenne de la population des pays Européens en 2010 et jusqu'à 82 % en Amérique du Nord. Ces éléments sont confirmés en France avec l'analyse des aires urbaines de l'INSEE mais surtout on constate que l'aire d'influence des villes dépasse leurs limites physiques et qu'il y a une difficulté croissante pour caractériser cette « limite », ce « clivage » entre urbain et rural. La limite est de plus en plus floue et fluctuante selon les indicateurs retenus.

L'EFESE urbain s'est arrêté sur les données issues de l'« urban atlas » sur les 28 aires urbaines françaises de plus de 200 000 habitants. D'autres indicateurs quantitatifs (proximité, accessibilité) et qualitatifs (lecture paysagère) sont nécessaires pour caractériser les singularités écologiques, paysagères et symboliques de chacune de ces villes.

Chapitre 3

Fonctionnement de l'écosystème et biodiversité

Adapter la définition de l'écosystème au modèle que constitue la ville fait apparaître plusieurs particularités de l'écosystème urbain :

- L'espèce humaine prédomine tant par sa présence que par son impact, et la part prise dans la « fabrication » de l'écosystème. L'EFESE place l'homme hors de l'écosystème puisqu'il est considéré comme le bénéficiaire des services écosystémiques (et non le co-auteur de ses services) qui seront traités dans les chapitres 8 et suivants. Élisée Reclus cité par (Paquot et al. 2010) resitue la place complexe de l'homme dans la nature, à la fois élément, observateur et partie prenante du système : « L'homme est la Nature prenant conscience d'elle-même. »

- La biocénose de l'écosystème urbain est marquée par, du fait de la déstructuration de nombreux sols ou de leur imperméabilisation, une faible proportion de producteurs primaires et des décomposeurs.

- À l'échelle de la ville, la faible proportion de producteurs primaires fait que le flux d'énergie et de matières premières endogènes reste faible. L'écosystème urbain est tributaire des matières et de l'énergie fournies par les autres écosystèmes (matières exogènes) ; la lumière solaire et des dépôts atmosphérique de nutriments minéraux constituent alors la principale source d'énergie entrant dans l'écosystème.

- L'écosystème urbain est constitué d'éléments hétérogènes mais fortement interdépendants, sa cohérence interne ne peut exister que grâce à des connexions puissantes avec l'extérieur. Ceci entraîne un risque de fragilité accrue par rapport à d'autres écosystèmes dans sa capacité d'adaptation et d'évolution, fragilité qui peut se manifester en temps de crise.

- Ainsi, l'écosystème urbain ne peut être appréhendé de manière isolée, mais seulement par le biais de ses interactions avec les autres écosystèmes ou bien à une échelle territoriale.

3.1 – Caractéristiques du biotope

3.1.1 – Des sols majoritairement artificialisés

Le milieu urbain est globalement très minéral et majoritairement imperméabilisé (bâtiments, parkings, routes).

En dehors des zones imperméabilisées, les sols ont régulièrement été remaniés et modifiés ce qui entraîne une importante hétérogénéité de structure, de texture et de composition chimique (*Cf.* zoom sur les anthroposols). Ils ont tendance à être fortement perturbés en raison des activités humaines intenses et peuvent même être exogènes, c'est-à-dire importés depuis un site extérieur à la ville (Boeuf et Gregory, 1991 ; (Craul 1999). En effet, il n'est pas rare d'éliminer la partie supérieure de la couche arable et de mettre en place de solides fondations dans le sous-sol et/ou la roche sous-jacente pour soutenir le bâtiment ou l'infrastructure, avant de poursuivre la construction (Commission européenne 2012).

Certains sols, parfois très peu profonds, sont fortement compactés par le piétinement, le tassement et les vibrations. Il en résulte une mauvaise aération qui contraint drastiquement le développement des systèmes racinaires des végétaux et crée un milieu peu favorable pour la faune du sol.

À l'inverse, d'autres sols urbains sont très rapidement drainés en raison des déblais de constructions, qui ont été rapportés. En outre, les eaux pluviales souvent collectées et évacuées loin de la ville génèrent un assèchement artificiel qui modifie les conditions édaphiques.

Dans les parcs historiques, les jardins nourriciers, les espaces de nature péri-urbains, les sols en place peuvent aussi présenter des qualités physiques, chimiques et biologiques à la hauteur de ceux d'écosystèmes plus naturels.

Zoom

Les anthroposols (Source : référentiel pédologique 2008)

Les anthroposols [appellation donnée aux sols modifiés par l'homme] des milieux urbains ont longtemps été ignorés par les pédologues, car ils ne répondaient pas aux critères de pédogenèse des sols naturels et cultivés. Du fait qu'ils ont été modifiés ou fabriqués durant la période historique, les anthroposols sont généralement considérés comme « jeunes » et peu évolués. Une approche historique est souvent nécessaire pour tenter d'expliquer et comprendre les modifications dues aux activités humaines.

Les principaux processus « anthropo-pédogénétiques » sont, notamment en milieu urbain ou périurbain :

- la troncature de la partie supérieure du solum ;
- le compactage par le trafic ou pour la préparation de la construction de bâtiments ;
- la « fermeture » de la surface (scellement) par des revêtements de chaussées (asphaltes, enrobés, ciments, pavés) ;
- l'alcalinisation par contamination à la suite d'épandages de produits variés et d'apports d'ordures ;
- la pollution par des métaux et des acides résultant de diverses combustions, par des gaz d'échappement, par des sous-produits d'industries ou d'artisanat, ainsi que par des produits chimiques comme les HAP ou les pesticides ;
- le dépôt de matériaux terreux d'origine pédologique ou géologique, de « matériaux technologiques », de déchets et sous-produits plus ou moins contaminés.

Et comme pour l'ensemble des anthroposols :

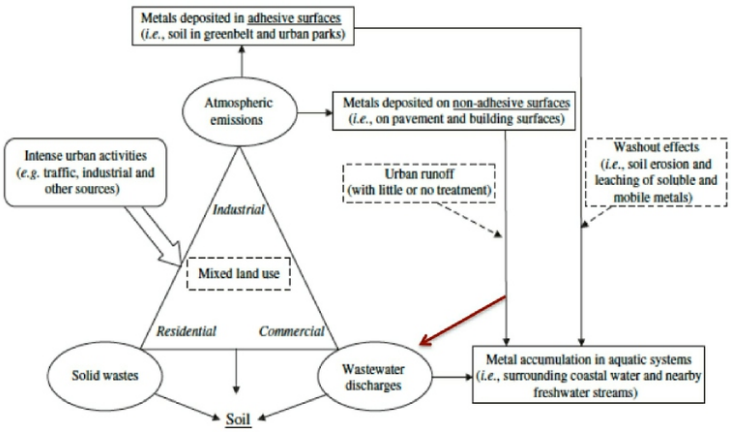
- le travail profond ou défoncement (labours, sous-solage) ;
- la surfertilisation par applications répétées de fertilisants organiques sans addition notable de matières minérales ;
- la destruction d'une horizonation antérieure par mélange d'horizons, nivellements et talutage ;
- l'addition répétée de matériaux allochtones terreux ou inertes, impliquant l'apport de quantités notables de matières minérales (mottes de gazon, sable de plage, fumiers terreux, curages de fossés, etc.) ;
- l'irrigation répétée avec des eaux contenant des quantités non négligeables de sédiments en suspension (pouvant contenir aussi des fertilisants, des sels solubles, des matières organiques, des polluants, etc.) ;
- la création de terrasses remodelant complètement le profil des versants et ayant donc affecté durablement les couvertures pédologiques naturelles.

En termes de qualité, les sols urbains présentent quelques spécificités associées à l'influence des dépôts atmosphériques et des matériaux utilisés (Delolme 2014) :

- poussières alcalines,
- accumulations de métaux lourds, hydrocarbures (HAP), autres polluants persistants (PCB, dioxines, pesticides…),
- stockage du carbone, de l'azote, du phosphore.

Les éléments de trace métallique peuvent être émis par de nombreuses sources anthropiques (*Cf.* Fig. 3.1). Les activités ayant un impact important sur le milieu urbain incluent notamment le trafic (combustion fossile, usure de parties automobiles, fuite des huiles moteurs), des activités spécifiques à l'industrie, la gestion des déchets (incinération, décharge) et la corrosion de matériaux de construction (Barltrop, 1979 ; Kelly et al., 1996 ; Fourgon der Sloot et al., 1996 ; Tossavainen et Forssberg, 1999 ; Councell et al., 2004 ; Nadal et d'autres., 2004 cités par (Wong et al. 2006)).

Figure 20 : The processes and transport of metals in urban settings (Wong et al. 2006)



À l'échelle de la ville comme à celle de la parcelle, les sols urbains présentent donc une grande diversité : sols nus, végétalisés, ou revêtus, sols riches ou pauvres, sols drainants ou compacts etc. Ils témoignent de l'histoire des interactions entre des processus naturels et activités humaines. Ces hétérogénéités et discontinuités spatiales (réseaux, etc.) sont à l'origine de processus dynamiques relativement complexes. Pourtant dans l'écosystème urbain, « la compétition qui s'exerce sur les sols est quasiment indépendante de leur nature pédologique mais fonction de l'usage qui en est fait par l'homme. Cette différence avec les écosystèmes naturels a pour conséquence une plus grande vitesse d'évolution, avec une possibilité de changement intégral d'utilisation » (Dambrin 1982)**.**

3.1.2 – La présence de l'eau marquée par un fort ruissellement

La **présence de l'eau en milieu urbain est très diverse :** on trouve des cours d'eau, des mares, des étangs, des lacs, des prairies humides, des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassins, noues, etc.), sans compter fontaines et ouvrages d'agrément. Ces milieux présentent des caractéristiques très différentes, aussi bien au niveau de leur composition chimique (oxygène, azote, phosphore, matières organiques, etc.) qu'au niveau de leurs paramètres physiques (turbidité, pH, température etc.). Ils sont souvent soumis à des **pressions anthropiques importantes** ; ainsi le phénomène d'eutrophisation est régulièrement noté au sein de l'écosystème urbain (*Cf.* zoom eutrophisation).

L'augmentation du ruissellement sur des surfaces imperméabilisées a un impact sur la qualité des eaux. En effet, ces surfaces accumulent par temps sec toutes sortes de polluants, notamment ceux issus de la circulation routière, qui sont ensuite facilement mobilisés et entraînés lorsque les précipitations surviennent. Les eaux pluviales sont alors chargées de polluants dont la nature dépend du contexte mais également des événements pluvieux en présence (intensité, période de retour, etc.). Selon le mode de collecte de ces dernières, les conséquences seront différentes :

- rejet immédiat au cours d'eau avec un risque de pollution et d'eutrophisation,
- passage temporaire dans des bassins de décantation,
- mélange avec les eaux résiduaires urbaines qui peut conduire à une saturation totale du réseau et à un rejet au milieu naturel sans traitement par sur-verse.

Outre le ruissellement, d'autres facteurs peuvent impacter la qualité des milieux aquatiques urbains :

- les produits phytosanitaires utilisés pour l'entretien des voiries, des espaces verts, des jardins,
- des pollutions accidentelles (industries, véhicules, etc.),
- les rejets d'eaux usées non maîtrisés (ex : mauvais branchements, fuites, saturations des réseaux, rejets illicites),
- une performance insuffisante ou un sous-dimensionnement des stations d'épuration (STEP), même si une bonne gestion de la chaîne collecte-traitement en réseau séparatif permet la plupart du temps de maîtriser la pollution des eaux résiduaires urbaines.

Zoom

L'eutrophisation

La présence en excès dans l'eau de phosphore et d'azote est à l'origine du phénomène **d'eutrophisation**. Ces sels nutritifs constituent une vraie nourriture pour la flore aquatique (plantes aquatiques, algues fixées ou en suspension dans l'eau) qui va donc se développer, se multiplier et réduire la transparence de l'eau. Ces végétaux, en mourant, vont constituer un apport nutritif supplémentaire pour les bactéries qui vont se multiplier et consommer l'oxygène dissous dans l'eau en grande quantité. Ne pouvant plus respirer convenablement, les invertébrés benthiques et les poissons peuvent disparaître. Ainsi, c'est toute la chaîne trophique qui est touchée et la prolifération d'algues planctoniques peut gêner la production d'eau potable et compromettre les activités de loisirs (baignade, pêche…).

De la même manière, l'augmentation de la turbidité par l'apport de matières en suspensions trouble la transparence et l'oxygénation de l'eau et peut avoir un effet nocif sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'auto-épuration de l'eau. Les rejets d'eau chaude provenant des industries accélèrent certains phénomènes biologiques en particulier la dégradation de la matière organique, ce qui peut entraîner un déficit en oxygène dissout dans l'eau et menacer la vie dans le milieu aquatique.

3.1.3 – Qualité de l'air et climat local

3.1.3.1 – Une qualité de l'air impactée par les activités humaines

Au sein de l'écosystème urbain, la qualité de l'air est fortement influencée par les activités humaines. De multiples facteurs sont à l'origine des émissions de polluants dans l'atmosphère ; ils ne sont pas forcément propres à l'écosystème urbain (l'agriculture est également génératrice d'une pollution atmosphérique importante) mais ce dernier y participe fortement du fait de la concentration humaine et des activités. Cerema – Territoires et ville et territoriales, Centre Est, Est, Île-de-France et Sud-ouest

Il en subit inévitablement les conséquences et se retrouve principalement concerné par les épisodes de pollutions.

Ainsi l'écosystème urbain se caractérise par :

une importante circulation des véhicules à moteur à l'origine de la consommation de combustibles fossiles et du relargage dans l'atmosphère (outre du CO_2), d'oxyde d'azote, de particules et de COV,

- une concentration des industries et des foyers domestiques, relarguant particules et SO_2,
- une incinération des déchets ménagers, de nature à produire des dioxydes, des métaux toxiques et de l'acide chlorhydrique.

De nombreuses substances polluantes sont présentes dans l'air respiré par les citadins :

- les gaz à l'origine de la destruction de l'ozone atmosphérique : CFC, fluorures, etc.,

les gaz à effet de serre : dioxyde de carbone (CO_2), méthane, protoxyde d'azote, etc.,

- l'ozone troposphérique (situé entre le sol et 12 Km d'altitude), principal composant du « smog ». Il se forme grâce aux ultra-violets et à certains polluants comme le monoxyde de carbone (CO) ou les composés organo-volatils (COV),

les oxydes d'azote, le dioxyde d'azote (NO_2), le monoxyde de carbone, les particules en suspension, le dioxyde de soufre, les COV, les Hydrocarbures aromatiques polycycliques, les métaux lourds.

L'augmentation des gaz à effet de serre liée aux activités humaines est à l'origine de nombreuses conséquences sur le climat global et local (augmentation des températures, accentuation des phénomènes météorologiques extrêmes, etc.) et par conséquence sur l'environnement (modification des aires de répartition d'espèces végétales et animales) et sur l'homme (accentuation des îlots de chaleur urbain, augmentation des épisodes de canicules avec des conséquences potentielles sur la santé des personnes fragiles, accentuation des risques naturels comme les inondations, etc.).

Les émissions de certains polluants atmosphériques engendrent potentiellement des effets importants sur l'environnement à plus ou moins longue distance (acidification, eutrophisation, nécrose végétale, diminution de la croissance foliaire, etc.) et sur la santé humaine (toux, gêne respiratoire et oculaire, crise d'asthme).

3.1.3.2 – Et influençant significativement le climat local

Le tableau 3. 1 synthétise les effets de la pollution de l'air dans les villes sur le mésoclimat.

Tableau 5 :

Effets mésoclimatiques de la pollution de l'air dans les villes

(source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, (François Ramade 2002)

Facteur climatique	Comparaison de la valeur du facteur en milieu urbain par rapport à celle du milieu rural environnant
Opacité atmosphérique	
Brouillards (smog) - Hiver - Été	100 % de plus 30 % de plus
Nébulosité	De 5 à 10 % de plus
Particules	De 10 à 20 % de plus
Précipitations	5 à 10 % de plus
Rayonnements UV - Hiver - Eté	10 % de moins 40 % de moins
Températures moyennes - Annuelles - Hivernales	0,5 à 1°C de plus 1 à 2,5°C de plus
Vitesse du vent - Moyenne annuelle - tempêtes	20 à 30 % de moins 10 à 20 % de moins

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) correspond à l'observation de températures plus élevées en milieu urbain par rapport à la campagne environnante. Il s'apparente à des micro-climats urbains, dont l'intensité est particulièrement marquée durant la nuit.

La figure 3.2 donne un aperçu de l'effet des dispositions urbaines, des espaces naturels et de la végétation sur le climat local (l'ICU est plus marqué au niveau du centre-ville, cœur de la ville souvent dense et fortement minéralisé, que dans les zones périurbaines, plus végétalisées et moins denses).

Figure 21 : Effets mésoclimatiques de la pollution de l'air dans les villes (François Ramade 2002)

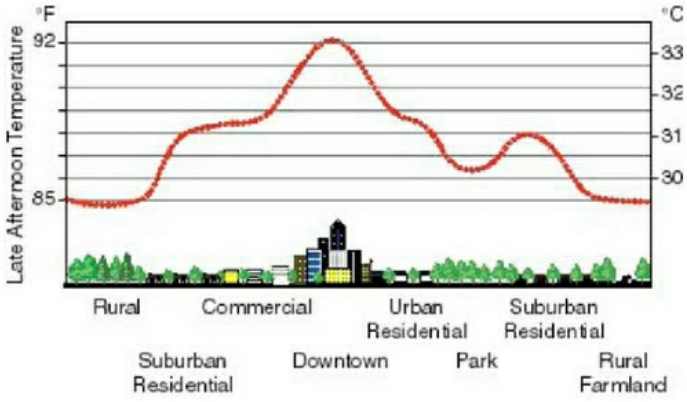
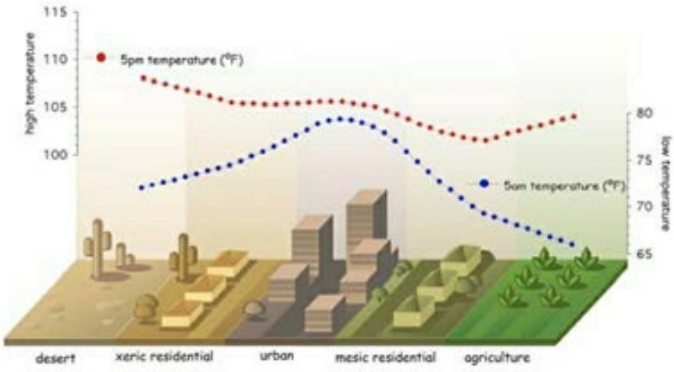


Figure 22 : Effet des dispositions urbaines, sur le microclimat (Musy 2014)



Ces îlots de chaleur s'opposent à des îlots de fraîcheur au sein des mêmes écosystèmes urbains. Dans la pratique, l'intensité de l'ICU se répartit spatialement de façon assez complexe. Des contrastes thermiques existent à l'intérieur même des espaces urbanisés, faisant ainsi coexister des îlots de chaleur d'intensités différentes, voire des îlots de fraîcheur (parcs urbains, points d'eau de taille importante). La présence de végétaux, la morphologie urbaine, la nature

des matériaux utilisés, le flux de chaleur anthropique constituent autant de facteurs déterminants dans l'émergence et l'intensité des îlots de chaleur.

Zoom

Les principales causes de l'ICU

L'émergence de l'ICU et de son intensification ont de multiples causes dont les principales sont ici rapportées.

- **Le stockage de chaleur dans les matériaux utilisés en milieu urbain**

Les matériaux utilisés en milieu urbain pour la voirie, les trottoirs, les bâtiments, etc., ont des comportements thermiques différents des matériaux utilisés en milieu rural.

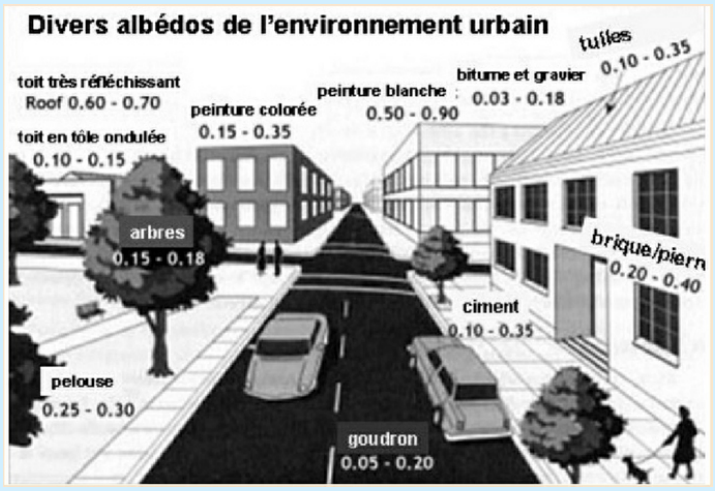
En milieu urbain, durant la journée, l'énergie solaire réchauffe les matériaux constituant la voirie, les bâtiments, et les espaces publics. Cette chaleur peut ensuite être rejetée la nuit, ralentissant le refroidissement nocturne. L'albédo, combiné à l'inertie thermique des matériaux (capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique : plus le temps d'absorption et de restitution est long, plus le matériau est thermiquement inerte) explique la formation de l'ICU.

Albédo : ce paramètre physique correspond au pourcentage de l'énergie solaire réfléchie par rapport à l'énergie solaire incidente et se mesure selon un chiffre allant de 0 à 1. Plus la valeur de l'albédo est faible, moins le matériau réfléchit de l'énergie et plus il en absorbe.

Les matériaux utilisés en milieu urbain, en particulier de couleur sombre, ont souvent une faible valeur d'albédo. Ils absorbent donc plus d'énergie solaire incidente, contribuant ainsi à l'élévation des températures de surface et indirectement de l'air.

Figure 23 : Divers albédos de l'environnement urbain

(Source : http://www.espere.net, mars 2006)



Exemple du béton brut : ce dernier présente une inertie thermique assez élevée et un albédo faible et absorbe ainsi près de 80 % de l'énergie qu'il reçoit. Soumis aux rayonnements solaires et de réflexion, il va se réchauffer lentement en emmagasinant beaucoup de chaleur. Lorsqu'il ne reçoit plus d'énergie, il commence à se refroidir, tout aussi lentement alors que la température de l'air extérieur qui l'entoure a déjà beaucoup baissé.

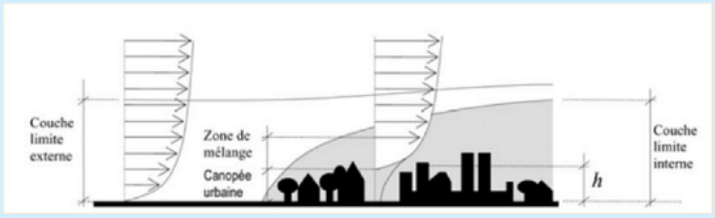
• **La chaleur induite par les activités humaines.**

Les activités humaines liées aux bâtiments (climatisation), aux process industriels, et aux moyens de transport motorisés constituent des sources de chaleur dites anthropiques. En raison de la concentration de la population et des activités dans les villes, le flux de chaleur anthropique s'avère ainsi plus important en milieu urbain qu'en milieu rural.

• **La morphologie urbaine**

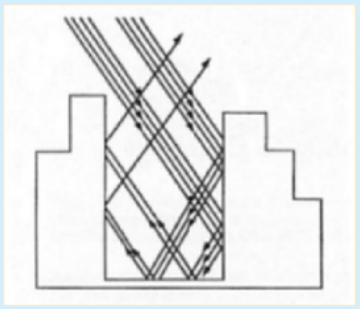
La morphologie urbaine, c'est-à-dire la dimension et la disposition des bâtiments dans les espaces urbains, joue un rôle dans la formation et l'intensité de l'îlot de chaleur.

Figure 24 : Représentation des profils verticaux en zone dégagée et en zone urbaine



Les grands bâtiments et les rues étroites constituent des canyons urbains où la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire reste captive. Dans les configurations de type canyon urbain, le rayonnement solaire subit en effet des réflexions successives au niveau des parois verticales des bâtiments et du sol (*Cf.* Fig. 3.4). Pour chacune des réflexions, une partie du rayonnement est absorbée, contribuant ainsi au piégeage radiatif du rayonnement solaire.

Figure 25 : Illustration du phénomène de piégeage radiatif au niveau d'une rue canyon
(source : Ringenbach, 2004)



• **La modification du régime des vents.**

En zone dégagée (plaine, plans d'eau), le vent s'écoule selon un profil logarithmique. Cet écoulement est modifié en milieu urbain, principalement par la présence des bâtiments qui viennent, de par leurs hauteurs et leurs formes, freiner de façon significative le vent : le profil des vents se déplace ainsi verticalement, toujours selon un profil logarithmique.

La vitesse du vent au niveau du sol s'avère quant à elle bien plus faible, par rapport à une zone dégagée (*Cf.* Fig. 3.5).

3.1.4 – Une lumière artificielle et un environnement sonore globalement élevé

3.1.4.1 – Une lumière artificielle gênante

Au sein de l'écosystème urbain, l'éclairage artificiel prend le relais de l'éclairage naturel dès la tombée de la nuit (éclairage urbain, enseignes publicitaires, vitrines de magasins, bureaux allumés en permanence…). Cet excès nocturne de production lumineuse est dénommé pollution lumineuse ou photo-pollution. Il induit une dégradation de la perception de l'environnement en nuisant à l'obscurité normale et souhaitable de la nuit.

Cette pollution lumineuse, au sein des écosystèmes urbains, perturbe la flore et la faune : mortalité directe induite des espèces attirées et piégées par la lumière, éblouissement et aveuglement des espèces nocturnes, dérèglement biologique. Des installations mal orientées provoquent un inconfort pour la population résidente.

Figure 26 : Qu'est ce qu'un bon lampadaire ?

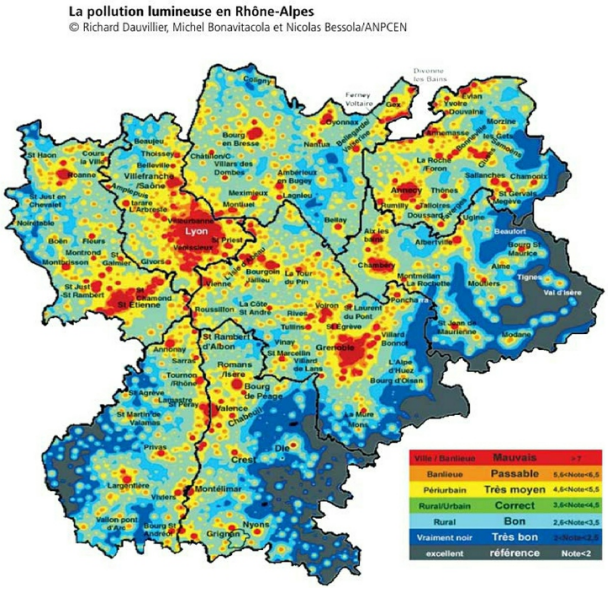
http://billom2008.over-blog.com/article-la-pollution-lumineuse-part-3-autres-donnees-45512807.html



À titre d'exemple, la figure 27 dresse une cartographie de la pollution lumineuse en Rhône-Alpes. La notation est fonction du nombre d'étoiles visibles à l'œil nu ; elle donne une indication aux astronomes sur la qualité du ciel nocturne. Les zones grises possèdent un ciel excellent à l'abri de toute pollution lumineuse. Plus de 3000 étoiles

sont visibles. La voie lactée est présente. Les zones rouges sont celles où les conditions d'observation sont les moins bonnes du fait de l'éclairage artificiel. La voie lactée ainsi que la plupart des étoiles sont devenues totalement invisibles (FRAPNA 2013).

Figure 27 : Pollution lumineuse en Rhône-Alpes selon l'échelle de Bartolp



3.1.4.2 – Un environnement sonore dégradé

Le bruit est également une caractéristique de l'écosystème urbain. La circulation routière y fournit 80 % du fond sonore. Les autres sources proviennent des autres modes de transport (trafic aérien, circulation ferroviaire), sans oublier les bruits de voisinage et ceux liés à l'utilisation des machines diverses. Cette nuisance peut notamment effrayer certaines espèces ou limiter leur communication en raison d'un bruit de fond trop important.

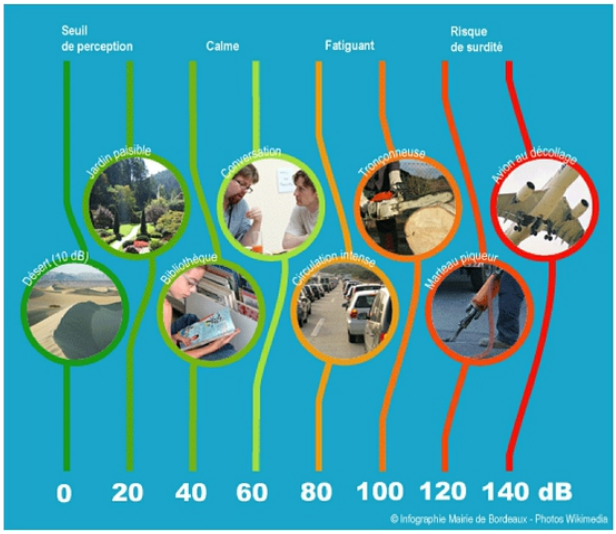
Qu'ils soient constants comme en centre-ville ou discontinus à proximité d'axes ferroviaires ou routiers, les sons produits par l'écosystème urbain sont bien éloignés des bruits naturels.

Peu d'études se sont penchées sur les éventuelles relations entre ces nuisances et la biodiversité. Quelques-unes néanmoins en ont montré l'effet néfaste sur la distribution et la nidification de certaines espèces avifaunistiques. A contrario, la reproduction de certaines espèces se trouverait facilitée par le dérangement

de leur(s) prédateur(s) ce qui modifierait ainsi les interactions existantes entre les espèces (Francis et al. 2009).

Figure 28 : L'échelle des bruits, Mairie de Bordeaux

http://www.bordeaux.fr/p68171



3.2 – Caractéristiques de la biocénose

Elisée Reclus cité par (Paquot et al. 2010) resitue la place complexe de l'homme dans la nature, à la fois élément, observateur et partie prenante du système : « L'homme est la Nature prenant conscience d'elle-même. » Le cadre conceptuel de l'EFESE le considère avant tout comme le bénéficiaire des services écosystémiques, aussi la place de l'homme n'est-elle pas traitée dans ce chapitre.

La nature végétale présente en cœur de ville est souvent horticole. A première vue, la faune de l'écosystème urbain pourrait être réduite à celle que l'on croise quotidiennement : chiens, chats, oiseaux en général et pigeons en particulier, souris et insectes. Mais un observateur plus averti saura y détecter les nombreuses espèces sauvages qui viennent spontanément coloniser le milieu urbain et s'y reproduire. Si l'on se réfère au guide « Bien vivre avec les animaux à Paris », la biodiversité animale est bien plus variée : la fouine, le crapaud accoucheur, la mulette des peintres…

3.2.1 – Un nombre d'espèces sauvages significatif

La biodiversité de l'écosystème urbain peut d'abord être qualifiée par le nombre d'espèces recensées.

Certains auteurs affirment que les zones urbaines seraient parfois plus riches en nombre d'espèces que les zones rurales environnantes (Hope et al. 2003) **;** (Kühn et al. 2004). (Pautasso 2007) précise que la quantification de la diversité dépend de l'échelle d'étude. Après synthèse d'une trentaine de travaux sur la richesse spécifique en milieu urbain, il indique que la corrélation entre richesse spécifique et degré d'urbanisation est négative à l'échelle locale et devient positive pour des surfaces totales d'étude supérieures à 10 000 km^2. Ce résultat s'appuie sur des inventaires menés à la fois sur les plantes et les animaux.

À grande échelle, on peut par exemple citer les résultats de (Kühn et al. 2004) qui montrent, à l'aide d'une étude menée sur l'ensemble de l'Allemagne, que la richesse spécifique est plus importante dans les villes que dans les zones suburbaines. En effet, les sites en milieu urbain présentent une moyenne de 580 espèces végétales natives pour des surfaces de 130 km^2 alors que le milieu rural environnant présente une moyenne de 516 espèces végétales pour une même surface de 130 km^2.

D'autres exemples illustrent également la richesse écologique du milieu urbain :

- la ville de Genève abrite 770 espèces sauvages, représentant plus d'un tiers des espèces connues sur l'ensemble du territoire cantonal.
- la ville de Paris accueille 1382 espèces végétales supérieures sur les 1800 présentes en Île-de-France. À Paris cohabitent également 1663 espèces animales, notamment 32 espèces de mammifères, 174 d'oiseaux (sur 545 en France), 3 de reptiles, 10 d'amphibiens, sans compter les insectes (1078), mollusques (47), arachnides (117) et autres crustacés (16).

À ces échelles, la richesse spécifique s'expliquerait par le fait que les zones urbaines sont très hétérogènes et abritent des habitats absents dans les régions rurales environnantes (Knapp et al. 2010). La diversité de biotopes contribuerait à la formation d'un paysage fortement morcelé, avec coexistence de groupements de végétaux très différents (Dana et al. 2001).

Des études menées à plus petite échelle (Kowarik 2008) ; (Mc Kinney 2002) ; (Pautasso 2007) nuancent les résultats ci-avant décrits et précisent que des précautions sont à prendre avant d'avancer que le milieu urbain serait un milieu présentant une diversité d'espèces élevée. **La ville serait sujette au phénomène d'homogénéisation biotique entraînant une augmentation de la similarité**

entre communautés. L'homogénéisation biotique peut être définie à l'échelle taxonomique (expansion d'espèces largement répandues et disparition d'espèces à distribution limitée), génétique (augmentation de la similarité des pools de gènes) ou fonctionnelle (sélection de certaines espèces possédant des traits biologiques similaires et jouant le même rôle dans l'écosystème) (Olden et Rooney 2006). Ces auteurs mettent en garde contre la perte d'habitats « naturels » riches en espèces natives. Plus on pénètre dans la ville, moins les parcs et les jardins présentent d'espèces végétales spontanées et d'animaux sauvages. Par ailleurs, les parcs au sein des grandes villes perdent plus rapidement leur diversité que ceux des petites villes, car les distances à la source sont plus grandes (Clergeau et Blanc 2013).

Cerema – Territoires et ville et territoriales, Centre Est, Est, Île-de-France et Sud-ouest

Par ailleurs, un gradient de richesse au sein même de la ville peut être mis en évidence. Plus on s'éloigne du centre-ville, plus la richesse spécifique augmente. Lawrynowicz cité par (Niemelä 1999) note ainsi que la richesse spécifique diminue de 185 espèces dans la zone suburbaine à 86 espèces dans les zones les moins densément urbanisées et à 38 espèces dans les zones les plus densément urbanisées (il est cependant important de noter qu'aucun indice sur les surfaces d'échantillonnage n'est donné).

3.2.2 – Une faune et une flore sauvages en constante adaptation

Les écologues du paysage et les spécialistes des populations animales et végétales ont mis en évidence les caractéristiques des espèces vivant en milieu urbain. La biodiversité urbaine est sans doute maladroitement mais couramment qualifiée de **biodiversité ordinaire** même si en fonction des écosystèmes élémentaires et du contexte local, des espèces patrimoniales ou emblématiques peuvent être recensées comme c'est par exemple le cas de l'Angélique des Estuaires à Nantes.

La contribution de l'écosystème urbain à la biodiversité patrimoniale est détaillée dans le chapitre 10 de la partie 3 (patrimoine naturel).

La classification de (Mc Kinney 2002) permet de distinguer les espèces évitant le milieu urbain, le plus souvent des espèces natives, appelées *urban avoider* ; les espèces qui s'adaptent au milieu urbain, *urban adapter* ; et enfin, les espèces qui exploitent le milieu urbain et sont tolérantes à des conditions de fortes perturbations,

urban exploiter. La ville constitue un filtre des espèces locales associé à la densité du bâti et à l'éloignement des espaces sources. Plus la ville est grande, plus l'effet est notoire. Il y a donc un rôle fort de l'organisation spatiale des ressources et des modes de gestion des espaces, elle-même influencée par des valeurs économiques, sociales et culturelles. (Williams et coll 2005) considèrent ainsi plus précisément que la flore urbaine peut être considérée comme le résultat de quatre phénomènes : les transformations des habitats ; la fragmentation des habitats ; les conditions environnementales propres au milieu urbain (climat, pollution, agissant directement à l'échelle de la plante ou de l'animal) ; les préférences humaines (agissant principalement à l'échelle du pool d'espèces, mais se traduisant également par les pratiques de gestion).

Parmi les espèces pouvant s'adapter en milieu urbain, on peut d'abord citer **les espèces pionnières** qui ont la capacité de s'implanter sur un sol dénudé ou remanié (ex : bryophytes, graminées, etc). Il s'agit d'espèces souvent annuelles qui profitent de la moindre anfractuosité pour se développer.

D'autres espèces ont la capacité de s'adapter aux modifications de leur environnement et trouvent au sein de l'espace urbain, **un milieu de substitution favorable** ou un milieu au sein duquel la concurrence est moins forte (ex : moineau, écureuil, hérisson, lapin de Garenne, certaines espèces de papillons). Ces espèces montrent une plasticité comportementale vis-à-vis de leur habitat ou de leur alimentation et peuvent donc immédiatement coloniser différents milieux (ex : lézard des murailles) (Clergeau et coll. 2011). Les animaux présents en ville sont ainsi en général capables de trouver les ressources nécessaires pour leur survie. Ces animaux sont également capables de forte dispersion.

À côté de ces **espèces généralistes**, il y a **des espèces spécialistes capables de s'adapter génération après génération.** Il en est ainsi du faucon crécerelle qui chasse essentiellement des micro-mammifères, en volant habituellement à une hauteur de 10 à 40 mètres (plus connu sous le nom de vol "Saint Esprit") et en cherchant soigneusement ses proies sur le sol. Il change alors de technique en ville où il chasse les moineaux plus à l'affût. Cette espèce a également la capacité de nidifier sur les monuments. On peut de la même manière évoquer l'espèce de chauve-souris, la "Pipistrelle de Kuhl", qui se sert de tous les types de bâtiment pour hiberner, et en particulier des églises. Les conditions climatiques urbaines vont également provoquer une sélection naturelle des espèces.

Certaines espèces tolérantes peuvent non seulement s'installer avec succès mais également y proliférer voire devenir une source de nuisances pour les citadins. Ce sont les espèces exploitant au maximum les ressources et habitats atypiques du milieu urbain. Une étude menée sur des espèces de fougères (Daniel et al., 2011) a mis en évidence la distribution contrastée de 3 espèces en fonction de la variation du climat lié à la proximité de la ville. Ainsi, l'espèce affectionnant les massifs forestiers frais et humides était peu recensée en milieu urbain, alors que l'espèce la plus thermophile a été régulièrement rencontrée, favorisée par les conditions de température plus élevées en ville, préférant ces conditions climatiques à celles de la campagne. C'est l'exemple même d'espèces dites "*urban exploiter*".

C'est le cas également de certaines **espèces commensales** tels que les animaux non domestiqués qui se nourrissent de ce que l'homme produit et qui en deviennent dépendants. On peut citer à titre d'exemple les moineaux se nourrissant de graines et de miettes. Lorsque les individus d'une même espèce sont trop nombreux, cette espèce peut devenir « nuisible » ; ainsi moineau domestique et étourneau sansonnet sont à l'origine de nombreuses plaintes déposées principalement pour les « nuisances sonores et sanitaires ». Par ailleurs, certaines espèces sont considérées comme nuisibles de par leurs caractéristiques propres, sans nécessairement une forte population d'individus. On peut ainsi citer le renard qui est de plus en plus fréquemment rencontré en milieu urbain, pouvant pénétrer occasionnellement dans les secteurs résidentiels (*Cf.* zoom articles de presse).

On peut ensuite mentionner **les espèces exotiques** qui ont été introduites massivement par l'homme et dont l'aire d'origine est très éloignée du biotope dans lequel elles se retrouvent. Concernant les espèces végétales, ce sont les espèces horticoles et celles qui ont été véhiculées par les transports (ex : le Séneçon du Cap dont les graines ont été transportées par la laine de mouton depuis l'Afrique). La proportion d'espèces introduites par rapport aux espèces natives peut être élevée en milieu urbain : Sukopp et al., 1997 cité par (M Alberti 2009).

Certaines espèces peuvent devenir **invasives**. Elles peuvent alors s'avérer concurrentielles en présentant une croissance très rapide, ou en émettant des substances écotoxiques freinant ou empêchant le développement des autres espèces. Elles peuvent aussi proliférer parce qu'elles ne sont pas consommées ou qu'elles ne font pas l'objet de prédation. Ces espèces peuvent être à l'origine

de conséquences sanitaires, comme c'est le cas avec l'ambroisie, une espèce fortement allergène qui prolifère notamment dans les milieux remaniés.

Zoom

Les animaux sauvages en ville : quelle acceptation sociale ? (source : Le progrès, *https://www.leprogres.fr/rhone/2011/11/13/ces-animaux-sauvages-qui-debarquent-en-ville-et-sement-la-pagaille*)

Figure 29 :
Source : 20minutes.fr (publié le 11/02/2013, https://www.20minutes.fr/planete/1098503-20130211-faut-il-avoir-peur-renards-a-paris)



ANIMAUX - Les renards qui rôdent dans la capitale sont-ils des agresseurs en puissance?...

Des Buttes-Chaumont au jardin du Luxembourg, le renard rôde dans Paris. Alors qu'un bébé de quatre semaines a été attaqué par un renard à Londres durant le week-end, les Parisiens pourraient bien devoir se méfier des bêtes sauvages.

Un renard apprivoisé est plus dangereux

«Il ne faut pas paniquer», rassure tout de suite Marc Giraud, président de l'Association pour la protection des animaux sauvages. «Nous sommes loin d'être dans la même situation qu'en Angleterre, explique-t-il à 20 Minutes. Là bas, les renards sont presque apprivoisés, ils jouent dans les jardins en ville, ils n'ont pas peur de l'homme.» Cette familiarité avec le mignon renard roux représente néanmoins un danger: «Le renard est un animal qui mange de tout et il peut très bien considérer un nourrisson comme un morceau de viande», reconnaît Marc Giraud, qui rappelle que le renard en France reste «très farouche et les très rares que l'on voit dans Paris intra-muros ne sont pas du genre à se laisser caresser»: «Le plus grand danger est de leur faire perdre la peur de l'homme», conclut-il.

Avec l'urbanisation qui grignote les forêts périurbaines, le renard s'est rapproché des villes ces dernières années et certains ont été observés dans les bois de Boulogne et de Vincennes mais également intra-muros, aux Buttes-Chaumont ou au Jardin du Luxembourg. Gourmand de nos détritus, le renard trouve en ville un abri loin des chasseurs et au plus près de sources d'alimentation faciles d'accès. Néanmoins, l'Agence d'écologie urbaine de la ville de Paris estime qu'il n'y a qu'une quinzaine de renards errant dans les rues de la capitale, contre environ 10.000 à Londres.

La présence en ville d'animaux sauvages progresse. Un chamois dans Lyon, un chevreuil à Saint-Priest, sans parler des divagations de sangliers ou des terriers des blaireaux de Sainte-Foy-lès-Lyon, la proximité est grande.

Nous n'en sommes pas à organiser des safaris dans les rues de Lyon. Néanmoins, le nombre d'animaux sauvages égarés dans l'aire urbaine progresse. Pour preuve, la récente chevauchée d'un jeune chamois jusque dans le parc de la Tête d'Or. Le cas n'est pas isolé.

D'abord parce que l'espace urbain grignote de plus en plus sur les campagnes. Ensuite, parce que les parcs urbains, de plus en plus nombreux, « donnent un petit aspect campagne », confirme Jérôme Berruyer, conseiller technique à la fédération départementale de chasse. Presque au point pour l'animal de se sentir un peu chez lui.

Très présent, le chevreuil. On en dénombre une douzaine par an à Lyon ou dans sa proche agglomération. Des fouines sont également présentes en pleine ville. Notamment à la Croix-Rousse, dans les 2 e et 6 e arrondissements de Lyon. Moins de prédateurs, une température plus élevée, sont des éléments qui confortent la fouine dans son envie de vivre en ville.

Autre animal qui aime profiter des avantages de la vie urbaine, le renard. On en trouve au parc de la Feyssine ou au parc de la Tête d'Or. Un animal a même été aperçu Port-Rambaud. Voilà 30 à 40 ans que l'espèce à fait son apparition à Lyon. Rien d'extraordinaire, le goupil a pour habitude de se frotter aux habitations. Plus surprenant, le renard a même pris ses quartiers dans certaines caves du cœur du 6 e arrondissement de Lyon. Pour preuve, l'anecdote de ce chasseur qui se rendait, il y a un an, chez des amis interpellés par la présence de déjections qui n'étaient pas celles d'un chien. Mais bien celles d'un renard qui venait, à l'occasion, passant par un soupirail, se nourrir dans quelques stocks de fruits secs entreposés dans cet endroit. Le chasseur aura eu raison de la bête.

Moins présent, le blaireau, que l'on trouve à Sainte-Foy-lès-Lyon et sur la colline de Fourvière, vit en terrier et devient souvent source de problèmes dans les jardins qu'il aurait tendance à massacrer. Egalement recensé, le raton laveur, de moins en moins présent dans la mesure où sa vente est aujourd'hui interdite et la martre. Demeurent les castors, en bord de Rhône et les lapins de garenne dont la population a été décimée par la myxomatose. Enfin le chamois, comme cette semaine au parc de la Tête d'Or. Il y a deux ans, un autre avait été observé à Villeurbanne. Il y a plus longtemps encore, c'était à Limonest qu'un chamois s'était égaré.

Point de passage entre les Alpes et le massif central, la région lyonnaise est aussi un carrefour pour ces espèces. Pour les professionnels, la solution consisterait en la mise en place d'un corridor écologique pour permettre aux animaux de se déplacer. Geoffrey Mercier

3.2.3 – *Les espèces horticoles et domestiques*

On ne peut évoquer la biodiversité urbaine sans mentionner **les espèces horticoles et domestiques.** Avec 65 millions de chats, chiens, petits rongeurs, oiseaux et poissons, la France est au premier rang des pays européens possesseurs d'animaux de compagnie. De nouvelles espèces tels que gerbilles, iguanes, tortues, serpents, grenouilles, mygales sont également de plus en plus présentes dans les foyers, représentant parfois des risques pour la faune locale et la population en cas de fuite. De manière plus générale, ces animaux de compagnie peuvent avoir un rôle de prédation. Plusieurs études ont montré que les chats sont de redoutables prédateurs et que cette prédation a un impact énorme compte-tenu de leur nombre : « *ainsi des neuf millions de petits félins britanniques* -avec une densité pouvant aller jusqu'à 230 chats par km^2 en milieu urbain- *seraient ainsi responsables de la mort d'environ 55 millions d'oiseaux chaque année* ».

La faune et la flore urbaines recèlent une forte proportion d'espèces pionnières, ubiquistes, anthropophiles ou présentant des fortes capacités d'adaptation (ex : tolérance à certaines pressions). La diversité des espèces peut s'avérer élevée : par exemple, Paris compte 1382 des 1800 espèces végétales recensées en Île-de-France. Ces espèces doivent également composer avec des espèces exotiques parfois

envahissantes et des espèces commensales à l'homme que sont les espèces horticoles et domestiques.

3.3 – Combinaison des caractéristiques du biotope et de la biocénose : des écosystèmes élémentaires particuliers et variés

3.3.1 – Une forte diversité d'écosystèmes élémentaires

La partie précédente met en avant que l'écosystème urbain est soumis à une sollicitation anthropique importante, pouvant entraîner des conditions de vie difficiles pour les espèces végétales et animales. Les facteurs de stress sont nombreux, outre la densité de population humaine et d'activités, certaines conditions environnementales liées aux interactions entre ville et climat peuvent affecter la qualité de vie des espèces (Clergeau et Blanc 2013). À titre d'exemple, une friche et un square diffèrent par l'intensité de la gestion (fréquence de tontes, usage de pesticides, d'engrais, plantations d'espèces etc.) qui y est appliquée ainsi que par leur fréquentation par les citadins (Muratet et al. 2011). Néanmoins, les nombreux milieux complémentaires rencontrés au sein des villes peuvent abriter des processus caractérisés par un certain degré de naturalité leur permettant de jouer un rôle d'habitat pour de nombreuses espèces.

Les habitats rencontrés sont nombreux et hétérogènes. La typologie spécifique proposée au niveau du chapitre 1 aboutit au recensement d'un grand nombre d'habitats allant des espaces à surface majoritairement végétalisée à des surfaces fortement anthropisées et bétonnées en passant par des espaces plus atypiques (anciens murets, friches, etc.). Pourtant même les milieux les plus anthropisés ou les plus inattendus sont parfois colonisés par une biocénose.

Figure 30 : Appropriation d'équipements urbains par la faune (source : présentation Deschamps-Cottin



Le milieu urbain offre donc à la fois des sites complètement anthropisés tels que les sites de démolition ou des sites semi-naturels tels que des bois, des prairies en friche [Alberti, 2009]. Les espaces privés participent pleinement à la diversité des habitats (jardins de particuliers, d'entreprise, bâtiments végétalisés…).

Figure 31 : Teneurs en nutriments et minéraux dans les sols urbains (Pulford, 1991)

	N total (g/kgMS)	N minéralisable (mg/kgMS)	P disponible (mg/kgMS)	K disponible (mg/kgMS)	Mg disponible (mg/kgMS)
Sites urbains*	0.6	4	26	106	233
Sols de jardins	1.0	119	30	83	66

*Les sites urbains sont tous les sols minéraux, perturbés que l'on peut rencontrer en milieu urbain.

Les conditions environnementales peuvent être très variables en fonction de l'habitat. En raison de la diversité de milieux rencontrés en milieu urbain, les **conditions édaphiques** que peuvent rencontrer les plantes sont très diverses (Pulford 1991) ; (Morel et al. 2005). Le milieu urbain est aussi particulièrement marqué par une hétérogénéité dans les **sources et apports de nutriments** (M Alberti 2009).

Dans de nombreux sites urbains, la quantité de matière organique et d'azote disponible pour les plantes peut être faible, ceci pouvant être dû à l'oxydation ou l'érosion de la couche de surface, voire à la disparition totale de la couche de surface laissant la couche inférieure très minérale comme matériau de surface. Par contre, dans les sites végétalisés, tels que les parcs ou jardins, les teneurs en matière organique peuvent être élevées (Pulford 1991). Par ailleurs, de nouvelles sources en azote et en phosphore sont notamment apparues avec le développement des activités industrielles.

On peut également noter des différences marquées entre habitats en termes de **degré d'humidité**. Ils peuvent passer de pelouses xérophiles très sèches à des zones humides saturées en eau telles que les marais ou étangs.

Le **type de gestion** mis en place par l'homme modifie fortement les caractéristiques des habitats urbains et peut ainsi avoir un impact sur les espèces faunistiques et floristiques associées. L'arrosage, l'utilisation de pesticides, les tontes, les fauches sont déterminants. L'homme va ainsi indirectement avoir un impact sur la dynamique d'un milieu, en bloquant souvent l'échelle de succession à l'état pionnier (Alberti, 2009). Notons aussi que la fréquentation de certains habitats par l'homme en modifie les caractéristiques : sols piétinés, moindre calme, etc. Ainsi, la fréquentation des espaces verts par les citadins constitue un véritable dérangement pour les oiseaux lors de leur recherche alimentaire (Blumstein et coll. 2005).

Au vu des éléments précédents, les habitats rencontrés en milieu urbain peuvent présenter des conditions de vie très différentes, qui vont permettre le développement d'espèces plus ou moins bien adaptées aux différentes perturbations anthropiques. Ces deux types d'espaces urbains abritent des communautés animales et végétales aux compositions nettement différentes. La complémentarité entre les différents habitats urbains permet ainsi à une biodiversité urbaine de s'installer. Selon leur degré de tolérance aux conditions rencontrées au sein d'un habitat donné, la faune et la flore peuvent trouver un refuge adapté à leurs exigences écologiques.

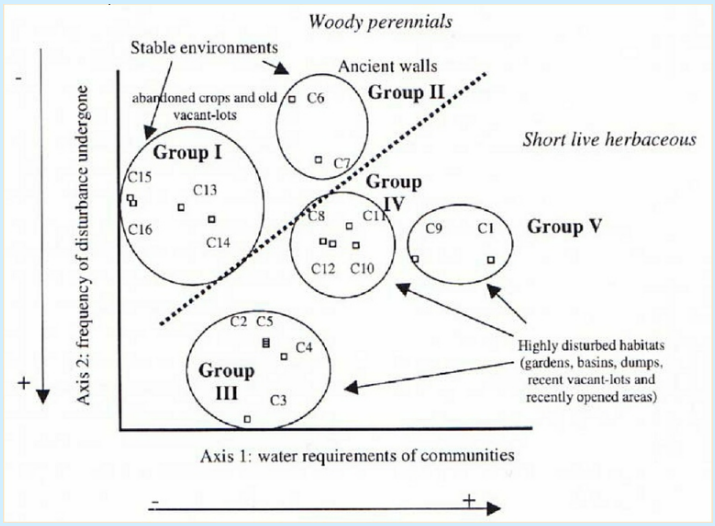
Zoom

Combinaison entre biodiversité végétale spontanée et caractéristiques physico-chimiques du milieu urbain

Des études sur la végétation spontanée en milieu urbain s'attachent à mettre en relation les espèces végétales présentes avec les facteurs édaphiques du milieu. La répartition des communautés en fonction de la fréquence de perturbations de l'écosystème dans l'ensemble des terrains vagues d'une ville, par (Fransceschi 1996), conclut sur la formation de deux grands groupements de végétaux : les espèces thérophytes caractéristiques de milieux perturbés et récemment abandonnés et un 2e ensemble composé d'espèces vivaces dans des terrains présentant de faibles signes de perturbations récentes du sol. Ces communautés se caractérisent par leur résistance à la tonte, au feu et à leur régénération rapide (Fransceschi 1996).

(Dana et al. 2001) proposent une étude faisant la synthèse de la relation entre les caractéristiques des espèces végétales spontanées et des paramètres tels que la fréquence de perturbations du milieu et la disponibilité en eau.

Figure 27 : Répartition des communautés végétales en fonction de la fréquence de perturbation d'un habitat et des exigences en eau



Une analyse de la végétation encore plus fine peut être réalisée en rajoutant d'une part un facteur supplémentaire tel que la disponibilité en nutriments. D'une manière générale, Ash (1991) et (Muratet et al. 2011) précisent que la végétation rudérale peut être particulièrement nitrophile. Extrait de l'étude :

Tableau 6 :

Espèces dominantes en fonction des caractéristiques de l'habitat

Disponibilité en nutriments	Disponibilité en eau	Habitat	Espèces
abondant	suffisant	jardins	*Bromus sterilis, Chenopodium album, Hordeum murinum, Se vulgaris, Stellaria media, Veronica spp.*
limité	limité	décombres	Espèces vivaces : *Agrostis capillaris, Rumex crispus, Rume tusifolius, Tussilago farfara ;* Espèces annuelles : *Diplotaxis spp., senecio squalidus, sina arvensis, sysimbrium spp., tripleurospermum inodorum*
insuffisant	insuffisant	briques	Mousses : *Funaria hygrometrica, Leptobryum pyriforme ;* Lichens : *Lunularia cruciata*
insuffisant	insuffisant	béton	Mousses : *Barbula spp., Bryum spp., Tortula muralis ;* Lichens : *Xanthoria spp.*

(Lososova et al. 2006) précisent enfin que les plantes rudérales du milieu urbain peuvent être très demandeuses en nutriments et lumière. Il a été également mis en évidence l'interrelation entre une nitrification du sol urbain par les pollutions atmosphériques et la présence des espèces végétales les plus nitrophiles.

3.3.2 – Quelques exemples d'écosystèmes élémentaires spécifiques au milieu urbain

La typologie proposée au chapitre 1 distingue près d'une cinquantaine de types d'écosystèmes au sein de l'écosystème urbain. Il n'est ici nullement possible de les décrire tous. Nous limiterons l'illustration à certains exemples d'habitats très ponctuels ou très artificialisés, qui en font une spécificité urbaine : murs, pieds d'arbres, bassins d'infiltration, friches, toitures végétalisés…

3.3.2.1 – Les surfaces dures et verticales

Les surfaces dures ne sont pas spécifiques au milieu urbain mais prolifèrent en raison de la construction des bâtiments, des murs, des trottoirs et aussi des ruines (Lundholm 2011). Bien que ces sites constituent souvent un environnement hostile pour la végétation (manque de sol et d'humidité, températures extrêmes etc.), ils

peuvent toutefois héberger une palette d'espèces qui contribuent à la richesse globale d'espèces natives d'une ville.

- Les murs peuvent être le support d'une végétation et d'une faune adaptées. Deux facteurs importants influencent la végétation sur les murs : l'âge de la surface et la disponibilité en eau (Darlington 1981). Comparé aux murs récents, les murs anciens ont tendance à avoir plus d'espèces parce qu'ils ont été usés par le temps, ont pu neutraliser les conditions alcalines et ont accumulé de la matière organique dans des interstices, créant ainsi des zones d'enracinement pour la végétation. (Darlington 1981) mentionne aussi qu'un climat océanique avec des averses fréquentes et de faibles variations de températures favorise la végétation se développant sur les murs. Cette catégorie ne concerne pas les murs végétalisés qui se développent actuellement mais s'applique à des murs / murets colonisés par une végétation spontanée.

- Les toitures végétalisées, souvent présentes dans les écoquartiers, sont également des milieux accueillants pour les arachnides. Dans le cadre de la thèse initiée en 2010 par Frédéric Madre et Philippe Clergeau (Madre 2014), il a été mis en évidence que la profondeur du substrat et la complexité structurelle de la végétation des toitures végétalisées sont des facteurs influençant la biodiversité. Les habitats hétérogènes structurés par des arbustes, des vivaces et des graminées accueillent des communautés plus abondantes et plus diversifiées que les habitats composés d'un seul type de structure végétale rampante.

- **Des aménagements ponctuels en faveur de la biodiversité**, directement intégrés aux bâtiments constituent des habitats potentiels.

- **Les pieds d'arbres.** S'ils ne sont pas trop artificialisés par l'homme en vue de limiter le développement de la végétation, les pieds d'arbres peuvent abriter différentes espèces animales et végétales. Les populations végétales établies aux pieds des arbres des rues sont manifestement liées par des flux de graines aux espaces de nature environnants (parcs, friches). Ainsi pour peu qu'un contexte favorable permette à une flore spontanée abondante et variée de s'y épanouir, les pieds d'arbres constitueraient au cœur des villes des cachettes pour la petite faune permettant aux espèces de traverser des espaces bâtis hostiles et de connecter des espaces verts isolés dans cette matrice urbaine (Clergeau et Blanc 2013).

Figure 33 : Murs supports de végétation dans l'écoquartier la Courrouze à Rennes 2 (source : Cerema)



Figure 28 : Bâtiment mêlant toitures végétalisées, plantes grimpantes, arbres et ruches
(source : comment concilier nature et habitat ?, CAUE de l'Isère, LPO)



Figure 29 : Intégration de nichoirs dans le bâti dans le quartier de la Barberie à Changé



Figure 30 : Pieds d'arbres végétalisés à Rennes et Montpellier
(source : Cerema)





3.3.2.2 – Les parcs, squares et jardins publics

Les espaces de nature de grande taille et d'un seul tenant, tels les grands parcs urbains, sont potentiellement favorables au développement de la biodiversité. Dans de tels espaces, il est plus facile d'avoir des habitats diversifiés qui interagissent et fonctionnent. Cela suppose toutefois une qualité des structures paysagères et une gestion raisonnée (maîtrise de l'utilisation des produits phytosanitaires, moindre tonte, etc.), voire l'émergence de "jardins en mouvement" c'est-à-dire des espaces où la gestion s'appuie sur le développement naturel de la végétation (*Cf.* zoom).

Depuis quelques années, l'homme intervient de plus en plus pour développer des habitats accueillants pour la faune et la flore, permettant de répondre à leurs besoins de déplacement, d'alimentation de reproduction, et de protection. Un travail sur les structures paysagères, la mise en place de mosaïques de milieux au sein des grands parcs peuvent favoriser la diversité des espèces (divers habitats, richesse des interfaces, etc.). Des équipements ou aménagements dédiés à la faune sont aussi parfois installés : ruches, nichoirs, hôtels à insectes, caches, etc. La conservation du bois mort, par exemple, permet d'offrir un refuge et de la nourriture à certains insectes et petits mammifères. La mise en place de murs en pierre sèche permet aux reptiles de trouver un abri. Par ailleurs certaines zones sont parfois interdites au public afin de permettre à la flore et à la faune de se développer en limitant les perturbations (calme, absence de piétinements, etc.).

Figure 31 : Jardin d'eau du pré curieux à Evian accordant une grande place aux zones humides
(source : Cerema)





Les jardins et squares publics, de taille plus réduite que les grands parcs urbains, constituent aussi des habitats pour certaines espèces. Ils peuvent jouer le rôle de zone de repos ou de zone relais lors de leurs déplacements.

Zoom

Les jardins en mouvement

Inspiré d'un paysage des landes, le concept de *jardin en mouvement* créé par Gilles Clément renverse l'ordre traditionnel des jardins où les plantes ont une place assignée. Il s'agit d'une friche reconstituée, accueillant pour partie la flore exotique des jardins, pour partie la flore spontanée des terrains vagues parisiens. Le jardin s'appuie sur la prise en compte de la dynamique naturelle d'un lieu en évolution. Les apparitions et disparitions des plantes herbacées rythment la composition floristique du jardin. C'est particulièrement vrai pour les espèces dont les cycles sont très courts, comme les annuelles et les bisannuelles, toutes les thérophytes, aux cycles de reproduction rapides et qui n'ont pas d'autre moyen de se survivre à elles-mêmes. Ces plantes se déplacent, c'est-à-dire qu'elles apparaissent dans un lieu qui n'est pas celui où elles ont grainé. Les semences sont transportées par des fourmis, des oiseaux, par le vent. Le paysage végétal n'est pas stable, il fait ainsi l'objet de modifications qui viennent du climat, des plantes elles-mêmes, des animaux et des hommes.

Par ailleurs, les espèces indigènes en place sont conservées dans la mesure du possible. La dynamique de la friche en direction de son climax forestier est prise en compte en évitant la fermeture du milieu, c'est-à-dire en éliminant quelques arbres apportant trop d'ombre.

Des espèces ornementales sont également introduites tout en préservant au maximum leurs conditions de développement naturel. Ainsi, *Parrotia persica* est installé dans un roncier, le mettant dans des conditions considérées comme naturelles, le protégeant des prédateurs par les épines. De la même manière, la forme des saules est travaillée pour faire apparaître, par contrepoint, l'aspect foisonnant, l'imbrication de la flore indigène et exotique. Le rôle du jardinier est d'entretenir dans le respect du cycle naturel des espèces mais également de travailler la forme et par conséquent il conçoit directement sur le terrain.

Libéré d'entretien, le potager accueille des espèces plus pérennes, comme les leucathème des champs. L'espace s'est orienté vers des carrés de marguerites à la place des choux ou de salades. La prise en compte des événements de la vie de la plante donne lieu à des scénographies de toute sorte, imprévisibles d'une année sur l'autre. L'aspect du jardin varie donc extrêmement d'une année sur l'autre et quelquefois au cours de la même année.

3.3.2.3 – Les bassins de gestion des eaux pluviales

Les bassins de gestion des eaux pluviales ont bénéficié d'une évolution de perception par le gestionnaire. En effet, ces milieux artificiels créés par l'homme, ont longtemps été perçus comme des aménagements exclusivement techniques peu propices au développement de la biodiversité. Récemment, les pratiques ont évolué en favorisant la colonisation naturelle ou volontaire de ces ouvrages. Des travaux de recherche, tel que ceux de l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU) s'intéressent désormais à la caractérisation de la flore des bassins d'infiltration et

de rétention et du rôle joué par la végétation. La biodiversité se limite au maximum à une soixantaine d'espèces par ouvrage (Saulais 2011).

Figure 32 : Vue d'ensemble de la colonisation végétale de bassins d'infiltration



Une diversité de configurations de bassins implique une forte diversité de communautés végétales : une végétation éparse composée d'espèces thérophytes, annuelles et bisanuelles (ambroisie, armoise, coquelicot, nombreuses espèces de poacées…) dans les bassins les plus caillouteux, secs et une dominance d'hélophytes organisées en patchs (massettes, roseaux, baldingères, scirpe des marais,…) dans les bassins recevant des flux d'eaux pluviales plus importants.

La structure de l'écosystème se dessine en fonction de la quantité d'eau arrivant dans l'ouvrage, du cheminement de l'eau, et des zones de stagnation et d'infiltration privilégiés… La nature du sol -caillouteux, limoneux ou riche en matière organique – conditionne également la répartition de la végétation.

La richesse en nutriments dans des bassins de gestion des eaux pluviales s'explique ainsi naturellement par le dépôt de matières en suspension véhiculées par les eaux pluviales, favorisant la croissance forte d'une flore nitrophile.

Figure 33 : Illustrations de végétation dense et fonctionnelle



3.3.3 – Trame verte et bleue

L'espace urbain peut être perçu comme un milieu fortement hétérogène composé d'une association ou d'une juxtaposition de plusieurs écosystèmes élémentaires avec des limites plus ou moins diffuses et qui sont le siège de plus ou moins d'interactions entre eux. On parle alors d'une mosaïque d'habitats (*Cf.* Zoom sur la ville de Toulouse).

Zoom

Toulouse, une mosaïque d'habitats

(Truptil 2012)

Ville assez minérale, Toulouse comprend pourtant de nombreux habitats naturels différents et complémentaires dont certains jouent un rôle important pour la préservation de la biodiversité en Midi-Pyrénées. Les habitats naturels se répartissent notamment sur les bords des cours d'eau qui sillonnent la ville, dans les espaces verts plus ou moins maîtrisés, dans les friches urbaines et les espaces cultivés. L'espace bâti représente aussi un lieu de vie pour de nombreuses espèces.

La **Garonne** est un fleuve particulièrement structurant au sein de la ville. 400 espèces végétales ont été recensées sur le couloir garonnais. Cette grande diversité s'explique par la variabilité des conditions écologiques (zones plus ou moins humides, voire sèches), par le rôle de transport du fleuve dans la dispersion des espèces (déplacement de graines, de boutures voire d'individus) et par la présence d'une mosaïque de milieux (herbiers aquatiques, rives exondées, boisements alluviaux, etc.). Dans le lit du fleuve, on trouve par exemple : la Petite lentille d'eau, la Spirodèle à plusieurs racines, le Potamot noueux, la Naïade marine, le Myriophylle en épis et les Renoncules aquatiques. En périphérie des eaux se développe une végétation adaptée aux sols humides comme l'alpiste faux-roseau, le roseau commun, la salicaire commune, l'épiaire des marais, l'épilobe hirsute. Très peu de boisements humides subsistent en bordure de la Garonne en raison de sa canalisation et de son endiguement. Lorsqu'ils existent la végétation y est souvent exubérante.

Les affluents de la Garonne (Touch, Saudrune, l'Hers-Mort, etc.) ont fait l'objet de nombreux recalibrages et présentent aujourd'hui des faciès très artificialisés. De nombreuses espèces y trouvent toutefois refuge. Les espèces caractéristiques des milieux humides sont peu développées.

Le couloir du **canal du midi** est particulièrement riche avec plus de 320 espèces recensées. La plupart sont des plantes caractéristiques de friches et prairies (notamment en raison de l'artificialisation et de l'entretien régulier) mais la présence d'autres espèces est intimement liée à l'eau et aux zones humides (Myriophylle en épis, Naïade marine, Vallisnérie en spirale, Laîche paniculée, Iris des marais, etc.). Sur certaines portions du canal, les berges sont uniquement herbeuses ou comportent des alignements d'arbres. Néanmoins, ces lieux forment un habitat pour certaines espèces.

Dans les zones récréatives (Pech David, Sesquières, Argoulets) encore assez artificialisées, une gestion plus respectueuse de l'environnement est mise en place pour favoriser la biodiversité.

Toulouse est aussi maillée par tout un réseau de **jardins publics et de promenades**, qui bien que traité de façon horticole permet notamment la présence d'oiseaux et de chauve-souris dans le centre-ville.

Une cinquantaine d'espèces végétales vivent dans les endroits les plus improbables de Toulouse : **caniveaux, trottoirs, murs et toitures**. Elles sont souvent de petite taille, avec des cycles de végétation assez courts et produisent de minuscules graines qui se nichent dans la moindre fissure du substrat.

Au pied des arbres, la surface limitée en terre permet le développement de quelques espèces de plantes opportunistes. Parmi ces plantes, on trouve : le Pâturin annuel, le Séneçon commun, la Cardamine hirsute, la Crépide de Nîmes, le grand Plantain, etc.

Les murs de Toulouse permettent le développement de certaines plantes comme la Mercuriale, la Chélidoine, la Pariétaire de Judée, la Ruine-de-Rome.

Les murs ombragés, le long des gouttières humides, sont favorables aux fougères citadines (polypode, capillaire des murs).

Sur les toitures, la famille des Crassulacées est particulièrement adaptée : leurs feuilles charnues stockent de l'eau pour affronter la sécheresse estivale. Le Nombril de Vénus affectionne, par exemple, les toitures peu pentues, gouttières et fissures ombragées. L'Orpin blanc est quant à lui fréquent sur les vieilles toitures de tuiles.

Crépide de Nîmes (avenue de Muret)



Grand plantain (rue de l'Aqueduc)



Pariétaire de Judée (mur rue Vittet)



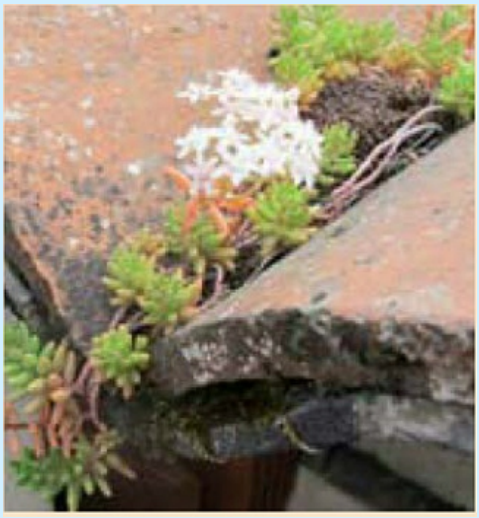
Polypode (mur boulevard Escande)



Nombril de Vénus (toiture place des Hts-Murats)



Orpin blanc (toiture rue du chant du merle)



Au sein des écosystèmes urbains, les barrières physiques peuvent être relativement importantes (infrastructures routières, clôtures, bâtiments etc.) et ainsi empêcher ou limiter les échanges entre ces différents habitats. Les espaces de nature sont ainsi fragmentés et réduits à des îlots de plus en plus isolés. Certaines espèces disparaissent alors parce qu'elles n'ont plus un espace vital suffisant. En effet, la présence de très petits effectifs au sein des populations et l'isolement géographique ont tendance à augmenter chez certaines espèces le risque d'extinction (moindre diversité génétique, moindre résistance aux aléas climatiques et aux pollutions, etc.)

Dans ce contexte, **les corridors écologiques** permettant les déplacements des espèces ont un rôle particulièrement important dans la préservation des communautés animales et végétales. En ville, ces corridors prennent différentes formes : ripisylves, bermes d'infrastructures, haies, bois, noues, jardins privés, etc. Un corridor est d'autant plus efficace qu'il présente les caractéristiques d'un habitat linéaire accueillant (qualité du sol, plusieurs strates de végétation, largeur suffisante permettant de limiter les dérangements) (Clergeau et Blanc 2013).

Si les corridors continus larges et de qualité sont susceptibles d'accueillir de nombreuses espèces il ne faut pas négliger les corridors discontinus (pieds d'arbres d'alignement, toitures végétalisées, etc.), qui peuvent permettre la dispersion de quelques espèces tolérantes.

Par ailleurs, les corridors présentent un intérêt d'autant plus fort qu'ils permettent de relier des réservoirs de biodiversité. Les noyaux primaires de biodiversité se trouvent en périurbain ou juste en bordure de la ville. Certains parcs publics et friches, en fonction de leur taille et de leur gestion, peuvent être considérés comme des noyaux secondaires, donc des relais pour de nombreuses petites espèces végétales et animales. Les quartiers de jardins privés en suburbain, de par leur juxtaposition, pourraient être des noyaux secondaires potentiels pour certaines espèces à condition que leur gestion soit moins intense (Clergeau et Blanc 2013). En effet, les jardins privés, gérés de manière raisonnés, présentent potentiellement une flore et une faune variées. Ils peuvent notamment être des refuges pour une flore spontanée provenant des sources de biodiversité avoisinantes, comme les bois (Muratet et al. 2011). Les espaces privés sont ainsi des éléments indispensables du maillage vert au sein des espaces urbanisés.

3.4 – Spécificités urbaines des 5 fonctions écologiques retenues pour l'EFESE

Dans le cadre du programme EFESE, 5 fonctions écologiques ont été retenues (*Cf.* Tableau 3. III)

Tableau 7 :

Tableau 3.5 : les fonctions retenues par le cadre conceptuel EFESE

Divisions	Groupes	Fonctions
Maintien du bon état (conditions physiques, chimiques et biologiques) des écosystèmes	Habitats et espèces	- Maintien des cycles de vie (eau, azote, carbone) - Protection des habitats et des ressources génétiques - Production primaire - Décomposition
	Sols	- Formation et composition du sol

Le présent paragraphe a pour but de décrire les fonctions retenues dans le cadre conceptuel impliquées dans la fourniture de services écosystémiques urbains.

La partie 3 et ses 4 chapitres (fonctions écologiques ; biens et services produits par l'écosystème ; patrimoine naturel ; contraintes) a vocation à approfondir ces notions et les relations entre fonctions et services.

3.4.1 – Maintien des cycles de vie (eau, azote, carbone)

Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau en milieu urbain présente plusieurs particularités :

- des précipitations 5 à 10 % plus importantes que dans le milieu rural voisin (*Cf.* Tableau 3. 1),
- une imperméabilisation importante des sols. L'interception de l'eau pluviale par le sol et la végétation est amoindrie, augmentant ainsi le volume de ruissellement de ces eaux et accélérant les écoulements en surface (*Cf.* Fig. 3.6),
- un moindre stockage d'eau dans les sols, une moindre alimentation des nappes souterraines,
- une canalisation des écoulements et des rejets ponctuels (pollués et concentrés), récupérés dans des réseaux souterrains pour être évacués loin des lieux de production,
- une interception par le couvert végétal plus faible qu'ailleurs et une évapotranspiration également diminuée,
- une augmentation des catastrophes naturelles (inondation, coulée de boue etc.).

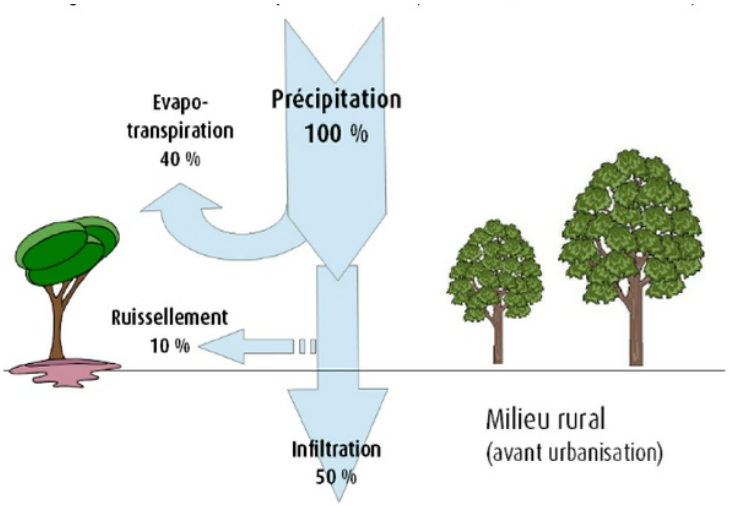
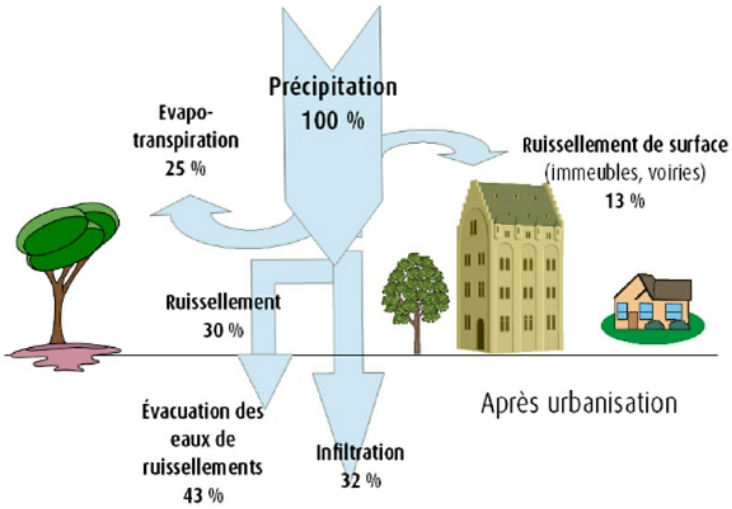


Figure 34 : Perturbation du cycle de l'eau provoquée par l'urbanisation dans l'Ontario au Canada
(source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie, modifié)



Le cycle de l'eau est largement impacté par la végétation. Tout d'abord, les arbres sont capables d'intercepter par leur feuillage une partie de l'eau de pluie, ce qui ralentit sa descente et favorise notamment son infiltration dans le sol. Une portion importante de l'eau de pluie qui arrive au sol est également absorbée par les racines des végétaux, diminuant ainsi fortement la quantité d'eaux ruisselées. L'évapotranspiration est, quant à elle, un processus qui dissipe une partie de l'énergie solaire en flux d'humidité. En s'évaporant, l'eau consomme de l'énergie et rafraîchit l'atmosphère. De plus, les parcs, les bois, les toitures végétalisées etc. représentent également autant de surfaces perméables, offrant des points d'infiltration et de rétention des eaux. Les espaces végétalisés jouent ainsi un rôle important dans la gestion des eaux de ruissellement. En outre, un volume d'infiltration plus important suppose une meilleure recharge des ressources souterraines, et une meilleure qualité des eaux (moins de lessivage, moins de polluants). Par sa contribution au cycle de l'eau (évapotranspiration, notamment via les arbres) et à la régulation thermique, la végétation urbaine constitue un atout contre les risques environnementaux (inondation, averses, épisodes orageux) (Plante & Cité et al. 2013).

Cycle de l'azote

Dans tout écosystème, la quantité totale d'azote contenue dans la biomasse correspond à un équilibre dynamique entre les processus de nitrification (transformation de l'azote atmosphérique en nitrates par des micro-organismes) et de dénitrification (absorption des nitrates produits par les végétaux pour être transformés en acides aminés puis en protéines). Associés au processus d'ammonification (qui intervient lors de la décomposition des matières organiques), ils sont à la base du « cycle de l'azote ».

Ce cycle peut être perturbé par l'action anthropique, notamment par un apport excédentaire d'azote. Certaines pratiques agricoles et horticoles sont susceptibles de générer des rejets d'azote. L'écosystème urbain est quant à lui concerné par :

- l'usage des engrais,
- le rejet d'oxyde d'azote dans l'atmosphère par combustion (NOx).

Cet apport est ainsi à l'origine de la pollution atmosphérique et de l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques.

Cycle du carbone

Le carbone constitue l'élément clef de toutes les substances biochimiques. Il est régulé par deux processus antagonistes que sont la photosynthèse et la respiration. La majorité du stock de carbone organique continental est contenu dans la végétation et dans la matière organique des sols.

En milieu urbain, les espaces verts, peuvent constituer des puits de carbone, c'est-à-dire qu'ils absorbent une partie du CO_2 atmosphérique, qui est alors transformé en biomasse végétale nouvellement produite chaque année. Ce processus est d'autant plus efficace que les arbres sont jeunes. Il se produit généralement pendant les 60 à 100 premières années de vie des arbres. La séquestration du carbone est attribuée presque en totalité aux arbres, plutôt qu'aux autres espèces ligneuses ou herbacées. La séquestration nette n'est significative que si les émissions anthropogéniques environnantes le permettent et n'est effective que si le mode de gestion est adapté (Plante & Cité et al. 2013).

En effet, l'action de l'homme est susceptible de limiter la quantité de carbone séquestré, en faisant augmenter la teneur en CO_2 de l'atmosphère :

- brûlage de combustibles fossiles,
- déforestation (pour combustibles, par incendies) et minéralisation des sols consécutivement,

- rejets d'origine industrielle.

L'écosystème urbain est donc concerné par cette fonction par les combustibles fossiles qu'il est susceptible de consommer mais aussi par la séquestration du carbone qu'il peut assurer via les végétaux présents.

3.4.2 Protections des habitats et des ressources génétiques

Cette fonction dépend de la qualité, de la diversité, de la répartition et de la taille des écosystèmes élémentaires ainsi que des moyens permettant de relier ces écosystèmes (existences de trames ou barrières infranchissables). En milieu urbain, elle est menacée par l'ensemble des phénomènes de fragmentation, assèchement, pollution décrits précédemment. Le développement de pools génétiques est favorisé par la dissémination des graines, la migration de la faune ce qui peut être rendu difficile en ville par la déconnexion des habitats. Une route peut provoquer la mortalité de la faune, qu'elle soit grande (sangliers, biches…) ou petite (hérissons, batraciens…). Les habitats sont nombreux en milieu urbain mais présentent de nombreuses fragilités. Les espaces naturels conservés dans leur état initial sont plutôt rares en ville. Il s'agit notamment de certaines haies, ripisylves ou étangs phagocytés par l'urbanisation (Clergeau 2007). Ces milieux souvent complexes (plusieurs strates de végétation, etc.) sont généralement favorables à la biodiversité.

La protection juridique d'un espace, telle que la petite Amazonie à Nantes par le biais de Natura 2000, favorise le maintien de l'habitat et sa capacité à offrir un milieu propice au maintien génétique des espèces.

L'ingénierie écologique, le choix d'une gestion différenciée sont autant de moyens qui vont avoir un impact positif sur la protection des habitats.

Des espaces plus ou moins naturels se sont développés en ville. Les parcs et jardins sont, par exemple, souvent créés de toute pièce par l'homme. Comme nous l'avons vu précédemment, ces espaces de nature peuvent aussi constituer des habitats permettant le développement d'une certaine biodiversité urbaine. Les jardins en mouvement, en permettant au milieu d'évoluer naturellement, favorise aussi la protection des habitats et le développement des espèces animales et végétales.

3.4.2 – Production primaire

La production primaire désigne la biomasse végétale produite par unité de surface et par unité de temps par les organismes photosynthétiques. La productivité primaire n'est pas uniforme et dépend de l'écosystème considéré. Les producteurs primaires sont principalement des plantes dans les écosystèmes terrestres et des algues dans les écosystèmes aquatiques.

Le sol est un support physique et nutritionnel pour la plupart des plantes et joue un rôle majeur dans la production primaire. Il doit avoir une bonne fertilité chimique (capacité à soutenir une forte productivité végétale tout en minimisant les apports externes), mais doit également présenter des propriétés et des états physiques permettant le stockage et l'infiltration de l'eau, l'aération et la croissance racinaire.

Le tassement des sols est à ce titre une des menaces concernant la qualité physique des sols. D'autre part, les éléments nécessaires aux plantes doivent être disponibles dans la solution du sol pour être absorbés par les racines. Les microorganismes présents dans le sol ont également des fonctions positives pour la production primaire (décomposition et transformation des matières organiques en éléments assimilables par les plantes…). L'artificialisation impacte le développement racinaire des arbres en ville (stress hydrique, manque d'aération du sol) et rajoute des contraintes à leur croissance.

Dans l'écosystème urbain la fonction existe bien, mais elle est (comme ailleurs) complètement dépendante de la présence et de la densité des végétaux capables de réaliser la photosynthèse. Toute surface dépourvue de végétation empêche une quelconque production primaire. La production primaire sera donc dépendante des écosystèmes élémentaires présents et du « végétal en ville ». La présence d'arbres, de parcs, de jardins, etc., qu'ils soient publics ou privés, sont autant de facteurs influençant positivement la production primaire.

Les propriétés du milieu urbain (physico-chimie du sol, climat, qualité de l'air, etc.) sont de nature à influencer directement cette production de biomasse.

3.4.3 – Décomposition

La décomposition de la matière organique désigne le processus par lequel s'effectue la **dégradation et la minéralisation des matières organiques mortes** dans les écosystèmes, leur transformation en molécules plus simples et cela jusqu'à leur minéralisation complète. La matière organique ainsi minéralisée pourra ultérieurement être utilisée par les végétaux et les algues (azote, phosphore…)

(CSPNB 2008) ; (Truu et al. 2009). Dans un écosystème classique, la matière organique est constituée par les déchets produits par l'écosystème : débris végétaux, cadavres d'animaux et déchets de leur métabolisme.

3.4.3.1 – DANS LES SOLS

Dans l'écosystème urbain, seuls les sols non imperméabilisés sont en mesure de remplir cette fonction. Cependant, il est ensuite nécessaire que la faune du sol permettant cette décomposition soit bien présente et fonctionnelle. Les micro-organismes du sol jouent un rôle fondamental dans cette décomposition de la matière organique.

Mais l'aspect le plus important pour l'écosystème urbain est que les apports de matières organiques sont bien plus faibles que dans un écosystème classique ce qui limite cette fonction :

- les débris végétaux ne peuvent exister que si les végétaux sont eux-mêmes présents d'une part et d'autre part, l'homme « urbain » a dans ses habitudes de ramasser et d'exporter lesdits débris (ramassage des feuilles à l'automne, exportation des déchets verts vers des zones de compostage ou non…),
- les cadavres d'animaux ne demeurent pas sur le sol en milieu urbain, d'une part, car les animaux sont moins présents (pas de grande faune en général) et d'autre part, car ils font l'objet de ramassage systématique de façon à éloigner tout risque sanitaire. Seuls restent donc les petits animaux des écosystèmes élémentaires qui peuvent aussi faire l'objet de prélèvements par des animaux plus gros.
- les déchets et excréments sont souvent évacués.

3.4.3.2 – DANS L'EAU

Dans l'écosystème urbain, les milieux aquatiques sont également en mesure de remplir cette fonction. Les micro-organismes, les bactéries aérobies ou les champignons, jouent un rôle majeur dans la transformation des matières organiques. Ils décomposent la matière organique morte et biodégradable présente dans le milieu aquatique, qu'elle soit produite par les autres organismes (telles les sécrétions animales) ou issue de leur décomposition, ou encore qu'elle provienne d'eaux de ruissellement, d'eaux infiltrées dans les sols ou d'eaux usées rejetées par les hommes.

Le processus de dégradation des matières organiques par les bactéries aérobies est lent et ce d'autant plus que la teneur en oxygène du milieu aquatique est faible ou qu'il fait froid. En milieu urbain, un surcroît de matières organiques biodégradables peut provenir du rejet par les sociétés humaines d'effluents particulièrement riches.

La matière organique non dégradée a donc une tendance naturelle à s'accumuler. Mais lorsque ce cumul devient trop important, le milieu n'est plus à même de tout dégrader et de réaliser son auto-épuration : l'équilibre naturel est rompu.

Parallèlement à la décomposition de la matière organique morte, les composés organiques présents en milieu urbain (hydrocarbures, produits phytosanitaires…) peuvent aussi être utilisés comme source d'énergie par des micro-organismes et être biodégradés (Migrain et Monteil 1992) ; (Técher 2011). Les métaux également produits en milieu urbain ne peuvent pas être dégradés. Les micro-organismes peuvent simplement diminuer leur biodisponibilité et leur solubilité pour éviter leur transfert (Dvorak et al. 1992) ; (Faulwetter et al. 2009). Ce processus est efficace à court terme pour sauvegarder les ressources en eau mais des interrogations restent posées sur l'éventuelle libération des polluants ainsi stockés et les conséquences de leur accumulation à long terme (Barriuso 1996).

3.4.4 – Formation et composition du sol

« Le sol est un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse […]. Cette organisation est le résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et microorganismes). » (AFES 2016).

La fonction étudiée ici est à rapprocher du phénomène de **pédogénèse** qualifié, selon le glossaire de l'AFES comme « *l'ensemble des processus qui conduisent, dans l'espace et le temps, à l'organisation du sol en horizons par altération, dégradation et remaniement des matériaux minéraux ou organiques. La pédogénèse est dépendante de l'action des six facteurs majeurs suivants : le climat, la roche, la position topographique, les organismes vivants, l'action de l'homme et la durée.* »

Nous avons vu ci-avant que les anthroposols étaient qualifiés de jeunes et de peu évolués. On peut donc considérer, au sein de l'écosystème urbain, à la fois des sols plus ou moins profondément modifiés / altérés et des sols qui ont moins subi l'action de l'homme (zones forestières urbaines par exemple). Néanmoins, l'un comme l'autre

font l'objet d'une pédogénèse. En ce sens la fonction décrite est bien présente au sein de l'écosystème urbain mais fortement dépendante de l'action de l'homme.

Les micro-organismes du sol jouent un rôle fondamental dans la formation et la composition des sols. En collaboration avec des organismes plus gros, tels que les vers de terre, ils sont capables de modifier la structure du sol et de le rendre plus perméable à l'eau et aux gaz).

"*De nombreuses plantes sont aussi capables de modifier la composition du sol, en fixant dans leurs cellules les métaux lourds, composés organiques polluants et autres produits indésirables d'origine anthropiques. Certaines plantes produisent des enzymes qui dégradent ces polluants en des produits moins toxiques ou non toxiques. Elles peuvent également être accompagnées de mycorhyze qui se charge du travail de fixation et/ou de transformation. Ces propriétés en ont fait des candidates d'avenir pour la dépollution des sols. De préférence, les plantes choisies sont sélectionnées selon leur taille et leur aptitude à faire plonger leurs racines profondément dans le sol, de manière à atteindre les couches polluées profondes qui peuvent atteindre quelques mètres, et selon le type de polluant qu'elles sont capables d'emprisonner ainsi. C'est ce qu'on appelle la phytoremédiation.*"

Figure 35 : Synthèse des fonctions présentes dans les milieux humides urbains



En fonction de leur composition et de leur structure, les sols vont pouvoir jouer un rôle d'infiltration de l'eau et de filtration. L'eau suit un cheminement vertical et les particules de taille plus fine sont ainsi filtrées mécaniquement par les différentes couches de sol traversées. D'autre part, le sol n'est pas un composant inerte et les micropolluants présents sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement, peuvent être retenus dans les sols par des processus d'adsorption à la surface des constituants du sol (Citeau 2006) ; (Soullier et al. 2002). Grâce à ces processus, la circulation de l'eau dans les interstices rocheux sur plusieurs centaines de mètres jusqu'aux nappes phréatiques permet son auto-épuration (CREDOC 2009).

Notons en conclusion que ces différentes fonctions ne peuvent que très difficilement être appréhendées les unes après les autres, de façon indépendante. Elles sont au contraire très dépendantes et en constante interaction. A titre d'illustration, le zoom suivant se focalise sur le fonctionnement d'un écosystème élémentaire -un milieu humide- et les différentes fonctions sur lesquelles s'appuie ce fonctionnement.

3.4.5 – Illustration : fonctionnement d'un milieu humide urbain

Les milieux humides sont le lieu privilégié d'infiltration de l'eau. En se développant, les racines des végétaux semi-aquatiques créent des chemins d'écoulement préférentiel favorisant le transfert d'eau vers la nappe souterraine. Ce processus freine par exemple le flux de ruissellement des eaux pluviales vers les masses d'eau superficielles. Il est renforcé par l'évapotranspiration des végétaux.

Par ailleurs, les parties aériennes et racinaires des végétaux forment des barrières physiques propices à l'accumulation des matières en suspension véhiculées par les eaux de ruissellement. Ce phénomène est d'autant plus accentué pour des espèces hélophytes couramment rencontrées dans les milieux humides et autres dispositifs de gestion des eaux pluviales souvent riches en matière organique et en polluants - organiques ou minéraux. Cet apport exogène d'hydrocarbures, de métaux est une caractéristique de l'écosystème urbain.

Les végétaux doivent alors développer un mécanisme de défense contre ces polluants mais ont également au-delà un effet positif sur la réduction voire l'élimination de ces éléments toxiques. Les plantes absorbent l'eau et les nutriments pour leurs besoins et sécrètent des exsudats racinaires. Les flux d'eau, de nutriments et d'éléments minéraux au sein de la rhizosphère créent ainsi des conditions propices aux réactions physico-chimiques : Ces conditions particulières favorisent alors les phénomènes d'absorption des métaux par les plantes et d'adsorption. En milieu urbain, les espèces dominantes présentent une capacité d'absorption des éléments métalliques mais dans une capacité moindre que les plantes hyper-accumulatrices des sites et sols fortement polluées. Mais le fonctionnement de la végétation et son interaction avec le sol a aussi un effet sur la mobilité des métaux et donc leur transfert potentiel vers la nappe souterraine.

Ces phénomènes d'adsorption & relargage sont conditionnés par la croissance de la plante, avec un piégeage plus fort en hiver lors de la sénescence de la plante. La variabilité des conditions climatiques au fil des saisons et donc des cycles

d'assèchement/humidification entraînant des conditions d'oxygénation variées vont également venir gouverner ces épisodes de piégeage et de relargage.

On voit ainsi à travers cet exemple que le fonctionnement des végétaux, leur interaction avec le biotope, les flux d'eau vont créer des fonctionnements spécifiques au milieu urbain.

Enfin, au sein même de la rhizosphère, les conditions physico-chimiques vont être propices au développement d'une microflore associée aux espèces végétales. Les micro-organismes vont alors intervenir dans la dégradation de la matière organique. Les hydrocarbures véhiculés par les eaux pluviales sont néanmoins difficilement dégradables par la microflore.

Par ailleurs, les conditions présentes dans le sol, les capacités d'absorption, sont toutes dépendantes de l'espèce végétale. La diversité des milieux humides en ville et de leur composition floristique diversifient l'intensité des processus écologiques. Les phénomènes de compétition, de concurrence entre espèces dans ces habitats aux conditions difficiles complexifient la description du fonctionnement de cet écosystème élémentaire.

De plus, la faune abritée par ce milieu va également avoir un impact en consommant des plantes, en véhiculant des graines végétales. Une chaîne alimentaire particulière va se mettre en place avec une adaptation en fonction des espèces capables de se développer en milieu urbain.

Enfin, la gestion de l'homme peut avoir un impact direct sur le fonctionnement, notamment par les pratiques de gestion telles que la tonte, l'utilisation de produit phytosanitaire.

3.5 – Synthèse

Fabriqué par et pour l'homme, l'écosystème urbain est fortement dépendant des sols qui donnent à la ville ses différentes facettes. Souvent artificialisés ou imperméabilisés, régulièrement perturbés, ils demeurent en général peu évolués au sein des parties les plus denses de la ville. Lorsqu'ils permettent le développement d'espaces de nature (toutes formes confondues), ces derniers apparaissent fragmentés, peu connectés entre eux et avec les trames vertes et bleues périphériques. La faune et la flore fréquentant ou se développant complètement au sein de l'écosystème urbain se distingue par certaines particularités.

Loin d'y être absente comme le prouve de nombreux inventaires (ex : Paris compte 1382 des 1800 espèces végétales recensées en Île-de-France), la biocénose urbaine recèle une forte proportion d'espèces pionnières, ubiquistes, anthropophiles ou présentant des fortes capacités d'adaptation (ex : tolérance à certaines pressions). Cette biocénose « naturelle » doit également composer avec des espèces exotiques (parfois envahissantes) et des espèces commensales à l'homme que sont les espèces horticoles et domestiques.

Des espaces de protection (et / ou inventoriés pour leur intérêt en termes de biodiversité) et des espèces à forte patrimonialité sont identifiés au sein des écosystèmes urbains, ces derniers ne se limitant pas à une biodiversité qualifiée d'ordinaire.

CHAPITRE 4

Interactions avec les autres écosystèmes

Ce chapitre débute par un tableau de synthèse des interactions entre écosystèmes. Puis, il les envisage selon trois niveaux d'interactions entre la ville et la biodiversité :

- **le premier niveau, la biodiversité urbaine, regroupe l'ensemble des espèces qui vivent en ville,**
- **le deuxième niveau, appelé impact régional sur la biodiversité (*regional biodiversity influence*), correspond aux impacts générés par la ville sur les écosystèmes aquatiques et terrestres adjacents (eaux usées, pollution de l'air, déchets…), mais également aux ressources exploitées par la ville,**
- **enfin, le troisième niveau, impact global sur la biodiversité (*global biodiversity influence)* la consommation par les villes de large quantité de ressources issues de partout dans le monde** (Pupim de Oliveira et al. 2011)**.**

4.1 – Synthèse des interactions écosystèmes urbains et écosystèmes environnants

Le tableau de synthèse croise les écosystèmes urbains avec les autres écosystèmes étudiés dans l'EFESE, auquel ont été ajoutés les écosystèmes sous-terrains. Il énumère les principales interactions de manière non exhaustive.

Tableau 8 :

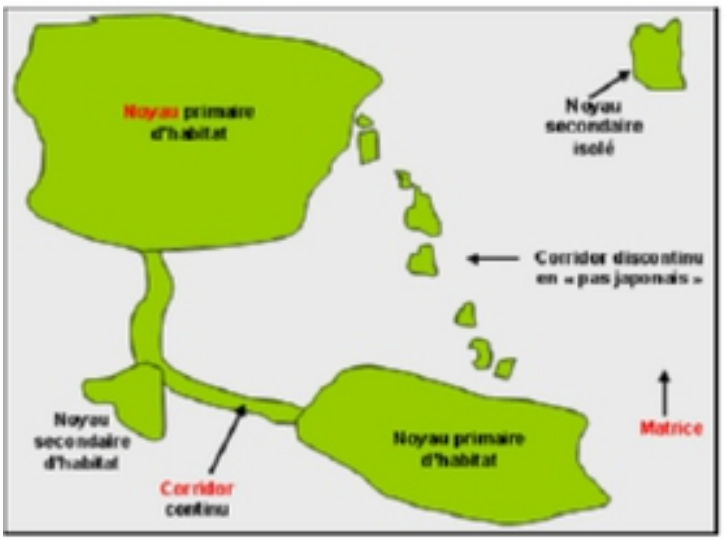
Matrice d'interactions de l'écosystème urbain et des autres écosystèmes

Forêt	● Production d'oxygène ● Production de biomasse (bois de construction etc.) ● production d'énergie (bois de chauffage) ● climat local ● climat global ● atténuation du bruit ● Support d'activités touristiques, éducatives et récréatives ● Amélioration du cadre de vie des citadins
ZH	● Purification de l'eau, (Interception et piégeage des matières en suspension Tampon contre les intrusions salines, Rétention et transformation des micropolluants toxiques) ● Recyclage des éléments nutritifs ● Alimentation en eau potable, ● Maintien de la qualité des sols ● Régulation des risques d'inondation, (Écrêtement et désynchronisation des crues, ralentissement des ruissellements et dissipation des forces érosives) ● Atténuation des effets de sécheresse, ● Fourniture d'eau pour l'alimentation en eau potable (Recharge des nappes, Stockage temporaire de l'eau (longitudinal et transversal)) ● Fourniture d'eau pour usages agricoles, industriels et domestiques non alimentaires ● Production de biomasse (cultures, bois…), ● Fourniture d'énergie (bois, cultures énergétiques)
Agro-écosystème	● production de biomasse : alimentation ● production de déchets, de polluants : impact sur qualité eau, air et aliments puis impacts sur santé homme et autres espèces de l'écosystème urbain
Mer et littoral	● attractivité : pêche, sports, loisirs, contemplation, oxygénation… ● production et rejets de déchets, de polluants
Montagnes et haute-montagne	● production de biomasse : alimentation ● attractivité : sports, loisirs, contemplation, oxygénation,
Écosystèmes sous-terrains	● Alimentation en eau potable ● rejets d'eaux usées traitées

4.2 – Interactions avec les autres écosystèmes à l'échelle des espaces de nature en ville : les trames vertes

Les écureuils, sont venus dans le parc du centre-ville depuis l'espace péri-urbain où ils abondent… Avant de s'y installer, ils auront dû éviter la circulation automobile et affronter une faune domestique qui les aura sans nul doute dérangés… Les parcs et autres espaces de nature en ville sont tout d'abord en interaction avec ce que l'on pourrait nommer la trame grise, voiries et immeubles. Ainsi, faire l'inventaire très localisée d'une espèce comme cela se pratique couramment dans des milieux dits naturels reste largement insuffisant pour raconter les interrelations à l'échelle du paysage.

Figure 36 : Différents éléments de la trame verte urbaine, Communication orale Gt urbain, Clergeau, 2014



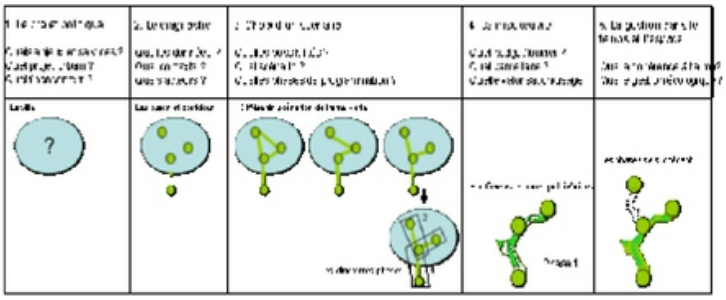
Les trames vertes et bleues régionales qui se déclinent en trame urbaines se trouvent au premier plan des interfaces écologiques entre les milieux environnants et la ville. En multipliant les corridors écologiques, la biodiversité ordinaire est maintenue jusqu'au cœur de la ville et la « transparence » régionale augmente. Ces corridors peuvent servir de support pour des transports alternatifs (vélos, piétons) jusque dans les espaces périurbains. Ainsi, la nature de proximité augmente sans pour autant accroître les surfaces vertes. Les corridors écologiques améliorent la biodiversité en ville en permettant les flux d'espèces à partir

de « sources ». Les espaces privés sont des éléments indispensables du maillage vert (jardins de particuliers, d'entreprise, bâtiments végétalisés…) **Ainsi, l'approche par le fonctionnement écologique incite à gérer les espaces (corridors écologiques) pour gérer les espèces.**

(Clergeau et Blanc 2013) propose une cartographie des espaces écologiques potentiels s'appuyant sur le gradient d'urbanisation depuis le suburbain, périurbain jusqu'au centre urbain.

Le gradient des espaces de nature augmente considérablement du centre des villes à la périphérie. La trame verte et bleue pourrait constituer une infrastructure esthétique et écologique pour une nouvelle urbanité. Selon les auteurs, un projet de trame verte en ville implique autant l'écologie que la sociologie, la politique ou l'histoire.

Figure 37 : Différents éléments de la trame verte urbaine, Communication orale Gt urbain, Clergeau, 2014



Faire rentrer la campagne dans la ville, et créer des corridors écologiques, pour augmenter la biodiversité des milieux urbains, nécessite de la vigilance et de l'ingénierie écologique. En effet ces liaisons sont susceptibles d'offrir des opportunités à certaines espèces urbaines pour migrer vers d'autres territoires. Ainsi des espèces exotiques potentiellement invasives sont introduites par l'homme dans les milieux urbains (Knapp et al. 2010) **et pourraient s'échapper pour coloniser hors des villes.**

4.3 – Interaction à l'échelle de la ville : dépendance, pollution et empreinte écologique

En dépit d'un apport important d'énergie naturelle, les milieux urbains sont consommateurs d'énergie sous forme d'aliments et de combustibles (produits pétroliers et gaz). Ils se comportent comme un lieu de transfert ou de transformation de la matière ; les quantités importées sont considérables ; leur correspondent également des quantités à peu près équivalentes sous forme de rejets solides, liquides et gazeux. Comme tous les systèmes vivants, il n'est pas surprenant que l'eau soit le plus important des flux de matière : produit unique, mais servant à de multiples usages, c'est la ressource dont la maîtrise est fondamentale pour les villes, quantitativement et qualitativement (Dambrin 1982).

4.3.1 – Flux d'énergie et de matières entrants : Dépendance

L'écosystème urbain croit en consommant plus d'énergie et de matériaux qu'il n'en produit, d'où la nécessité d'importer ces éléments. La dépendance des écosystèmes urbains vis-à-vis de l'eau potable et de l'alimentation rend essentiel le maintien de la qualité des conditions biotiques et abiotiques des autres écosystèmes. En effet, ces derniers contribuent fortement à la qualité de l'eau, la qualité de l'air et aux régulations des aléas climatiques, qui sont notamment primordiaux pour maintenir les milieux urbains en bonne santé.

4.3.1.1 – Consommation d'énergie

L'écosystème urbain est un important consommateur d'énergie et contribue ainsi significativement à la raréfaction des ressources naturelles. Cependant cette consommation au niveau des ménages n'est pas plus importante en ville qu'en milieu rural, au contraire ; l'effort énergétique (part allouée aux coûts de l'énergie dans le budget d'un ménage), est, selon les données INSEE, près de deux fois plus faible dans l'agglomération parisienne (5,7 % en 2006) qu'en zone rurale (11,3 %).

4.3.1.2 – Consommations d'eau potable

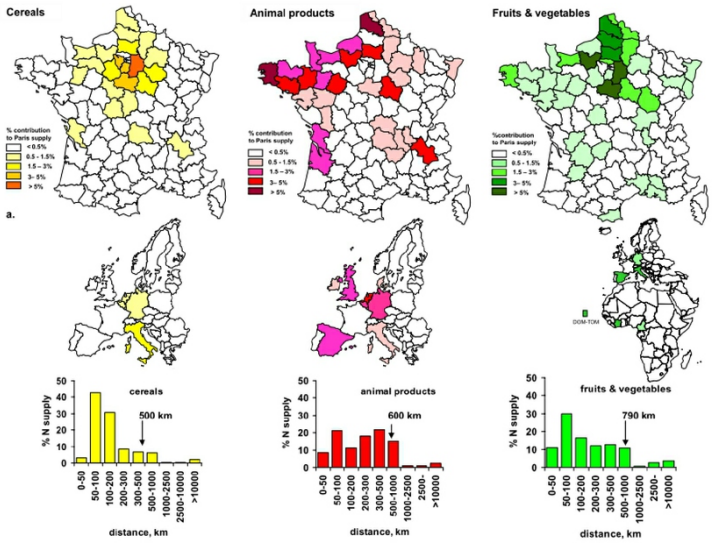
La consommation moyenne nationale de 137 litres d'eau /an et par personne. Elle est plus importante en ville qu'à la campagne. Ce chiffre ne reflète qu'une partie de la réalité si l'on considère l'eau nécessaire à la production de la nourriture, des produits, des matériaux… Les besoins en eau potable sont essentiels pour les villes. Les zones humides contribuent potentiellement fortement à ce besoin

(recharge des nappes, stockage temporaire de l'eau, interception et piégeage des particules, rétention et transformation des micro-polluants toxiques, recyclage des éléments nutritifs, etc.). Les forêts peuvent aussi jouer un rôle à ce niveau. En raison des faibles teneurs en nitrates observées en milieu forestier, de nombreux boisements de protections de captages ont été créés (Fiquepron, Picard, et Toppan 2015).

4.3.1.3 – Consommation de nourriture

(Ascher 2001) définissait une ville comme « un regroupement de populations qui ne produisent pas elles-mêmes leur moyen de subsistance alimentaire ». L'écosystème urbain est dépendant pour son développement de la capacité d'un écosystème extérieur, proche ou lointain, à produire un surplus alimentaire, et des moyens logistiques mis en place pour acheminer ce surplus. Le système est lui-même soumis à divers aléas.

Figure 38 : Contribution des départements français à l'approvisionnement de Paris en céréales, en produits animaux et en fruits et légumes en 2006, d'après l'analyse de la base de données SitraM.
Source : l'approvisionnement alimentaire de Paris (Gilles Billen)



4.3.2 – *Flux d'énergie et de matières sortants : Pollution*

Parallèlement à ces consommations, l'écosystème urbain est quasiment incapable de recycler l'ensemble de ses déchets. Il exporte de grandes quantités de déchets solides et liquides et relargue des émissions polluantes dans l'air et l'eau vers les autres écosystèmes (Forêts, ZH, agroécosystèmes, etc.). Il dépend donc aussi fortement des fonctions assurées par les autres écosystèmes pour décomposer tous ces éléments (décomposition de matière organique, maintien des cycles de vie (Cycle du Carbone, de l'azote, etc.)).

Au travers de la pollution, l'homme perturbe les cycles biogéochimiques des éléments et introduit à l'échelle parfois globale des polluants artificiels qui vont eux aussi circuler dans les divers écosystèmes terrestres ou aquatiques (F Ramade 1999). Ces pressions s'exercent sur le milieu (modification du climat global, acidification, eutrophisation, accumulation de polluants dans le sol et l'eau, etc.) et également directement sur les espèces (nécroses végétales, diminution de la croissance foliaire etc). Dans ce dernier cas, les polluants peuvent aussi provoquer d'importantes diminutions des populations des espèces exposées soit par mortalité immédiate ou différée, soit par stérilisation des individus (F Ramade 1999).

4.3.2.1 – La production de déchets

La production de déchets constitue une pression importante pour le milieu urbain lui-même et les autres écosystèmes : coût de gestion, nuisances olfactives et visuelles, pollution associée aux filières de traitement, etc. Si l'on prend l'exemple de l'agglomération parisienne et des gigantesques décharges en périphérie ; il serait intéressant de disposer par la suite de développement sur la capacité d'un écosystème urbain (avec comparaison celle d'un écosystème naturel) à gérer des flux de déchets d'origine humaine organiques.

Figure 39 : Quantité d'ordures ménagères collectées par unité urbaine, zone touristique et population communale.
(Ifen 2000)

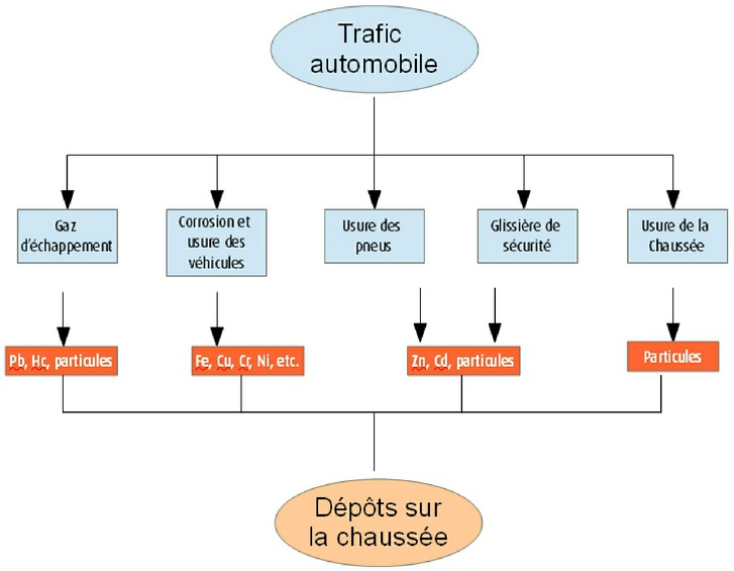
	kg/hab/an
Unités urbaines de + 20 000 habitants	394
Centre	416
Banlieue	375
Unités urbaines de - 20 000 habitants	389
Communes rurales	335
Périurbaines	323
Autres	341
Global non touristique	378
Communes touristiques	496
Ensemble	392

	Tranches de population communale*	kg/hab/an
France entière	0 - 499	349
	500 - 999	335
	1 000 - 1 999	361
	2 000 - 4 999	392
	5 000 - 9 999	401
	10 000 - 19 999	425
	20 000 et +	408
	Ensemble	392

*Les communes touristiques sont classées selon leur population permanente

4.3.2.2 – La pollution des eaux

Figure 40 : Pollution chronique due au trafic automobile (en milieu urbain, 40 % de ces micro-polluants sont évacués vers le milieu naturel par le ruissellement pluvial.



La pollution des eaux en milieu urbain est d'origine variée selon que l'on s'intéresse aux eaux résiduaires urbaines (les eaux usées) ou aux eaux pluviales. Les eaux usées proviennent des différents usages (domestiques, collectifs et industriels[1]) et font l'objet d'une collecte jusqu'à la station d'épuration (cas d'un assainissement collectif). Des dysfonctionnements du réseau de collecte ou du système de traitement peuvent être à l'origine d'une certaine pollution (ex : mauvais branchements, fuites, saturations des réseaux, rejets illicites ou accidentels, performance insuffisante des STEP, sous-dimensionnement de ces dernières). Une bonne gestion de la chaîne collecte-traitement en réseau séparatif associé à un système performant permet la plupart du temps de maîtriser la pollution des eaux résiduaires urbaines. *(Cimbéton 2007)*

Les eaux pluviales ruissellent sur les toitures, et voiries imperméables qu'elles « nettoient » en se chargeant des polluants qui y sont déposés et qu'elles relargueront dans les milieux naturels (chapitre 3.1.3). Selon certaines estimations, une ville moyenne exporterait en moyenne 1 à 3kg de P/ha/an, soit un impact « eutrophisant » supérieur ou égal à 1ha d'une zone cultivée moyenne, ou 2 à 5 fois plus qu'1ha de prairie, et 10 à 30 fois plus qu'une zone naturelle équivalente (forêt par exemple). Les eaux pluviales urbaines recèlent une concentration en métaux lourds très supérieure à celle observée en milieu rural (plusieurs dizaines de fois) et « dépassent les limites au-delà desquelles un effet biologique peut apparaître (Barraud 2008). »

4.3.2.3 – Production de matières consommables

Bien que les villes dépendent majoritairement des milieux extérieurs pour leur approvisionnement en produits alimentaires (*Cf.* Chapitre 4), les écosystèmes urbains peuvent permettre de produire certains d'entre eux. L'écosystème urbain, avec les entreprises implantées sur son territoire, « produit » également un certain nombre de biens qui seront vendus et utilisés par toutes les populations (urbaines comme rurales) et par conséquent « exporte » aussi vers les écosystèmes extérieurs.

4.3.3 – Pressions exercées par l'extension des écosystèmes urbains sur les autres écosystèmes

L'extension des écosystèmes urbains constitue une menace directe pour les autres écosystèmes (Forêts, ZH, agro-écosystèmes, etc.) dans la mesure où elle se fait à leur détriment. Sous l'effet de l'accroissement de la population, de ses besoins (centres commerciaux, loisirs etc), du développement de l'habitat résidentiel, de l'imperméabilisation quasi systématique des sols (routes, parking), l'espace urbain n'a cessé de s'agrandir. Les conséquences de l'étalement urbain sont particulièrement importantes notamment sur les services rendus par les sols, dont la consommation est estimée à la surface d'un département tous les 7 ans. Citons par exemple la destruction d'habitats potentiellement riches en biodiversité, la fragmentation des habitats ou la baisse de surfaces agricoles fournisseuses de produits alimentaires.

La déconnexion spatiale des différentes étapes de production primaire, de consommation puis de recyclage se traduit inéluctablement par des déficits (énergie, aliments…) et des excédents (déchets) qui s'aggravent parallèlement sans arriver à se compenser. Plus ces boucles sont rompues, plus les déséquilibres s'aggravent, plus l'écosystème urbain vit au détriment des autres écosystèmes sans leur restituer ce qu'il prélève, et plus la durabilité de l'un et des autres est compromise. En résumé, la ville est un écosystème ouvert, majoritairement tributaire de l'extérieur pour toutes ses consommations d'énergie et de matière, et donc à la fois très fragile et fragilisateur de la biosphère dans son ensemble. (E. Lierdeman, 2010). L'impact de l'écosystème urbain court bien en dehors de son emprise physique. La notion d'empreinte transforme une pression humaine d'un territoire en unité de surface nécessaire à ce territoire. La comptabilité environnementale dispose déjà d'un indicateur : une empreinte écologique globale, qui rend compte de cette surface « virtuelle ». Cette mesure est apte à rendre compte de l'impact de la ville sur les autres écosystèmes.

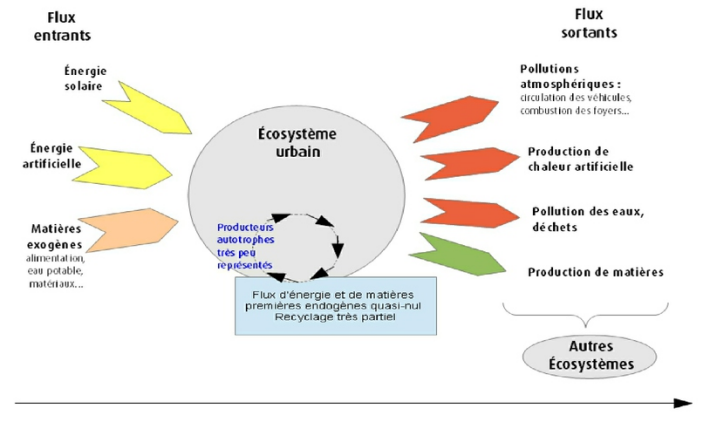
Synthèse

Lieu de vie de trois quarts de la population, les écosystèmes urbains concentrent la majorité des bénéficiaires des services écosystémiques. L'écosystème urbain ne peut être considéré isolement des autres dont il est forcément tributaire.

A contrario, selon une approche fonctionnelle du territoire qui permet d'apprécier l'influence des villes au-delà de leurs limites physiques, ce serait 95 % de la population totale qui vit sous l'influence des villes.

L'attractivité des pôles urbains tant en termes d'emplois, de tourisme, de services à disposition, génère d'importants flux de populations. Les milieux urbains constituent des écosystèmes à l'équilibre fragile caractérisés par des flux entrants et sortants (ce que consomme la ville / ce que produit la ville). Le mécanisme des cycles de la matière étant incomplet (recyclage total impossible du fait de l'absence des décomposeurs), le schéma de fonctionnement urbain se trouve être linéaire, dépendant vis-à-vis des autres écosystèmes non urbains.

Figure 41 : Schéma théorique simplifié du flux de l'énergie et de la circulation de matière dans un écosystème urbain
(source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie, françois Ramade, 2002, modifié par Cerema, DterCE)



Le territoire couvert par les métropoles et le Schéma de Cohérence territoriale offre une échelle de gouvernance pertinente pour évaluer les services écosystémiques fournis par des milieux écologiques diversifiés. Les milieux urbains puisent dans les écosystèmes environnants pour leurs ressources (eau, nourriture, énergies…). Dans l'autre sens, les flux en matière de santé, services culturels, emplois, flux financiers génèrent d'importants échanges entre la ville et les autres écosystèmes, qui permettent de parler d'interdépendance. Avec le développement des transports et de la mondialisation, la mise en réseaux des villes peut générer un effet démultiplicateur et accélérateur pour la propagation des épidémies, ou encore l'expansion d'espèces invasives, de parasites.

* * *

ÉTAT DES ÉCOSYSTÈMES URBAINS ET TENDANCES D'ÉVOLUTION

Partie 2

Cette deuxième partie consiste à structurer et mettre en œuvre une méthode pour réaliser l'évaluation biophysique des écosystèmes urbains en considérant leur état intrinsèque (chapitre 5), puis les facteurs de changement ou pressions qui pèsent sur eux (chapitre 6) pour ensuite les combiner afin de révéler ou confirmer quelques tendances d'évolution (chapitre 7).

Ainsi, les indicateurs d'état de l'écosystème et des facteurs de changements qui l'influencent (pressions) seront considérés comme des clefs d'entrée de l'évaluation des services écosystémiques (Levrel, CST EFESE, avril 2015). Dans cette vision dynamique, une priorisation s'impose parmi les enjeux urbains et services écosystémiques parmi les 36 que compte le cadre conceptuel de l'EFESE (Puydarrieux et al. 2014).

La protection des personnes – santé et cadre de vie, protection contre les risques naturels et adaptation au changement climatique – a émergé comme l'enjeu majeur des milieux urbains (Gt EFESE urbain, 7 mars 2014).

L'éducation et la sensibilisation à l'environnement, des décideurs comme des jeunes, ont été aussi relevées comme un point nodal. En effet, si 85 % de la population française est urbaine, alors le rapport homme-nature et la sensibilité aux enjeux environnementaux se construisent substantiellement au sein des territoires urbains.

Rien de surprenant à ce que ces enjeux s'inscrivent dans les axes de la stratégie nationale de la transition écologique vers un développement durable (SNTEDD), qui vise à développer des modèles urbains durables, prévenir et lutter contre des inégalités en santé environnement, prévenir et s'adapter aux changements climatiques, généraliser l'éducation à l'environnement. Le choix des services écosystémiques retenus comme devant faire l'objet de l'évaluation biophysique en milieu urbain découle de ces enjeux majeurs : régulation quantitative des flux liquides, auto-épuration de l'eau, régulation du climat local, régulation du climat global, filtration naturelle des niveaux de bruit, réduction des nuisances olfactives, écran

aux nuisances visuelles, aménités paysagères, éducation, activités de loisirs et récréatives (CGDD, 2015, EFESE Vol. 1, p.34à36).

Les biens tels que la nourriture et l'eau potable n'ont pas été considérés ici. Ils révèlent des interdépendances entre les territoires urbains et ruraux abordées au chapitre 4 et 9.

La méthodologie d'évaluation biophysique consiste à poursuivre une évaluation à plusieurs échelles présentant des intérêts complémentaires :

- celle de la ville dans son environnement large avec la région urbaine de l'Urban Atlas
- celle de la ville à deux échelons administratifs (commune et EPCI) et,
- celle des espaces de nature en ville.

Des indicateurs communs aux différentes échelles seront recherchés comme ceux issus des données géographiques haute résolution (l'imperméabilisation, le couvert végétal arboré).>

Cependant, il n'est pas réaliste de systématiser des indicateurs multiples échelles. Outre la faisabilité technique, la visée nationale de l'EFESE à l'échelle des villes et l'objectif du gestionnaire à l'échelle d'un parc urbain diffèrent.

À l'échelle des espaces de nature, l'évaluation des écosystèmes urbains s'appuiera sur une méthodologie spécifique, un modèle conceptuel et opérationnel dit "états et transition". Les modèles états et transition peuvent être utilisés pour caractériser la dynamique des écosystèmes et des services écosystémiques (Sandra Lavorel, avril 2015, CST ; CGDD cadre conceptuel EFESE, vol.1, p.53). Ainsi, le modèle "états et transition" des espaces de nature en ville s'élaborera, brique par brique, au fil des chapitres de l'évaluation biophysique, et se poursuivra pour illustrer les bouquets de services (chapitre 12, 13 et 14).

CHAPITRE 5

Indicateurs d'état et de fonctionnement des écosystèmes urbains

Ce chapitre propose une méthode pour évaluer l'état des écosystèmes urbains français ainsi que leur fonctionnement, ou en d'autres termes, pour estimer la capacité des processus écologiques à se réaliser et à se maintenir, produisant ainsi des services dits écosystémiques.

Dans la continuité des résultats de la partie 1 "qu'est-ce que l'écosystème urbain ? ", plusieurs hypothèses de travail sont formulées.

Du fait de la forte hétérogénéité des espaces de nature en ville (chapitre 3), l'évaluation des écosystèmes urbains est dépendante de l'échelle à laquelle elle est menée : espaces de nature, ville dense, et enfin celle de la ville dans son environnement (chapitre 2).

Les publics visés par les résultats de l'évaluation des écosystèmes urbains dépendent aussi de l'échelle. L'évaluation intéresse la planification et la stratégie urbaine, et des politiques sectorielles à l'échelle de la ville. Les résultats à l'échelle des espaces de nature sont d'ordre tactique, ils s'adressent aux gestionnaires et aux usagers.

Même si une méthode et des indicateurs communs sont recherchés, l'évaluation pourra faire appel à des méthodes et des indicateurs distincts aux deux échelles au besoin. On distinguera alors des indicateurs d'état$_{\text{ville}}$ et d'état$_{\text{espace de nature}}$.

La méthodologie proposée s'articule en 3 temps :

- le recueil des pratiques locales existantes (5.1) et l'analyse de leur potentialité à contribuer à l'évaluation nationale ;
- la production de données nationales propres à l'EFESE pour un panel de villes métropolitaines (5.2.) selon une méthode réplicable pour les autres villes ;

- la production méthodologique par modélisation des espaces de nature en ville avec le modèle états et transition (5.3.).

5.1 – Etat des écosystèmes urbains : quelles méthodes existent, quelles villes les ont mises en pratique ?

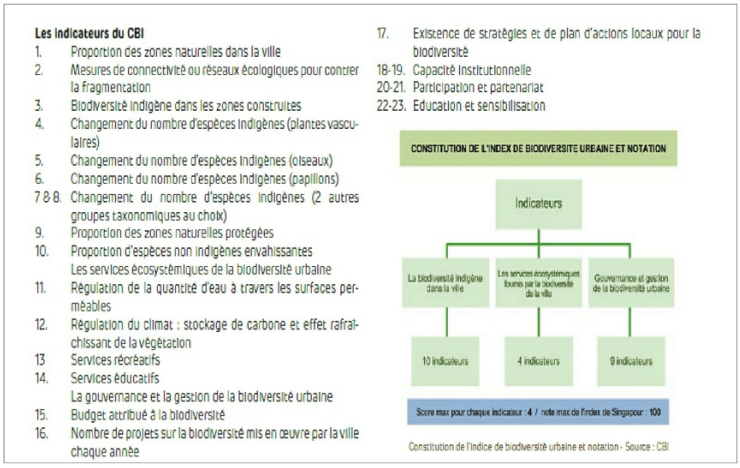
Sur la carte mondiale des villes ayant testé l'indice de biodiversité urbaine de la convention pour la biodiversité parue en 2010, Montpellier figure comme l'unique ville française, elle présente la note élevée de 77/100. Quelques rares villes dont Paris ont suivi sans souhaiter rendre public leur résultat. La région Nord Pas-de-Calais a appliqué à 15 villes une version "simplifiée" de cet indice dit aussi de Singapour -car créé dans cette ville d'Asie du Sud Est-, jugé trop complexe. Lyon se démarque en inventant un outil propre à donner une valeur écologique à chacun de ces espaces verts. Ce chapitre présente ces initiatives dont les enseignements orienteront le choix des indicateurs EFESE.

5.1.1 – City biodiversity index, la méthode normalisée au niveau mondial

Le City Biodiversity Index (CBI), aussi connu sous le nom d'index de Singapour a été développé dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique (annexe1).

C'est une des premières méthodes harmonisées d'auto-évaluation de la biodiversité en milieu urbain par les collectivités. Actuellement, en France, les retours d'expériences sont rares. Seules les villes de Montpellier et de Paris l'ont utilisé et la capitale n'a pas souhaité publier les résultats obtenus (Vanhautère 2010).

Figure 42 : Représentation de l'index de Singapour d'après ADEME, http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/methode3p50.pdf



L'index de Singapour évalue l'état des écosystèmes (indicateurs 1 à 10), les politiques publiques (15 à 23), et les services écosystémiques (11 à 14). Il mobilise 10 indicateurs consacrés à l'état de la biodiversité en ville : 6 concernent les espèces et 4 les milieux.

L'objectif de l'indice de Singapour est de permettre aux collectivités de faire un état des lieux de la biodiversité sur leurs territoires et d'en suivre l'évolution par itération. Ainsi, l'indice se veut un outil d'aide à la décision. Il se révèle efficace pour communiquer sur la politique menée par la ville et valoriser les actions menées par la collectivité.

Zoom

Indice de Singapour à Montpellier

La ville de Montpellier s'est investie dans une démarche de calcul de l'indice de Singapour. Elle a obtenu un bon score de **77/100**.

Le travail de réflexion associé au calcul de cet indice a permis de :

- mettre en avant les **points forts** de la ville de Montpellier : la biodiversité native, la diversité des écosystèmes, le pourcentage d'aires protégées, les services d'éducation à l'environnement ainsi que la gouvernance et la gestion de la biodiversité en ville.
- mettre en avant des **points faibles :** le pourcentage d'aires naturelles ou semi-naturelles, la fragmentation et la superficie d'espaces verts par habitant.
- **évaluer la politique de la ville en faveur de la biodiversité** et notamment du Plan d'actions pour la biodiversité de Montpellier
- d'utiliser cet **outil de suivi et de planification** de la biodiversité pour les villes du bassin méditerranéen dans le cadre du réseau méditerranéen des villes pour la diversité biologique, Médiversité

Néanmoins, l'aspect chronophage de cette méthode est pointé par les services des collectivités. Il est lié à la complexité inhérente au milieu urbain, aux compétences requises, et à la collecte des données. Chacun des indicateurs ne résulte pas de l'agrégation des évaluations des différents espaces de nature au sein de la ville. Aussi, pour le gestionnaire d'un espace donné, le retour par rapport à l'investissement n'est pas évident. Les indicateurs de biodiversité native nécessitent une réactualisation complète des inventaires de la faune et de la flore du territoire. Ce processus, coûteux, chronophage, doit être renouvelé à un pas de temps de 2 à 3 ans, décalé des agendas politiques.

Si l'index de Singapour est simple dans sa conception et robuste scientifiquement, un certain nombre des indicateurs qu'il propose sont difficilement mobilisables immédiatement à l'échelle nationale, surtout pour des collectivités territoriales disposant de services techniques restreints. Pour ces raisons et malgré tout son intérêt, le déploiement en France de l'indice de Singapour reste limité. Toutefois on voit poindre des initiatives qui s'en inspirent et s'en détachent.

Pour l'EFESE, nous retiendrons les indicateurs 1 et 9 "part des zones naturelles dans la ville", "part des zones naturelles protégées" (annexe 2) mobilisables à l'échelle nationale. Ces deux indicateurs, bien que n'allant pas jusqu'à traduire la naturalité des espaces, informent toutefois sur la présence de tels espaces dans la ville.

L'indicateur 2 de "mesure de connectivité" (annexe 3) est jugé par les collectivités complexe mais néanmoins indispensable pour qualifier les milieux urbains (GT EFESE urbain, séminaire collectivités du 3 juillet 2016).

Les indicateurs 3, 4, 5, 6, 7 (annexe 4) relatifs à la biodiversité native et son évolution ne sont pas documentés dans la plupart des villes françaises, mais peuvent l'être de manière ponctuelle pour certains espaces de nature en ville ou certaines espèces. Ils ne pourront être mobilisés pour l'EFESE urbain qu'au travers de portraits.

5.1.2 – L'indice de biodiversité urbaine "simplifié" pour 15 villes de la région Nord Pas-de-Calais (Hauts de France)

L'observatoire régional de la biodiversité Nord-Pas-de-Calais a été le premier à mettre l'accent sur la biodiversité urbaine en étudiant les quinze plus grandes villes[1] de la région suivant la méthode éprouvée internationalement. L'indice de Singapour a été simplifié. Le nombre d'indicateurs a été ramené de 23 à 12 dont 5 portent sur l'état des milieux :

- pourcentage de "zones naturelles" ;
- superficie d'espaces verts pour mille habitants ;
- mesure de la fragmentation urbaine ;

et 3 sur la faune et la flore :

- nombre d'espèces animales ;
- nombre d'espèces végétales vasculaires indigènes ;
- espèces végétales exotiques envahissantes.

L'outil cartographique de connaissance des modes d'occupation des sols et des milieux naturels appelé ARCH dont dispose la région, a sans nul doute joué un rôle facilitateur. L'approche régionale permet une re-contextualisation des données urbaines dans leur environnement naturel et une comparaison aux données naturalistes. Au-delà d'une approche spatiale sur l'état des milieux, la connaissance d'un observatoire de la biodiversité ainsi que du conservatoire national botanique transparaît par la richesse des données existantes faune / flore y compris à l'échelle de la ville.

Les travaux de la région Nord Pas-de-Calais, aujourd'hui Hauts de France, présente un intérêt fort pour l'EFESE urbain, avec des résultats d'évaluation sur 15 villes, même si elle s'est limitée au périmètre communale des villes.

Les enseignements en sont les suivants :

1. la distinction “zones naturelles” de “espaces verts” (même si toutes les villes ne l’ont pas l’appliquée) pertinente en termes de fonctionnalités écologiques et transposables à l’échelle nationale (annexe 5) ;
2. la mesure de la connectivité par une méthode appropriable par l’EFESE (annexe 6) ;
3. la mobilisation potentielle des données existantes des espèces les mieux renseignées par les observatoires régionaux de la biodiversité (annexe 7).

5.1.3 – « Reference Framework for european Sustainable Cities » (RFSC) : le cadre d’évaluation européen des villes durables

Initié dans le cadre de la charte de Leipzig sur la ville durable, le RFSC a pour objectif d’aider les villes à promouvoir les actions de développement durable à l’échelle d’un projet comme à celle de la planification (PLU, Agenda 21…). En France, Montbéliard, Rennes ou encore La Rochelle l’utilisent (CAMBIEN, CAUBEL Cadre de référence de la ville durable européenne : Des outils pour une approche intégrée, 2013). Les jeux d’indicateurs s’organisent autour des 4 piliers du développement durable : Économie, Social, Environnement et Gouvernance. Le tableau ci-dessous reprend 6 des indicateurs associés au pilier “Environnement” (*http://www.rfsc-community.eu/, Consulté le 29/07/2015*).

Tableau 9 :

Extrait du dispositif d'évaluation RFSC,
source : (RFSC, mode d'emploi général (2012) téléchargeable ici :
app.rfsc.eu/userfiles/file/Guidegeneraldutilisation.pdf)

ENVIRONNEMENT	
13. Atténuer les effets du **changement climatique** et favoriser l'adaptation des villes à ce changement	K15 – Emissions de gaz à effet de serre – en tonne par habitant
	K16 – Part des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie
14. Protéger et promouvoir **la biodiversité**	K17 – (Pourcentage des) Sols protégés au titre de la protection de la nature et de la biodiversité par des schémas municipaux, communaux, nationaux ou locaux
15. Réduire la **pollution**	K18 – Nombre de fois où la limite "PM10" autorisée par les directives européennes sur la qualité de l'air est dépassée
16. Préserver la qualité et la disponibilité **des ressources naturelles**	K19 – L'imperméabilisation des sols (en m2 par habitant)
17. Préserver et promouvoir **la bonne qualité et la fonctionnalité des bâtiments, des espaces publics et du paysage urbain**	K20 - Taux de satisfaction à l'égard des espaces publics

Le nombre de villes françaises ayant suivi cette méthode est encore une fois insuffisant pour une extrapolation nationale. L'examen de ce second outil d'évaluation spécifique aux milieux urbains dans un champ environnemental plus large que celui de la biodiversité, permet de constater la récurrence d'indicateurs portant sur la perméabilité (annexe 8), la mesure de connectivité, la part des espaces protégées, la faune et la flore. Par ailleurs, apparaît ici un nouvel indicateur - nombre/densité d'arbres en dehors des espaces verts- (annexe 9), qui en termes de service de régulation du climat local aurait toute légitimité à figurer parmi les indicateurs de l'EFESE urbain.

5.1.4 – Référentiel national Écoquartier, un indice de biodiversité à l'échelle du quartier

Dans le cadre du Label Ecoquartier, une évaluation thématique est recommandée. La grille d'évaluation de l'axe 20 « biodiversité » présentent un panel d'indicateurs précis à l'échelle d'un quartier
(*http://www.ecoquartiers-club.logement.gouv.fr/IMG/pdf/i2_evaleq_eng20_rapport.pdf*)

5.1.5 – Un référentiel sur mesure pour la ville de Lyon : Diagnostic de la valeur écologique des espaces verts

La ville de Lyon a développé un outil d'auto-évaluation du potentiel d'accueil de la biodiversité au sein des espaces verts de la ville. Simple et rapide, il est destiné à être documenté par les agents (Zoom Ville de Lyon). La nécessité de sa création est apparue suite à l'étude de l'indice de Singapour jugé inadapté à des objectifs opérationnels d'aménagement et de gestion.

Figure 43 : Diagnostic de la valeur écologique des espaces verts lyonnais - Tatiana BOUVIN - Responsable DD - Direction Espaces Verts - Ville de Lyon - Janvier 2016



L'outil de diagnostic de la valeur écologique des espaces verts figure au recueil "Capitale de la biodiversité 2015". Lors de sa présentation publique, plusieurs limites ont été relevées. Parmi elles, trois principales peuvent être mises en avant : 1/ l'importance de l'effet observateur qui peut impacter significativement sur le résultat, 2/l'absence d'intégration de données détenues par les associations naturalistes alors qu'elles pourraient alimenter le diagnostic, et enfin 3/un centrage sur les espaces

verts avec une moindre efficience sur de grands espaces naturels du fait du caractère ponctuel (une seule visite) du diagnostic (Levointurier-Vajda et Bouvin 2014). Par ailleurs, cet outil a été conçu par et pour le service technique, le potentiel de l'outil en matière de communication vers les élus ou le grand public reste limité.

Ce témoignage démontre l'importance de cerner de façon optimale la cible visée et les objectifs poursuivis en amont de la construction d'un outil d'évaluation. L'approche aux échelles de la ville et de l'espace de nature répond à des objectifs distincts qu'il s'agit d'énoncer. Dans le premier cas, elle doit permettre d'appréhender la ville dans sa globalité, dans un objectif de ville durable et résiliente. Dans le deuxième cas, l'approche à l'échelle de l'espace de nature, doit permettre d'optimiser la gestion et l'aménagement de l'espace. Au regard de ces distinctions, les deux approches ne pourront pas s'appuyer totalement sur une méthodologie et des indicateurs uniques multi-échelle.

Synthèse

Quels enseignements tirer de ce tour d'horizon des méthodes existantes et des résultats des villes françaises qui les ont déployées ?

La dynamique de l'évaluation de l'état des écosystèmes urbains est amorcée dans certaines villes, le plus souvent déjà sensibles aux enjeux de préservation de la biodiversité. Le nombre encore restreint de cités disposant d'une évaluation a conduit à la réalisation de quelques "portraits", mais n'autorise pas une montée en généralité. À l'exception de l'évaluation portée par la région Hauts de France, la généralisation de l'indice de Singapour n'est pas au rendez-vous dans les grandes villes françaises.

La multiplicité des méthodes, si elle témoigne de technicité et de créativité, invalide la possibilité d'exploitation des résultats d'évaluation à un niveau national. L'expérience innovante de l'Observatoire régional des Hauts de France est à retenir pour l'évaluation française : généricité suffisante et validité scientifique. Sa généralisation aux régions qui disposent d'ores et déjà d'un observatoire de la biodiversité se révèle une piste des plus intéressantes à promouvoir, malgré son application sur le seul territoire communal. Ces résultats régionaux seront mobilisés pour l'EFESE.

Pour l'EFESE, le choix des indicateurs biophysiques privilégie des indicateurs préexistants. Ce tour d'horizon a permis de dresser le panel des indicateurs dans lequel puiser selon nos besoins pour l'EFESE. Notre choix est guidé par des critères pragmatiques : disponibilité immédiate, robustesse et finesse de la donnée à l'échelle nationale, gratuité (Commission européenne, MAES, 2014). Les indicateurs devront être fiables et répétables, ne pas être dépendants les uns des autres ou présenter plusieurs fois la même caractéristique et enfin être préférentiellement mobilisables et compréhensibles par les collectivités.

Certaines collectivités utilisent des données fines et pertinentes mais non disponibles pour l'ensemble du territoire. Il s'agit alors de placer « le curseur » au bon niveau pour une juste qualification de l'état de l'écosystème considéré. Il est évident que les indicateurs sélectionnés ne recouvrent pas l'ensemble des éléments qui permettraient de caractériser un tel écosystème. De plus, au regard des objectifs différents entre la visée nationale de l'EFESE à l'échelle de la ville et ceux des gestionnaires des espaces, une complémentarité des indicateurs aux deux échelles sera visée. L'absence de ceux liés à la faune et à la flore engendre des frustrations à l'échelle de la ville, que l'évaluation des écosystèmes urbains à l'échelle des espaces de nature tente de minimiser.

Alors comment évaluer l'état actuel des villes à l'échelle nationale ?

5.2 – Indicateurs d'état et de fonctionnement des écosystèmes urbains pour l'EFESE à l'échelle de la ville

Dans un objectif de ville durable et résiliente (CGDD, SNTEDD, 2015, *http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/li/indicateurs-nationaux-transition-ecologique-vers.html*), **les indicateurs visent à répondre à une série de questions. Les villes**

françaises sont-elles vivables : respirables ? perméables ? sont-elles vivantes : vertes, bleues ? arborées ? accueillantes pour la faune et la flore ? sont-elles résilientes face aux crises ? adaptées aux changements climatiques ?

Eau, sol, air, faune, flore : la capacité des territoires urbains à fournir et bénéficier de services écosystémiques dépend de ces éléments, de leurs proportions, leurs qualités, et de leur distribution géographique.

Ainsi, une dizaine d'indicateurs d'état disponibles et immédiatement mobilisables à l'échelle de la France, ont été retenus (tableau 10). Le déploiement des indicateurs se fera sur une sélection de villes de France continentale de plus de 200 000 habitants parmi celles de l'Urban atlas.

Tableau 10 :

Synthèse des indicateurs d'état retenus pour l'écosystème urbain à l'échelle de la ville.
Source : Cerema

Critères associés à la condition physique	**Indicateur d'état $_{ville}$ 1**	**Proportion des surfaces imperméables**	Fiche indicateur et résultats Annexe 11
	Indicateur d'état $_{ville}$ 2	**Proportion des masses d'eau**	Fiche indicateur et résultats Annexe 12
	Indicateur d'état $_{ville}$ 3	**Mesure de la connectivité (Proportion de la maille effective)**	Fiche indicateur et résultats Annexe 13
Critères associés à la condition chimique	**Indicateur d'état $_{ville}$ 4**	**indice ATMO (ville de plus de 100 000 habitants) ou indice de qualité de l'air simplifié (IQA) (ville de moins de 100 000 habitants)**	- -
Critères associés à la condition biologique	**Indicateur d'état $_{ville}$ 5**	**Part des forêts**	Fiche indicateur et résultats Annexe 14
	Indicateur d'état $_{ville}$ 6	**Part des milieux humides**	Fiche indicateur et résultats Annexe 15
	Indicateur d'état $_{ville}$ 7	**Part des espaces verts urbains et de loisirs**	Fiche indicateur et résultats Annexe 16
	Indicateur d'état $_{ville}$ 8	**Part des espaces verts urbains et de loisirs pour mille habitants**	*(versé au chapitre 10)*
	Indicateur d'état $_{ville}$ 9	**Part du couvert végétal arboré**	Fiche indicateur et résultats Annexe 17

5.2.1 – Critères de choix et méthode de sélection des indicateurs et de villes françaises

« De façon générale, l'état d'un écosystème est défini par sa condition physique, chimique et biologique à un point donné dans le temps » (MAES, 2012 repris dans EFESE, volume1, p. 4 (Puydarrieux et al. 2014)).

En complément de ce qui précède, et en référence à cette définition de l'état d'un écosystème, l'état de la ville est approché par les critères complémentaires suivants :

- disponibilité à échelle nationale des données ;
- récurrence dans le tour d'horizon dont seuls les principaux sont présentés ici (Dusquene, rapport Master2, 2015) ;
- spécificités liées aux enjeux urbains : la ville est-elle vivante (biodiversité), vivable ? résiliente et adaptable ?
- capacité à évaluer un service écosystémique ;
- conditions physiques, chimiques et biologiques.

La définition du MAES permettra de structurer le propos. La condition physique est approchée par des critères liés à l'occupation du sol intégrant ainsi les proportions de surfaces imperméabilisées/surface totale. La condition chimique est approchée par des critères liés aux pollutions et nuisances. La condition biologique est approchée par des critères liés aux composantes naturelles (« nature en ville », biodiversité et corridors).

Ainsi neuf indicateurs d'état, disponible immédiatement à l'échelle de la ville, sont calculables et présentés dans le tableau 10. Leurs fiches descriptives de la méthode de calcul et les résultats détaillés correspondant sont rassemblés en annexe du présent rapport. Ces indicateurs ne sont pas exhaustifs, la caractérisation de l'état de la ville pourrait donc se faire à l'aide d'autres indicateurs pertinents mais dont les données ne sont pas facilement mobilisables. Cela concerne principalement la qualité de l'eau, des sols mais aussi les habitats et espèces.

Dans la suite de cette partie sont présentés l'ensemble de ces indicateurs : résultats sur le panel de villes sélectionnées (tableau 9) ou pistes de réflexions.

Une sélection de villes métropolitaines françaises de plus de 100 000 habitants va permettre de rapprocher les résultats. Le choix a été fait de s'appuyer sur l'atlas urbain européen qui compte en 2015, 33 villes françaises de plus de 200 000 habitants. Une sélection de la capitale et 12 villes selon une répartition géographique puis un tirage au sort. Pour l'INSEE, cela correspond approximativement aux 33 agglomérations françaises les plus peuplées : classe 8 se limitant à la capitale et

classes 7 aux agglomérations de plus de 200.000 habitants). La représentativité des villes petites et moyennes n'est en revanche pas assurée dans ce premier travail d'évaluation. Mais, la méthode et les choix d'indicateurs assurent une reproductibilité et une extension aisée. (Annexe 10)

5.2.2 – *Critères associés à la « condition physique »*

5.2.2.1 – Imperméabilité et perméabilité des sols : ville perméable ?

Outre les index de Singapour et RFSC, (voir 5.1.), le degré d'imperméabilisation est un indicateur fréquemment rencontré dans la littérature en raison de sa pertinence et de sa simplicité pour rendre compte de l'état de la ville dans sa globalité. Ainsi, pour l'écosystème urbain la proportion des surfaces imperméables et perméables, et des masses d'eau sera parlante. Cela pourrait constituer un instrument décisionnel pour la planification urbaine (ScoT, PLu).

L'imperméabilisation fait perdre au sol la majeure partie de ses fonctions écologiques et des services écosystémiques associés : modification du cycle de l'eau (diminution de l'infiltration des eaux pluviales, augmentation du ruissellement, accélération des écoulements), moindre rétention des polluants, moindre production de biomasse, modification des habitats (dégradation/disparition d'habitats, diminution de la biodiversité), modification de l'albédo favorisant le réchauffement de l'air local etc.

Pour ces raisons, le premier indicateur d'état choisi est la "proportion des surfaces imperméables" à l'échelle de la ville, un second "proportion des masses d'eau" suivra, tandis que l'évolution de l'imperméabilisation figurera au titre des indicateurs de pression.

Indicateur d'état $_{ville}$ I : Proportion des surfaces imperméables *(annexe 12)*

L'objectif est de quantifier les surfaces imperméabilisées à trois échelles structurantes du territoire urbain. L'indicateur consiste à identifier la proportion de surfaces imperméabilisées (les surfaces bâties, les infrastructures de transport, et les parkings, les autres surfaces imperméables) au sein de la commune, de l'EPCI, et du territoire couvert par l'atlas urbain.

Résultats : Le tableau suivant regroupe le taux d'imperméabilisation d'une sélection de grandes villes françaises et ceci pour différentes échelles (commune, EPCI, surface maximum couverte pas l'Atlas urbain). Les chiffres

mettent en avant de fortes disparités (10, 4 % pour Aix-en Provence à 77,1 % pour Nancy). Les différences peuvent s'expliquer par de nombreux facteurs : superficie, contexte environnant, histoire, choix politiques, etc. De plus, ces chiffres sont en mettre bien sûr en regard des densités de population.

Tableau 10 :

Taux d'imperméabilisation des sols pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine,
source : Cerema-DTer Med

Taux (%) d'imperméabilisation des sols pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	6,2	6,2	10,4	
Bordeaux	6,6	27,9	65,5	
Grenoble	5,3	11,3	70,6	
Lille	26,0	26,0	68,4	
Limoges	3,1	8,5	32,9	
Lyon	11,6	38,3	73,6	
Marseille	23,6	23,6	35,8	
Montpellier	17,6	19,3	54,1	
Nancy	4,9	30,0	77,1	
Nantes	8,0	22,3	55,8	
Orléans	5,0	21,8	58,0	
Rennes	5,4	11,8	49,8	
Moyenne pondérée[4]		18,4	40,8	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Figure 44 : Taux d'imperméabilisation des sols 2012 pour une sélection de 12 villes françaises (fiche indicateurs)
basé sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015.
Source : Cerema Med



Figure 45 : Taux d'imperméabilisation des sols 2012 pour une sélection de 12 villes françaises (fiche indicateurs)
basé sur les limites administratives des communes.
Source : Cerema Med



A Aix-en-Provence, le faible taux d'imperméabilisation au niveau communal s'explique par un territoire communal très étendu dont une importante partie est occupée par des milieux boisés Le substrat calcaire et l'absence d'eau, les incendies répétés ont limité pendant un temps l'extension de l'urbanisation bien que de nouveaux quartiers s'y installent aujourd'hui comme La Duranne à proximité de la gare TGV. La densité y est ainsi très faible (environ 753 hab/Km^2) par rapport à d'autres villes comme Lyon (10 362 hab/Km^2). Par ailleurs, au sein de la partie plus urbanisée, la ville d'Aix-en-Provence présente de nombreuses surfaces végétalisées (alignements d'arbres, cœurs d'îlot végétalisés, jardins, etc.), qui participent à un moindre taux d'imperméabilisation du territoire communal. La ville de Limoges est également dans ce cas, grâce à un effort particulier de la ville pour développer les surfaces végétalisées.

À Rennes, le taux d'imperméabilisation est d'environ 50 %. Il est intéressant de préciser que le taux d'imperméabilisation sur cette commune est limité à 90 % dans le centre-ville et à 40 % dans le reste de la ville, via le zonage d'assainissement annexé au PLU.

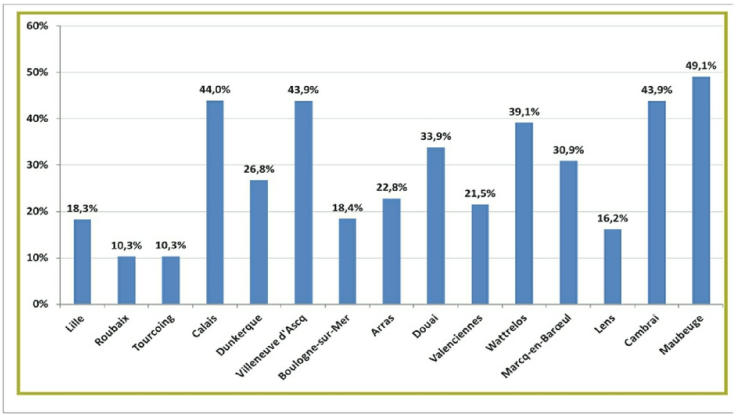
D'autres villes présentent un très fort taux d'imperméabilisation à l'échelle communale (Nancy (77 %), Lyon (74 %), Grenoble (71 %)). Elles sont fortement urbanisées sur une grande partie de leur territoire avec des densités de population particulièrement élevées en comparaison des autres villes du panel. Notons toutefois que ces collectivités réfléchissent activement à la réduction de l'imperméabilisation sur

leur territoire. En écho au projet AQUAADD (projet européen axé sur les échanges de pratiques et le développement des connaissances dans le domaine de la gestion de l'eau dans la ville) et notamment aux démarches de désimperméabilisation des espaces publics engagées par ses partenaires d'Eindhoven, le Grand-Lyon lance une réflexion sur cette thématique. Depuis quelques années, la ville de Grenoble intègre au sein des nouveaux aménagements des exigences fortes en termes de réduction de l'imperméabilisation comme cela a été le cas dans le projet de renouvellement urbain de la ZAC de Bonne.

Pour Nancy, Lyon et également Bordeaux et Lille, le fort taux d'imperméabilisation à l'échelle communale se retrouve également à l'échelle de l'EPCI, ce qui montre un contexte environnant urbanisé. À l'inverse, Grenoble présente un taux d'imperméabilisation plutôt bas à l'échelle de l'EPCI, qui contraste avec celui de la commune et traduit le contexte montagnard, permettant potentiellement l'expression de plus de services écosystémiques.

L'observatoire de la biodiversité des Hauts de France a également déterminé la proportion de zones perméables (forêts, marécages d'eau douce, prairies naturelles, ruisseaux, etc.), par opposition aux zones imperméables (zones bâties, infrastructures de transport, etc.) dans les quinze communes les plus peuplées de cette région. Les résultats sont les suivants :

Figure 46 : Proportion de zones perméables dans les quinze plus grandes villes du Nord-Pas-de-Calais)
(ORB Nord-Pas-de-Calais 2013b)



Des contrastes forts entre les villes apparaissent également. Les explications précédentes s'appliquent. Les villes les plus densément peuplées sont celles présentant le moins de zones "naturelles" notamment en périphérie. Notons aussi qu'afin de limiter l'imperméabilisation et/ou ses impacts, de nombreuses collectivités du Nord-Pas-de-Calais mettent en place des techniques alternatives des eaux pluviales (souvent basées sur des techniques végétalisées) dans les nouveaux quartiers ou au cœur même des villes lors de projets de rénovation. Ainsi, par exemple, des écoquartiers tels que la ZAC du Raquet à Douai, le Bois habité à Lille, le quartier de l'Union à Tourcoing et Roubaix ou encore le quartier de la Haute-Borne à Villeneuve d'Ascq disposent de tels aménagements favorables à l'infiltration de l'eau et multifonctionnels (amélioration du cadre de vie, amélioration du confort thermique en été, etc.).

5.2.2.2 – Part des surfaces en eau dans une sélection de grandes villes de la France continentale

Indicateur d'état $_{ville}$ 2 : Proportion des milieux humides (zones humides et surfaces en eau) *(annexe 12)*

Cet indicateur englobe les eaux permanentes et les zones humides au sens des données cartographiques des couches hautes résolution. Les milieux humides et en eau permanentes sont systématiquement présents dans les villes sélectionnées, même si leur proportion varie de 1 à 12 %.

Figure 47 : Superficie et part des masses d'eau (zones humides et surfaces en eau) pour une selection de 12 villes françaises de plus de 200.000 habitants.
Source : 2016, Cerema Méditerranée

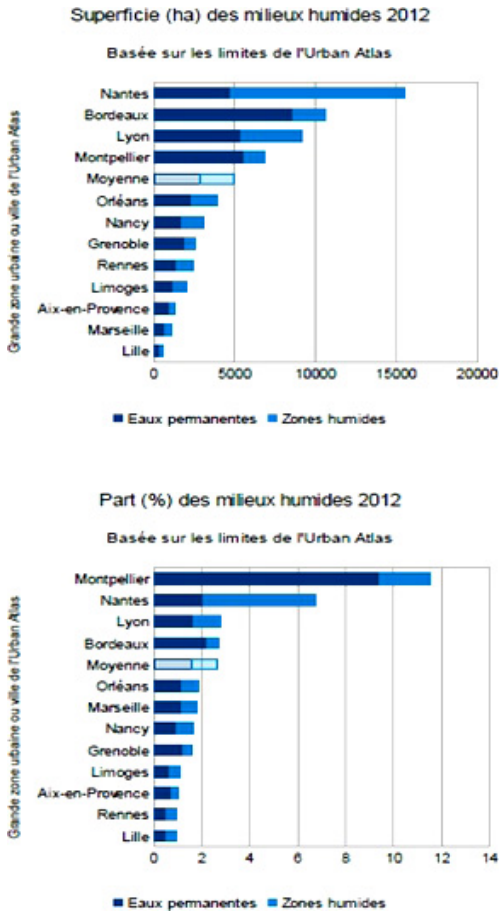
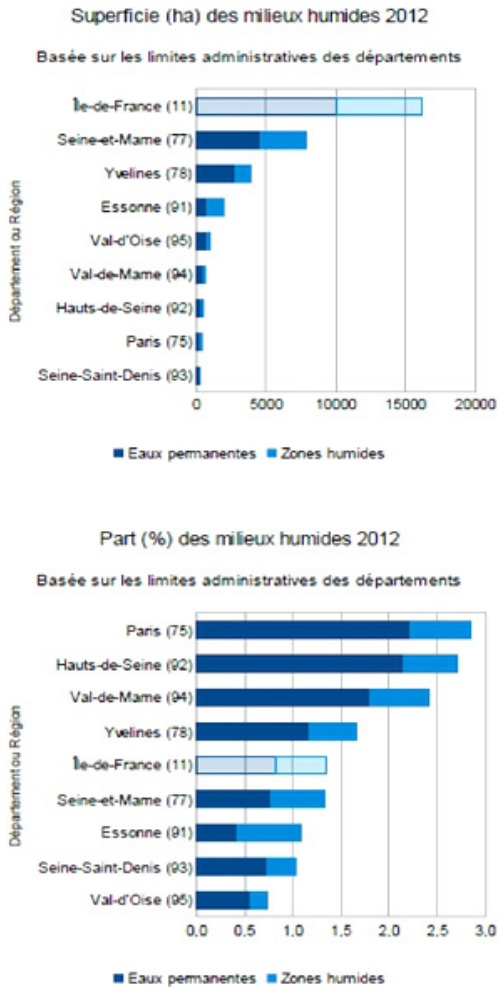


Figure 48 : Superficie et part des masses d'eau (zones humides et surfaces en eau) pour l'Île de France.
Source : 2016, Cerema Méditerranée



5.2.2.3 – Fragmentation / Connectivité

Le choix a été fait d'associer ce critère à la « condition physique » plutôt que "biologique" de la ville en raison du rôle prépondérant des éléments physiques « fragmentants » dans le résultat final.

En effet, la fragmentation des zones naturelles en lien avec l'urbanisation et l'occupation du sol (infrastructures, barrières physiques, etc.) constitue une des plus fortes contraintes pour la biodiversité, en fractionnant et réduisant les espaces vitaux des espèces. Il est donc essentiel de retenir un critère permettant d'appréhender

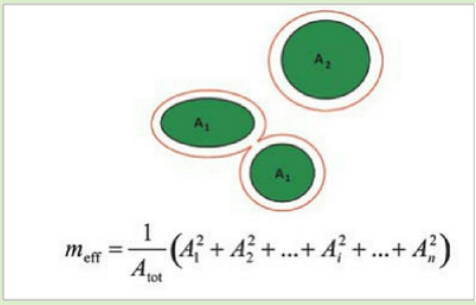
l'état de la fragmentation. L'indicateur ci-dessous présente l'avantage de mettre en avant la notion de connectivité. Il peut encourager, à l'échelle de la planification urbaine et de la trame verte, les actions positives en faveur du développement des liens fonctionnels entre les espaces de nature ainsi que la réduction des obstacles à cette connectivité.

Indicateur d'état $_{ville}$ 3 : Mesure de la connectivité (Proportion de la maille effective) *(annexe 13)*

L'indicateur "Mesure de la connectivité (proportion de la maille effective) "vise à mesurer le degré d'isolement des zones de nature au sein du territoire urbain étudié. D'après (Jaeger 2000), « la largeur de maille effective exprime la probabilité que deux points, choisis au hasard dans la région étudiée, soient connectés, c'est-à-dire non séparés par une barrière telle qu'une infrastructure de transport ou une zone urbanisée ». Plus les îlots sont connectés et plus la maille effective est large.

Méthode de calcul de la maille effective :

Figure 49 : Méthode de calcul de la maille effective,
source : observatoire régional de la biodiversité du Nord Pas de Calais



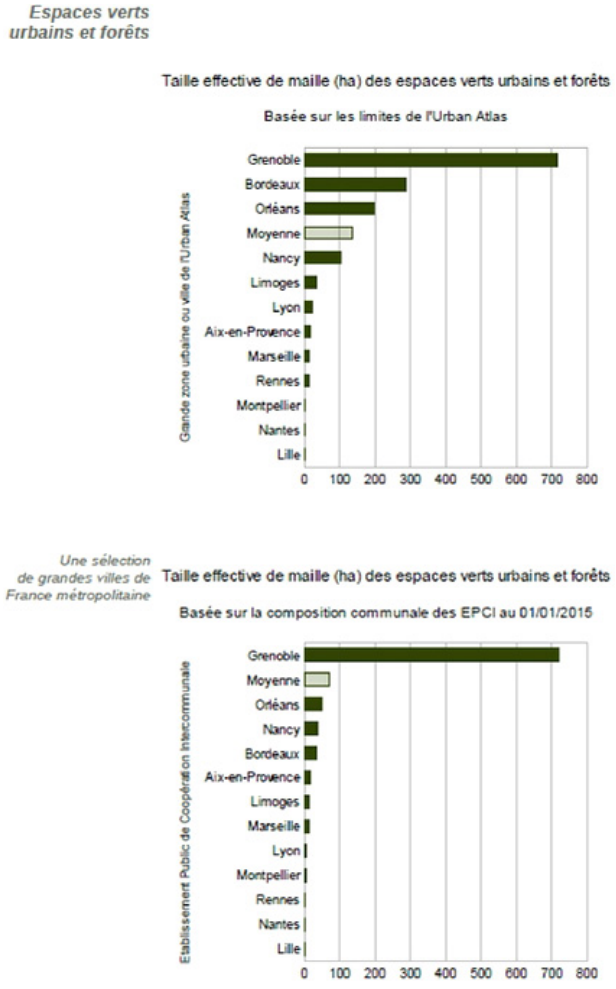
- meff est la maille effective,
- n représente le nombre total d'espaces naturels (ou semi-naturels ou assimilés)
- Atot représente la surface totale de tous les espaces naturels (ou semi-naturels ou assimilés)
- A1 à An représentent les surfaces des îlots distincts

Les îlots séparés par moins de 100 mètres (exemple îlots A1) sont considérés comme un seul îlot dans le calcul des surfaces.

Piste d'amélioration de l'indicateur : une étude de sensibilité pourrait être menée pour voir comment réagit l'indicateur si cette distance est ramenée à 50m si le sol est imperméabilisé entre les deux îlots.

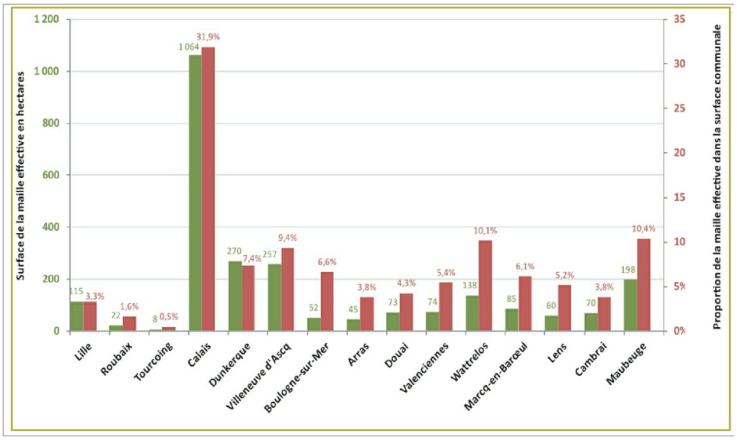
Résultats :

Figure 50 : Taille de la maille effective pour les EPCi d'une sélection de 12 villes métropolitaines françaises
Source : Cerema Méditerranée 2016



L'observatoire de la biodiversité du Nord-Pas-de-Calais a calculé la part de la maille effective dans la surface communale des quinze communes les plus peuplées du Nord Pas-de-Calais.

Figure 51 : Part de la maille effective dans la surface communale des quinze communes les plus peuplées du Nord – Pas-de-Calais - Source ORB NPdC d'après ARCH, 2013



Sur le graphique précédent, le pourcentage en rouge représente la probabilité que deux points, pris au hasard dans la ville, soient connectés. Dans la ville de Calais par exemple, il existe 31,9 % de chances que deux points pris au hasard soient dans le même espace naturel ou dans deux espaces naturels séparés de moins de 100 mètres.

Les villes densément peuplées et présentant les plus faibles proportions de zones "naturelles" y compris les parcs urbains présentent les connectivités les plus faibles. Parallèlement à ces deux facteurs, les faibles connectivités peuvent aussi être liées à une répartition non homogène sur le territoire des espaces de nature.

5.2.3 – *Critère associé à la « condition chimique »*

5.2.3.1 – Qualité de l'air : une ville respirable ?

L'état de la qualité de l'air local est un facteur important pour les écosystèmes et bien sûr pour la santé humaine. Il joue également un rôle significatif dans les conditions climatiques locales [2] et dans la régulation du climat global.

Pour suivre l'état de la qualité de l'air au sein des villes françaises, il est possible de suivre les polluants de manière individuelle (PM 2.5, PM10, NO_2, ozone etc.) ou de se baser sur les indices globaux évaluant l'état global de la qualité de l'air à partir de plusieurs polluants. C'est ce dernier indicateur que nous proposons de suivre ci-

dessous dans la mesure où les indices ATMO et IQA sont des outils permettant de caractériser de manière simple et globale la qualité de l'air d'une ville. Ces indices sont facilement accessibles sur internet (Source : Associations Agréées Surveillance Qualité de l'Air – AASQA). (Le suivi des polluants au sein des villes françaises est quant à lui réalisé dans le chapitre 6).

Indicateur d'état $_{ville}$ 4 : indice ATMO (ville de plus de 100 000 habitants) ou indice de qualité de l'air simplifié (IQA) (ville de moins de 100 000 habitants)

L'indice ATMO mesure la pollution atmosphérique moyenne quotidienne dans les villes de plus de 100 000 habitants, à partir de stations représentatives de la pollution de fond. Il est basé sur les concentrations journalières de polluants typiques des phénomènes de pollution atmosphérique : le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3), les particules en suspension (particules de taille médiane inférieure à 10 micromètres PM_{10}).

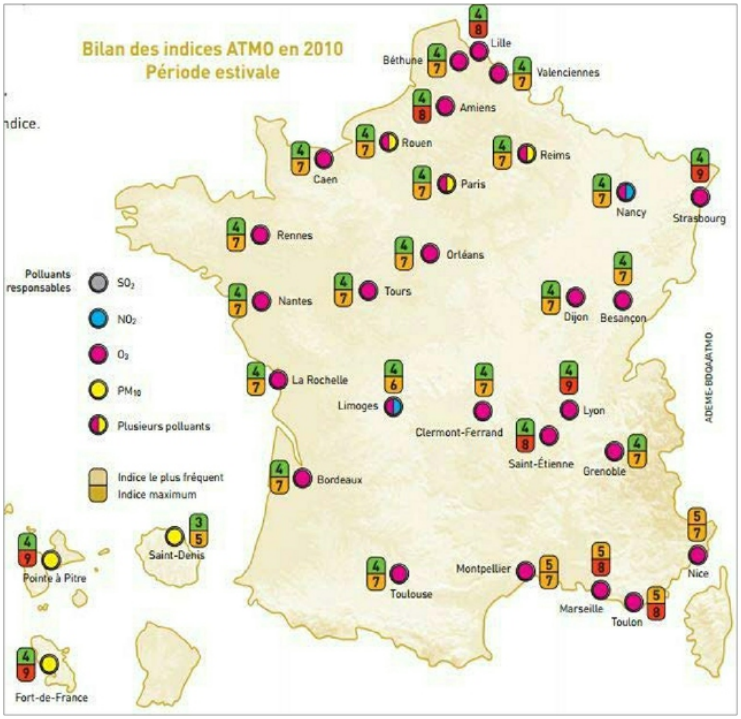
L'indice de qualité de l'air simplifié (IQA) est le résultat agrégé de la surveillance de 1, 2, 3 ou 4 polluants, en fonction de l'équipement de surveillance de la qualité de l'air déployé dans la zone géographique considérée. Il est calculé pour les agglomérations ou les zones géographiques de moins de 100 000 habitants, selon la même méthode que l'indice ATMO.

A cet indicateur d'état, sera associé un indicateur de pression (chapitre 6) : Nombre de jour ou l'indice ATMO est supérieur à 6 (médiocre ou très mauvais).

La carte ci-après illustre le bilan de la qualité de l'air au sein de villes françaises lors de la période estivale de 2010.

Si l'on se base sur les indices les plus fréquemment constatés lors de cette période estivale de 2010, il s'avère que l'extrême sud-est de la France présente les moins bons résultats (indice 5 le plus fréquent). Cela est notamment dû aux conditions météorologiques ainsi qu'à la forte présence de zones industrielles sur certains secteurs. Les indices ATMO maximum sont quant à eux observés à Strasbourg et Lyon (indice 9) puis à Lille, Amiens, Saint-Étienne, Marseille et Toulon (indice 8).

Figure 52 : Bilan des indices ATMO en 2010 - Période estivale
Source : Fédération ATMO France (http://www.atmo-france.org/fr)



Parallèlement au suivi des indices ATMO, il paraît aussi pertinent de suivre **les concentrations moyennes en particules en suspension dans l'air** dans la mesure où ces dernières ont, selon l'OMS, plus d'effets sur la santé que tout autre polluant. Les données ci-après proviennent d'une base de données de l'OMS sur la qualité de l'air de 1600 villes situées dans 91 pays différents. Les concentrations citées concernent les PM2.5 (année 2011).

Avec une moyenne de 20µg/m^3 pour la concentration en particules fines (PM 2,5), la France ne figure pas parmi les pays les plus pollués. Toutefois, sur les 81 villes françaises présentes dans la base de données de l'OMS, 80 dépassent plus ou moins largement le seuil recommandé par l'OMS pour ces particules fines (PM2,5).

Douai apparaît en premier lieu avec une moyenne de 26µg/m3 (440e rang mondial). Viennent ensuite Annecy (25µg/m^3), Martigues et Annemasse (en lien avec Genève) avec 23µg/m3 puis Amiens, Antibes, Grenoble, Lille, Reims et Saint-Quentin avec 22µg/m3.

Saint-Denis est la seule ville française suivie à ne pas dépasser la concentration préconisée par l'OMS : sa moyenne est de 10µg/m3. Parmi les autres villes françaises présentant les plus faibles concentrations, on trouve : Bayonne (11µg/m3) puis Caen, La Rochelle et Saint Nazaire (12µg/m3).

À noter que Paris ne fait pas partie des villes les plus polluées de France : elle arrive à la 37e place de ce classement français, avec une moyenne de 17µg/m3 de PM2.5. De forts pics sont toutefois ponctuellement enregistrés dans la capitale française, pouvant avoir de lourdes conséquences pour la population et les écosystèmes.

5.2.3.2 – Qualité de l'eau et des sols : des indicateurs souhaitables

Seront abordés dans ce qui suit les indicateurs souhaitables pour qualifier la condition chimique des écosystèmes urbains français à l'échelle de la ville mais pour lesquels les données ne sont pas immédiatement disponibles ou mobilisables.

A) Qualité des cours d'eau et des eaux souterraines

Une eau de qualité participe au maintien du bon état de l'écosystème urbain considéré dans la mesure où elle contribue au bon fonctionnement du milieu naturel aquatique et à la biodiversité (maintien des équilibres biologiques) et fournit également de nombreux services (AEP, loisirs, cadre de vie, etc.). À travers l'évaluation de l'état des eaux superficielles et souterraines, il s'agit donc aussi de déterminer l'aptitude du milieu à assurer ces fonctions et services.

À noter que l'état de la qualité de l'eau (surface et superficielle) de la ville dépend essentiellement du contexte environnant.

L'indicateur d'état proposé consisterait à évaluer d'une part la qualité globale de l'ensemble des cours d'eau (amont et aval) et d'autre part celle des eaux souterraines sur le territoire urbain considéré, à partir des critères de la Directive Cadre du l'Eau.

Selon la DCE, l'état d'une masse d'eau superficielle est défini comme étant la situation la plus déclassante entre :

- un état chimique se rapportant à des normes de concentrations de certaines substances particulièrement dangereuses (dites toxiques),
- un état écologique qui repose sur une évaluation d'« éléments de qualité » biologiques (peuplements en végétaux, invertébrés et poissons) et physico-chimiques (paramètres généraux comme le bilan en oxygène ou les nutriments et

de polluants toxiques comme les métaux).

L'état des cours d'eau est accessible sur internet dans le cadre du programme de surveillance des eaux douces de surface défini par la DCE. La maîtrise d'ouvrage de ces réseaux est assurée par les Agences de l'eau, les DREAL et l'ONEMA. La qualité des eaux souterraines est accessible sur internet via le portail d'Accès national aux Données sur les Eaux Souterraines : ADES.

B) Qualité des sols

En milieu urbain, la plupart des sols sont fortement modifiés par les activités humaines qui induisent des changements de composition et de fonctionnement. Les fonctions réalisées par ces sols et leur résultante en termes de services écosystémiques sont alors menacées. La qualité des sols est un des critères qu'il serait intéressant de suivre pour évaluer l'état de la ville. Il est particulièrement difficile à obtenir, l'état des connaissances n'est pas assez avancé sur les sols urbains.

Les seules bases de données existantes au niveau national concernent les sols pollués. Elles permettent de connaître la proportion des sols potentiellement pollués sur le territoire, susceptibles d'engendrer des effets négatifs sur le milieu (eaux souterraines, etc.) et sur la santé humaine.

Basias (Base des anciens sites industriels et activités de service) est une base de données faisant l'inventaire de tous les sites industriels ou de services, anciens ou actuels, ayant eu une activité potentiellement polluante. Développée par le BRGM pour le MEDDE, elle est accessible sur http://basias.brgm.fr.

Basol est une base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Le recensement est réalisé par les préfectures et les DREAL. Elle est accessible sur www.basol.environnement.gouv.fr.

L'indicateur consisterait à évaluer le % de la surface du territoire en sites pollués ou potentiellement pollués sur le territoire, grâce aux bases de données Basias et Basol. Bien que partiel, il donnerait à cette échelle de la ville une information sur les effets potentiels négatifs sur le milieu et la santé humaine.

5.2.4 – Critères associés à la « condition biologique » : une ville vivante ?

En milieu urbain, les espaces de nature peuvent potentiellement remplir certaines fonctions écologiques (celles retenues par le cadre conceptuel du projet Efese [3]), et sont ainsi à l'origine de nombreux services écosystémiques. Connaître la proportion de ces espaces de nature au sein de la ville est donc essentiel dans le cadre d'une évaluation à l'échelle de la ville. Toutefois, tous les espaces de nature ne sont pas équivalents pour remplir ces fonctions écologiques et fournir ces services écosystémiques. Aussi, plusieurs indicateurs ont été retenus afin de mettre en évidence ces différences et de distinguer les principaux habitats (forêts, milieux humides…). Une approche basée sur les espèces « banales » ou le décompte des morpho-espèces serait sûrement plus précise mais l'approche par les habitats semble plus réalisable à cette échelle de la ville.

Notons qu'à l'échelle de la France, les données actuelles ne permettent pas d'évaluer la diversité des habitats et des espèces au sein des écosystèmes urbains. Aussi, les indicateurs liés à cette thématique sont développés dans la partie consacrée aux indicateurs souhaitables pour mieux décrire l'état des écosystèmes urbains.

5.2.4.1 – Espaces naturels et semi-naturels : une ville nature ?

Les espaces naturels et semi-naturels sont susceptibles d'être associés à des habitats, une flore et une faune plus remarquables que sur le reste du territoire, et des fonctions écologiques plus autonomes que dans les espaces verts anthropiques. Il paraît donc intéressant d'en connaître la proportion au sein des territoires urbains et de les différencier des espaces verts anthropiques. Cet indicateur est le premier de l'index de Singapour, qui le définit ainsi : "les espèces natives y prédominent, et les écosystèmes naturels ne sont pas ou peu influencés par l'action de l'homme, ou bien cette action tend à préserver ou améliorer la biodiversité". Pour l'EFESE, on ne reprend pas l'indicateur de l'index de Singapour, mais on s'inspire de son esprit. Pour rendre compte de la part des espaces naturels à plusieurs échelles, seront renseignés deux indicateurs témoignant d'habitats distincts : les forêts et les milieux humides.

5.2.4.2 – Part des forêts pour une sélection de grandes villes françaises

Au sein des espaces de nature, les forêts jouent un rôle particulièrement important, en offrant de nombreux services écosystémiques : régulation de la qualité de l'air, aménités paysagères, culturelles et sportives, rafraîchissement de l'air ambiant, habitat et déplacement d'espèces, stockage du carbone, lutte contre l'érosion, etc.

Indicateur d'état $_{ville}$ 5 : Part des forêts dans une sélection de grandes villes de la France continentale (Annexe14)

La superficie des forêts a été calculée par intersection entre la couche haute résolution du type de forêts, la couche support et les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part(%) des forêts a été calculée en rapportant la superficie des forêts à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas, EPCI (illustration 6), communes (illustration 5) et Urban Morphological Zone (UMZ) et différents types de forêts : Forêts de feuillus, Forêts de conifères, Feuillus à usage principalement agricole, Feuillus ou conifères en contexte urbain.

Figure 53 : Part des forêts dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015.
Source : Cerema

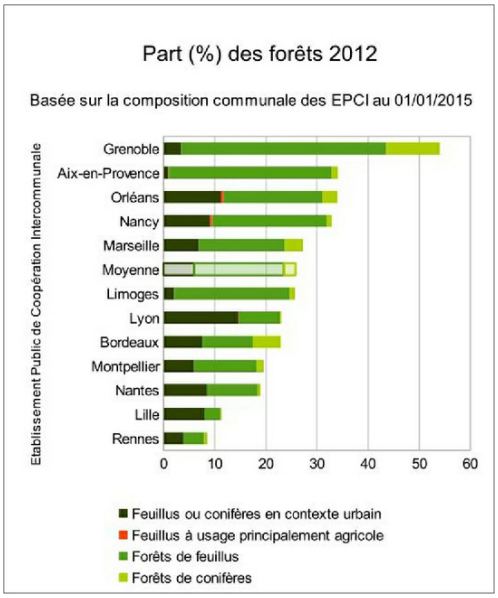


Figure 54 : Part des forêts en Île de France.
Source : Cerema

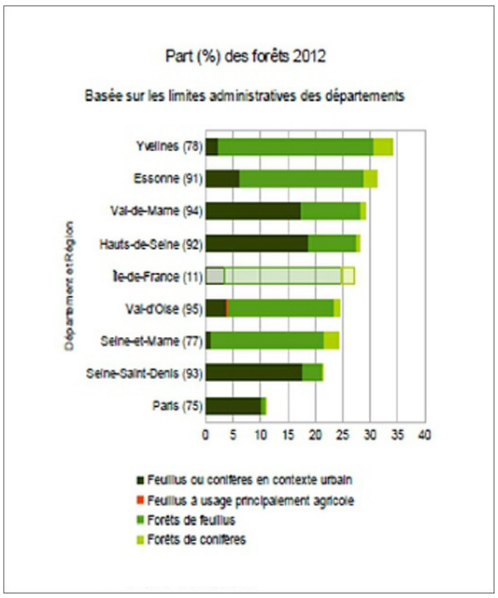
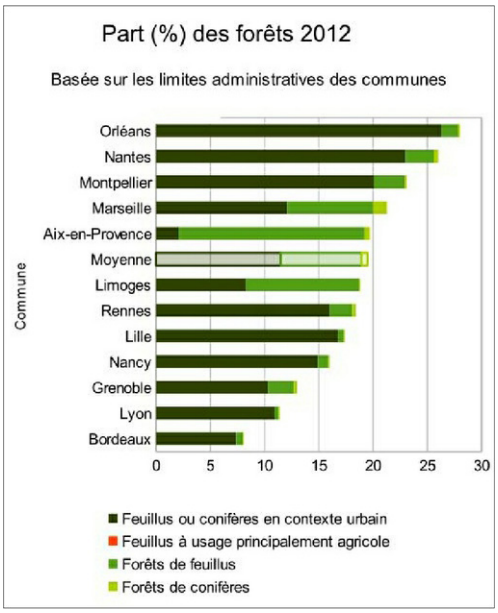


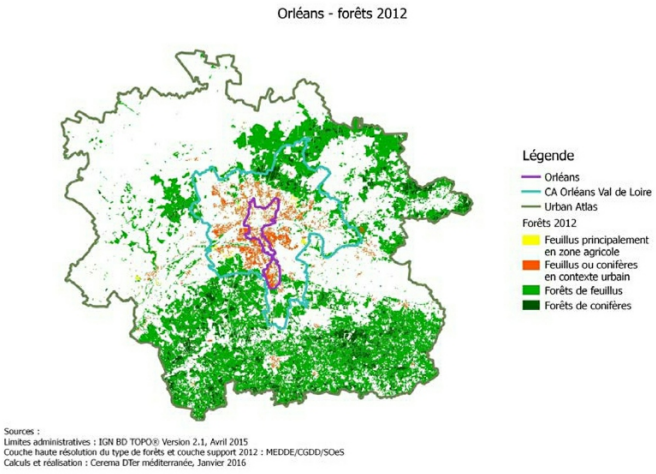
Figure 55 : Part des forêts dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites administratives des communes.
Source : Cerema



Au sein du panel des villes étudiées, la part des forêts en contexte urbain (couleur vert foncé) se situe entre 2 % (Aix-en-Provence) et 26 % (Orléans). Parmi les villes présentant les plus forts pourcentages de forêt en contexte urbain, on trouve aussi Nantes, Montpellier, Lille et Rennes.

Dans certaines villes, la part des forêts en contexte urbain constitue l'essentiel de la part de forêt totale du territoire communal (Orléans, Lille, Nancy, Lyon). À l'inverse, comme à Aix-en-Provence et Limoges, la part de forêt en contexte urbain par rapport à la surface totale de forêt du territoire communal est plus faible, en raison d'un contexte moins urbanisé en périphérie du centre-ville.

Figure 56 : Orléans, Forets 2012 -
Source : Cerema - 2016-d'après HR2012



Les vastes étendues forestières du sud de l'Orléanais sur lesquelles empiète le territoire communal participent largement à expliquer la proportion de 28 % de forêts à Orléans. (Périmètre violet). Le phénomène s'amplifie encore pour l'EPCI (périmètre bleu).

5.2.4.3 – Superficie des milieux humides dans une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Indicateur d'état $_{ville}$ 6 : Superficie des milieux humides dans une sélection de grandes villes de la France continentale (annexe 15)

Les milieux humides sont les portions de territoire, naturelles ou artificielles, « qui sont gorgées d'eau de façon permanente ou temporaire » [Sandre, 2013].

La superficie des milieux humides a été calculée par intersection entre la couche haute résolution et les différents périmètres de territoires. L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ). Elle comprend : Milieux humides associés à des surfaces en eau permanentes, Milieux humides non associés à des surfaces en eau permanentes, Milieux humides couvertes de végétation macrophyte, Milieux humides non couvertes de végétation macrophyte, Tourbières en eau, Milieux humides côtières, marais saumâtre, saline, zone intertidale.

Figure 57 : Superficie de dans une sélection de grand continentale basée sur la co des EPCI au 01

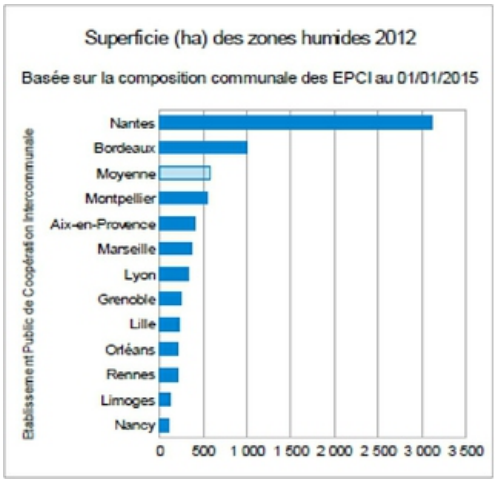
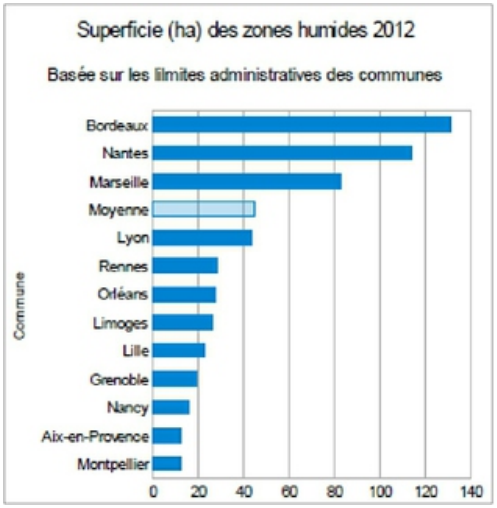


Figure 58 : Superficie des milieux humides dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites administratives des communes. Source : Cerema

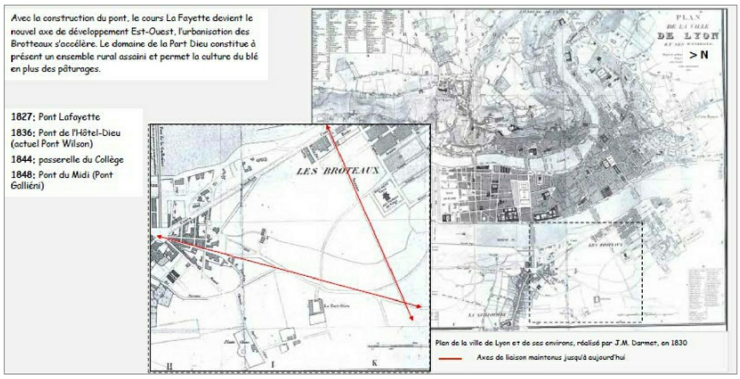


Hormis les 3000 hectares de milieux humides de l'agglomération nantaise, les milieux humides sont faiblement représentés[4] en proportion comme en superficie. Cela s'accentue dans la région Île-de-France. Les villes estuaires – Bordeaux et Nantes – présentent les plus fortes superficies de milieux humides. A Nantes, on passe de 118 hectares dans la commune ce qui est déjà remarquable, à plus de 3000 hectares au sein de l'agglomération. Le milieu humide dite la "Petite Amazonie" situé dans le quartier Malakoff, sur l'ancienne Prairie de Mauves est un espace de 16 ha quasi vierge depuis la dernière guerre mondiale. C'est une Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique et elle est sur le plan national la première zone naturelle urbaine inscrite dans le périmètre Natura 2000, sous le nom de « Zone humide de Malakofff ». Ainsi se trouvent à proximité de l'agglomération des milieux humides, riches de biodiversité et servant de frayères à poissons, de protection contre les inondations et d'épuration des eaux.

Nombre de grandes villes françaises sont historiquement construites sur les berges des fleuves, qui constituaient souvent des importantes voies de transport. La faiblesse de la présence des milieux humides dans la structure urbaine actuelle nous ramène à l'histoire des villes. L'expansion des villes s'est accompagnée par la disparition des milieux humides du lit majeur avec de grands travaux d'assèchement justifiés par des raisons sanitaires. ALyon par exemple, les grands travaux d'endiguement du Rhône, de construction des ponts et des bas ports du Rhône débutent fin

du XVIIIème siècle, ils se poursuivront au XIXème par l'assèchement des marais des Brotteaux et l'urbanisation de la rive gauche du fleuve ne cessera de s'étendre. Elle fait partie d'un projet de grande envergure conçu par Morand : le *Projet d'un plan général de la Ville de Lyon*. Aujourd'hui, subsiste comme seul témoin des anciens bras du Rhône le lac du Parc de la Tête d'or.

Figure 59 : Plan de la ville de Lyon et de ses environs, J-M. Darmet, en 1830. Source : Agence d'urbanisme de Lyon.
http://www.urbalyon.org/AffichePDF/Mise_de_fond_sur_le_devenir_de_la_Part-Dieu__1ere_partie-1681



5.2.4.4 – Espaces verts urbains : une ville verte ?

Une ville verte, au sens où elle compterait de nombreux espaces verts, ne suffirait pas à la qualifier de ville nature. La conception et la gestion horticoles des espaces verts ne leur permettent pas de développer toutes leurs potentialités écologiques. Aussi, nous distinguerons cet indicateur espaces verts de ceux portant sur les espaces de nature traités ci-avant, conscients que pour les espaces verts en gestion écologique, la différence est plus ténue. Même avec la loi Labbé qui impose une gestion zéro phyto exception faite des espaces à contraintes, la part des espaces gérés en « zéro phyto » reste un indicateur souhaitable essentiel mais la donnée est difficilement accessible nationalement.

A) Part des espaces verts urbains et des espaces de loisirs pour une sélection de grandes villes françaises

Certains espaces de nature sont plus à même de fournir des services récréatifs : parcs urbains, aires de loisirs, forêts, milieux aquatiques etc. A travers l'indicateur retenu ici, il s'agit donc d'identifier la part de ces espaces au sein du territoire.

Indicateur d'état $_{ville}$ 7 : Part des espaces verts urbains et de loisirs dans une sélection de grandes villes de la France continentale (Annexe 16)

Cet indicateur est orienté pour approcher les services culturels, qui seront développés dans la partie consacrée aux services écosystémiques (chapitre 10). De ce fait, il regroupe les classes 141 (green urban areas), 142 (sports and leisure facilities), 3 (forest) et 5 (water) de l'Atlas urbain en une nouvelle classe nommée « Espaces verts urbains et de loisirs ». La part des espaces verts au sens strict du terme y reste néanmoins identifiable (nous l'avons développé au chapitre 2). Notons ici que les équipements sportifs et de loisirs sont souvent associés à des espaces enherbés mais pas systématiquement. Il s'agit donc d'une limite de l'indicateur qui inclut dans cette classe les équipements bâtis. Ensuite la part(%) des espaces verts urbains et de loisirs a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire. L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ) (à venir).

Les résultats sont représentés pour les EPCI et communes ci-dessous :

Figure 60 : Part des espaces verts urbains d'une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites des EPCI.
Source Cerema Méditerranée

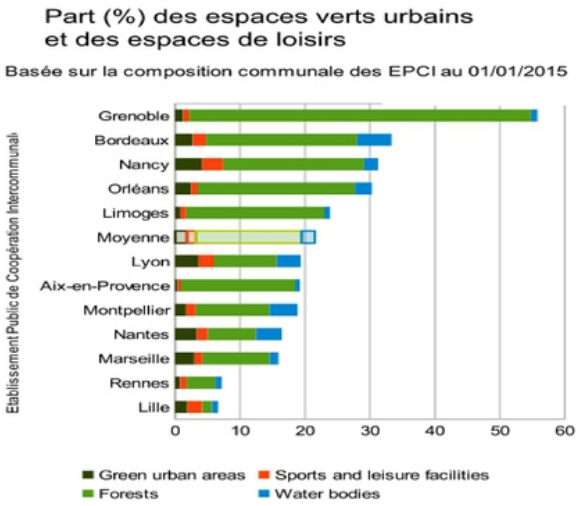
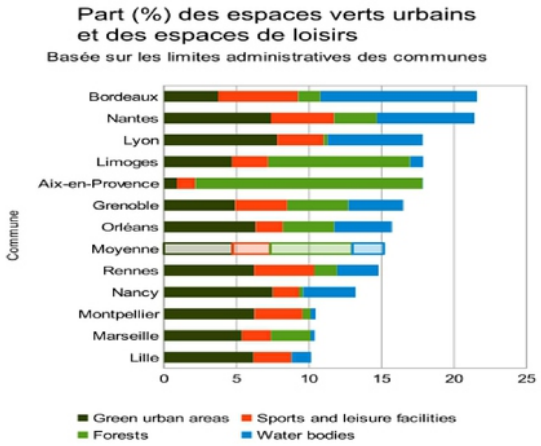


Illustration 68 : Part des espaces verts urbains et de loisirs dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites administratives des communes. Source Cerema Méditérrannée



Penchons-nous dans une première analyse sur les espaces verts au sens strict, ils représentent 5 % en moyenne du territoire communal, et moins de 4 % de l'EPCI. (chapitre 2). L'analyse des graphiques montre là encore de fortes disparités entre les villes, avec des pourcentages allant du simple au double. L'intégration des cours d'eau à cet indicateur propulse Bordeaux et Nantes au premier rang avec 22 % d'espaces verts et de loisirs alors que la moyenne avoisine 15 %.

Nantes, par exemple, est en effet une ville qui s'investit particulièrement dans la préservation et le développement de ces espaces verts. D'après les données issues de l'UNEP (2014), la ville comporte une moyenne de 34m^2 d'espaces verts par habitant. Ses 1000 hectares de parcs, jardins et squares couvrent environ 16 % de la surface de la ville.

Bordeaux compte environ 20 m^2 d'espaces verts par habitant (source : ville de Bordeaux). Le Parc floral s'étend sur 33 hectares au nord de Bordeaux, au bord du Lac. Avec le bois de Bordeaux qui le jouxte et auquel il a été réuni, ce sont près de 150 hectares à la disposition des promeneurs, des amateurs de nature et des sportifs de tous âges.

Cet indicateur est directement relié à un autre, la part des espaces verts urbains et de loisirs pour mille habitants, à même de témoigner des services écosystémiques récréatifs. Les résultats de l'indicateur pour

une sélection de grandes villes de la France continentale et pour les départements d'Île-de-France figurent au chapitre 10.

5.2.4.5 – Couvert végétal arboré : une ville arborée ?

Il s'agit de déterminer l'importance de la présence des arbres sur le territoire, qui offrent différents services : amélioration du cadre de vie, rafraîchissement de l'atmosphère et des surfaces l'été, corridor et habitat potentiel pour la faune, etc (Dolédec, 2010[5]). L'évaluation du nombre d'arbres au sein de l'ensemble des villes françaises est encore une donnée peu systématisée. En revanche, la surface occupée par les arbres fait l'objet d'une couche haute définition disponible à l'échelle nationale utilisée ici. La dimension arborée de cet indicateur est fort complémentaire des indicateurs vus jusque-là qui ne considèrent que les surfaces d'espaces verts car il est précisément apte à prendre en compte une part des végétaux en dehors des parcs comme les arbres d'alignements.

Indicateur d'état $_{ville}$ 9 : Part du couvert végétal arboré dans une sélection de grandes villes de la France continentale (annexe 17)

Le taux de couvert arboré cartographie le pourcentage de couverture arborée par pixels de 20 m de côté. Sont ainsi cartographiées les surfaces arborées en zones urbaines, agricoles ou forestières. Même s'il peut paraître proche de l'indicateur précédent "forêt", ici sont pris en compte les arbres présents dans les espaces verts, les alignements d'arbres sur voie publique ou en bordure des voies d'eau, les arbres isolés. Les résultats de l'indicateur "taux de couvert arboré" sont présentés ci-après pour communes et EPCI :

Taux(%) de couvert arboré pour une sélection de villes de France métropolitaine				
Territoire	**Atlas urbain[1]**	**EPCI[2]**	**Commune**	**UMZ[3]**
Aix-en-Provence	25,2	25,2	14,9	
Bordeaux	22,0	13,8	5,0	
Grenoble	42,5	43,1	10,5	
Lille	6,1	6,1	8,9	
Limoges	24,8	20,1	13,9	
Lyon	17,4	17,2	9,8	
Marseille	19,1	19,1	12,5	
Montpellier	10,3	11,1	12,1	
Nancy	26,6	25,9	13,3	
Nantes	6,7	11,8	13,9	
Orléans	25,0	22,6	15,0	
Rennes	8,5	6,4	13,0	
Moyenne pondérée[4]	19,9	18,4	12,6	

[1] Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain

[2] Établissement public de coopération intercommunale

[3] Urban Morphological Zone

[4] Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Tableau 11 :

Taux de couvert arboré d'une sélection de villes métropolitaines françaises et de la région Île de France
Source : Cerema Méditerranée

Taux(%) de couvert arboré des départements de la région Île-de-France	
Département	**Taux(%)**
Paris (75)	0,0
Seine-et-Marne (77)	0,0
Yvelines (78)	0,0
Essonne (91)	0,0
Hauts-de-Seine (92)	0,0
Seine-Saint-Denis (93)	0,0
Val-de-Marne (94)	0,0
Val-d'Oise (95)	0,0
Région Île-de-France (11)	0,0

Le taux de couvert arboré des communes représente en moyenne plus du double du taux d'espaces verts urbains. Cela pointe l'importance des arbres d'alignement dans les villes françaises, ainsi que celle des grandes avenues et promenades plantées du XIXème.

Un tel indicateur pourrait sommairement mais simplement exprimer la régulation du climat local et global par les arbres, même si les phénomènes restent complexes. L'ombrage apporte du confort d'été aux piétons et contribue à la régulation du climat par le fait qu'il diminue l'absorption du rayonnement solaire sur des surfaces à albédo faible. Mais par ailleurs le stress hydrique joue sur cette capacité de rafraîchissement ainsi que d'autres facteurs.

Contrairement à l'indicateur de la part de forêt, la couche haute définition utilisée ici présente la particularité de mettre en évidence le taux estimé de couvert arboré au sein de chaque espace boisé. Cette modulation signifie que la part de couvert végétal pour un espace boisé donné peut être inférieure à la surface de l'espace boisé considérée par l'indicateur forêt. Pour illustrer les différences entre les deux indicateurs (forêt et couvert arboré), les cartes suivantes consistent en un zoom sur le parc de la tête d'Or à Lyon avec les deux méthodes :

Figure 61 : Lyon - Parc de la Tête d'Or - Forêts 2012.
Source : Cerema - Méditerranée

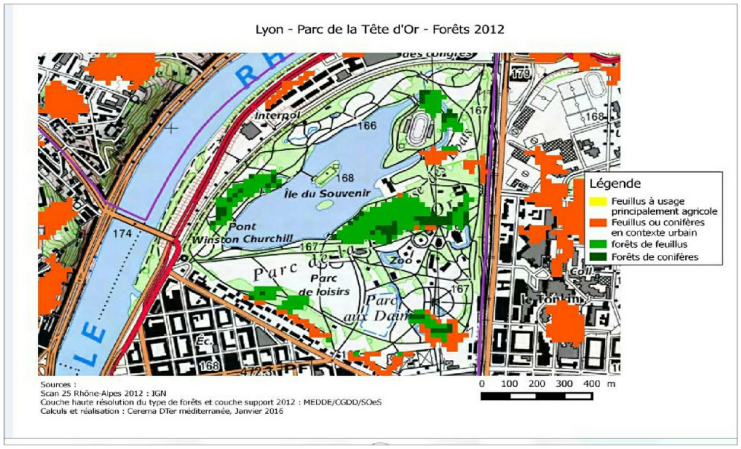
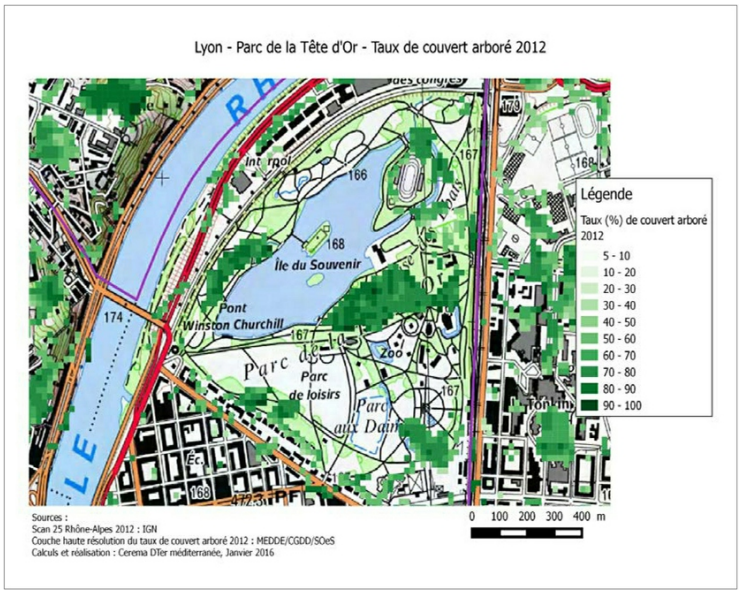


Figure 62 : Lyon - Parc de la Tête d'Or - Taux de couvert arboré 2012.
Source : Cerema - Méditerranée



Dans une optique de services, le nombre d'arbres par habitant peut aussi constituer un indicateur. L'étude de l'UNEP sur les villes les plus vertes de France (*Cf.* Zoom), indique que **les grandes villes françaises abritent, en moyenne, 11 arbres par hectare** et seulement **0,2 arbre par habitant.**

Zoom...

... sur l'étude de l'UNEP sur les villes les plus vertes de France

Méthodologie : L'étude « Palmarès Unep 2014 des villes les plus vertes de France » a été réalisée auprès des 50 plus grandes villes de France (liste établie selon le nombre d'habitants, recensement INSEE, chiffres 2013), entre juin et novembre 2013. Elle s'appuie sur le traitement extensif de plus de 1500 données, collectées selon 2 sources principales : données publiques et questionnaires déclaratifs remplis par les services « Espaces Verts » des villes concernées.

Pour déterminer le classement, 5 grands critères de notation ont été établis :

1. l'importance du patrimoine vert accessible au public ;
2. les efforts d'investissement de la commune en faveur du développement du végétal ;
3. la préservation de la biodiversité ;
4. la politique de gestion des déchets verts ;
5. la promotion des parcs, jardins et espaces naturels en vue de dynamiser la vie locale ou d'attirer des touristes.

Ces critères ont été évalués à l'aune de 25 indicateurs, allant de la surface d'espaces verts à la part du budget communal dédiée aux aménagements paysagers, en passant par l'existence d'un plan « biodiversité » à l'échelle de la ville ou encore l'incitation au compost auprès des particuliers. La population et la superficie de chaque ville a été prise en compte, de manière à corriger les effets d'échelle. Le score obtenu s'entend sur une base 100.

En moyenne, les grandes villes françaises étudiées abritent :

- **540 hectares d'espaces verts urbains,**
- **11 arbres par hectare (seulement 0,2 arbre par habitant)**
- **31 m^2 d'espaces verts par habitant.**

Figure 63 : Parc du Lac du Maine, Angers
©ville d'Angers



A Angers, ville lauréate, le patrimoine vert représente près de **20 % de sa surface totale.** Avec **51 m^2 d'espaces verts par habitan**t, les habitants d'Angers figurent parmi les citadins les mieux lotis de France : c'est 20 m^2 de plus que la moyenne des villes étudiées.

5.2.4.6 – Habitats et espèces : des indicateurs souhaitables

L'identification de la diversité des espèces et des habitats au sein de la ville permet d'introduire des critères qualitatifs de biodiversité essentiels. Définir et choisir des indicateurs adaptés à la diversité des espèces et des habitats nécessite de recueillir au préalable un grand nombre d'informations. Cette diversité ne peut être appréhendée précisément que par le biais de l'étude des éléments de nature en ville.

À l'échelle de la France, l'état actuel des connaissances et les données ne permettent pas d'évaluer précisément la diversité des habitats et des espèces au sein des villes.

À l'échelle de la ville, seuls des indicateurs très globaux peuvent être mobilisés comme le font les référentiels existants (Index de Singapour, RFSC) :

- **Diversité des habitats**
- **Nombre d'espèces natives faune, au mieux par taxons (oiseaux, papillons)**
- **Nombre d'espèces natives de plantes**
- **Nombre d'espèces protégées**

Quelques villes, Paris et Lille par exemple, disposent d'observatoires de la biodiversité urbaine qui alimentent, avec l'appui des réseaux naturalistes, de tels indicateurs. À défaut de données nationales, nous nous appuierons sur celles de ces 2 régions (zoom sur la biodiversité en Île-de-France et zoom sur le nombre d'espèces animales en Nord Pas-de-Calais).

Toutefois, les « atlas de la biodiversité communale » mis en place par le ministère en charge de l'Écologie devraient permettre d'enrichir les connaissances dans ce domaine. Cette démarche a pour but de mieux connaître le patrimoine naturel de la collectivité et d'en disposer pour intégrer les enjeux biodiversité en amont des démarches d'aménagement et de gestion du territoire. La méthodologie à suivre est présentée dans le guide ABC d'octobre 2014 au chapitre IV - réalisation du diagnostic : *http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide-demarche-ABC-version-23-10-2014-1.pdf*. Les actions de sciences participatives (Vigie-nature notamment) rentrent dans

ce cadre et permettent également d'améliorer les connaissances sur un territoire donné.

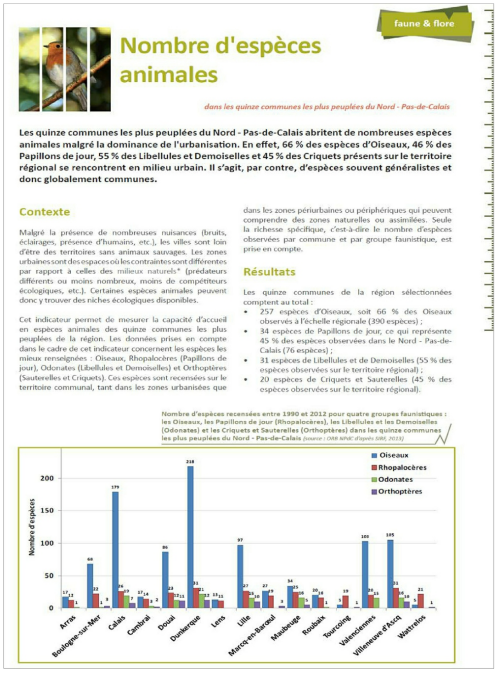
Figure 64 : ZOOM Inventaire du nombre d'espèces autochtones en île de France. Source : Naturparif - Diagnostic de la biodiversité en Île de France

http://www.natureparif.fr/attachments/observatoire/Indicateurs/2013/Natureparif_diagnostic_biodiversite_WEB.pdf



	NOMBRE D'ESPÈCES AUTOCHTONES EN IDF	ÉTAT DES CONNAISSANCES ET PROTOCOLES EXISTANT	PUBLICATIONS RÉFÉRENTES	STRUCTURES RESSOURCES
FLORE	1441	+++++ Vigie-Flore ; mailles CBNBP	Flore d'Île-de-France (Jaunein & Nawrot 2011) Liste rouge de la flore d'Île-de-France (2011)	CBNBP
FONGE	1500-2000 (1200 à Fontainebleau)	++	Articles épars	SMF (R. Challange)
MAMMIFÈRES NON VOLANTS	35 (indigènes)	++	Articles épars	SMF ONF ONCFS Fédérations de chasse
CHIROPTÈRES	20	++++ Vigie-chiros	PRA chiroptère indicateurs Natu-reparif	Biotope Azimut230 MNHN
OISEAUX	178 (nicheurs)	+++++ STOC	Liste rouge des oiseaux d'Île-de-France (2012) Base de données Faune-idf Oiseaux d'Île-de-France (révision en cours)	CDRIF LPO MNHN NaturEssonne ANVL
REPTILES	12	+++	Articles épars Liste rouge en cours	SHF SEME NaturEssonne
AMPHIBIENS	16	++++	Articles épars Liste rouge en cours	SHF SEME NaturEssonne
POISSONS	41	++++ Pêches électriques	Publications ONEMA	SIF (J. Allardi) Fédérations de pêche ONEMA
ODONATES	59	++++ STELI	PRA Odonate Liste rouge validée	OPIE SFO
RHOPALOCÈRES	109	++++ STERF Papillons de Jardin	Les Papillons de jour d'Île-de-France et de l'Oise (2007) Vigienature	OPIE MNHN
ORTHOPTÈRES	56	+++	Articles épars	OPIE
HÉTÉROCÈRES	Plusieurs centaines	++	Articles épars	OPIE ANVL
COLÉOPTÈRES	Plusieurs milliers (env. 3500 à Fontainebleau)	++	Coléoptères du massif de Fon-tainebleau (2007) Articles épars	OPIE ANVL
AUTRES INSECTES	NA	++	Articles épars	OPIE
MOLLUSQUES	Environ 150	++ Escargots de jardin	Articles épars	Spécialistes
CRUSTACÉS	Quelques centaines	+++	Articles épars	Spécialistes ONEMA

Figure 65 : Nombre d'espèces animales dans les quinze communes les plus peuplées du Nord-Pas-de-Calais
Source ORB Hauts de France d'après ARCH, 2013 (ORB Nord - Pas-de-Calais 2013b)



Il aurait été logique que l'évaluation de l'état des écosystèmes urbains français à l'échelle de la ville s'appuie sur la méthodologie internationalement et scientifiquement reconnue de l'indice de biodiversité urbaine (CBI). Mais une montée en généralité au niveau national n'est pas réaliste : de trop rares villes françaises l'ont appliqué et les inventaires naturalistes sont trop hétérogènes.

La simplification de cet indice CBI par l'Observatoire Hauts de France a montré son efficience. Ainsi, 15 villes françaises ont-elles pu être évaluées, dans un contexte géo-climatique et environnemental relativement homogène.

À défaut de données sur les espèces, l'évaluation française de l'état des écosystèmes urbains à l'échelle de la ville s'est recentrée sur les milieux (forêt, eau et milieux humides). Dans l'esprit de l'indice de biodiversité urbaine CBI, est opérée une distinction entre les espaces verts urbains et les espaces "naturels et semi-naturels" peu influencés par l'homme. Certains indicateurs sont déjà clairement orientés vers

l'évaluation des services écosystémiques, comme l'indicateur sur le couvert arboré (régulation du climat local).

Comme le montre le portage régional des évaluations urbaines en Île-de-France et Hauts-de-France, le schéma des acteurs évolue. À côté des villes et agglomérations, acteurs historiques des espaces verts, entrent en scène des régions et leurs agences, qui affirment leur compétence biodiversité (ou pas).

L'évaluation de l'écosystème urbain à l'échelle de la ville et de sa périphérie donne une image du socle naturel des milieux urbains et des fonctionnalités écologiques associées. Ainsi, voir la ville comme une mosaïque d'écosystèmes offre aux décideurs et aux urbanistes un éclairage renouvelé pour des politiques d'aménagement urbain orientées vers la ville résiliente.

En revanche, cette échelle n'est pas d'un grand secours opérationnel pour le gestionnaire d'espaces verts (Cerema, Séminaire collectivités, 3 juillet 2015). Le témoignage de la Ville de Lyon avec la création d'un outil de diagnostic écologique en propre confirme ce constat.

Or, il est important qu'au sein des milieux urbains, les espaces verts, même anthropisés, développent leur potentiel écologique. La partie suivante entreprend d'évaluer l'état et la dynamique d'un espace de nature en ville.

5.3 – Évaluer l'état des espaces de nature en ville avec le modèle "état et transition"

Changement de méthode pour rendre compte de la capacité des écosystèmes urbains à fournir des services à l'échelle des espaces de nature en ville : le modèle nommé états/transition servira de fil conducteur aux chapitres 5, 6 (pressions), puis à la partie 4 (interactions entre services écosystémiques).

Le modèle états/transition permet d'étudier l'articulation entre les pressions (ou transition) et l'état d'un espace de nature, dans un contexte historique [Lavorel, 2015, McIntyre et al., 2007 ; Zweig et al., 2009]. Il fournit des éléments de compréhension sur les changements de composition et de fonctionnement des écosystèmes en réponse aux pressions, et doit faire ressortir leurs tendances d'évolution. Il devrait

permettre d'évaluer les services écosystémiques rendus prioritairement par un espace de nature en fonction de son état.

La phase préalable et indispensable à la construction du modèle états-transition, doit permettre d'identifier les services écosystémiques qui devront être étudiés. Ce travail issu d'une revue bibliographique [Lavorel et al. 2015] a abouti à la sélection de sept services écosystémiques prépondérant en milieu urbain et présentés dans le tableau16. Ils pourront être adaptés en fonction des enjeux et besoins propres des bénéficiaires du projet EFESE.

Tableau 12 :

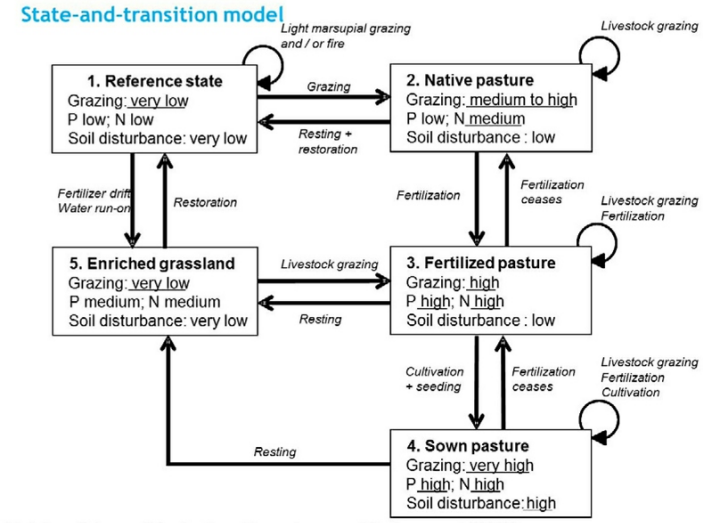
Présentation des services retirés des espaces verts et des milieux humides urbain, (+) proportionnel au nombre de fois où le service est cité
Source : Cerema

Services écosystémiques identifiés	Espaces verts	Milieux humides
Régulation des nuisances sonores [a]	++	+
Régulation des inondations (ruissellement urbain)	++	+++
Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)	+	+++
Qualité de l'air et régulation du climat local et global	++ (+)	+++
Activité récréative et de loisirs	++	++
Expérimentation et éducation	++	++
Aménités paysagères	++	++
Nombre de SE concernés	7	7

a. Étant moins spécifique à ces espaces, ce service sera décrit qualitativement mais non évalué quantitativement

La construction du modèle états/transition débute avec la caractérisation des états possibles d'un espace de nature.

Figure 66 : Représentation schématique du modèle états - Transition.
Source : McIntyre & Lavorel Agriculture Ecosystems and Environment (2007)



McIntyre & Lavorel Agriculture Ecosystems and Environment (2007)

5.3.1 – Sélection de deux catégories d'espaces de nature : les espaces verts perméables et les milieux humides urbains

Au regard des différentes classes de typologie des espaces urbains (chapitre 1.2.2), de leur regroupement nécessaire pour les faire correspondre aux services étudiés, de la disponibilité des données et des pratiques des gestionnaires (Cerema, séminaire collectivités, juillet 2015) les classes qui ont sensiblement les mêmes caractéristiques physiques, chimiques et biologiques sont regroupées [Jacobs et al., 2015].

Sur cette base, deux types d'espaces caractéristiques des milieux urbains sont retenus :

- **les espaces verts perméables** au sens de la typologie créée par l'association des ingénieurs territoriaux de France (AITF). Ils regroupent l'ensemble des espaces verts urbains publics et privés (parcs, jardins, stades, arbres d'alignement…). Leur localisation peut être déterminée à partir des couches de l'Urban Atlas pour les trente-trois agglomérations concernées, ou par des données locales des gestionnaires.
- **les milieux humides urbains** (hors lit mineur des cours d'eau). Les étangs, mares, lacs en sont les éléments les plus représentatifs. En raison de leur expansion, les ouvrages de gestion des eaux pluviales végétalisés, aux fonctionnalités similaires à celles de milieux humides naturels, seront inclus et

appelés “milieux humides artificiels”. Leur localisation est approchée à partir des couches hautes résolution 2012.

L’auto-épuration par rétention et transformation des polluants par les organismes vivants confirme l’opportunité d’étudier les milieux humides, naturels ou artificiels.

Au regard de ces éléments, certains paramètres seront communs à ces deux écosystèmes ou spécifiés pour chacun des milieux dès que nécessaire.

5.3.2 – *Définition de trois états types par catégorie*

La première étape de la construction du modèle états-transition repose sur la caractérisation des états des 2 types d’écosystèmes sélectionnés. Pour chacun, et par simplification, seuls trois états sont définis, sans toutefois identifier un état de départ[6].Ces trois états témoignent d’une différence de gestion et de pressions anthropiques à des niveaux plus ou moins élevés dus à l’artificialisation des sols, à la fréquentation et aux usages de ces milieux. Il va de soi que d’autres états intermédiaires d’un espace vert peuvent être définis pour une utilisation par des collectivités. Les gestionnaires doivent alors pouvoir situer leur espace vert par rapport à des “états types”.

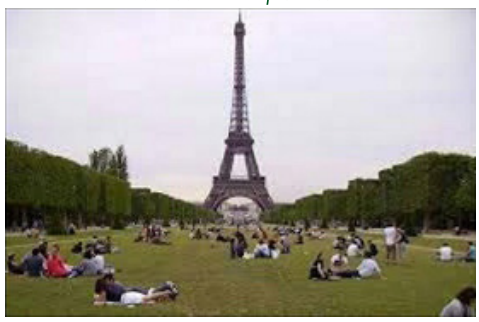
5.3.2.1 – Caractérisation des 3 états “types” d’un espace vert : terrain vague, espace vert ordonné, espace vert en gestion différenciée

Trois états sont présentés ci-dessous.

Les trois états d’un espace vert urbain varient en fonction des pressions suivantes (chap. 6) :

- l’entretien et la gestion des espaces qui impactent la biodiversité, la pollution des eaux et des sols ;
- la fréquentation qui entraîne le dérangement des espèces, et le tassement du sol et donc les capacités d’infiltration de l’eau ;
- l’imperméabilisation et les aménagements des espaces et/ou de leur périphérie qui augmentent le ruissellement des eaux pluviales et le transfert de polluants aux milieux aquatiques.

La caractérisation de ces milieux établie par le MNHN[7] est adaptée pour notre cas (*Cf.* Tableau ci-dessous)

État	Description
Figure 67 : Exemple de terrain vague, photo : Cerema IdF  **Terrain Vague** **• gestion minimale ;** **• non fréquenté ;** **• non traité ;** **• non faucardé/tondu.**	**Sites d'origines diverses, vacants et dépourvus de gestion :** terrains non aménagés, anciens terrains agricoles ou friches de longues durées. **Substrat :** de qualité variable, généralement sec (gravats, cailloux, sédiment, sol exogène servant de remblais, déchets…) ; qualités nutritives liées à l'histoire de l'espace. **Végétation :** à l'origine, essentiellement une végétation rudérale. Colonisation par des espèces sauvages pionnières avec une capacité de reproduction rapide ; propagation possible d'espèces exotiques envahissantes. Présence plus ponctuelle d'espèces horticoles "échappées des jardins" et d'espèces natives (concurrencées par les espèces pionnières). Evolution progressive vers une strate arbustive entraînant la disparition des espèces pionnières. **Gestion/aménagement :** Absence ou quasi-absence de gestion. Milieux pouvant être soumis à une perturbation intense et brutale (feux, changement d'usage, arrivée d'un aménagement…) engendrant un renouvellement important de la végétation. **Fréquentation :** passage humain limité.
Figure 68 : Exemple d'espace vert ordonné *Source : www.flickr.com*  **Espace Vert ordonné** **• aménagé ;** **• fréquenté ;** **• faisant l'objet d'aménagement imperméable ;** **• gestion horticole classique.**	**Sites** créés par l'Homme dans un but de loisir, d'éducation ou d'esthétique, ou sanitaire. **Substrat :** riche en matière organique, et régulièrement arrosé en période sèche (utilisation d'engrais ou de pesticides, plus ou moins raisonnée, assez commune dans ces espaces). **Végétation :** pelouses, variétés horticoles choisies pour leurs qualités esthétiques et apparition spontanée d'espèces sauvages. **Gestion :** tontes basses et/ou tailles régulières, arrachage des mauvaises herbes, arrosages fréquents, utilisation de produits phytosanitaires. Une terre mise à nu par des tontes fréquentes peut permettre la prolifération de l'ambroisie, espèce envahissante connue pour ses propriétés allergisantes. **Fréquentation :** lieux de promenade, de repos et de détente, exposant les plantes à un piétinement, variable selon l'accès au public.

État	Description
Figure 69 : Exemple d'espace vert en gestion différentiée *Source : Cerema DTer Idf*  **Espace Vert en gestion différenciée**[a] **• gestion différenciée ;** **• fréquenté de manière raisonnée**[b] **;** **• non traité ;** **• gestion alternative des eaux pluviales.**	**Sites** créés par l'Homme dans un but de loisir maîtrisé et bénéficiant d'une gestion différenciée. Sites présentant une mosaïque d'habitat, avec des zones gérées de manière horticole et ouvertes au public et des zones avec une évolution naturelle de la végétation. **Substrat :** riche en matière organique, pas d'utilisation d'engrais ou de pesticides. **Végétation :** plantation de haies, gestion pour le retour en prairie, entretien ou plantation visant la mise en place d'une mosaïque de milieux. Végétation variée indigène et favorise la mise en place d'habitat propre à la préservation de la biodiversité. **Gestion/aménagement :** raisonnée au moyen de faucardages tardifs, à des fréquences et des périodes en adéquation avec les cycles de vies des différentes espèces. Pas d'utilisation de produits phytosanitaires et arrosage raisonné. Ces espaces peuvent faire l'objet d'une gestion intégrée des eaux pluviales du parc. **Fréquentation :** lieux de promenade, avec cheminements et fréquentation canalisés, limitant l'exposition des plantes au piétinement.

a. La gestion différenciée vise à concilier un entretien environnemental des espaces verts, des moyens humains et du matériel nécessaire avec un cadre de vie de qualité. Elle consiste à pratiquer un entretien adapté des espaces verts selon leurs caractéristiques et leurs usages (CAUE Vendée 2015)

b. Respect du milieu et des équilibres écologiques par le public avec une canalisation de la fréquentation

5.3.2.2 – Caractérisation des 3 états "type" d'un milieu humide urbain : milieux humides asséchés ; peu aménagés et dégradés ; aménagés et bénéficiant de gestion équilibrée

Les milieux humides sont des espaces de nature en ville[8] soumis à des pressions anthropiques pouvant affecter leur fonctionnement hydraulique et écologique.

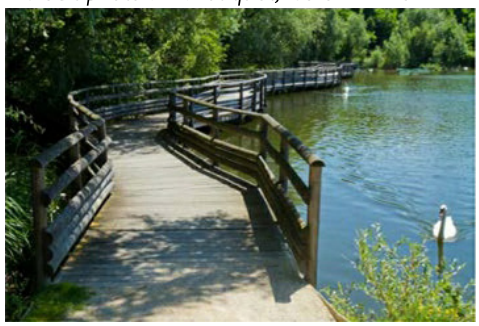
Les trois états sont définis en fonction de l'assèchement du milieu, de sa dégradation due à des arrivées de pollution, du niveau d'imperméabilisation, des pratiques de gestion et de la fréquentation. La gestion concerne l'entretien des berges et la gestion des niveaux d'eau. Elle dépend notamment de sa valeur récréative.

Ces états sont caractéristiques de situations très contrastées pouvant être rencontrées en milieu urbain. Seuls trois seront développés ici, mais ils ne prétendent pas être exhaustifs. D'autres situations plus ponctuelles peuvent également être

rencontrées, comme des milieux totalement protégés de la fréquentation et des dégradations, en quelque sorte “sanctuarisés”.

Trois états “caractéristiques” des milieux humides urbains sont ainsi définis :

État	*Description*
Figure 70 : Exemple d’un milieu humide naturel asséché, Crédit photo : Pays de Montbéliard agglomération  **Milieux humides asséchés**[a] **• assèchement, comblement ;** **• imperméabilisation ;** **• fréquentation faible ;** **• milieu humide potentiellement restaurable ;**	**Sites** d’origine naturelle ayant subi une modification forte de leur hydropériode entraînant leur assèchement mais pouvant être potentiellement restaurés **Hydropériode :** Diminution des périodes d’inondation provoquant l’assèchement et la perte progressive de fonctionnalités du milieu humide. Assèchement dû à : – un assainissement par tuyau entraînant l’absence de ruissellement en surface et la déconnexion du milieu humide de son réseau hydrographique – une gestion de la ligne d’eau ne respectant pas les cycles biologiques des espèces de milieux humides **Végétation :** Disparition des espèces les plus hygrophiles et installation d’espèces mésohygrophiles[b]. Espèces pionnières pouvant évoluer avec le temps. La végétation peut se rapprocher de la végétation des “terrains vagues”. **Gestion :** Pas de gestion particulière, évolution naturelle. **Fréquentation :** Perte de valeur aux yeux des habitants. Espaces soit peu fréquentés, soit détournés de leur fonctionnalité première (camping sauvage, …)
Figure 71 : Déchets ramassés dans une prairie humide, crédit photo : Mairie Mesnil-le-Roi  **Milieux Humides peu aménagés et dégradés** **• dégradation par des dépôts/déchets, pollution, ruissellement et/ou du piétinement ;** **• pas de modification de l’hydropériode ;** **• Fréquentation non maîtrisée.**	**Sites** dégradés par : - des incivilités (voitures brûlées, feux de camp, courses de motos, déchets…) [Cerema 2015] ; - contamination du milieu par le ruissellement d’eaux urbaines polluées - piétinement de la végétation par les promeneurs. **Hydropériode :** pas de modification notable de l’hydropériode. **Végétation :** présence d’une végétation dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l’année[c]. En cas de milieux humides en eau en permanence, présence d’hydrophytes[d] et **amphiphytes**[e]. Présence possible d’espèces « envahissantes » pouvant déséquilibrer gravement le milieu. **Gestion :** Peu ou pas de gestion particulière. **Fréquentation :** Peu aménagés avec des platelages, fréquentation non maîtrisée de promenade, barbecue si notamment d’autres espaces de détentes ne sont pas disponibles à proximité.

État	Description
Figure 72 : Exemple de canalisation de la fréquentation sur un milieu humide, Crédit photo : M.Bouquet, Cerema DTer IDF  **Milieux Humides aménagés et bénéficiant de gestion équilibrée** **fréquenté de manière raisonnée ;** **gestion équilibrée des hydropériodes ;** **alimentation du milieu par des eaux pluviales.**	**Sites** d'origine naturelle ou artificielle pour la gestion des eaux pluviales urbaines qui présentent des zones accessibles au public et d'autres zones protégées dont l'évolution végétale est libre. **Hydropériode :** gestion équilibrée des hydropériodes conduisant à une diversité d'organismes et d'habitats spécifiques aux milieux humides. Pour les espaces artificiels de gestion des eaux pluviales, réalisation sur la base de l'ingénierie écologique en proposant des aménagements reproduisant des mécanismes naturels (ASTEE 2013) **Végétaux :** présence d'une végétation dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année[f]. En cas de milieux humides en eau en permanence, présence d'hydrophytes[g] et d'amphibytes[h]. Pour les espaces artificiels de gestion des eaux pluviales, végétaux plantés et choisis selon leurs capacités épuratrices et d'adaptation aux conditions du milieu (température, ensoleillement, pluviométrie etc.) (Sauve et al. 2014). **Gestion :** Gestion différenciée de l'espace, laissant dans certaines zones, une place à l'évolution naturelle des espèces et à leur préservation. Surveillance et limitation de la prolifération des espèces envahissantes. Gestion raisonnée des lignes d'eau. Bonne alternance des cycles d'assèchement et d'inondation. **Fréquentation :** Lieux de promenades accessibles dans un objectif de découverte de la nature. Espace protégé de la surfréquentation et du piétinement par des cheminements canalisés (sentier sur pilotis, platelages, barrières naturelles de certaines zones par des ronces). Présence de panneaux et d'activités pédagogiques.

a. appelés Milieux humides potentiels dans la nomenclature nationale sur les milieux humides [Direction Eau et Biodiversité]

b. espèces avec des exigences en eau pouvant être satisfaites dans des conditions pédoclimatiques ni sèches, ni trop humides

c. déclinées dans l'annexe II de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié

d. toujours immergées ou affleurant à la surface de l'eau

e. poussant à la limite terre-eau et sont adaptées aux deux environnements

f. déclinées dans l'annexe II de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié

g. toujours immergées ou affleurant à la surface de l'eau

h. poussant à la limite terre-eau et sont adaptées aux deux environnements

5.3.3 – *Méthode de choix des indicateurs d'état* *espace de nature*

Afin de caractériser ces états, un choix d'indicateurs est ensuite opéré. Ces indicateurs d'états doivent être adaptés à l'échelle de l'espace de nature, en étant facilement reliables à ses fonctionnalités écologiques dont la biodiversité et surtout l'évaluation des services rendus (auto-épuration de l'eau, régulation du climat local et global, régulation des inondations). Ainsi chaque indicateur d'état a été choisi de manière à ce qu'il ait un lien avec un ou plusieurs services. Par exemple, le taux de couvert arboré va informer les services de régulation du climat local, de la qualité de l'air mais aussi du service régulation des inondations.

Dans un premier temps, les indicateurs mobilisables à l'échelle de la ville et à l'échelle de l'espace de nature ont été identifiés préférentiellement. La surface imperméabilisée (indicateur ville1), la connectivité (indicateur ville3) et le couvert arboré (indicateur ville7) sont ainsi retenus car ils sont calculables à une échelle plus fine. Les autres indicateurs utilisés à l'échelle de la ville ont été écartés car non applicables et non adaptés à l'étude de l'état d'un espace vert ou d'un milieu humide en ville.

Les indicateurs complémentaires sont donc issus de l'analyse des travaux nationaux (référentiel écoquartier, référentiel RFSC, index de Singapour), de la consultation d'experts et étude de la bibliographie scientifique. Les indicateurs trop complexes et difficilement mobilisables sont écartés. Néanmoins, contrairement à l'échelle de la ville, des indicateurs pertinents sont retenus à l'échelle de l'espace de nature même s'ils demandent à ce stade un besoin complémentaire d'acquisition de données quantifiés.

En définitive, la sélection des indicateurs à l'échelle de l'espace de nature se décline de la manière suivante :

- **trois indicateurs portent sur la biodiversité (habitats ; faune et flore ; connectivité)**
- **un en lien avec la biodiversité et la régulation du climat (taux de couvert arboré) ;**
- **trois sur le fonctionnement hydraulique (surface imperméabilisée ; perméabilité ; volume de stockage) ;**
- **un sur la qualité chimique du sol ;**
- **un sur la qualité chimique des eaux.**

Les indicateurs peuvent être construits en combinant un ou plusieurs paramètres à choisir et à adapter au contexte local. Chaque indicateur fait l'objet d'une fiche détaillée portant sur la définition et l'objectif de l'indicateur, les données sources,

les résultats et les points de vigilance placées en annexe. Sont indiqués dans ces fiches les liens entre l'indicateur et les services écosystémiques renseignés.

Tableau 13 :

Tableau d'indicateurs à l'échelle des espaces de nature.
Source : Cerema

Nom de l'indicateur d'état	Paramètres	Description	EV	MH
Indicateur 1 : Coefficient d'imperméabilisation des sols (annexe 17)	⟶ Surface de l'espace imperméable / surface totale de l'espace	Informe sur la proportion de surface imperméable de l'espace de nature et son incapacité à infiltrer les eaux et accueillir de la biodiversité. Ce coefficient dépend surtout du rapport entre la surface bâtie et les espaces libres. *Il serait pertinent d'étudier la forme inverse de cet indicateur et calculer le taux de surface perméable de l'espace.*	oui	non
Indicateur 2 : Biodiversité / habitat (annexe 18)	⟶ Coefficient de Biotope par Surface (CBS)	Représente la capacité d'accueil de la biodiversité ordinaire et/ou remarquable sur un espace de nature donnée à partir du type de végétalisation du sol.	oui	non
Indicateur 3 : Biodiversité / faune, flore (annexe 19)	⟶ Diversité spécifique sur un groupe faune ou flore à déterminer ⟶ Communauté végétale caractéristique des zones humides / recouvrement hygrophile (I-2b)	Informe sur le type et le nombre d'individus pour une espèce considérée. Il permet d'évaluer les changements de biodiversité à l'aide de l'indice de Shannon-Weaver. Évalue le pourcentage de recouvrement de la végétation hygrophile qui constitue un compartiment biologique essentiel des MH.	oui non	oui oui
Indicateur 4 : Connectivité (annexe 20)	⟶ Fragmentation urbaine / Connectivité (I-4a) ⟶ Pourcentage linéaire de berges naturelles (BN) – (I-4b)	Évalue la fragmentation des zones naturelles en lien avec l'urbanisation et l'occupation du sol (infrastructures, barrières physiques, etc.) qui constitue une des plus fortes menaces pour la biodiversité. Cet indicateur est traité en cohérence avec les travaux à l'échelle de la ville (*Cf.* 5.2.1.2). Évalue le pourcentage de berge naturelle pour approcher la connectivité du milieu humide à son réseau hydrographique.	oui non	oui oui
Indicateur 5 : Perméabilité des sols (annexe 21)	⟶ perméabilité en m/s	Évalue la perméabilité des sols qui influe sur leur capacité d'infiltration et le risque d'inondation.	oui	oui

Nom de l'indicateur d'état	Paramètres	Description	EV	MH
Indicateur 6 : Volume de stockage des eaux en surface (annexe 22)	⟶ volume en m^3 ou surface d'espace tampon (m2)	Évalue le volume d'eau stockée sur, ou au-dessus du sol. À défaut la surface du champ d'expansion des crues. Les milieux humides urbains sont systématiquement concernés alors que les espaces verts peuvent l'être s'ils sont conçus dans cette optique.	oui*	oui
Indicateur 7 : Qualité des sols urbains	⟶ Communautés lombriciennes,	Évalue la richesse taxonomique en macro-invertébrés du sol, donnée représentative de la qualité du sol (construite et validée pour des sols liés aux cultures, prairies et forets). *Évaluation possible des sols des zones humides avec un indicateur à adapter à identifier.*	oui	non
Indicateur 8 : Qualité chimique des eaux douces (annexe 24)	⟶ Quantité de micro et macro polluants dans les eaux douces dont notamment ETM et HAP, MES, DCO). ;	Evalue la qualité chimique de l'eau selon la définition de la DCE. Pour celà des conditions générales (pH, température), des taux de macropolluants (MES nutriments, …) et de micropolluants (ETM, …) sont mesurés et comparés au fond géochimique et aux NQE fixées par la loi.	non	oui
Indicateur 9 : Taux de couvert arboré (annexe 25)	⟶ Taux de couvert arboré (HR2012) ;	Évalue la proportion de surface arborée pour les Espaces verts, deux types de végétation présentant une évapotranspiration différente.	oui	oui

5.3.4 – *Résultante : description des différents États*

Afin de représenter l'état des espaces de nature, la méthodologie repose sur la construction d'un tableau basé sur la bibliographie [McIntyre et Lavorel, 2007] et les dires d'experts afin de faire le lien entre les états alternatifs décrits ci-dessus et les indicateurs d'état définis dans le tableau 5.3.x.

Une matrice est construite pour chacun des espaces de nature. Les trois états font l'objet des colonnes et les indicateurs sont rangés par ligne. Les cellules de la matrice font l'objet de classes caractérisant l'indicateur dans l'état considéré. Il s'agit de fourchettes pouvant aller de médiocre à très bon. Ces classifications sont établies

en croisant la définition des états et les échelles de valeurs de l'indicateur définies dans la littérature scientifique. Les classifications sont détaillées de manière précise dans chacune des fiches en annexe.

Les indicateurs d'état peuvent parfois prendre une large gamme de valeurs pour un état donné (certains indicateurs n'étant pas forcément discriminants pour certains états alternatifs, comme observé par McIntyre et Lavorel, 2007).

Par exemple pour les états de l'Espace Vert, le critère perméabilité du sol n'est pas très discriminant. On obtient ainsi une gamme entre mauvais et bon dans un terrain vague même s'il n'y a aucune pratique de gestion. Les caractéristiques pédologiques du sol gouvernent en premier lieu ce paramètre. Néanmoins, la perméabilité du sol peut se voir altérée en cas de colmatage progressif (dépôts de déchets,) d'où une perméabilité maximale qualifiée de bonne dans cet état, alors qu'elle peut atteindre la valeur de très bonne dans le cas d'une gestion différenciée. L'indicateur 2 "Biodiversité / habitat" (CBS) est plus discriminant.

Des niveaux d'état sont définis dans le tableau suivant :

Très bon ou bon	moyen	médiocre	mauvais

nc : non concerné

Tableau 14 :

Matrice d'état des Espaces Verts
Source : Cerema

	État de l'Espace Vert		
Indicateur d'état	**Terrain Vague**	**Espace Vert ordonné**	**Espace Vert en gestion différenciée**
Indicateur 1 : Taux d'imperméabilisation des sols	très fortement à peu imperméabilisé	fortement à peu imperméabilisé	moyennement à peu imperméabilisé
Indicateur 2 : Biodiversité / habitat (CBS)	mauvais à très bon	Mauvais à médiocre	moyen à très bon
Indicateur 3 : Biodiversité / faune, flore	mauvais à très bon	Mauvais à médiocre	moyen à très bon
Indicateur 4 : Connectivité	mauvais à bon	mauvais à bon	moyen à très bon
Indicateur 5 : Perméabilité des sols	mauvaise à bonne	mauvaise à très bonne	mauvaise à très bonne
Indicateur 6 : Volume de stockage des eaux en surface	mauvais à moyen	mauvais à moyen	bon à très bon
Indicateur 7 : Qualité des sols urbains	mauvais à moyen	mauvais à moyen	médiocre à très bon
Indicateur 9 : Taux de couvert arboré	mauvais à moyen	médiocre à très bon	médiocre à très bon

Tableau 15 :

Matrice d'état des Milieux Humides urbains
Source : Cerema

	État du Milieu Humide		
Indicateur d'état	**Milieu Humide Asséché**	**Milieu Humide aménagé dégradé**	**Milieu Humide aménagé fonctionnel**
Indicateur 1 : Taux d'imperméabilisation	nc	nc	nc
Indicateur 2 : Biodiversité / habitat (CBS)	nc	nc	nc
Indicateur 3 : Biodiversité / faune, flore (dont recouvrement hygrophile)	mauvais	mauvais à moyen	moyen à très bon
Indicateur 4 : Connectivité latérale (selon contexte)	mauvaise	mauvaise à très bonne	moyenne à très bonne
Indicateur 5 : Perméabilité des sols	faible à bonne	faible à bonne	faible à très bonne
Indicateur 6 : Volume de stockage des eaux en surface	très faible à médiocre	moyen à important	moyen à important
Indicateur 7 : Qualité des sols urbains	mauvais	mauvais à moyen	moyen à très bon
Indicateur 8 : Qualité chimique des eaux douces	médiocre	mauvais à médiocre	moyen à très bon
Indicateur 9 : ICU- Végétalisation des espaces de nature	mauvais à moyen	mauvais à très bon	médiocre à très bon

Le modèle états et transitions peut être envisagé comme un outil d'aide à la décision pour déterminer l'influence de l'exploitation des espaces de nature sur leur état, leurs tendances d'évolution et les services écosystémiques rendus par ces espaces.

Afin d'affiner la caractérisation des états de chaque espace de nature, il est nécessaire, à cette échelle, d'étudier plus en détail l'effet des pressions sur un indicateur donné. L'analyse conduite dans le chapitre 6 permettra de consolider le modèle et poser ainsi le cadre avant d'évaluer le niveau de services rendus par les espaces verts et milieux humides en milieu urbain et périurbain.

1. Le terme “ville” désigne ici les limites administratives, c’est-à-dire l’ensemble de la surface communale, et non pas uniquement le tissu urbain continu.

2. La concentration des industries et des habitations favorise la pollution atmosphérique due à la circulation des véhicules à moteur et aux combustions diverses. Cette pollution est à l’origine d’une modification du climat local par la production de chaleur artificielle due à la concentration de l’usage d’énergie (cette chaleur artificielle est à l’origine de précipitations orageuses de plus forte intensité que sur le reste du territoire), par une faible transparence atmosphérique, un plus faible rayonnement UV au niveau du sol, etc.

3. Maintien des cycles de vie (eau, azote, carbone), protection des habitats et des ressources génétiques, production primaire, décomposition de la matière organique et formation et composition du sol.

4. La faiblesse des chiffres n’est pas uniquement le fait d’une faible présence de ces milieux en zones urbaines, mais elle témoigne d’une difficulté de caractérisation et de manque d’outils adaptés.

5. Proposition d’une méthodologie expérimentale d’évaluation de la biodiversité en ville en lien avec la définition de la TVB des SCOT, mémoire, 2010, Océane Dolédec

6. La démarche de construction des états (et de leur limite entre état) des écosystèmes étudiés est fonction de son histoire, et de sa résilience. Elle est la suivante [McIntyre & Lavorel, 2007 ; Zweig & Kitchens, 2009] : • caractérisation d’un « Etat de départ » (il est impossible de généraliser et définir un état initial commun à toutes les collectivités et/ou tous les espaces urbains au sein d’une ville) ; • caractérisation d’un « Les Etats Alternatifs » sont représentés par la composition de la végétation et la biodiversité, les fonctions écologiques et les perturbations du modèle.

7. Direction de l’Enseignement de la Pédagogie et des Formations, annexe 1 la biodiversité urbaine

8. Direction de l’Enseignement de la Pédagogie et des Formations, annexe 1 la biodiversité urbaine.

CHAPITRE 6

Facteurs de changements de l'écosystème urbain

L'EFESE définit les facteurs de changement comme l'ensemble des pressions à l'origine de l'érosion de la biodiversité (facteurs directs) et des facteurs accentuant ces pressions (facteurs indirects). La destruction et la dégradation des habitats, la surexploitation des ressources naturelles, les pollutions, le changement climatique et les espèces exotiques envahissantes sont les principaux facteurs de changements directs. (EFESE, volume 1, CGDD, EFESE, 2015)

Il est admis que l'urbanisation est à l'échelle globale un des principaux facteurs de destruction ou de dégradation des habitats, d'une part et d'exploitation des ressources naturelles d'autre part. Ce chapitre se concentre sur l'artificialisation et ne traitera pas de la biodiversité dite grise, l'érosion de biodiversité lié à l'exploitation des ressources naturelles pour les matériaux de constructions des cités, sujet d'interface entre écosystèmes.

La densité de la présence humaine est source potentielle de dégradation des habitats, de pollutions, de nuisances ou de perturbations pour la biodiversité d'une manière générale. Suivre l'évolution de ces pressions permet de comprendre comment elles agissent sur l'état des écosystèmes et les services associés, et de dégager des tendances d'évolution.

Les changements liés aux pratiques respectueuses de la biodiversité seront abordés. La préservation des milieux, la conception et la gestion écologique agissent de manière très significative sur l'évolution de l'état des écosystèmes au sein de la ville (chapitre7).

Cette partie s'articule en deux temps :

- **à l'échelle de la ville, description qualitative des facteurs de changements et des pratiques écologiques, et propositions d'indicateurs pour en effectuer une quantification nationale. Selon le recueil des données, ces indicateurs seront renseignés ou pas. (6.1.).**
- **description qualitative des facteurs de changements et des pratiques écologiques par modélisation des espaces de nature en ville avec le modèle états et transitions (6.2.).**

6.1 – Les facteurs de changement à l'échelle des villes

6.1.1 – Identification et sélection des facteurs de changement

Comme au chapitre 5, nous commencerons par une brève analyse les indicateurs et facteurs retenus par l'indice de Singapour. Le rapport de MAES portant sur les pressions nous offre un second cadre de référence pour entreprendre une sélection des facteurs de changement et éventuellement un choix d'indicateurs qui permettent de les quantifier à l'échelle nationale. Enfin, nous les confronterons avec le tableau des impacts chimiques, physiques et biologiques construit pour l'EFESE urbain (Cerema Centre Est, 2014)

L'indice de biodiversité urbaine de Singapour retient seulement dans son calcul les pressions d'ordre biologique ayant une influence sur le fonctionnement de l'écosystème : le nombre d'espèces exotiques envahissantes. Il intègre aussi un indicateur de réponse : la surface des espaces protégés. Il ne traite pas en revanche de la destruction des milieux due à l'urbanisation. Les questions relatives à l'artificialisation ne relevant pas des écosystèmes pris au sens strict des espaces de nature n'y sont ainsi pas considérées pas plus que ne le sont les pollutions et les nuisances.

Dans les derniers rapports du MAES, cinq facteurs de changement sont identifiés sans que soit opérée la distinction entre facteurs directs et indirects. La destruction et la fragmentation des milieux figurent comme une des pressions majeures portée sur les écosystèmes par les milieux urbains notamment.

Pour l'EFESE, leur intégration comme facteur d'influence sur les écosystèmes répond à la logique multi-échelles de l'écosystème urbain. Nous les retiendrons donc, mais sous la dénomination artificialisation et imperméabilisation de sols. On s'interrogera aussi

sur la pertinence d'intégrer ou pas la qualité de l'air et les concentrations de polluants comme facteurs de changement dans la mesure où les connaissances de leur impact sur la biodiversité urbaine restent lacunaires. Ainsi, leur prise en compte ne relève pas tant de leur influence sur les espèces et la biodiversité que sur l'espèce humaine. L'objectif de donner une valeur au service de régulation de la qualité de l'air nous a permis de trancher en leur faveur. À cela s'ajoute aussi le changement climatique et le facteur de changement indirect déterminant des milieux urbains, l'évolution de la population.

La présence humaine au sein de la ville engendre un certain nombre d'impacts directs, synthétisés dans le tableau et détaillés ci-après :

Figure 73 : Impacts physiques, chimiques et biologiques induits directement par la présence humaine sur les écosystèmes urbains

<table>
<tr><th colspan="4">Présence humaine</th></tr>
<tr><th>Impacts « physiques »</th><th colspan="2">Impacts « chimiques »</th><th>Impacts « biologiques »</th></tr>
<tr><td>Urbanisation : consommation d'espace naturels ou agricoles, augmentation des surfaces imperméabilisées</td><td colspan="2">Pollutions et nuisances</td><td>Perturbations milieux, espèces, cycle de vie</td></tr>
<tr><td>Fragmentation des milieux

Modification des écoulements de surface et souterrains</td><td>Pollutions
- de l'air
- de l'eau
- des sols</td><td>Nuisances
- sonores
- olfactives
- visuelles, lumineuses
- vibratoires (travaux, systèmes de transports (métro, train, tram, à câbles))
- électromagnétiques</td><td>- Gestion (+/- intensive) des milieux
- (sur)-fréquentation y compris les événements festifs ponctuels, piétinement, cueillette,
- déchets non biodégradables
- espèces exotiques envahissantes, pollutions génétiques
- animaux domestiques
- maladies / arbres, bioaccumulation ETM dans les organismes
- impacts génotoxiques ?</td></tr>
</table>

Dans la suite du document, nous considérons donc que les écosystèmes urbains sont exposés à :

- des pressions directes : destruction et dégradation des habitats par modification de l'occupation du sol par l'urbanisation (artificialisation des sols, imperméabilisation), pollutions et nuisances, introduction d'espèces invasives, gestion et protection des ressources et milieux, changement climatique,
- une pression indirecte : l'évolution de la population.

Les indicateurs de pression pour les écosystèmes urbains à l'échelle de la ville sont les suivants :

Tableau 16 :

Tableau des indicateurs de pression à l'échelle de la ville
Source : Cerema

	FACTEURS DE CHANGEMENT DIRECT			FACTEUR DE CHANGEMENT INDIRECT
EFESE : en gras Sélection d'Indicateurs à l'échelle de la ville pour les facteurs de changement directs	**physiques**	**chimiques et nuisances**	**biologiques**	
MAES	Destruction de degradation des habitats Surexploitation	Pollutions	**Espèces exotiques envahissantes**	**Changement climatique**
Issus de l'indice de Singapour			- Espèces exotiques envahissantes **- Surface des espaces protégés**	
EFESE	**Destruction des habitats : Mesure de l'artificialisation**	**1. le nombre de jour où l'indice ATMO est supérieur ou égal à 6 (médiocre à très mauvais) 2. les moyennes annuelles des concentrations journalières pour les principaux polluants suivants : - Pollution azotée (NOx), - Pollution par les poussières (PM10), - Pollution par l'ozone (O_3)**	**- Engagement zero phyto (depuis quand, et sur quels espaces)**	**- Évolution de la population humaine et de la population urbaine**

Synthèse

Pour les écosystèmes urbains, à l'échelle de la ville sont donc étudiés les facteurs de changement suivants :

- **la destruction et la dégradation des habitats par la mesure de l'artificialisation. À noter que la fragmentation a été considérée comme un indicateur d'état spécifique des milieux urbains.**
- **l'introduction d'espèces exotiques envahissantes**
- **les pollutions et nuisances**
- **le changement climatique**
- **l'évolution de la population.**

Viendront s'ajouter des pratiques de gestion venant influer positivement sur la biodiversité urbaine :

+ surfaces des aires protégées

+ engagement « zéro phyto ».

Pour chaque facteur de changement, l'on tentera une quantification en fonction des données disponibles. Lorsque la disponibilité des données à l'échelle nationale n'en a pas permis le calcul, nous nous limiterons à proposer un indicateur que les collectivités elles-mêmes pourraient renseigner.

6.1.2 – Destruction et dégradation des habitats par l'urbanisation

Pour ses différents besoins, l'homme modifie le milieu dans lequel il vit et notamment l'occupation du sol : artificialisation, imperméabilisation, évolution des surfaces des différentes catégories d'occupation du sol (forêt, zones humides, masses d'eau, couvert arboré etc.), modification des usages, etc. **Ces modifications peuvent impacter l'état de l'écosystème, négativement le plus souvent, et positivement d'autres fois.** De ce fait, il influence sa capacité à fournir des services écosystémiques. A titre d'exemple, la création d'un bassin en eau sur une friche industrielle initialement imperméabilisée améliorera l'état de l'écosystème et l'expression des services écosystémiques associés : régulation des eaux pluviales, aménités, activités récréatives et de loisirs, etc. En revanche, l'assèchement d'une zone humide pour la création d'un parking n'est pas favorable au maintien d'un bon état.

Zoom

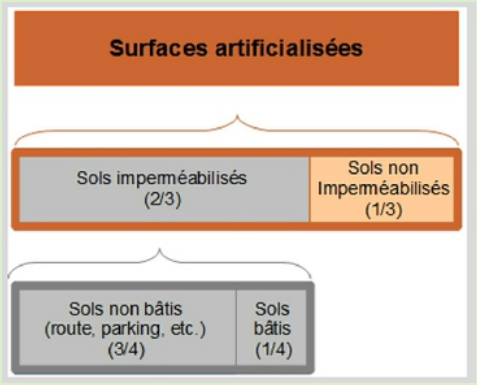
Artificialisation et imperméabilisation des sols

L'artificialisation des sols induite par le développement des milieux urbains correspond à une transformation d'un sol à caractère naturel ou agricole par des actions d'aménagement, pouvant entraîner son imperméabilisation totale ou partielle. (Source : FranceTerme)

L'imperméabilisation correspond, quant à elle, à un recouvrement d'un sol par un matériau imperméable tel que l'asphalte ou le béton, qui altère la capacité d'infiltration ou de rétention naturelle de l'eau. Les constructions et les aménagements de voiries, routiers ou autres, conduisent à l'imperméabilisation de vastes surfaces, ce qui provoque une forte perturbation du cycle de l'eau à une échelle locale voire générale. En effet, de telles surfaces imperméabilisées par le béton et le bitume augmentent dans des proportions considérables le ruissellement favorisant les inondations. En outre, l'infiltration étant annulée, il s'ensuit un déficit d'alimentation en eau des nappes phréatiques. (Sources : Ministère de l'écologie, Commission européenne, F. Ramade) Tous les espaces imperméabilisés sont artificialisés mais l'inverse n'est pas vrai.

En France, les espaces artificialisés sont constitués pour deux tiers de sols imperméabilisés. Parmi ces espaces imperméabilisés, environ trois quarts des sols sont non bâtis (sols revêtus ou stabilisés de forme linéaire, essentiellement des routes, ou de formes aréolaires : parkings, aires de stockage…), et un quart est bâti (essentiellement des constructions basses de moins de 3 étages). Le dernier tiers des espaces artificialisés correspond à des surfaces non imperméabilisées : pour la plupart des sols enherbés en périphérie du bâti, tels que les jardins publics ou privatifs, les terrains de sport, mais aussi des sols nus (chemins de terre, chantiers…). (source : Agreste, 2015)

Figure 74 : Les surfaces artificialisées et des surfaces imperméabilisées en France (Source : Cerema d'après Agreste)



La modification de l'occupation du sol par artificialisation dont l'imperméabilisation constitue une pression majeure sur l'écosystème urbain, qui est susceptible de réduire les fonctions et les différents services écosystémiques fournis globalement à la population. L'impact potentiel sur les services est précisé ci-après :

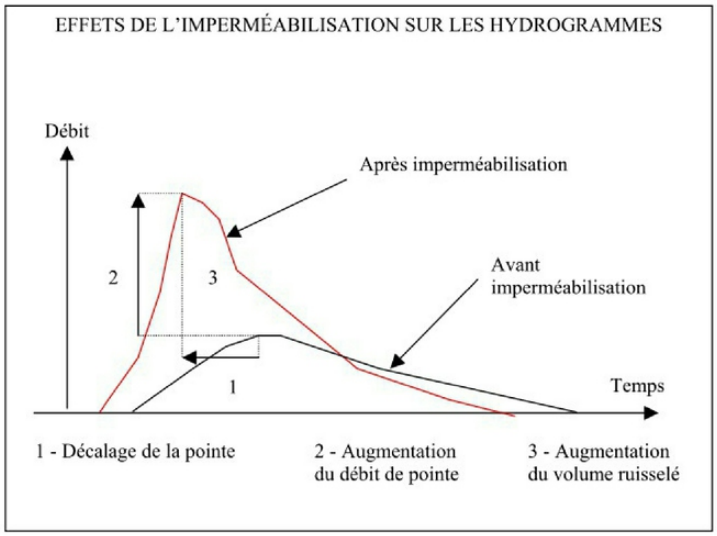
- *Service de régulation des débits de crue* :

  l'imperméabilisation des sols engendre une moindre régulation des inondations par l'écosystème urbain : diminution potentielle de la superficie occupée par les zones inondables, réduction des surfaces infiltrantes par imperméabilisation, augmentation du ruissellement, etc.

  Le schéma suivant illustre l'impact de l'imperméabilisation sur les écoulements : augmentation des volumes de ruissellement, accélération des écoulements, décalage du débit de pointe.

A titre d'illustration, l'artificialisation des sols rend **plus vulnérables les territoires situés dans des zones inondables**. D'une part, elle a pour conséquence d'augmenter les enjeux humains et économiques dans les territoires exposés, ce qui conduit, lors de la survenue d'une crue, à amplifier la gravité de l'événement. D'autre part, elle rend généralement les sols imperméables et réduit le champ d'expansion des crues, ce qui peut conduire à élever les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement de l'eau, augmentant ainsi l'intensité de l'aléa. En France, les surfaces urbaines construites en zone inondable ont augmenté de 21 km^2 entre 2000 et 2006. (L'environnement en France, octobre 2014).

Figure 75 : Les effets de l'imperméabilisation sur les hydrogrammes



- *Service soutien d'étiage* : l'imperméabilisation des sols limite le service de régulation des débits de cours d'eau fourni par les écosystèmes urbains. En effet, la moindre infiltration des eaux pluviales associée à l'imperméabilisation limite notamment la recharge des nappes, qui joue un rôle important dans la régulation des débits des cours d'eau. Par ailleurs, la destruction potentielle de zones humides lors d'une artificialisation limite leur capacité de rétention, utile pour soutenir les débits en période d'étiage.
- *Service autoépuration des milieux aquatiques* : L'imperméabilisation des sols peut engendrer des pollutions (*Cf.* partie 6.1.3.3) à l'origine de modifications chimiques, physiques et biologiques des milieux aquatiques. Le fonctionnement de ces derniers peut alors être perturbé et le service d'autoépuration amoindri.
- *Service de régulation du climat local* : L'artificialisation des sols peut limiter l'expression du service de régulation des ICU : augmentation des surfaces foncées en imperméabilisant, destruction de surfaces végétales et en eau jouant un rôle de régulateur thermique, etc.
- *Service de régulation de la qualité de l'air* : La destruction de végétation et d'arbres parfois associée à l'artificialisation des sols peut minimiser le service de régulation de la qualité de l'air fourni par la végétation : moindre interception et absorption des polluants.

- *Services de régulation du climat global* : L'artificialisation des sols s'accompagne souvent d'une imperméabilisation des sols et parfois d'une destruction de végétation et d'arbres. Cela peut alors minimiser le service de régulation du climat global fourni par les sols et la végétation urbaine : moindre stockage et fixation du carbone notamment.
- *Service aménités paysagères* : moindre aménités paysagères si destruction de surfaces végétales, destruction de paysages, destruction d'écran végétal.
- *Service activités récréatives et de loisirs* : moindres activités récréatives et de loisirs si destruction d'espaces permettant des activités de nature : jogging, promenade, etc.,
- *Service qualité du sol et fertilité* : moindre qualité du sol si modification de la composition et de la structure du sol par imperméabilisation, pollution par la circulation routière, etc…

L'artificialisation des sols en périphérie de la ville, notamment pour le développement d'habitats peu denses, constitue le phénomène **d'étalement urbain**, qui engendre des conséquences supplémentaires. Dans son étude « Étalement urbain et changements climatiques - Etat des lieux et propositions » publiée en août 2011, le réseau Action Climat France (RAC-F), fédérant des associations impliquées dans la lutte contre le changement climatique, cherche à montrer que l'étalement urbain, issu d'un développement urbain majoritairement non maîtrisé, a des impacts en matière de changement climatique. Il est mis en avant que "l'étalement urbain est générateur de **surmobilité au niveau des déplacements** quotidiens". Un ménage périurbain consomme ainsi trois fois plus d'énergie pour ses déplacements quotidiens qu'un ménage résidant au centre, à taille, composition et revenus égaux. A noter toutefois que l'étalement urbain n'est pas le seul facteur de croissance des déplacements. Ainsi, une part importante des émissions de gaz à effet de serre est due à la spécialisation fonctionnelle (logements, emplois, services et commerces). Le RAC-F considère aussi que "l'habitat diffus est **générateur d'émissions de gaz à effet de serre**". Il estime d'une part qu'un tissu urbain dense est moins énergivore qu'un tissu urbain moins dense, pour un même niveau d'isolation… mais seulement jusqu'à un certain niveau - c'est-à-dire à condition de ne pas réduire l'ensoleillement et de ne pas créer d'îlot de chaleur qui augmente l'usage de la climatisation. D'autre part, on observe aujourd'hui que la surface habitable est croissante, depuis le centre jusqu'à la périphérie. Selon le RAC-F, cela contribue à augmenter les émissions de gaz à effet de serre.

Au vu des éléments présentés ci-dessus, il apparaît que la modification de l'occupation des sols est un facteur de changement incontournable dont le suivi est primordial. Parallèlement, il paraît aussi pertinent de s'intéresser plus spécifiquement à l'artificialisation des sols et notamment aux types d'espaces naturels et agricoles consommés afin de pouvoir ensuite évaluer quels types de services peuvent être affectés. En effet, les espaces naturels n'offrent pas les mêmes services que les espaces à vocation agricole.

6.1.2.1 – Indicateur de modification de l'occupation du sol

Afin d'évaluer la pression exercée par la modification de l'occupation du sol induite par l'homme, nous proposons de suivre l'évolution dans le temps des surfaces des différentes catégories d'occupation du sol identifiées dans le chapitre précédent pour caractériser l'état de l'écosystème urbain : forêt, zones humides, masses d'eau, couvert arboré, surfaces perméables, etc.

Les indicateurs de pression constituent alors l'évolution dans le temps des indicateurs d'état identifiés dans le chapitre 5. A noter que le pas de temps entre deux états dépend principalement de la mise à jour des données disponibles.

Indicateur de pression $_{ville}$ liés à la modification des sols au sein de la ville :

- Évolution des proportions de surfaces perméables

  NB : Commencer la liste des indicateurs par l'imperméabilisation est pertinent dans la mesure où, au sein de l'artificialisation, c'est souvent cette imperméabilisation (bâtiment, parking, infrastructures de transport etc.) qui impacte le plus négativement l'état de l'écosystème urbain et sa capacité à fournir des services écosystémiques

- Évolution des proportions de masses d'eau
- Évolution des parts de forêts
- Évolution des parts des espaces verts urbains et de loisirs
- Évolution des parts des milieux humides
- Évolution des parts du couvert végétal arboré

6.1.2.2 – Indicateur de modification de l'occupation de sol spécifique à l'artificialisation

Pour suivre l'artificialisation des sols, nous proposons de suivre trois indicateurs.

Indicateurs de pression $_{ville}$ spécifiques à l'artificialisation :

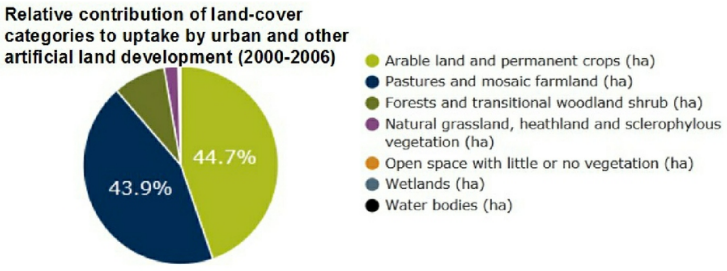
Les deux premiers indicateurs complémentaires visent à évaluer la consommation des surfaces naturelles et agricoles par l'artificialisation des sols, qui peut avoir des impacts sur l'expression des services associés à de tels espaces :

- Évolution des surfaces artificialisées pour une sélection de villes françaises
- Evolution des surfaces naturelles et agricoles pour une sélection de villes françaises en lien avec l'artificialisation des sols

Les collectivités sont déjà sensibilisées au suivi de l'artificialisation des sols dans la mesure où le code de l'urbanisme (articles L143-1 et L151-4) exige que les SCOT et les PLU(i) réalisent une analyse de la consommation d'espaces naturels agricoles et forestiers au cours des dix années précédant l'approbation du document.

Le graphique suivant de l'Agence européenne de l'environnement illustre, à l'échelle de la France, la proportion des différents types de terrains consommés par l'artificialisation des sols (urbain et autres). Il est intéressant de constater que l'artificialisation des sols se fait principalement au détriment des terres agricoles. Cependant, seuls les chiffres départementaux sont accessibles, une production à l'échelle de chaque ville serait très intéressante.

Figure 76 : Proportion des différents types de terrains consommés par l'artificialisation des sols en France (urbain et autres) (Source : Agence européenne de l'environnement)



Le second graphique de l'Agence européenne de l'environnement montre qu'à l'échelle de la France, les activités humaines participant le plus à l'artificialisation des sols sont les habitations, les services et les lieux récréatifs (indifférenciés) ainsi que

les sites industriels et commerciaux.

L'artificialisation des sols peut aussi être approchée à travers l'évolution de la tache urbaine :

Indicateur de pression $_{ville}$: Évolution de la tache urbaine pour une sélection de villes françaises

L'objectif de cet indicateur est de suivre l'évolution de la tache urbaine au cours du temps (territoire communal et EPCI) et de faire le lien entre l'évolution de la population et l'évolution du bâti afin de mettre en évidence deux notions importantes : l'étalement et la densification du bâti.

Cet indicateur peut être cartographié à différentes échelles et notamment celle de la commune grâce à l'exploitation de la base de données Majic (mise à jour des informations cadastrées) qui contient des informations très justes et datées pour ce qui concerne le résidentiel.

Figure 77 : Exemple de cartographie de la tache urbaine à partir des données Majic



Tache urbaine sur la commune de Villié-Morgon (Rhône)
Source : CERTU, d'après IGN, BD ORTHO et BD parcellaire



Tache urbaine sur la commune d'Ayse (Haute-Savoie)
Source : CERTU, d'après IGN, BD ORTHO

À noter le choix a été fait d'associer la fragmentation à un indicateur d'état et non de pression (chapitre 5) en raison du rôle prépondérant des éléments physiques fragmentant constitutif du milieu urbain. En effet, **la fragmentation des zones naturelles en lien avec l'urbanisation et l'occupation du sol (infrastructures, barrières physiques, etc.) constitue une des plus fortes contraintes pour la biodiversité**, en fractionnant et réduisant les espaces vitaux des espèces. Il est donc essentiel de retenir un critère permettant d'appréhender la fragmentation et ses impacts.

6.1.3 – Pollutions et nuisances

Comme le montre le tableau 1, les pressions "d'ordre chimique et nuisances" exercées sur les villes correspondent à la fois à des émissions de polluants (air, eau, sol) ainsi qu'à des nuisances de diverses natures : sonores, olfactives, visuelles, lumineuses, vibratoires, électromagnétiques. Ces pressions d'ordre anthropique peuvent fortement influencer la qualité de vie et la santé de la population résidente. Les impacts négatifs sur le milieu et les espèces animales et végétales peuvent aussi être particulièrement significatifs : gêne, maladie, perte de biodiversité.

6.1.3.1 – Les émissions de polluants atmosphériques

Les émissions de certains polluants atmosphériques engendrent potentiellement des effets importants sur la santé humaine (toux, gêne respiratoire et oculaire, crise d'asthme, *Cf.* **partie** SANTE) et sur **l'environnement** à plus ou moins longue distance (nécrose végétale, diminution de la croissance foliaire, acidification, eutrophisation, etc.). Des **dégradations** peuvent également apparaître au niveau des matériaux de construction des façades des bâtiments (Selmi 2016).

Afin de quantifier l'importance des émissions des principaux polluants, nous avons choisi de suivre **deux types d'indicateur**. Le premier consiste en un suivi des concentrations de divers polluants sélectionnés au regard des impacts occasionnés (*Cf.* supra). Le second est basé sur le suivi du nombre de jours où la qualité globale de l'air est considérée comme médiocre à très mauvaise (suivi de l'indice ATMO).

- **Indicateur de pression $_{ville}$: les moyennes annuelles des concentrations journalières pour les principaux polluants suivants :**

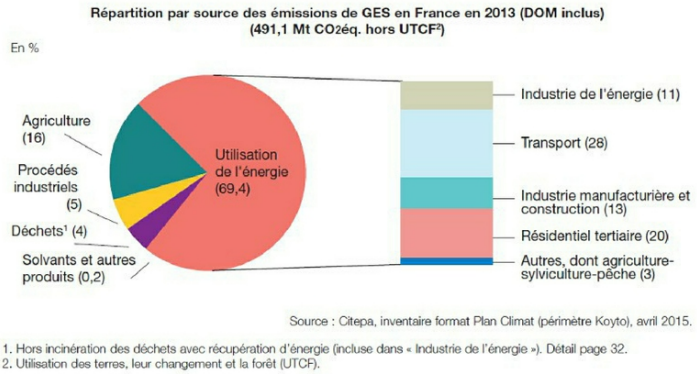
- Pollution azotée (NOx),
- Pollution par les poussières (PM10),
- Pollution par l'ozone (O_3),

Notons qu'il est aussi intéressant de faire un zoom sur les émissions annuelles de gaz à effet de serre dans la mesure où les écosystèmes urbains participent à leur production et en subissent aussi les conséquences. L'augmentation des gaz à effet de serre liée aux activités humaines est, en effet, à l'origine de nombreuses conséquences sur le climat global (augmentation des températures, accentuation des phénomènes météorologiques extrêmes, etc.), sur l'environnement (disparition d'espèces végétales et animales) et sur l'homme (accentuation des îlots de chaleur urbain, augmentation des épisodes de canicules avec des conséquences potentielles sur la santé des personnes fragiles, accentuation des risques naturels comme les inondations, etc.). Soulignons ici que les écosystèmes urbains ne sont pas les seuls émetteurs de gaz à effet de serre, l'agriculture étant aussi à l'origine d'une forte émission de GES.

En France, comme dans l'ensemble de l'UE, l'utilisation d'énergie est la principale source d'émission de GES. Le secteur le plus émetteur est celui des transports (28 %), tandis que celui de l'énergie est relativement peu émetteur (11 %), en raison

de l'importance de la production électrique nucléaire.

Figure 78 : Répartition par source des émissions de Ges en France en 2013. (Source : Citepa, inventaire format Plan climat, avril 2015, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/article/199/1080/emissions-gaz-effet-serre-secteur-france.html)

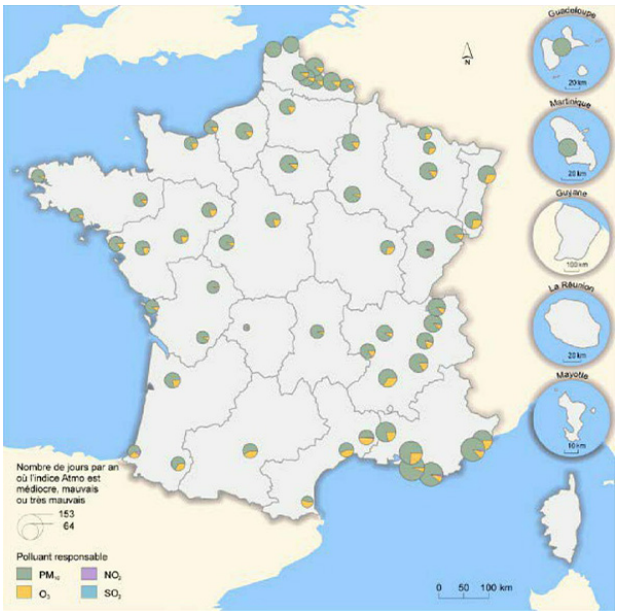


- **Indicateur de pression $_{ville}$: le nombre de jours où l'indice ATMO est supérieur ou égal à 6 (médiocre à très mauvais)**

Le suivi du nombre de jours où l'indice ATMO est supérieur ou égal à 6 (médiocre à très mauvais) est un des moyens permettant de quantifier la pression subie par les écosystèmes urbains. La carte suivante met en avant des différences régionales significatives.

Le contexte industriel, le climat, le trafic routier font partie des facteurs explicatifs de cette hétérogénéité.

Figure 79 : Indice Atmo qualité de l'air en 2012 – Nombre de jours où l'indice de qualité de l'air est médiocre, mauvais ou très mauvais.
(Source : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air Traitements Soes, 2014, http://www.atmo-france.org/fr/)



6.1.3.2 – Les flux de polluants dans l'eau

Au sein du milieu urbain, les flux polluants dissous ou en suspension dans l'eau, apportés aux milieux humides sont dus à la combinaison de plusieurs facteurs :

- Pollution par les eaux de ruissellement :

  Les eaux de pluie, lorsqu'elles arrivent sur le sol, sont peu polluées, même en ville. C'est notamment au cours de leur trajet en surface, principalement dans les caniveaux, que les eaux se chargent en polluants. En arrivant au sol, l'eau de pluie va d'une part lessiver les surfaces sur lesquels elle s'écoule et d'autre part éroder les matériaux de surface. Les contaminants peuvent soit être dissous, soit être fixés sur les particules entraînées par l'eau. L'augmentation de la concentration en polluants dépend de facteurs multiples : intensité de la pluie, importance des ruissellements, nature du matériau de surface, nature des activités sur ou à proximité de la surface, etc…

  Ceci explique la très grande variabilité des concentrations trouvées dans la littérature. Notons cependant (voir Annexe) que les eaux de ruissellement sont presque toujours au moins de qualité « baignade ».

- Pollution par les rejets pluviaux stricts :

La qualité des rejets pluviaux stricts est beaucoup plus mauvaise que celle des eaux de ruissellement. En effet l'eau se charge en polluants tout au long de son parcours c'est à dire dans les caniveaux et surtout dans le réseau de conduites qui reçoit, pendant les périodes de temps sec, de multiples résidus pollués. Par ailleurs, lorsque ces réseaux existent, le traitement est généralement sommaire (voir Annexe 2).

- Pollution des rejets urbains de temps de pluie :

  Dans les villes françaises les réseaux séparatifs ne sont pas généralisés, et lorsqu'ils existent, la séparation des eaux usées et des eaux pluviales est rarement réalisée de façon parfaite. Ceci signifie que les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) ne sont généralement pas des rejets pluviaux stricts, mais des mélanges d'eau usée et d'eau pluviale par des déversoirs d'orage, voire parfois, par des exutoires réputés strictement pluviaux. Les chiffres les plus souvent cités pour indiquer le fort degré de pollution des eaux rejetées par temps de pluie sont souvent ceux des effluents de réseau unitaire, ce qui explique d'une part leur très forte variabilité et d'autre part leurs fortes concentrations moyennes. (Voir Annexe 1).
- Les rejets industriels directs contribuent également à l'apport de polluants dans les milieux aquatiques.

Les polluants sont de nature diverse (physique, chimique, microbiologique).

6.1.3.3 – Les nuisances sonores

Les nuisances sonores générées par les transports (*Cf.* infra) et par les industries peuvent significativement affecter la qualité de vie et la santé de la population urbaine (*Cf.* chapitre 16) et induire des conditions défavorables pour le développement de la faune (*Cf.* partie 1). Les nuisances sonores constituent en cela une forte pression sur les écosystèmes urbains.

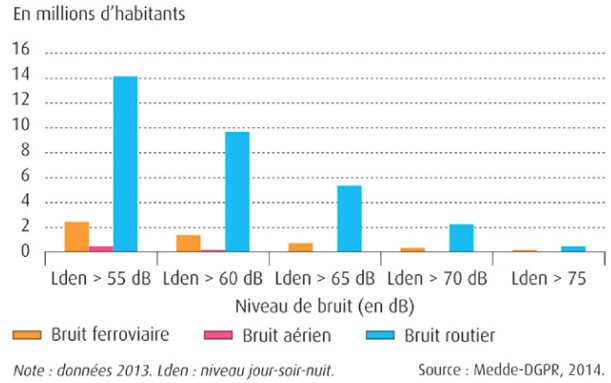
En ce qui concerne la faune, les nuisances sont avérées mais extrêmement difficiles à évaluer et quantifier. En revanche, des indicateurs de pressions peuvent permettre de suivre les nuisances sonores subies par la population urbaine et ceci pour plusieurs sources de bruit : le trafic routier, le trafic aérien, le trafic ferroviaire, les ICPE :

• Indicateur de pression $_{ville}$ lié aux nuisances sonores : Pourcentage de la population résidente potentiellement exposée aux bruits (routiers, aériens, ferroviaires) / Population totale

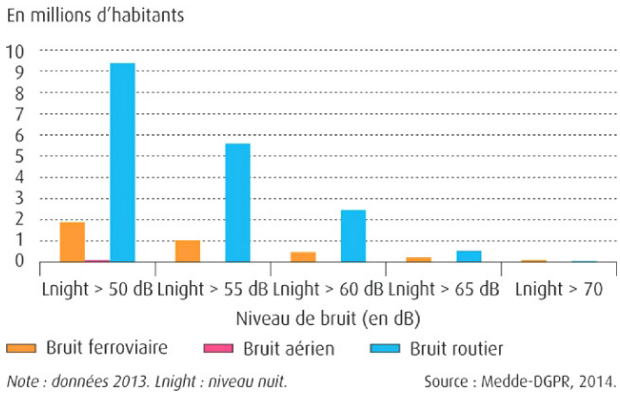
Dans ce type d'indicateurs, deux paramètres sont généralement suivis : le niveau de bruit moyen annuel ramené à une journée (indicateur Lden) complété par un indicateur de nuit de 22h à 6h du matin (Ln).

A l'échelle de la France entière, les données sur les nuisances sonores en ville sont encore peu disponibles. L''évaluation des nuisances sonores n'est, en effet, obligatoire que pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants, les routes empruntées par 3 millions de véhicules par an (8200 véhicules par jour) et les voies ferrées comptant plus de 30 000 passages de trains par an (82 trains par jour) (*Cf.* Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement transposée). Les premiers résultats disponibles (*Cf.* : graphique ci-dessous) permettent de dresser un premier panorama de la situation française en matière d'exposition au bruit pour les agglomérations de plus de 250 000 habitants pour lesquelles les cartes de bruit ont été élaborées (source : L'environnement en France, Édition 2014). Il s'avère que 14 millions des habitants de ces agglomérations sont exposés au bruit routier et un peu plus de 9 millions au bruit routier de nuit. En ce qui concerne le bruit ferroviaire, environ 2 millions d'habitants de ces mêmes agglomérations sont exposées. Si l'on considère que la valeur limite d'exposition est située à 68dB (Lden) pour le bruit routier, on constate qu'entre 2 et 5 millions d'habitants sont concernés.

Figure 80 : Exposition au bruit de la population au sein des agglomérations françaises de plus de 250 000 habitants



Note : données 2013. Lden : niveau jour-soir-nuit. Source : Medde-DGPR, 2014.



Note : données 2013. Lnight : niveau nuit. Source : Medde-DGPR, 2014.

A l'échelle régionale, il est possible d'illustrer les nuisances sonores avec le territoire de l'île de France, où des données sont disponibles grâce à l'observatoire régional Bruitparif.

Les habitants de cette région sont particulièrement exposés aux bruits routiers. La valeur limite pour l'exposition au bruit routier (Lden) est souvent atteinte, et d'autant plus que l'échelle étudiée se centre sur Paris : Région / agglomération / Paris. A Paris, le seuil limite d'exposition (Lden) est dépassé pour environ 25 % de la population.

Zoom

Niveau d'exposition par rapport aux valeurs seuils de représentation graphique des cartes de bruit (VS) et aux valeurs limites (VL), qui varient selon les sources et les indicateurs (source : bruitparif, *https://www.bruitparif.fr/*)

	Route		Fer	
	Lden	***Ln***	***Lden***	***Ln***
<VS	<55 dB(A)	<50 dB(A)	<55 dB(A)	<50 dB(A)
>VS et <VL	De 55 à 68 dB(A)	De 50 à 62 dB(A)	De 55 à 73 dB(A)	De 50 à 65 dB(A)
>VL	>68 dB(A)	>62 dB(A)	>73 dB(A)	>65dB(A)

Figure 81 : Populations en situation potentielle de dépassements des valeurs limites (VL)

	Bruit routier	Bruit ferroviaire	Bruit aérien
VL indicateur Lden en dB(A)	**68**	**73**	**55**
Nb	1 736 702	104 508	382 251
%	15.1%	0.9%	3.3%

	Bruit routier	Bruit ferroviaire	Bruit aérien
VL indicateur Ln en dB(A)	**62**	**65**	**X**
Nb	865 991	119 574	x
%	7.5%	1%	x

NB : En complément de l'indicateur précédent et dans la continuité de l'objectif de mobiliser des indicateurs simples, il paraît intéressant de construire un indicateur de suivi des nuisances sonores n'exigeant pas de mesures réelles du bruit.

6.1.3.4 – La pollution lumineuse

La pollution lumineuse au sein des écosystèmes urbains associée à l'éclairage public de nuit est à l'origine de nombreuses pressions : perturbations de la flore et la faune (mortalité directe induite, éblouissement, fragmentation de l'habitat, dérèglement biologique de la flore, etc.), inconfort pour la population résidente lorsque les installations sont mal orientées, consommation importante d'énergie, etc.

Plusieurs améliorations sont envisageables et se développent pour réduire cette pression : réflexion sur la nécessité d'éclairer les différentes zones du territoire, sur le niveau d'éclairage le plus pertinent, sur le choix des lampadaires (diffusion de la lumière vers le sol), choix des lampes (couleur monochromatique moins perturbante pour la faune), etc.

Soulignons ici que l'objectif n'est pas ici de remettre en question et supprimer l'éclairage public, qui présente un réel intérêt notamment en terme de sécurité publique.

Plusieurs indicateurs pourraient permettre de suivre cette pression :

Indicateurs de pression $_{ville}$ liés à la pollution lumineuse :

Proportion de lampadaires avec des lampes à vapeur de sodium basse-pression moins préjudiciables pour l'environnement urbain (couleur monochromatique perturbant moins la faune, faible consommation d'énergie).

Les renseignements fournis par ces indicateurs sont utiles pour mesurer une évolution au sein de la ville. Il ne s'agit pas de comparer les villes entre elles.

A l'échelle de l'ensemble du territoire français, ces données ne sont pas disponibles. Cependant, à l'échelle de chaque commune ou EPCI, une évaluation de cette pression peut facilement être mise en œuvre.

6.1.4 – Introduction d'espèces invasives

Les espèces exotiques envahissantes dégradent généralement l'état de l'écosystème dans lequel elles se développent et menacent la diversité biologique, car leur prolifération (il s'agit en général d'espèces à fort pouvoir colonisateur) se fait au détriment des espèces autochtones. Cette menace est favorisée dans les écosystèmes urbains en raison des conditions, qui peuvent leur être favorables : sols remaniés, milieux fréquemment perturbés. D'autres espèces envahissantes, pas forcément exotiques, peuvent être à l'origine de problèmes sanitaires importants (pigeon, ambroisie etc.). Ces deux problématiques (impacts sur la richesse des milieux, impacts sur la santé humaine) sont développées ci-après.

La surveillance et le traitement du développement des espèces envahissantes sont essentiels au sein d'un écosystème urbain. Suivre les espèces invasives et plus particulièrement les espèces invasives non indigènes permet de mesurer le statut de

la menace sur les milieux et les espèces présentes. Dans cet optique, l'index de Singapour propose de suivre la proportion d'espèces non indigènes envahissantes (par opposition aux espèces indigènes) au sein des villes.

Figure 82 : Indicateur 10 de l'indice de biodiversité urbaine Proportion d'espèces invasives

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATOR 10: PROPORTION OF INVASIVE ALIEN SPECIES (AS OPPOSED TO NATIVE SPECIES)**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR Invasive alien species out-compete native species and, thus, threaten the survival of native species and the integrity of ecosystems. As cities are very open to influx of alien species, this indicator measures the status of this threat. The definition of alien invasive species adopted follows that accepted by the SCBD, i.e.: An alien species whose introduction and/ or spread threaten biological diversity (For the purposes of the present guiding principles, the term "invasive alien species" shall be deemed the same as "alien invasive species" in decision V/8 of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity). It is inevitable in cities, which are open to external influences, to have alien species. Alien species which are not invasive or detrimental to native species are not considered in this indicator. In fact in many cities, exotic or alien species enhance the diversity. Cities can decide on the taxonomic groups which are most problematic for their city or where most data are available.	HOW TO CALCULATE INDICATOR To ensure that the comparison of invasive alien species with that of native species is meaningful, it would have to be a comparison of identical taxonomic groups. (Number of invasive alien species) ÷ (Number of native species) WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Possible sources of data include government agencies in charge of biodiversity, city municipalities, urban planning agencies, biodiversity centres, nature groups, universities, publications, etc.	BASIS OF SCORING The scoring range is based on the premise that the more invasive alien species that are in the city; the more destructive impact will be to the native species. 0 point : > 0.30 1 point : 0.21-0.30 2 points : 0.11-0.20 3 points : 0.01-0.10 4 points : < 0.01

En raison des inventaires d'espèces encore peu exhaustifs au niveau des villes françaises, cet indicateur exigeant une double évaluation (espèces non indigènes envahissantes et espèces indigènes) ne semble pas le plus approprié car difficile dans sa mise en œuvre. Outre le fait d'être très chronophage (même si l'on se limite à quelques groupes taxonomiques), il introduit aussi deux sources d'erreurs potentielles en raison des deux inventaires exigés. De ce fait, une amélioration de l'inventaire des espèces indigènes (une année donnée) peut modifier artificiellement le résultat de l'indicateur. Dans la cadre de l'Efese, nous proposons donc de simplifier cet indicateur et de ne suivre que le nombre d'espèces non indigènes envahissantes. L'indicateur retenu est le suivant :

- **Indicateur de pression $_{ville}$ lié aux espèces invasives1 = Nombre d'espèces non indigènes envahissantes***

*cible possible sur 1 ou plusieurs espèces

Cet indicateur devient ainsi moins chronophage et plus fiable dans le temps. Pour s'assurer que l'évaluation est de qualité, il paraît nécessaire, dans un premier temps, de ne traiter que certaines espèces. Les collectivités peuvent notamment décider

de cibler leur suivi sur les espèces les plus problématiques au regard de leur territoire (*Cf.* tableau suivant).

Figure 83 : Espèces les plus préoccupantes ou les plus largement répandues en métropole
(classement par niveau de présence / préoccupation décroissant) (CGDD 2015)

	Nom latin	Nom commun
V	*Fallopia / Reynoutria japonica*	Renouée du Japon
V	*Ludwigia grandiflora*	Ludwigie à grandes fleurs, Jussie
V	*Ambrosia artemisiifolia*	Ambroisie
A	*Myocastor coypus*	Ragondin
A	*Pacifastacus leniusculus*	Écrevisse de Californie
A	*Procambarus clarkii*	Écrevisse de Louisiane
V	*Acer negundo*	Érable Négondo
V	*Elodea canadensis*	Élodée du Canada
V	*Ludwigia peploides*	Jussie
V	*Ailanthus altissima*	Faux-vernis du Japon, Vernis du Japon, Ailanthe
V	*Cortaderia selloana*	Herbe de la Pampa, Roseau à plumes
V	*Fallopia / Reynoutria sachalinensis*	Renouée de Sakhaline
V	*Heracleum mantegazzianum*	Berce du Caucase, Berce de Mantegazzi
V	*Robinia pseudoacacia*	Robinier faux-acacia, Carouge
A	*Ondatra zibethicus*	Rat musqué
V	*Azolla filiculoides*	Azolle fausse-fougère
V	*Elodea nuttalii*	Élodée à feuilles étroites
V	*Fallopia/ Reynoutria x-bohemica*	Renouée de Bohême
V	*Solidago gigantea Aiton / canadensis*	Tête d'or, solidago américain
V	*Baccharis halimifolia*	Séneçon en arbre
V	*Egeria densa*	Egérie dense
V	*Phytolacca americana*	Raisin d'Amérique, Phytolaque américaine
V	*Impatiens glandulifera*	Basalmine de l'Himalaya
A	*Orconectes limosus*	Écrevisse américaine
A	*Lepomis gibbosus*	Perche-soleil
A	*Vespa velutina*	Frelon à pattes jaunes, frelon asiatique
V	*Aster / Symphyotrichum lanceolatus*	Aster lancéolé
V	*Myriophyllum aquaticum*	Myriophylle aquatique, Myriophylle du Brésil
V	*Artemisia verlotiorum*	Armoise des Frères Verlot, Armoise de Chine
A	*Ameiurus nebulosus*	Poisson-chat
A	*Trachemys scripta*	Tortue de Floride
V	*Bidens frondosa*	Bident à fruits noirs
V	*Crassula helmsii*	Crassule des étangs
V	*Eichhornia crassipes*	Jacinthe d'eau, Calamote
V	*Prunus serotina*	Cerisier tardif, Cerisier noir, Cerisier d'automne

Légende : A = espèces animales ; V = espèces végétales

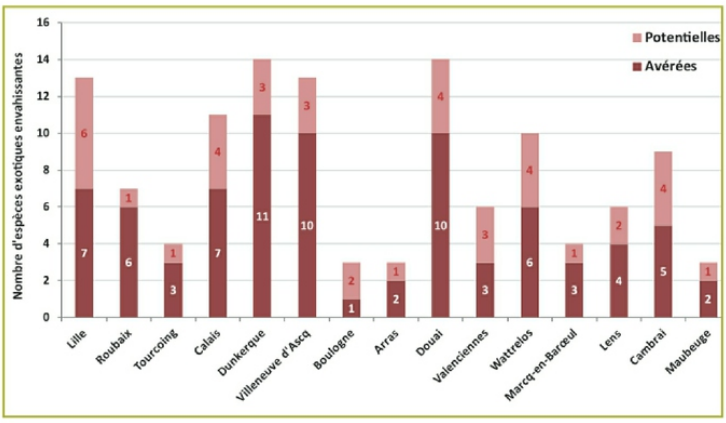
Les données permettant d'évaluer cet indicateur ne sont pas disponibles sur la totalité du territoire national. En revanche, il est intéressant de présenter le travail effectué dans ce domaine par l'observatoire de la biodiversité du Nord-Pas-de-Calais. En 2011, le Nord-Pas-de-Calais comptait :

- 29 espèces exotiques envahissantes avérées ;
- 26 espèces exotiques jugées potentiellement envahissantes, c'est-à-dire qu'elles sont localement présentes dans la région sans caractère invasif actuellement, et considérées comme envahissantes dans d'autres territoires géographiques ;
- 422 espèces exotiques considérées comme non envahissantes.

Les trois espèces les plus fréquemment rencontrées au sein des quinze communes les plus peuplées du Nord-Pas-de-Calais sont le Buddleia de David (Buddleja davidii), la Renouée du Japon (Fallopia japonica) et le Séneçon sud-africain (Senecio inaequidens).

La répartition des espèces exotiques envahissantes potentielles et avérées dans les quinze communes les plus peuplées du Nord-Pas-de-Calais est la suivante :

Figure 84 : Nombre d'espèces de plantes vasculaires exotiques envahissantes présentes depuis 1990 dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais
(ORB Nord - Pas-de-Calais 2013a)

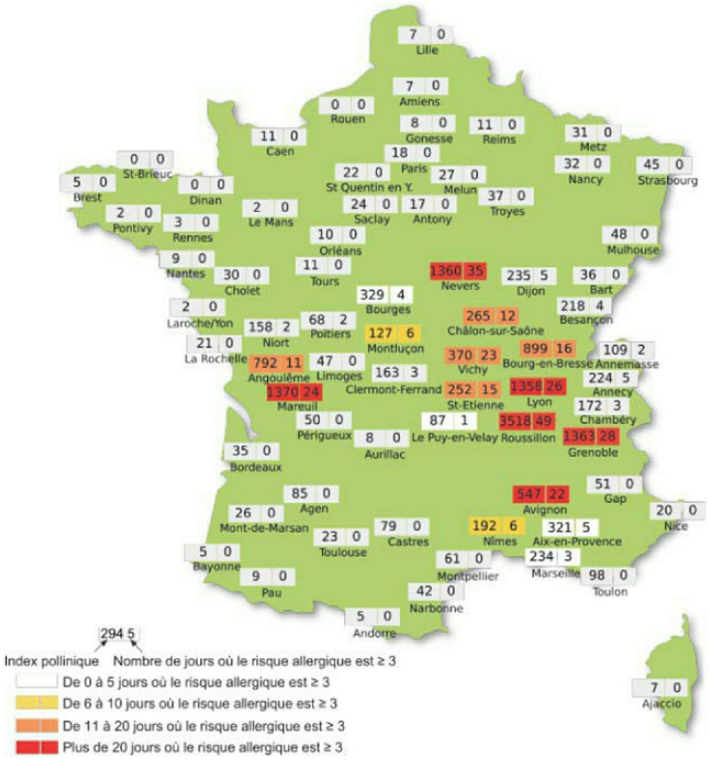


Parallèlement à leur impact sur la diversité des espèces, les plantes et animaux invasif, peuvent aussi engendrer de lourdes conséquences sanitaires sur la population urbaine. Certaines plantes invasives engendrent notamment des allergies et des troubles respiratoires. Quelques indicateurs particuliers existent pour évaluer le risque allergo-pollinique, en particulier pour les pollens d'ambroisie. Parmi eux, il peut être intéressant de suivre, grâce au RNSA au sein des territoires infectés le nombre de jours où le risque allergique entraîne la survenue de symptômes chez tous les allergiques au pollen d'ambroisie (risque ≥ 3 correspondant au risque allergique moyen, élevé ou très élevé).

- **Indicateur de pression $_{ville}$ lié aux espèces invasives2 = nombre de jours où le risque allergique lié à l'exposition au pollen d'ambroisie* est ≥3**

* : choisir l'espèce (ou les espèces) la (les) plus problématique(s) localement

Figure 85 : Répartition des pollens d'ambroisie et du risque allergique au pollen au sein de plusieurs villes françaises (2015) RNSA (http://www.pollens.fr/accueil.php)



6.1.5 – *Gestion et protection des ressources et milieux*

Il est évident que le type de conception, écologique ou non, influe sur le maintien et la qualité d'espaces de nature (murs et toits végétalisées, espaces de pleine terre). Néanmoins, la manière de gérer et considérer les espaces de nature à l'échelle de la ville est un facteur de changement important, qui peut significativement impacter l'état de l'écosystème urbain ainsi que les services écosystémiques associés. Différents outils, qu'ils soient d'ordre réglementaire ou pas, permettent d'agir en faveur du développement d'une biodiversité urbaine.

6.1.5.1 – La gestion des espaces publics

En ce qui concerne la **gestion des espaces public**, de nombreuses collectivités ont pris conscience qu'il était indispensable de limiter les produits phytosanitaires. Certaines d'entre elles se sont progressivement orientées vers une gestion en zéro-phyto (Bordeaux, Grenoble, Lille, Nantes, Paris, Rennes, Strasbourg etc.) et ceci avant

même l'obligation réglementaire, mise en place au niveau national à partir du 1er janvier 2017.

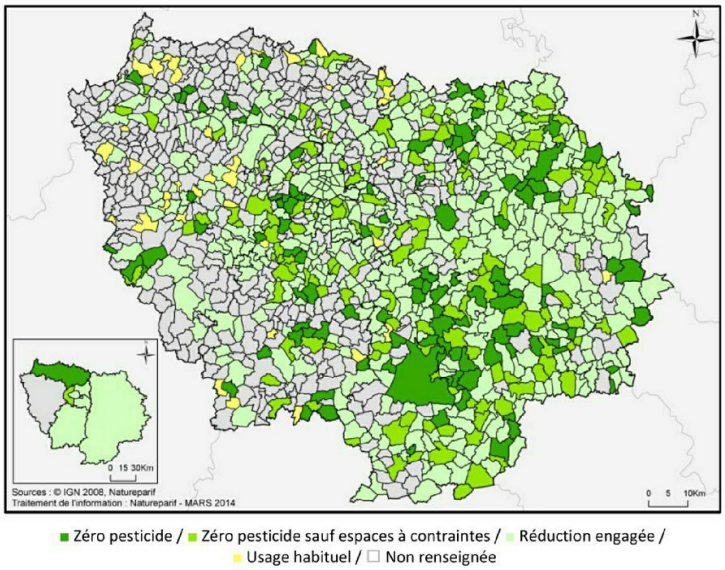
Parallèlement, de plus en plus de collectivités se dirigent aussi vers une gestion alternative des espaces publics (fauchage tardif, tontes plus espacées, arrosage limité etc.), afin de mieux respecter et développer la biodiversité présente.

Au vu de ces éléments, nous proposons de retenir les deux indicateurs suivants devant être croisés pour définir les efforts de la collectivité en matière de gestion des espaces (qu'il est possible de suivre par type d'espace : espaces verts, cimetières, terrains de sports etc.) :

- **Indicateurs de pression $_{ville}$ liés à la gestion des espaces publics :**
  - **Volume de phytosanitaires par surface d'espaces publics**
  - **Volume d'engrais chimiques par surface d'espaces publics**
  - **Volume d'eau potable consommée par surface d'espaces publics**
  - **Proportion des surfaces d'espaces publics en gestion alternative (faucardage tardif etc.).**

A l'échelle de la France en 2014, près de 4000 communes seraient déjà engagées dans une démarche "zéro pesticides". Des données sont disponibles en Île de France, grâce à l'agence régionale de la biodiversité (NatureParif 2014). Parmi les collectivités renseignées, 16 % sont particulièrement exemplaires et appliquent la règle du « zéro pesticide » sur l'ensemble des espaces dont elles ont la gestion (soit 9,5 % de l'ensemble des communes franciliennes). 19 % n'utilisent des pesticides que sur les espaces à contraintes (terrains de sport, golfs, cimetières). 60 % se disent engagées dans une réduction des pesticides et seuls 5 % utilisent encore les pesticides de manière habituelle sans restriction particulière.

Figure 86 : Répartition des communes selon les engagements dans le zéro pesticides (source : NaturParif 2014)



L'utilisation de phytosanitaires en France : Aspects réglementaires

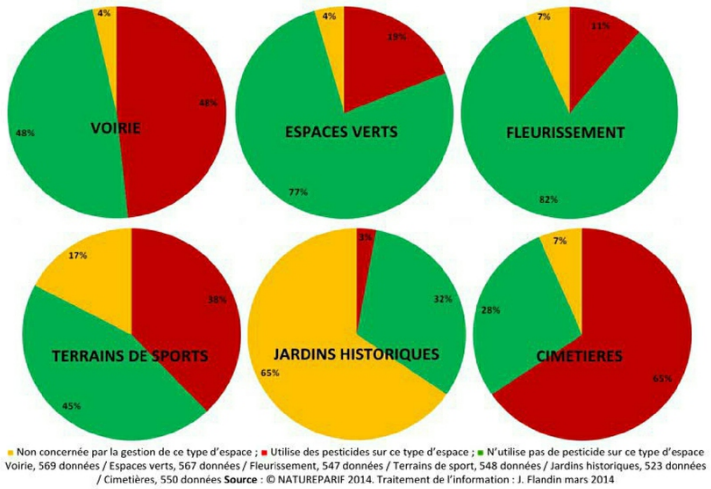
La réglementation actuelle concernant les phytosanitaires limite leur utilisation à proximité d'établissement scolaires ou de santé (arrêté du 27 juin 2011) et de nombreuses initiatives visant à limiter leur emploi ont été entreprises notamment suite au plan ECOPHYTO 2018 initié en 2008 (découlant du Grenelle de l'Environnement) et fixant des objectifs concernant la baisse des ventes de produits phytosanitaires (Exemple de la Charte"Objectif Zéro Pesticides" de la FRAPNA Rhône-Alpes ou de l'objectif Zéro Pesticides Île de France" porté par Natureparif).

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte interdit au 1er janvier 2017 l'utilisation des produits phytosanitaires par l'Etat, les collectivités locales et les établissements publics sur les voiries, dans les espaces verts, forêts et promenades ouverts au public. Cette interdiction est étendue aux particuliers à compter du 1er janvier 2019.

En France, malgré cette législation contraignante, 65 000 t de pesticides sont encore utilisés chaque année (données Eurostat 2013, >*http://ec.europa.eu/eurostat/fr/data/database*) dont 7 à 10 % par les collectivités territoriales, les gestionnaires d'espaces collectifs tels que la S.N.C.F., les Départements, les sociétés d'autoroutes… et les particuliers. Les pesticides épandus en milieu urbain sont par ailleurs plus rapidement transférés vers l'aval via les hydrosystèmes, et dans des proportions supérieures (8 à 10 % contre seulement 1 % pour les milieux agricoles, du fait de l'imperméabilisation et de la moindre influence des zones tampons autour des espaces traités) (Programme PIREN Seine, 2011, *https://piren-seine.fr*).

L'étude régionale (NatureParif 2014) montre aussi des différences de gestion importantes suivant les types d'espaces avec ainsi des pressions plus ou moins importantes sur l'écosystème.

Figure 87 : Utilisation des pesticides selon le type d'espaces verts (NatureParif 2014)



Concernant l'arrosage, si d'une manière générale la France métropolitaine dispose de ressources en eau considérables, les considérations récentes concernant les problématiques posées par les sécheresses et les périodes de pluies abondantes (accentuée par le changement climatique qui accentue l'occurrence et l'intensité de ces phénomènes) posent clairement la question de l'utilisation de l'eau potable pour l'arrosage en milieu urbain (Plante & Cité et al. 2013), Gestion Raisonnée de l'Arrosage en Espaces Verts). L'observation des pratiques en matière d'arrosage des espaces verts en ville est particulièrement complexe du fait de la diversité des pratiques due à : la rareté des données, l'influence du contexte climatique, la variété des périmètres des services d'exploitation concernés. Certaines études par enquêtes auprès des collectivités avancent tout de même des chiffres concernant l'emploi de l'eau potable pour l'irrigation des espaces verts (Plante & Cité et al. 2013), Gestion Raisonnée de l'Arrosage en Espaces Verts). En moyenne les communes interrogées et étant en capacité de mesurer leurs consommations font état d'un arrosage de 250 l/m^2/an (pour ⅕ des espaces verts arrosés en surface), 91 % des communes ou communautés de communes utilisant au moins partiellement de l'eau potable (pour une moyenne de 85 % du volume total).

6.1.5.2 – L'investissement des collectivités en faveur du végétal

L'effort **d'investissement financier des collectivités en faveur du développement et de l'entretien de leur patrimoine végétal** peut fortement influencer l'expression des services écosystémiques associés. Il s'agit d'une des catégories prises en compte dans le cadre du classement des villes les plus vertes de France réalisé par l'Unep (Union nationale des entreprises du paysage). Dans le cadre du palmarès 2014, il s'avère que Angers, Lyon et Strasbourg sont les 3 villes ayant la politique d'investissement en faveur des espaces verts la plus dynamique, avec respectivement 5 %, 2,6 % et 2,5 % du budget municipal global consacré chaque année à la création/aménagement de nouveaux espaces paysagers. En moyenne, les 50 plus grandes villes françaises dépensent 47 € par habitant pour l'entretien et la création de leurs espaces verts. L'effort d'investissement pour créer de nouveaux espaces verts ou réaménager l'existant, varie d'un facteur x50 selon les villes étudiées. Limoges, par exemple, investit 100 € par an et par habitant dans ses espaces verts, dont 25 % consacrés à l'aménagement de nouveaux espaces paysagers. C'est 2 fois plus que la moyenne nationale. Un faible investissement peut cependant se justifier pour les communes déjà bien équipées, qui se focalisent alors sur l'entretien (Nantes, Rennes, Metz). Certaines villes innovent pour créer du vert dans un contexte de forte densité urbaine : à Lille par exemple, la commune offre une prime à ses administrés qui optent pour une toiture végétale, tandis que Rennes favorise les murs végétaux. Marseille s'illustre dans ce domaine avec son programme de développement des toitures végétales (plus d'1 hectare installé à ce jour) (UNEP 2014).

L'indicateur à suivre est donc :

> **Indicateur de pression $_{ville}$: dépenses de la collectivité en faveur du développement et de l'entretien des espaces verts**

Parallèlement à cet effort financier pour développer et entretenir leur patrimoine vert, de plus en plus de villes déploient des **démarches plus ou moins innovantes pour développer et encourager la biodiversité :** inventaires faune, flore, plans pour la biodiversité, éco-pâturage, ruches urbaines, gîtes à insectes, etc. Selon le palmarès 2014 de l'Unep sur les "villes les plus vertes de France", Bordeaux, Angers et Marseille s'illustrent particulièrement sur ce thème.

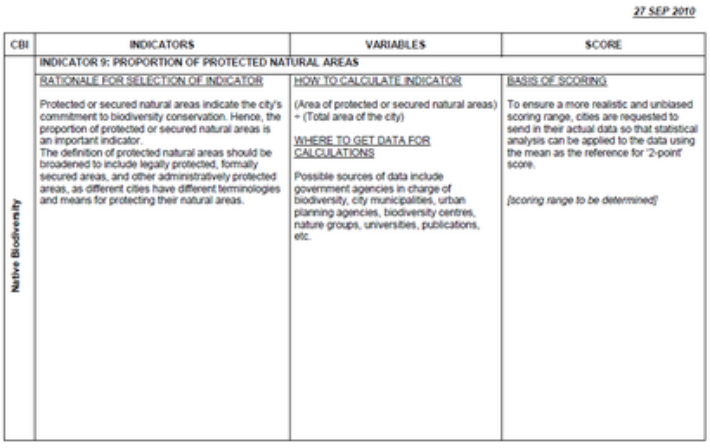
Notons enfin que pour développer le végétal et d'une manière plus large la nature en ville, des **démarches d'implication citoyenne** se développent également au sein des territoires. Il s'agit notamment de sensibiliser les citoyens aux enjeux de la nature et de permettre une meilleure appropriation et compréhension des espaces de nature (y compris la flore spontanée encore souvent considérée comme des "mauvaises herbes"). Ce type de démarche présente également l'avantage de diffuser les bonnes pratiques sur les espaces privés, qui participent activement au bon état des écosystèmes urbains.

6.1.5.3 – La protection des espaces de nature

Au sein des espaces de nature en ville, certaines zones sont susceptibles d'être associées à des habitats, une flore et une faune plus remarquables que le reste du territoire. La protection de ces zones, au niveau local ou national, est un moyen de préserver la richesse de ces zones et de contribuer au développement des services écosystémiques.

Pour ces raisons, l'index de Singapour propose de prendre en compte la proportion des aires naturelles protégées au sein des villes.

Figure 88 : Détail de l'indicateur Proportion des aires naturelles protégées de l'index de Singapour



27 SEP 2010

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	INDICATOR 9: PROPORTION OF PROTECTED NATURAL AREAS		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR Protected or secured natural areas indicate the city's commitment to biodiversity conservation. Hence, the proportion of protected or secured natural areas is an important indicator. The definition of protected natural areas should be broadened to include legally protected, formally secured areas, and other administratively protected areas, as different cities have different terminologies and means for protecting their natural areas.	HOW TO CALCULATE INDICATOR (Area of protected or secured natural areas) ÷ (Total area of the city) WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Possible sources of data include government agencies in charge of biodiversity, city municipalities, urban planning agencies, biodiversity centres, nature groups, universities, publications, etc.	BASIS OF SCORING To ensure a more realistic and unbiased scoring range, cities are requested to send in their actual data so that statistical analysis can be applied to the data using the mean as the reference for '2-point' score. *[scoring range to be determined]*

Suivant les pays, la protection des aires naturelles peut prendre différentes formes. En France, deux principaux niveaux de zonage peuvent être identifiés :

- Des zonages visant une protection du territoire (liste non exhaustive)

- Zonages spécifiques : Parc national : (zone de cœur), Parc naturel marin, Réserve naturelle nationale, Réserve naturelle régionale, Réserve naturelle de Corse, Réserves biologiques, Réserve nationale de Chasse et de Faune Sauvage, Arrêté de protection de Biotope, Site inscrit / site classé (dont grand site), Espaces relevant du CELRL, Zones humides d'importance internationale (site Ramsar, *https://www.ramsar.org*), Réserve de biosphère (MAB), Site français inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco (biens culturels exclus), Espace protégé des collectivités françaises d'outre-mer, Réserve de Chasse et de Faune Sauvage, Réserve de Chasse et de Faune Sauvage de Corse, etc.
  - Zonages du PLU (i) : Zones particulières identifiées dans les documents d'urbanismes pour leur intérêt écologique, Espaces boisés classés,
  - Des zonages d'inventaires et de gestion mettant en avant des enjeux (liste non exhaustive) : Parc naturel national (zone d'adhésion), Parc naturel régional, ZNIEFF1 de type I ou II, Sites Natura 2000, Sites d'intervention des CEN, Espaces naturels sensibles, Zones humides inventoriées, Trame verte ou bleue (TVB), Classement des cours d'eau des SDAGE (liste 1, liste 2)

Quelques articles du code de l'urbanisme permettant de protéger des zones naturelles au sein des PLU(i)

- Articles L113-1 et 2 du code de l'urbanisme : espaces boisés classés
- Article 151-16 du code de l'urbanisme : zones à protéger
- Articles R 151-24 et 25 du code de l'urbanisme : Zones N etc.

Nous proposons de suivre les indicateurs suivants :

- **Indicateur $_{ville}$: part des aires protégées par un zonage (annexe 28)**

Illustration 42 : Part des espaces protégés pour une sélection de grandes villes françaises métropolitaines

Part (%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	4,8	4,8	-	
Bordeaux	19,7	6,9	-	
Grenoble	6,0	1,7	-	
Lille	0,2	0,2	-	
Limoges	3,2	0,0	-	
Lyon	0,4	0,9	-	
Marseille	21,1	21,1	28,3	
Montpellier	14,2	7,1	-	
Nancy	0,2	0,0	-	
Nantes	3,2	2,0	-	
Orléans	0,2	0,7	-	
Rennes	0,0	0,0	-	
Moyenne pondérée[4]		4,2	-	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Figure 89 : Part des espaces protégés (en haut) et des zonages et de gestion (en bas) pour une sélection de grandes villes métropolitaines
Source : Cerema, Méditerannée

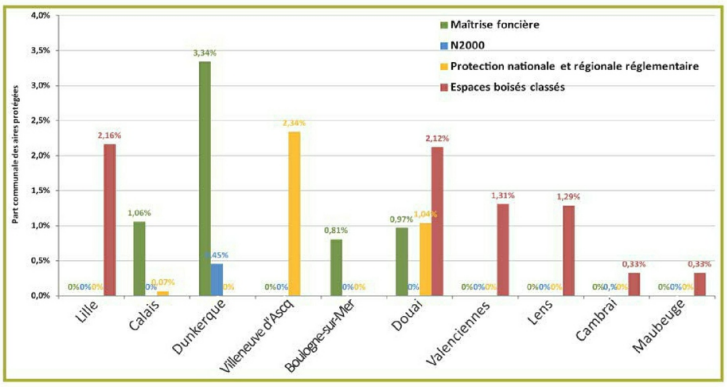
Part (%) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	37,0	37,0	9,1	
Bordeaux	28,5	15,4	8,9	
Grenoble	49,0	42,8	2,7	
Lille	2,3	2,3	-	
Limoges	9,0	1,7	-	
Lyon	21,2	9,6	-	
Marseille	39,7	39,7	33,8	
Montpellier	25,0	21,1	1,0	
Nancy	16,2	5,4	0,0	
Nantes	12,6	14,6	6,8	
Orléans	31,9	9,1	4,3	
Rennes	2,0	1,5	5,3	
Moyenne pondérée[4]		19,5	-	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

- **Indicateur $_{ville}$: part des zonages d'inventaires et de gestion (hors indicateur précédent) (détail annexe 28)**

L'observatoire de la biodiversité du Nord-Pas-de-Calais a réalisé un inventaire des zones protégées, gérées ou labellisées pour les 15 villes les plus peuplées de cette région. Sont ici pris en compte les zones en maîtrise foncière, les sites Natura 2000, les zones protégées au niveau national et régional ainsi que les espaces boisés classés. Il s'avère que seules cinq communes sont concernées par une protection nationale, régionale ou départementale. Toutefois en détaillant les zonages et en ajoutant les "espaces boisés classés" définis dans les PLU (à l'initiative des maires), on peut constater que les surfaces en aires "protégées" augmentent, ce qui reflètent les préoccupations locales en matière de biodiversité. Le graphique ci-dessous illustre les résultats.

Figure 90 : Détails des parts communales en aires protégées, gérées ou labellisées en fonction des types de protection)
NB : les données concernant les "espaces boisés classés" (en rouge) sont issues d'un questionnaire
(ORB Nord-Pas-de-Calais 2013a)



Les données de la région Nord-Pas-de-Calais illustre ainsi différents cas, que l'on peut rencontrer en France. Certaines villes (Roubaix, Tourcoing, Arras etc.) ne présentent aucune aire protégée au sens large (y compris EBC). D'autres ne possèdent que des zones en "EBC" comme Lille, Valenciennes, Lens Cambrai, Maubeuge etc. Enfin, la présence de zones protégées de manière réglementaire au sein de certaines villes traduit une certaine richesse en termes d'habitats, de flore et/ou de faune de ces territoires. Notons toutefois que les pourcentages des aires protégées de manière réglementaire restent relativement faibles au sein des villes étudiées.

6.1.6 – *Le changement climatique en milieu urbanisé*

6.1.6.1 – Canicules et îlots de chaleur urbains

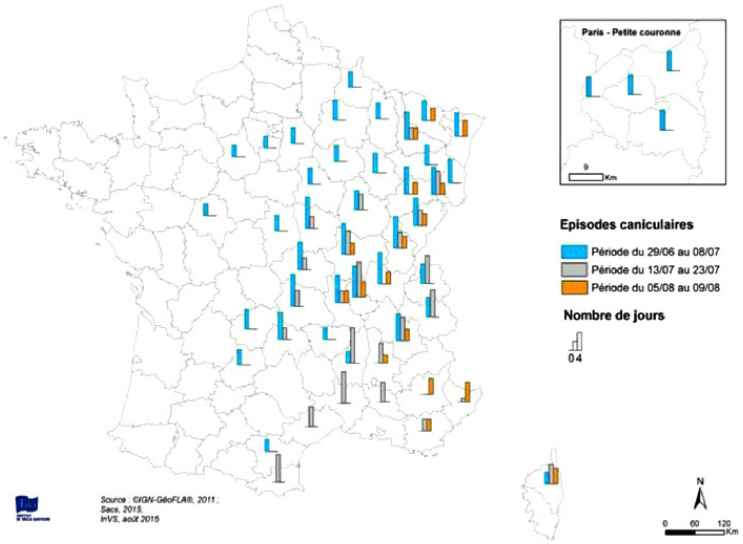
Comme mentionné précédemment, il est largement admis que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre expliquent en partie l'amorce du changement climatique global actuel. L'augmentation des phénomènes extrêmes projetés et notamment les canicules est particulièrement impactante en milieu urbain, dans la mesure où ses caractéristiques en accentuent les effets (phénomène d'ICU déjà présent, concentration de la population et des activités économiques etc.). Les conséquences sanitaires sont potentiellement importantes (inconfort généré par la chaleur, augmentation du nombre de décès en lien avec les épisodes de canicule, etc.) et une plus grande prévalence des maladies transmises par l'alimentation et par les vecteurs (moustiques, tiques, etc.).

L'accentuation des canicules projetées rend d'autant plus nécessaire l'expression des services de régulation du climat local généré par la végétation et plus particulièrement les arbres.

Les indicateurs permettant d'évaluer ces pressions sont :

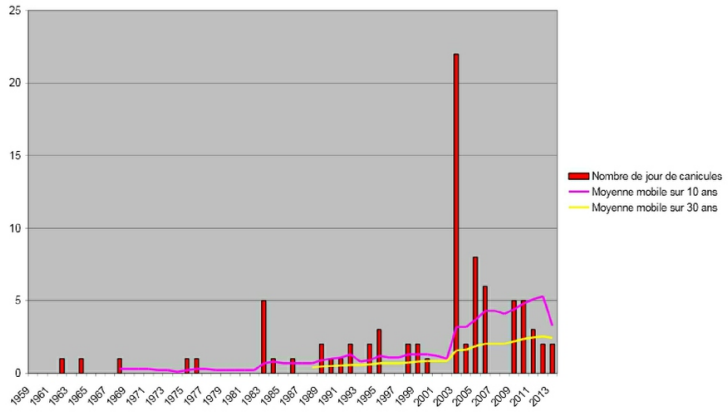
- **Indicateurs de pression $_{ville}$:**
  - ***Évolution du nombre d'épisodes extrêmes : canicule***

Figure 91 : Nombre de jour de canicules lors des trois épisodes caniculaires de l'été 2015
Source : Ign, 2015



L'ORECC Rhône-Alpes (Observatoire régional des effets du changement climatique) suit cet indicateur au niveau de certaines villes de son territoire comme le montre le graphique suivant.

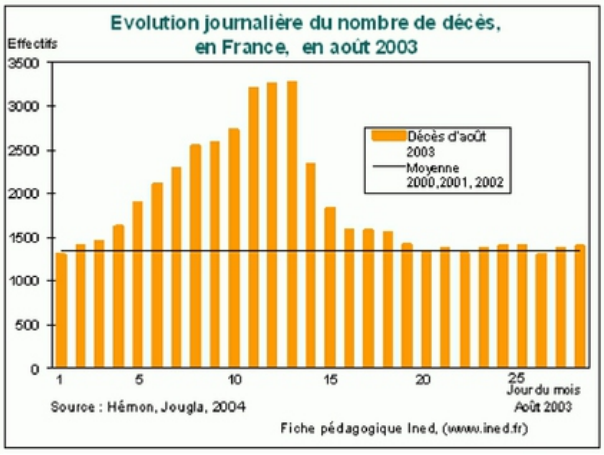
Figure 92 : Évolution du nombre de jours de canicule de la station de Bron (source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html)



- ***Évolution de la surmortalité en lien avec les canicules***

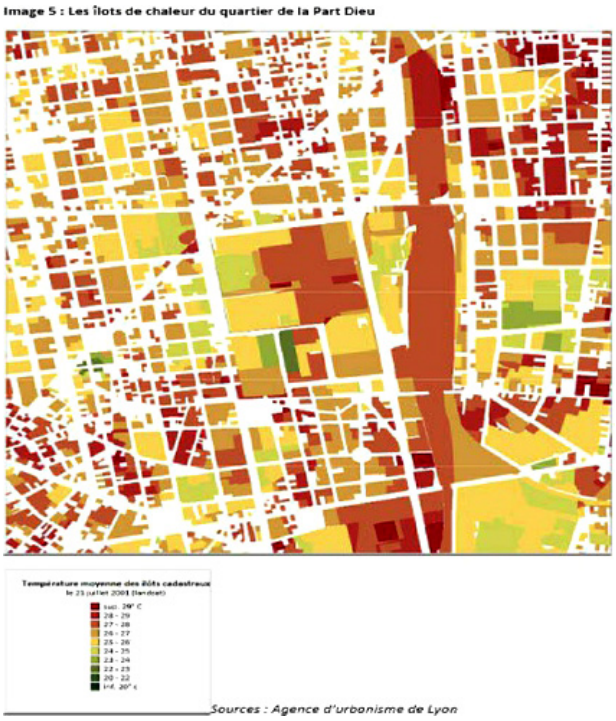
Cet indicateur permet de mettre en avant les conséquences sur la population des canicules et donc la nécessité de mettre en œuvre des solutions pour limiter ces effets.

Figure 93 : Évolution du nombre de jours de canicule de la station de Bron (source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html)



- ***Évolution des secteurs de la ville particulièrement soumis à des ICU***

Figure 94 : Les îlots de chaleur urbain du quartier de la Part-Dieu à Lyon (source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html)



A l'échelle d'une ville ou d'une agglomération, ce suivi des zones en ICU est essentiel car il permet d'orienter les actions d'adaptation au changement climatique vers les secteurs les plus sensibles et de suivre leur efficacité.

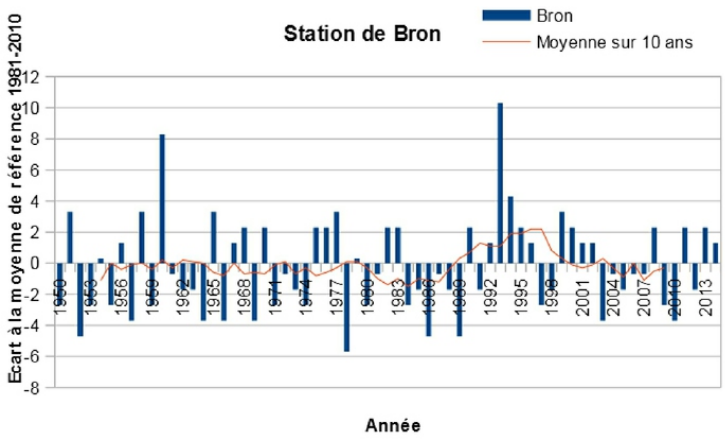
6.1.6.2 – Les inondations

L'augmentation des fortes pluies projetée est particulièrement impactante en milieu urbain en raison notamment de la forte imperméabilisation des sols modifiant les écoulements naturels (moindre infiltration, moindre évapotranspiration, augmentation des volumes ruisselés, accélération des écoulements etc.) ainsi que de la concentration de la population et des activités économiques. Elle rend d'autant plus nécessaires les services de régulation des eaux joués par les écosystèmes urbains. Cet indicateur n'est pas disponible pour toutes les villes à l'échelle nationale :

Évolution des nombres annuels et saisonniers de jours de fortes pluies (cumul des précipitations sur les 24 heures dépasse strictement 20 mm).

À titre illustratif, l'ORECC Rhône-Alpes (Observatoire régional des effets du changement climatique) suit déjà cet indicateur au niveau de certaines villes de son champ d'actions, comme le montre le graphique suivant.

Figure 95 : Évolution du nombre annuel de jours de fortes pluies sur la station de Bron
(Source : ORECC Rhône - http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html)



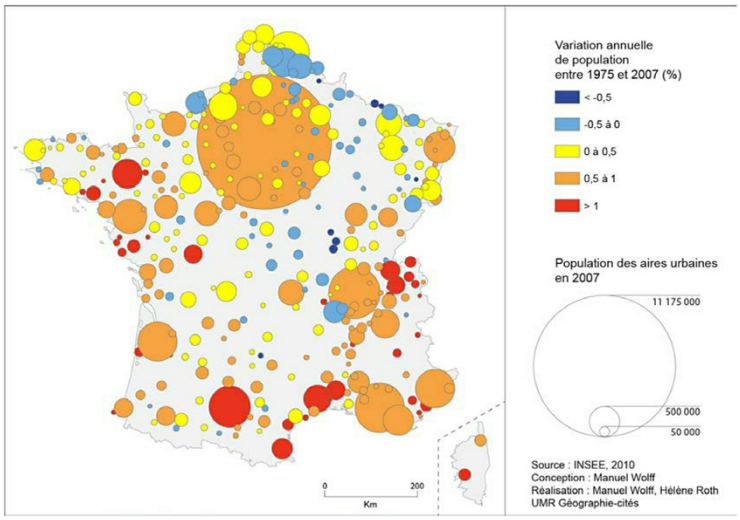
6.1.7 – *Évolution de la population humaine et de la population urbaine*

L'augmentation de la population urbaine (notamment en lien avec l'augmentation générale de la population humaine) est susceptible d'accentuer les pressions exercées sur les écosystèmes urbains (facteur de changement indirect). Elle induit, par exemple, des besoins en logements et en services supplémentaires pouvant entraîner une consommation d'espaces non encore artificialisés. L'augmentation de population est aussi susceptible d'augmenter les pollutions et nuisances décrites dans la partie précédente ainsi que les pressions exercées sur la faune, la flore et les milieux (sur fréquentation, gêne, piétinement etc.). La croissance de la population urbaine constitue en cela un facteur de changement indirect, qu'il est possible de suivre via l'indicateur suivant :

• Indicateur $_{ville}$: évolution de la population en nombre d'habitants par commune ou en densité d'habitant/km^2

L'évolution de la population au sein des aires urbaines est aussi intéressante à suivre. Sur les 354 aires urbaines françaises, 285, soit 80,5 % d'entre elles, ont connu une augmentation de population entre 1975 et 2007. La France demeure majoritairement un pays de villes en croissance. Les villes en décroissance sont majoritairement situées dans les vieilles régions minières et industrielles du pays, au Nord, Nord-est et sur les pourtours du Massif central (Saint-Etienne etc.).

Figure 96 : Variation annuelle de la population entre 1975 et 2007 %.
Source : INSEE, 2010, https://www.insee.fr/fr/accueil)

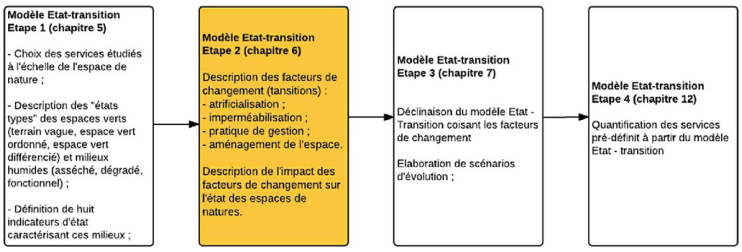


6.2 – Les facteurs de changement des écosystèmes urbains à l'échelle des espaces de nature.

Cette partie fait suite au chapitre 5 qui a permis de décrire et caractériser par des jeux d'indicateurs trois états types d'espaces verts et de milieux humides urbains.

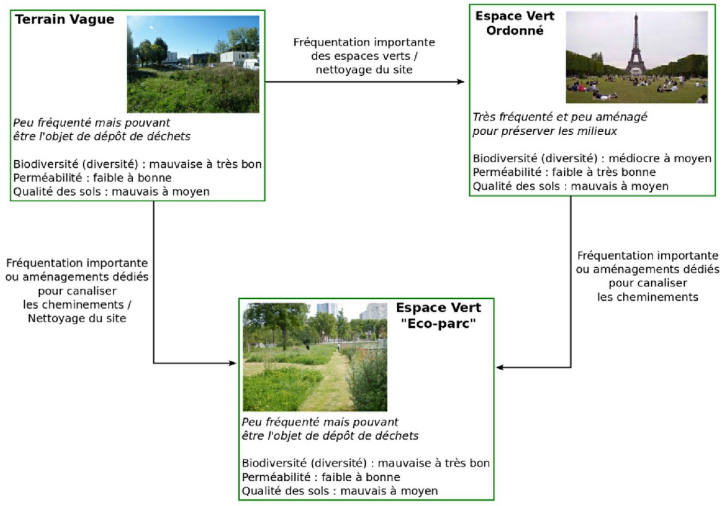
Elle poursuit le modèle états-transition en y décrivant qualitativement les facteurs de changement pouvant impacter ces états et en analysant leur impact sur l'état des milieux.

Figure 97 : Schéma de principe du modéle état et transition et de son déroulé dans le rapport EFESE urbain



Les transitions sont représentées à l'aide de schémas synthétiques : les facteurs de changement correspondent aux flèches et les états accompagnés de leurs indicateurs aux cases.

Figure 98 : Exemple de schéma synthétique des facteurs de changement et de leurs impacts sur l'état des milieux.



Les facteurs de changement étudiés à l'échelle de l'espace de nature découlent de ceux étudiés à l'échelle de la ville. La priorité donnée dans cette partie est ainsi d'analyser prioritairement ceux qui sont liés à la gestion de ces espaces, à leur conception et aux pressions venant du bassin versant en amont.

Un panel d'indicateurs de pression est proposé en synthèse, p. 72. Ces indicateurs pourraient être calculés au cas par cas, selon la disponibilité des données. Il est par contre nécessaire d'être prudent avant de généraliser ces données pour l'ensemble

des espaces de nature. Leur traduction opérationnelle et interprétation doit être adaptée au contexte local et à l'espace de nature étudié.

Sélection des facteurs de changement déclinés à l'échelle de l'espace de nature

6.2.1. Artificialisation

6.2.1.1. Perte d'espaces naturels, humide et agricoles

6.2.1.2. Imperméabilisation à proximité d'un milieu humide

- Description qualitative du facteur de changement
- Lien entre facteur de changement et état de l'espace de nature

6.2.2. Pratiques de gestion

6.2.2.1. Gestion de la végétation et de la faune : l'espace vert et des berges du milieu humide

6.2.2.2 Gestion des milieux humides : une végétation spécifique et une problématique hydraulique

6.2.3. La fréquentation humaine comme source de pression.

6.2.4 Aménagement de l'espace vert

6.2.1 – *Artificialisation*

6.2.1.1 – Perte d'espaces naturels, humides et agricoles

La pression due à l'aménagement urbain concerne tous les espaces, du plus naturel, souvent localisé en zones péri-urbaine, au plus artificiel en coeur de ville. S'accompagnant souvent de terrassements, le fonctionnement écologique de ces espaces est remis en cause par l'aménagement que ce soit en termes de dynamiques hydrobiologiques pour les zones humides ou en termes de surfaces fonctionnelles pour les habitats terrestres.

Dans certains cas, l'artificialisation est pensée pour permettre de conserver une part importante de surface d'espaces verts. Leur fonctionnalité écologique est cependant alors souvent réduite du fait d'une homogénéisation des habitats et d'une réduction de la biodiversité des espèces.

À l'échelle de l'espace vert, l'artificialisation contrôlée des espaces doit être pensée de manière à traiter de façon complémentaire aménagement et végétal. L'imperméabilisation par le biais de formes urbaines denses peut par exemple, libérer

un foncier précieux, qui peut être alors dédié aux espaces de nature. Ces espaces de nature publics, privés ou collectifs, s'ils sont agencés et aménagés en cohérence les uns avec les autres, peuvent alors constituer de véritables continuités écologiques en tissu urbain.

Un projet d'aménagement dont les terrains seraient acquis ou une friche industrielle constituent des réserves foncières. Celles-ci, dans la temporalité plus ou moins longue d'un projet d'aménagement, contribuent au fonctionnement de l'écosystème urbain en proposant des zones de refuge pour les espèces.

Dans le même ordre d'idée, les urbanistes portent de plus en plus souvent une réflexion sur la réversibilité de l'aménagement. Ainsi, certaines constructions sont faites sur pilotis afin de préserver la ressource sol et faciliter la reprise d'une dynamique écologique une fois l'immeuble arrivé en fin de vie et démonté par exemple.

Précisons que sur les milieux humides, l'impact de l'artificialisation peut être de deux ordres selon la proximité de l'aménagement : 1) destruction partielle, réversible, du milieu humide due à une modification de son hydropériode (assèchement, déconnection du bassin versant…) ou une contamination des eaux ou 2) destruction totale du milieu, non réversible, dès lors que l'aménagement se situe "sur" la zone et conduit à son remblaiement par exemple.

6.2.1.2 – Imperméabilisation à proximité d'un milieu humide

Les conséquences du développement urbain sur un bassin versant se manifestent entre autres par un accroissement du ruissellement urbain. L'imperméabilisation des sols d'un bassin versant va favoriser l'accélération des débits et augmenter la concentration des flux polluants dans les milieux humides urbains (annexe1). Comme nous l'avons vu à l'échelle de la ville, elle peut aussi conduire à une déconnexion totale du milieu de son réseau hydrographique, à une perte de fonction, voire à une perte totale du caractère humide de l'espace de nature (pouvant aller jusqu'à leur assèchement). Ce déséquilibre, associé au mode de gestion des eaux mis en place par la collectivité, provoque des risques d'inondation de plus en plus fréquents et préoccupants ainsi qu'une augmentation du flux de polluants dans le milieu naturel et une diminution de la recharge des nappes.

La pollution chronique provoque une modification des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du milieu aquatique et modifie le fonctionnement des écosystèmes. Ces pollutions "urbaines" ont un impact non négligeable sur les milieux aquatiques et notamment sur les milieux humides urbains qui peuvent être, par exemple, récepteurs des réseaux d'eaux pluviales. La présence en excès dans l'eau de phosphore et d'azote est à l'origine du phénomène d'eutrophisation.

Figure 99 : Rejet d'eaux pluviales après pré-traitement, dans un milieu sensible (lac urbain enclavé combinant une zone humide et une zone de loisirs, Seine-Saint-Denis) collectées sur un bassin versant urbain de 430ha - Cerema IDF



Bien qu'en lien direct avec l'échelle de la ville, sont décrits ci-après les deux facteurs de changement : imperméabilisation du bassin versant et système de gestion des eaux urbaines.

A) Description qualitative du facteur de changement

Facteur de changement : imperméabilisation des sols

Le maintien ou la recherche d'espace en pleine terre perméable, favorable à l'infiltration des eaux, est variable selon les projets d'aménagements. Trois principales tendances d'imperméabilisation sont identifiées :

1. Forte imperméabilisation : correspond à des secteurs denses et/ou des espaces ouverts qui sont à tendance minérale. L'emprise au sol des bâtiments est importante. Parkings, trottoirs sont imperméables, les pieds d'arbres revêtus…, peu d'espace sont en pleine terre. Les centres urbains peuvent en être le reflet. Elle a pour conséquence une dégradation élevée du milieu, sans toutefois amener obligatoirement à sa disparition.

2. Imperméabilisation "raisonnée" : correspond à des secteurs/opérations d'aménagement où sont recherchés un maximum d'espaces perméables favorisant ainsi l'infiltration des eaux ainsi que le maintien du cycle naturel de l'eau. Des espaces en pleine-terre sont favorisés, des matériaux perméables sont mobilisés pour les revêtements des parkings par exemple. Les murs peuvent être végétalisés. Ce type d'aménagement génère des débits de ruissellements amoindris, temporisés dans les milieux humides récepteurs et moins chargés en polluants.

3. Désimperméabilisation : certaines collectivités se sont lancées dans des opérations de désimperméabilisation d'espaces publics ponctuels (sur des trottoirs par exemple), des projets d'aménagement sur des anciennes friches industrielles permettent de réduire les surfaces perméables et favoriser ainsi l'infiltration et la recherche d'un cycle naturel de l'eau.

Facteur de changement : gestion de l'eau, du tout tuyau à une gestion alternative à la parcelle

La politique de gestion des eaux qui accompagne le développement urbain et l'imperméabilisation des sols a évolué au cours des siècles. Deux principales approches sont aujourd'hui mises en œuvre au sein des villes en fonction de l'histoire et des contraintes de sites :

- L'assainissement "tout tuyau". Il canalise et concentre en un point en aval les eaux contaminées, augmentant ainsi les risques de ruissellement, de débordement de réseau, d'assèchement des sols… et de dégradation des milieux ; Ce type d'assainissement se trouve souvent dans les centres urbains denses où il est difficile techniquement à faire évoluer.

Figure 100 : Rejet d'eaux urbaines dans un milieu humide urbain



Par exemple, les forts débits des rejets d'eaux urbaines (*Cf. Illustration 54)* issus d'un assainissement "tout tuyau" (réseau pluvial, déversoir d'orage…) provoquent une forte perturbation d'un milieu humide situé à l'exutoire d'un bassin.

- la gestion à la source des eaux, issue des concepts hydraulique et environnemental : elle favorise l'infiltration au plus près de l'endroit où tombe la pluie, limitant ainsi les risques de contamination et de ruissellement et a pour objectif de restaurer le cycle de l'eau en milieu urbain. Des noues (filtrantes ou non), bassins de rétention/décantation à sec ou en eau, toitures végétalisées, chaussées réservoirs sont des techniques couramment utilisées. Ces ouvrages, multifonctionnels, lorsqu'ils sont végétalisés créent un nouveau paysage et peuvent être utilisés pour d'autre usages, récréatifs notamment.

Quelques chiffres sur la contamination des eaux de ruissellement :

Les concentrations moyennes des eaux de ruissellement de voiries à trafic faible et parkings se situent respectivement entre 11,7 et 150 mg/l pour les MES. Elles sont majoritairement en dessous des valeurs limites supérieures du bon état écologique des cours d'eau. Les concentrations en hydrocarbures totaux dépassent rarement 10 mg/l et varient de 0,150 à 11 mg/l selon l'intensité et la fluidité du trafic, et entre 0,4 et 1,4 µg/l pour le cadmium. Elles sont majoritairement en dessous des valeurs moyennes annuelles à ne pas dépasser pour le bon état chimique des cours d'eau (Normes de Qualité Environnementale - NQE).

Les concentrations en cuivre entre 47 et 80 µg/l et en zinc entre 129,3 à 1956 µg/l, ces éléments présentant ainsi des concentrations souvent supérieures à 10 fois la valeur limite.

Les indicateurs qui pourraient être mobilisables pour quantifier /évaluer le facteur de changement sont :

- *Flux polluant des eaux de ruissellement en amont de l'espace de nature ; kg /an sur un polluant donné entrant dans le milieu humide ;*
- *Débits d'eaux en entrée de l'espace de nature.*

B) Lien entre facteur de changement et état des milieux

Est décrit ici l'impact des facteurs de changement "imperméabilisation" et "gestion des eaux" sur les indicateurs d'état des milieux humides urbains définis au chapitre 5.

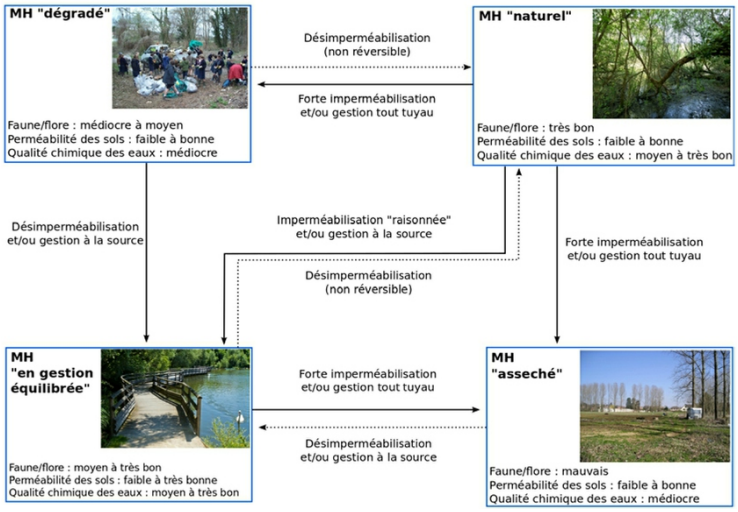
Nota : En fonction du contexte et des enjeux locaux, les projets d'aménagement combinent différemment les pressions (imperméabilisation et système de gestion des eaux). Leurs impacts différenciés sur les MH sont représentés dans la matrice suivante. La situation la plus impactante et défavorable pour le site est celle qui combine "imperméabilisation non maîtrisée" et "assainissement tout tuyau", alors que le croisement d'une imperméabilisation maîtrisée avec une gestion à la source des eaux permettra de limiter l'impact sur le milieu.

Tableau 17 :

Impact croisé du type d'imperméabilisation et de la politique de gestion des eaux sur l'état des milieux humides urbains

	Imperméabilisation non maîtrisée	Imperméabilisation maîtrisée
Assainissement tout tuyau	impact fort	impact moyen
Gestion à la source des eaux urbaines	impact moyen	impact relatif

Figure 101 : Etat - transition d'un milieu humide / "Imperméabilisation" de son bassin versant
Source : Cerema



Trois principaux indicateurs d'état des milieux humides urbains sont impactés par l'imperméabilisation du bassin versant.

- **La flore** (indicateur 3), notamment le recouvrement d'espèces hygrophiles est un des indicateurs de la présence d'un milieu humide. Des apports d'eaux contaminés et non adaptés aux espèces ou des modifications de l'hydropériode, vont engendrer une modification notable de la diversité floristique et faunistique avec une baisse de la diversité fonctionnelle et spécifique (Bouzillé 2014). Une forte imperméabilisation ou une gestion "tout tuyau" du bassin versant aura tendance à générer plus de flux polluants et de rejets dans les milieux. Une imperméabilisation "raisonnée" associée à une gestion à la source des eaux pluviales permet de limiter cette dégradation des espèces et parfois même de la conserver.
- **La perméabilité des sols** (Indicateur 5) est propre à chaque milieu humide et peut être très variable d'un site à l'autre (de faible à bon). Pour un site donné, l'apport de matière en suspension (MES) issus du ruissellement urbain, en trop grande quantité, va colmater le sol/substrat et diminuer la perméabilité du milieu.

Par exemple, la perméabilité qui peut être "très bonne" pour un milieu humide "naturel" passera à moyenne si une imperméabilisation "raisonnée" ou un assainissement à la source est mis en place et à mauvaise si le bassin versant est

trop imperméabilisé ou si un assainissement tout tuyau génère des concentrations de MES dans le milieu trop important (*Cf.* illustration ci-dessous 56).

Figure 102 : Influence de la conception sur la concentration des flux d'eau et de polluants dans les ouvrages de gestion des eaux de ruissellement : quelques exemples
(Agence de l'eau Seine Normandie, 2013, http://www.eau-seine-normandie.fr).



- **La qualité des eaux** des milieux humides (indicateur 8) va diminuer avec l'apport de polluant urbain issu de l'imperméabilisation et d'une gestion tout tuyau. Les polluants (métaux, micropolluants organiques…) ont un impact à partir d'un certain seuil de toxicité et en fonction de leur biodisponibilité sur les milieux aquatiques et leur biocénose. Ils peuvent conduire à la disparition d'espèces les plus sensibles, à la prolifération d'espèces plus adaptées, à l'apparition de modifications du comportement, de troubles de la reproduction, de malformations, d'effets génotoxiques…. Les rejets d'eau chaude provenant des industries accélèrent certains phénomènes biologiques, en particulier la dégradation de la matière organique, ce qui peut entraîner un déficit en oxygène dissous dans l'eau et menacer la vie dans le milieu aquatique. De même que pour la perméabilité des sols, la qualité des eaux des milieux humides sera d'autant plus dégradée que l'imperméabilisation du bassin versant sera importante et/ou qu'une gestion tout tuyau mise en place.

Synthèse

Trois principaux indicateurs d'état des milieux humides urbains sont impactés par l'imperméabilisation du bassin versant : la biodiversité (faune/flore), la perméabilité et la qualité des eaux.

L'aménagement urbain d'un bassin versant engendre des débits de ruissellement et des flux polluants qui peuvent provoquer des inondations et dégrader la qualité des milieux, sans toutefois aboutir systématiquement à leur disparition.

Il apparaît que les milieux situés dans des bassins versants où l'imperméabilisation est limitée et accompagnée d'une politique de gestion des eaux à la source sont généralement dans un meilleur état écologique que ceux fortement imperméabilisés et où un assainissement tout tuyau est présent.

Sans toutefois préserver totalement les milieux, la désimperméabilisation ou l'ingénierie écologique, accompagnée d'une gestion à la source des eaux, permet de limiter partiellement l'impact de l'urbanisation.

6.2.2 – *Pratiques de gestion*

6.2.2.1 – Gestion de l'espace vert : la végétation et l'eau, ressource ou contrainte ?

Le type d'entretien au sein des espaces naturels et semi-naturels influence fortement le milieu concerné. Une gestion horticole (plantes ornementales non locales, coupes rases et régulières, phytosanitaire) va entraîner un milieu moins riche en terme de biodiversité qu'une gestion différenciée (choix de l'entretien en fonction de la zone, espaces sans entretiens réguliers, limitation des phytosanitaires, récupération et utilisation de l'eau pluviale pour l'arrosage, gestion des déchets). Parmi les différents moyens d'entretien d'un espace "naturel" urbain, trois d'entre eux sont traités par la suite car ayant un impact non négligeable sur l'état des écosystèmes considérés :

- la gestion des milieux herbacés et des arbres ;
- le désherbage par l'utilisation de phytosanitaires ;
- les pratiques d'arrosage.

A) Description qualitative des facteurs de changement

Facteur de changement : Tontes, coupes régulières ou gestion différenciée

1. Gestion horticole : Des tontes fréquentes sont pratiquées, associées à une taille des arbres et des haies. Les plantes sont sélectionnées pour leur qualité ornementales et l'entretien à appliquer. La tonte est rase et la période ne fait pas l'objet d'une coordination avec les cycles biologiques des plantes ou de la faune présente sur les sites traités.
2. Tonte ou fauche tardive et raisonnée : Les pratiques de tontes, de fauche ou de faucardage relevant de la gestion différenciée s'articulent autour de plusieurs principes (ANVL, 2013) :
   - La fréquence et les périodes d'intervention : Le maintien d'une zone refuge ou la tonte en plusieurs passages sur des zones différentes est pratiqué. Un nombre limité d'interventions est préconisé, celles-ci étant prévues en fonction des cycles biologiques (périodes de reproduction de déplacement ou généralement de vulnérabilité des espèces potentiellement présente sur la zone, notamment des amphibiens et des insectes), et la fauche manuelle est privilégiée par rapport aux tontes mécaniques.
   - La hauteur de tonte ou de fauche : Une tonte haute (supérieure à 10 cm) est pratiquée dans la mesure du possible. Par ailleurs, en plus des zones refuges ménagées sur l'ensemble de l'espace, une préservation de la végétation basse en pied d'arbre peut être envisagée.

Figure 103 : Végétation préservée en pied d'arbre



Facteur de changement : Concernant les produits phytosanitaires

Si les pesticides sont utilisés majoritairement pour un usage agricole, leur emploi en zone urbaine pour lutter contre les espèces végétales ou animales envahissantes ou nuisibles (au regard d'une conception horticole des espaces verts) est significatif en France.

Les usages peuvent être très variables à l'échelle de l'espace de nature, les principaux épandages étant attribués aux collectivités (l'interdiction totale d'utilisation de phytosanitaire entrant en vigueur en 2017, voir encart "L'utilisation de phytosanitaires en France :

Aspects réglementaires"). Les épandages par les particuliers sont par ailleurs non négligeables en terme de quantité (Muratet et Fontaine 2015), l'interdiction pour les particuliers n'entrant en vigueur qu'en 2019.

Des méthodes alternatives de contrôle des adventices et autres envahissantes existent cependant (lutte biologique intégrée, paillage, traitement thermique, …) (ANLV, 2013).

Facteur de changement : Pratiques d'arrosage

Si le principal impact de l'arrosage reste la consommation de la ressource, l'arrosage peut également être une source de problèmes sanitaires en entraînant par exemple une prolifération de moustiques. Au-delà du nécessaire diagnostic des consommations, et de la distribution du réseau, les économies d'eau peuvent être réalisées sur la base de :

- La connaissance des sols et des espèces implantées dans les espaces de nature : les capacités hydriques du sol et les besoins des végétaux, s'ils sont mesurés ou calculés efficacement permettent d'ajuster au plus près l'apport d'eau.
- L'optimisation de l'arrosage : méthode adaptée au type de végétal, automatisation, arrosage aux heures fraîches, …
- L'utilisation de ressources alternatives adaptées : les eaux de piscines, eaux usées traitées, eaux de pluie, … peuvent être utilisées en fonction du type d'espace (et notamment de son accès au public) et de la biodiversité rencontrée.
- l'accompagnement des agents (formations) et du public (actions pédagogiques).

Les indicateurs qui pourraient être mobilisables pour quantifier /évaluer le facteur de changement sont :

- *Surface de zone refuge (non tondue ou fauchée) / surface totale de l'espace ; La proportion de zone non fauchée représente un habitat refuge permettant d'abriter les individus les plus sensibles et étant capables de fuir sur le reste de l'espace au moment des interventions.*
- *Nombre de tontes/faucardages/an ;*

Le nombre d'interventions a une incidence directe sur la préservation des habitats et espèces abritées sur un espace de nature. Une combinaison de cet indicateur et du précédent est plus fiable pour la représentation de l'influence des pratiques de gestion de la végétation sur la biodiversité notamment.

- *Quantité moyenne de produits phyto-sanitaires utilisée par hectare d'espace vert ;*
- *‰ Consommation d'eau par hectare d'espace vert.*

B) Lien entre facteur de changement et état des milieux

L'utilisation de phytosanitaires et les pratiques de gestion ont des effets plus ou moins sensibles en fonction de leurs différentes combinaisons possibles. Le tableau suivant représente le croisement des pratiques de gestion et de l'utilisation de phytosanitaires. La combinaison des différents indicateurs de pressions est également traduite dans l'indicateur "Attribution d'un label de gestion différenciée".

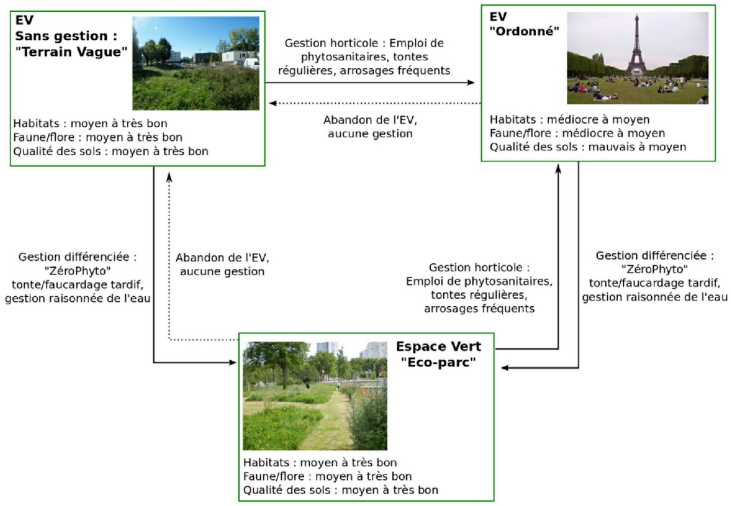
Tableau 18 :

Impact croisé des pratiques d'entretien de la végétation et de l'application de produits phytosanitaires dans les espaces de nature en ville.

	Utilisation de phytosanitaires	**Gestion "Zero-phyto"**
Gestion "classique" : plusieurs tontes, plantations ornementales, …	Impact fort : **Gestion "horticole"**	impact moyen
Gestion "raisonnée" : Fauchage raisonné, conservation de zones refuges, …	impact moyen	Impact relatif : **Gestion "différenciée"**

Quatre principaux indicateurs d'état des écosystèmes sont impactés par la gestion de la végétation et de l'alimentation hydraulique des MH.

Figure 104 : Etat transition d'un espace vert de point de vue de la gestion



- Indicateur 2 et 3 : Habitat et biodiversité faune/flore :
- Une tonte trop fréquente et intervenant en pleine croissance de la plante peut avoir des effets néfastes sur le cycle naturel d'évolution de la végétation. Trop rase, la tonte fragilise la plante et lui permet difficilement de reprendre une croissance normale. Une tonte trop intensive favorise également l'installation d'espèces invasives telle que l'ambroisie, connue pour se développer préférentiellement juste après la tonte. Enfin, la tonte a également un impact sur la faune : elle détruit les animaux vivant au sol ou dans la végétation par broyage des herbes coupées, aboutissant à un milieu homogène, peu propice au refuge, à la reproduction et à l'alimentation de la plupart des espèces (MNHN). À l'inverse, le maintien de zones refuges, une tonte haute (supérieure à 10 cm) et un nombre limité de coupes permettent un déplacement de la petite faune et des insectes et leur préservation dans la zone refuge.
- La taille (souvent réalisée à une période où l'arbre est en feuille) peut être néfaste pour le développement des arbres (croissance racinaire, stockage et mobilisation des réserves, métabolisme, protection contre les nuisibles, tolérance au stress hydrique peuvent être perturbés). Les zones en pied de végétaux ligneux sont par ailleurs particulièrement riches en terme de biodiversité. et une préservation de ces zones permet de limiter l'impact des coupes sur les troncs (Pôle Wallon de Gestion Différenciée, 2014).

- Les pesticides peuvent avoir des effets directs sur de nombreuses espèces animales lorsque les doses létales sont atteintes (poissons, insectes, abeilles, rongeurs…), mais également pour des espèces végétales visées par les herbicides. Il existe aussi des effets indirects (Van der Werf 1997) :
- destruction d'habitats (plantes adventices ciblées par des herbicides) de certaines espèces ;
- modification des relations entre espèces (destruction des prédateurs et donc pullulation des proies) ;
- bio-accumulation de pesticides entraînant des mortalités différées, des baisses de fécondité, des malformations des embryons.

Les effets rapportés des pesticides ne sont néanmoins pas toujours négatifs. L'emploi de certains herbicides ou fongicides peut par exemple être associé à une plus forte abondance d'espèces pollinisatrices (papillons, bourdons, …) tout en réduisant la biodiversité microbienne du sol ou l'abondance de vers de terre et donc la diversité des habitats végétaux (Van der Werf 1997) ; (Muratet et Fontaine 2015). Il est cependant avéré que l'abandon de l'utilisation des désherbants chimiques permet d'augmenter le proportion d'espèces locales, sub-spontanées et naturalisée alors que dans les jardins anglais la biodiversité est corrélée négativement avec les espèces indigènes et positivement avec les espèces horticoles (Clergeau, 2014). L'impact des pesticides sur l'environnement dépend de plusieurs facteurs tels que la volatilisation, la persistance du produit dans le sol et/ou l'eau après le traitement, sa capacité à être mobilisé par les eaux de ruissellement, sa toxicité dans le milieu aquatique, ses capacités de bio-accumulation dans les tissus vivants.

• Indicateur 7 et 8 : Qualité chimique des eaux douces et des sols urbains :

L'utilisation de pesticides, chargés notamment en polluants organiques entraîne une contamination progressive du sol. Le sol en place gardant la mémoire des pratiques de gestion des espaces, la diminution, ou arrêt, de l'utilisation de produit phytosanitaires va permettre de stabiliser la contamination des sols, leur stockage dans les sols dépendant de leur persistance, de leur capacité à être mobilisés par les eaux pluviales et de leur volatilité. Des effets d'accumulation peuvent être observés dans les sols urbains (Blanchoud et al. 2007) et par ailleurs un impact significatif de leur emploi sur les quantités mesurées dans les eaux de surface est rapporté dans la littérature.

Un usage intensif de l'arrosage peut progressivement avoir un impact sur les ressources en eau. Une diversification des sources, tels que l'utilisation de eaux pluviales, permet sur le long terme une économie significative et la préservation des réserves d'eau potables (Plante & Cités, 2011).

6.2.2.2 – Gestion des milieux humides : une végétation spécifique et une problématique hydraulique

Pour les milieux humides (des prairies humides aux mares, étangs, lacs…), les pressions/facteurs de changement sont globalement similaires mais les impacts peuvent être différents de par le fonctionnement même d'un milieu humide.

Les particularités :

- par rapport à un espace vert, davantage d'espèces végétales aux capacités phytoépuratoires et qui jouent un rôle sur le transfert des polluants et l'infiltration : iris des marais, massette, roseau,…
- gestion du milieu : gestion horticole non adaptée aux espèces aquatiques/semi-aquatiques. La gestion de l'espace doit maintenir les conditions bio-physiques indispensables au développement de macrophytes, plantes aquatiques (taux d'humidité, richesse en matière organique).

Pour les milieux humides alluviaux, l'artificialisation des berges peut être une cause de fragmentation du milieu (canalisation des rivières, modification de la pente des berges, revêtement bétonné, palplanche…).

A) Description qualitative du facteur de changement

Facteur de changement : Particularités dans la gestion de la végétation pour les MH

Si certains milieux humides peuvent être exploités (au moins dans leur périphérie et sur l'ensemble de la surface pour certaines prairies) selon les mêmes principes que ceux exposés ci-dessus, les particularités écologiques du fonctionnement de ces écosystèmes imposent une gestion spécifique pour les gestionnaires.

La circulation de l'eau, par infiltration ou ruissellement de surface doit être maintenue Des périodes d'étiage trop importantes peuvent nuire au développement de l'espèce.

Des interventions de nettoyages, de curage et de collecte des débris de végétaux et des déchets éventuelles sont à effectuer.

Le contrôle de la végétation dépend de la typologie des milieux humides mais un certain nombre de principes peuvent être observés de manière générale. Le nombre d'opérations de fauche ou faucardage, le curage, l'exportation des produits de fauches, sont autant de facteurs qui peuvent faire l'objet d'un plan de gestion dont l'impact sur les MH peut aller jusqu'à en redéfinir la typologie (Agence de l'Eau Artois-Picardie, 2007, *http://www.eau-artois-picardie.fr*).

Les Milieux Humides artificiels, en particulier ceux conçus pour le traitement des eaux usées ou des eaux pluviales requièrent une entretien particulier lié à leur fonctionnement. Certains principes d'exploitation sont toutefois compatibles avec des pratiques de gestion différenciée. Par exemple, dans les filtres plantés de roseaux, les roseaux doivent être faucardés à l'automne (à partir de novembre) à partir de la 2e ou 3e année d'exploitation du filtre, pour respecter leur cycle biologique et favoriser l'intervention d'un point de vue pratique (cette période d'intervention est également située entre la période de reproduction des batraciens et leur période de léthargie, et favorise ainsi leur implantation et leur maintien sur les sites).

Facteur de changement : Assèchement, drainage, gestion du niveau d'eau des milieux humides

La gestion hydraulique des MH peut se faire par diverses techniques dont la mise en œuvre va dépendre principalement d'un facteur : la connexion du MH avec le réseau hydrographique superficiel et souterrain.

Ces techniques peuvent être :

- le creusement, le terrassement dans le cas d'un projet en conception ou d'un MH artificiel pour connecter à un cours d'eau aval ou amont, voir gérer la ligne d'eau depuis la nappe.
- la gestion du colmatage permet de gérer la connexion avec le réseau hydrographique
- la gestion des débits :

Pour les milieux humides artificiels dédiés à la gestion des eaux pluviales, le contrôle de la perméabilité des sols et des débits de fuites influe sur l'hydropériode. La gestion du drainage peut également s'apparenter à une gestion du débit par différentes techniques : mise en place de seuils, comblement de fossés, …

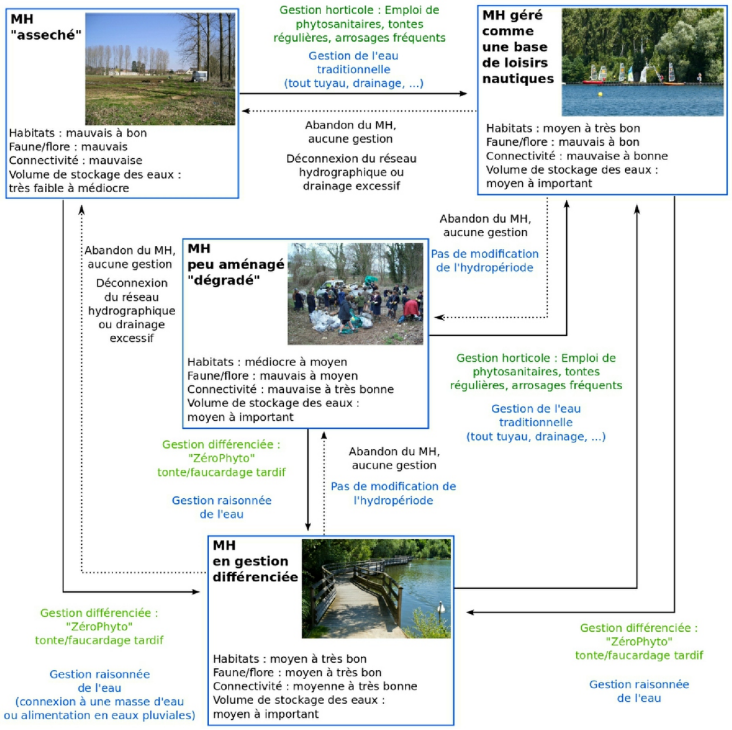
La gestion des débits est également prédominante pour les milieux humides urbains qui ont vocation à être des bases de loisirs. La gestion artificielle du niveau d'eau peut se traduire par des lâchers d'eaux soudains, des périodes d'étiages, destinés à permettre le développement d'activités nautiques et l'entretien du site destiné à recevoir du public.

Les indicateurs spécifiques au MH qui pourraient être mobilisables pour quantifier / évaluer le facteur de changement sont :

- *Débits d'eaux en entrée et sortie de l'espace de nature.*
- *Indice de connectivité au réseau hydrographique (distinguant la connexion via un drain, une connexion directe à une masse d'eau en amont ou en aval, la connexion à un réseau de MH, la connexion avec la nappe)*

B) Lien entre facteur de changement et état des milieux

Figure 105 : Etat-Transition d'un milieu humide de point de vue de la gestion



Quatre principaux indicateurs d'état des écosystèmes sont impactés par la gestion spécifique au MH urbains.

- Indicateur 2 : Habitat.

- Indicateur 3 : Biodiversité / faune, flore.
- Indicateur 4 : Connectivité latérale.
- Indicateur 8 : Volume de stockage des eaux en surface.

La typologie des milieux humides (MH) impose des modes de gestion spécifiques qui ont un impact sur les habitats naturels et la biodiversité associée. Les prairies humides, milieux riches en terme de biodiversité et écosystèmes fragiles, abritent des espèces rares, qui pour être préservées, doivent être gérées avec moins de 2 opérations de fauche par an et exportation des produits de fauche. Les mares, propices à l'accueil de la petite faune (insectes, oiseaux et amphibiens) peuvent se fermer si l'entretien des ligneux pouvant s'implanter en bordure n'est pas effectué. Les fonctions hydrauliques et d'accueil des espèces inféodées à ces milieux seront également réduites.

La gestion des ligneux en bordure de mares ou colonisant les ripisylves peut permettre de favoriser les fonctions de maintien des berges, d'autoépuration de l'eau et de préservation ou accueil de la biodiversité. Le choix de plantes locales adaptées et productrices d'abri et de ressources de nourriture pour la faune est à favoriser.

Une modification de la durée et période d'inondation, de la date(s) ou périodes d'exondation, la hauteur d'eau et également la durée de la période de saturation du sol en eau et donc d'anoxie (hydropériode) de la zone engendre sa destruction et la perte de sa valeur écologique. L'hydropériode des zones humides est un déterminant écologique fondamental de la dynamique de la biodiversité des milieux humides.

Un drainage excessif des MH (voir 6.2.1.) et leur déconnexion du réseau hydrographique dans le cadre d'une gestion ou l'imperméabilisation est forte, et les espaces de pleine terre non favorisés par rapport aux espaces "encaissés" peuvent fortement perturber leur fonctionnement hydrologique et même dans des cas extrêmes leur faire perdre leur caractère humide. La gestion artificielle du niveau d'eau (lâchers d'eaux soudains, étiages), peut avoir un impact sur le fonctionnement naturel du milieu humide. A moyen terme, la faune et la flore peuvent également souffrir de cette gestion intensive et disparaître.

Synthèse

La gestion de la végétation et de l'eau en milieu urbain sur les Espaces Verts et les Milieux Humides est une source d'impact non négligeable sur la qualité des habitats et la biodiversité associée, notamment de par son impact sur la qualité des sols et des eaux.

Un impact direct est rapporté dans la littérature des pratiques de gestion sur la faune et la flore et plus de la manifeste dégradation des habitats (diversité abondance) qu'entraîne une gestion "horticole". Ce type de gestion peut par ailleurs favoriser l'implantation d'espèces exotiques potentiellement envahissantes.

La sélection des essences et leur contrôle est également un facteur d'appauvrissement de la biodiversité.

L'application de principes simples de gestion raisonnée ou différenciée permet une économie de ressources et d'intrants et une meilleure gestion de la faune et de la flore (en respectant notamment les cycles biologiques (reproduction, migration, sénescence/dormance, …)

6.2.3 – *La fréquentation humaine comme source de pression*

6.2.3.1 – Description qualitative du facteur de changement

Deux principales sources de pression, liée à la fréquentation humaine, se retrouvent le plus souvent dans les espaces de "nature urbaine" et sont décrites ici : la dégradation des milieux issue de piétinement des espaces et espèces et celle provenant de l'apport de déchets "sauvages".

A) Le piétinement

La fréquentation des espaces naturels et semi-naturels peut être à l'origine de fortes perturbations de la faune (piétinement, gêne, fuite, etc) et de la composition du tapis végétal, qui peuvent se traduire par une perte de biodiversité. Une étude sur les espaces verts des agglomérations de Strasbourg et de Tours (Mehdi, 2013) a confirmé cet effet préjudiciable de la fréquentation sur la richesse spécifique des pelouses avec une diminution des espèces des espaces soumis à une forte fréquentation.

L'importance de la fréquentation ainsi que la gestion de ces fréquentations (zones interdites au public, canalisation par cheminement préférentiel, etc) paraissent donc intéressantes à étudier.

B) Les apports de déchets, occupation illégale…

En général, et contrairement au service gestionnaire, **le sol des espaces verts** (parc de type horticole patrimonial, friches.) garde la mémoire des différentes politiques d'aménagement/conception (*Cf.* ch 6.2.4), de leur gestion (*Cf.* ch 6.2.2), mais aussi de leurs usages déviants (dépôts de gravât, décharge sauvage…) et des différentes contaminations en résultant (organique, métalliques, …). En découle en général une méconnaissance de leur qualité, qui peut être très variable d'un espace à un autre et à l'intérieur même d'un parc (par exemple avec des apports de terres végétales variables, de différentes origines et à différentes époques, en différents lieux de l'espace vert, …).

Les indicateurs qui pourraient être mobilisables pour quantifier /évaluer le facteur de changement sont :

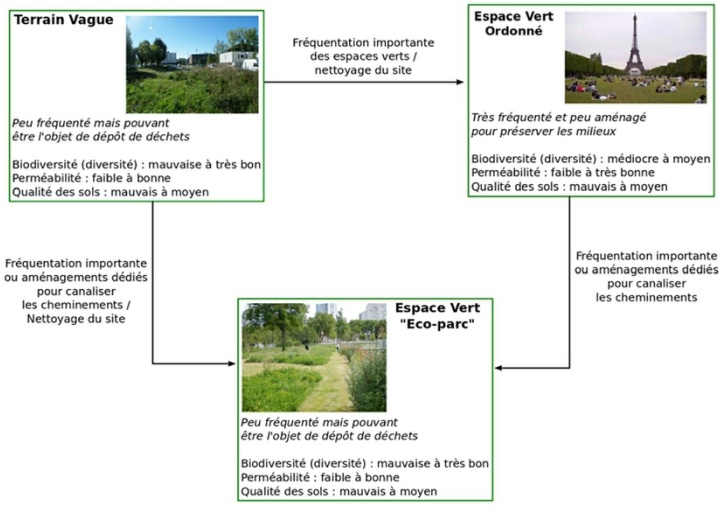
- surface des espaces naturels et semi-naturels avec une restriction de fréquentation (interdiction, cheminement etc.) ;
- densité de population à proximité de l'espace ;
- accessibilité de l'espace ;
- surface aménagée (chemin terre/gravillon) ;
- si espace sensible, canalisation de la fréquentation ;
- niveau de connaissance de l'historique et des usages des sols.
- nombre de journées de nettoyage du site

6.2.3.2 – Lien entre le facteur de changement et l'indicateur d'état

L'effet de la fréquentation est fortement lié avec les choix d'aménagement de l'espace vert. Le détail de l'impact de la fréquentation humaine sur les espaces verts, décrit ici, est donc repris plus synthétiquement dans la partie suivante relative à l'aménagement de l'espace vert, en montrant principalement comment le réduire.

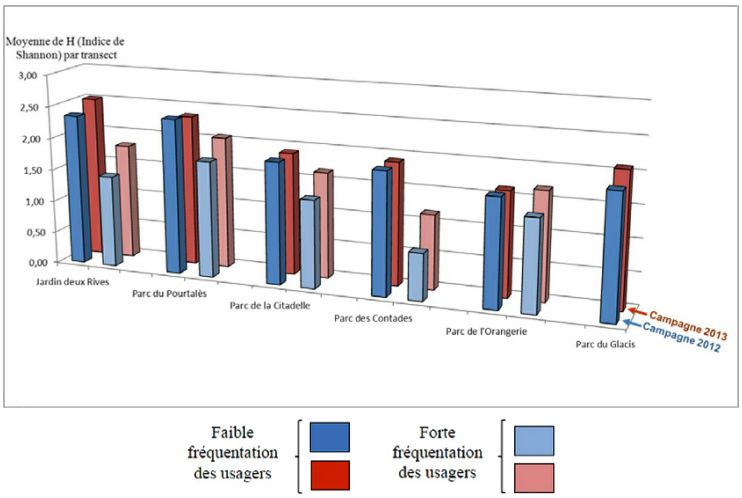
Les conséquences de la fréquentation d'un espace de nature urbain sur les indicateurs d'états des différents types d'espaces verts est schématisé ci-après.

Figure 106 : Impact de la fréquentation humaine sur l'état des espaces verts



L'impact de la fréquentation sur la **diversité végétale** (indicateur 3) dans les espaces verts de Strasbourg est illustré sur la figure 59 ci-dessous. La baisse de diversité végétale observée dans les parcs anciens s'explique en partie par la relative détérioration des sols de ces parcs (diminution de la teneur en MO, compaction plus élevée) due à leur âge mais surtout par le taux d'urbanité de leurs environnements. En effet les parcs ayant un fort taux d'urbanisation (CNT, GLC, BOR) ont une richesse spécifique plus faible que les parcs périurbains.

Figure 107 : Comparaison des diversités spécifiques (H) des campagnes d'échantillonnage de 2012 et 2013 (Strasbourg) (Mehdi, 2013)



Au-delà d'une distance de 10m du chemin de fréquentation, la composition des communautés se "stabilise". A l'échelle du site (la pelouse), c'est l'influence de (i) la fréquentation qui prédomine, et à l'échelle de l'agglomération, c'est l'effet (ii) des opérations de gestion et (iii) celui du gradient d'urbanisation qui sont les plus significatifs.

La richesse végétale d'un espace vert est corrélée au piétinement et à la fréquentation. Elle sera plus importante si la fréquentation est canalisée ou le parc aménagé pour préserver certains milieux du piétinement.

La perméabilité (indicateur 5) est une grandeur intrinsèque d'un sol qui dépend de nombreux facteurs, dont son état de compacité. L'étude menée sur Strasbourg montre que la fréquentation humaine d'un espace vert est corrélée positivement à ce facteur de compaction (et donc à la perméabilité) des sols et anti-corrélée à la richesse spécifique et diversité floristique. L'effet combiné du piétinement et de la compaction des sols diminue donc la richesse floristique et l'abondance, favorisant ainsi le développement de plantes plus tolérantes. Il apparaît aussi que les tassements sont plus importants dans les parcs anciens (durée exposition plus importante au piétinement). La localisation de l'espace vert parc au sein de l'agglomération influence également la compacité et la densité des sols, mais est liée à l'âge du parc.

De même que pour la diversité végétale, la perméabilité d'un espace vert est d'autant meilleure que le tassement du sol est moindre et donc que la fréquentation est canalisée ou le parc aménagé pour préserver certains milieux du piétinement.

La **qualité des sols** (indicateur 7) d'un sol d'une friche, ayant pu faire, historiquement, l'objet de dépôts de produits contaminant le sol sera moindre que celle d'un sol d'un espace de type éco-parc qui aura été conçu plus récemment et permettant de limiter les dépôts "sauvages" par une conception adaptée.

Synthèse

La fréquentation humaine (piétinement et dépôts de matériaux contaminés) a un impact sur la biodiversité, la perméabilité et la qualité des sols des espaces :

- la diversité végétale et la perméabilité d'un espace vert sont d'autant meilleure que le tassement du sol est moindre et donc que la fréquentation est canalisée ou le parc aménagé pour préserver certains milieux du piétinement ;
- un sol est d'autant plus contaminé qu'il aura fait l'objet de dépôts "sauvages" (gravats, déchets industriels, gadoues…) potentiellement chargés. Pour une future réhabilitation du site, la mémoire des usages du site est primordiale.

6.2.4 – *Aménagement de l'espace vert : de la conception minérale à la conception écologique du milieu*

6.2.4.1 – Description qualitative de la transition

Les projets d'aménagement des espaces verts sont définis sur la base d'un diagnostic urbain, visant à concilier les différents enjeux et besoins identifiés. En résultent des esquisses et des orientations très variables en fonction des contextes. Se trouve donc en milieu urbain tout un panel d'espaces verts, allant du plus artificialisé et imperméabilisé au plus écologique. Des milieux humides naturels et/ou artificiels peuvent être inclus dans ces espaces. De plus, recherchant la multifonctionnalité, l'échelle urbaine n'est, cependant, pas oubliée puisque ces espaces peuvent être aménagés dans l'objectif de traiter tout ou partie des eaux pluviales du parc et/ou celles des quartiers avoisinants.

Deux grandes tendances d'aménagement, correspondant au facteur de changement et amenant aux types d'espaces étudiés (terrain vague, EV ordonné et EV éco-parc"), sont identifiées et décrites ici : conception "horticole" ou "écologique". Le parti est pris d'inclure la conception particulière liée à la gestion des eaux pluviales dans la conception écologique des espaces.

A) Conception horticole :

Figure 108 : Exemple de parc de conception horticole
Source : photo source wikipedia : libre de droits



Ces jardins sont conçus avec une certaine idée de l'esthétique comme les jardins à la française ou les jardins anglais l'ont été. Le souci d'esthétique donne à ces parcs une valeur patrimoniale. Leur conception privilégie une approche fonctionnaliste de l'espace.

La végétation permet de délimiter les espaces auxquels sont assignés des usages spécifiques. Privilégiant la composition florale, plantes indigènes ou exotiques sont sélectionnées pour leur couleur, leur forme, leur période de floraison… Le plan masse des parcs, squares ou jardins est structuré par des alignements d'arbres, des parterres de fleurs, des allées afin d'aménager des perspectives.

Destinés aux loisirs, ces espaces verts urbains disposent de mobiliers urbains et parfois d'équipements. Les déplacements humains sont concentrés sur certains cheminements plus ou moins imperméables afin de ne pas endommager les plantations et ainsi préserver l'esthétique du lieu. Certaines zones sont tassées par le passage des promeneurs réduisant de fait l'infiltration des eaux de pluie, la pleine terre prédomine.

L'eau et les milieux humides parfois présents dans ces parcs permettent d'observer des oiseaux d'eau ou de faire du canotage, mais ces espaces ne sont généralement pas conçus pour traiter les eaux pluviales.

B) Conception écologique :

Les espaces verts urbains bénéficiant d'une conception écologique ont bien entendu vocation à accueillir du public, mais dans des conditions qui favorisent la biodiversité, c'est-à-dire la diversité des espèces, des habitats, des strates…

Figure 109 : Exemple de parc de conception écologique
Source : photo source wikipedia : libre de droits



L'agencement de ces espaces verts urbains a vocation à **imiter les dynamiques naturelles**. Par mimétisme, la conception est ainsi assujettie à la biologie des espèces cibles, que le maître d'ouvrage souhaite favoriser. Pleine terre et plantes autochtones sont de règle et les cheminements traités de manière spécifique avec des revêtements propices au déplacement des espèces. L'ambition est de créer les habitats nécessaires au bon déroulement du cycle de vie des espèces, c'est-à-dire des espaces pour

le nourrissage, la reproduction, l'hibernation, les déplacements et le repos. L'accès à certains secteurs peut ainsi être limité afin d'aménager des zones refuges pour les espèces. Dans certains parcs, la biodiversité est mise en avant par des approches pédagogiques engendrant un mobilier plus naturaliste comme des pontons ou des observatoires, mais aussi des approches sociales avec par exemple la présence de jardins partagés.

Figure 110 : Exemple d'approches pédagogiques dans les parcs



La conception horticole et écologique concerne les orientations stratégiques faites en matière d'aménagement de l'espace, au moment de la phase projet. Ces aménagements sont en effet conçus dès le départ en réfléchissant sur les futurs modes de gestion.

Il en ressort donc de fortes relations entre l'effet de ces aménagements et l'effet des pratiques de gestion décrites dans la partie précédente.

Zoom...

... sur les ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales ou les zones humides :

La prise en compte de la gestion des eaux pluviales en amont des projets d'aménagement des espaces verts et de l'intégration de techniques alternatives à ciel ouvert impacte fortement l'état de l'espace vert mais aussi les services qui en sont retirés. Le nivellement, le modelage, la végétation spécifique associée (*Cf.* encadré la sélection des espèces introduite) à ces ouvrages techniques permettent de (re-) connecter le milieu à son bassin versant et créent de véritables paysages au sein des espaces verts urbain. Au-delà de de leur aspect technique et de l'amélioration des services de régulation des inondations et de la qualité de l'eau, ils contribuent au développement d'habitat et de zones refuges pour certaines espèces mais aussi, pour les usagers de l'espace, à la création d'un paysage urbain nouveau.

Figure 111 : Exemple de parc multifonctionnel
en haut : pelouse inondable, quartier des trois rivières à Stain, Atelier de l'Ile
à gauche : travaux de conception d'une noue, Cerema Dter IDF
à droite : Fonctionnement hydraulique du parc des Guillaumes, Composante Urbaine



Les indicateurs qui pourraient être mobilisables pour quantifier /évaluer le facteur de changement sont :

- la part de surface imperméabilisée dans l'espace vert ;
- la part de surface dédiée à la gestion de l'eau dans l'espace vert ;
- le type/nombre d'espèces des végétaux implantés en fonction du changement climatique et de la création d'habitat ;
- la mise en place d'un contrôle agronomique et chimique de la qualité des terres végétales d'apport ;

Une conception des espaces gérée par les espaces verts à tendance minérale

Les vagues, quartier des trois rivières à Stain, Atelier de l'ile



Les espaces verts urbains bénéficiant d'une conception minérale se situent plutôt dans des secteurs denses voire d'hypercentre, c'est-à-dire là où la fréquentation est forte à très forte. Ce sont généralement des lieux de passage tout au long de la journée. Ils ont vocation à être des espaces de rencontre tels que des places urbaines ou encore des zones de rencontre, se pose alors la question d'une cohabitation des différents usages ou encore des modes de transport. L'agencement des végétaux et du mobilier urbain peut ainsi permettre la cohabitation sereine de tous.

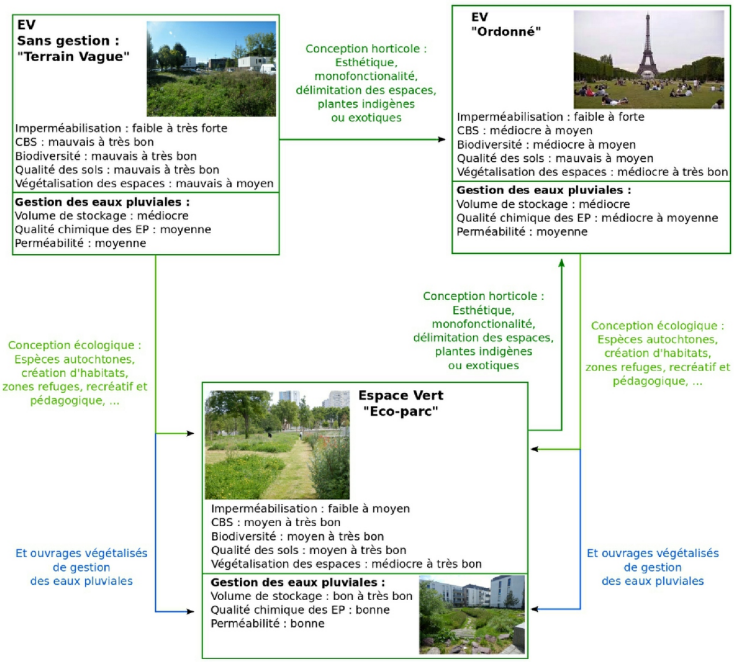
Ces espaces urbains situés dans des ambiances très minérales sont conçus avec des surfaces faibles de pleine terre et des espaces hors-sol comme dans le cas de l'urbanisme de dalle. Les espaces verts de surfaces réduites prennent la forme de jardins de trottoir, de parterres de fleurs, de pieds d'arbres… Les arbres permettent d'assurer une continuité « aérienne » de la trame verte urbaine jouant alors un rôle d'espace relais notamment pour les oiseaux ou les insectes. L'ombre portée des arbres permet de réduire l'îlot de chaleur urbain forcément important. Ces espaces bien qu'imperméabilisés peuvent, sous réserve d'une conception adaptée (nivellement) servir de stockage des eaux pluviales.

6.2.4.2 – Lien entre facteur de changement et état des milieux

Nota : *La description du lien entre l'aménagement et le changement d'état des milieux est structuré en deux parties pour permettre de traiter de la spécificité de l'impact des aménagements sur le cycle de l'eau et notamment ceux liés à la conception d'ouvrages végétalisé de gestion de l'eau dans un espace vert urbain.*

Les conséquences de la conception et du type d'aménagement ou du réaménagement d'un espace de nature urbain sur les indicateurs d'états est schématisé ci-après.

Figure 112 : Impact de l'aménagement sur l'état général des espaces verts
Source : Cerema



Les principes de conception portés par une collectivité ou un aménageur et l'aménagement de l'espace de nature urbain ont un fort impact sur le maintien ou le développement de la biodiversité urbaine et les services qui peuvent en être retirés :

A) L'imperméabilisation et la perméabilité des sols

L'imperméabilisation et la perméabilité (indicateur 1 et 5) partielle ou totale des cheminements, la construction de bâtiment pour la gestion et l'entretien des espaces, la mise en place de matériaux imperméables sur les espaces de jeux par exemple, diminuent les surfaces en pleine terre et limite ainsi l'infiltration de l'eau, le développement végétal, le stockage de CO_2….

Par exemple, un terrain vague en fonction de son histoire, peut être très imperméabilisé s'il s'agit d'une ancienne friche industrielle urbaine ou au contraire d'un terrain peu ou moins imperméabilisé en zone péri-urbaine agricole. Dans

le cas d'une très forte imperméabilisation initiale, un projet d'aménagement de type "conception horticole" permettra d'améliorer légèrement le taux d'imperméabilisation, alors qu'une "conception écologique" devrait impacter fortement le site et amener ce taux à une bonne valeur de par la maximisation d'espace en pleine terre et l'utilisation de matériaux perméables.

B) La diversité des espèces végétales et du couvert arboré

La diversité des espèces végétales et du couvert arboré (indicateurs 2, 3 et 9) plantées ou colonisant les espaces vacants, que ces espèces soient horticoles et choisies pour leur qualité esthétique, ou au contraire des variétés indigènes, va contribuer au développement d'habitats spécifiques et propres à chaque site. Le CBS, la biodiversité et la végétalisation des espaces de chaque type d'espace y seront spécifiques et de manière générale mieux notés sur les espaces de type "éco-parc" et sur les terrains vagues, que sur les espaces "ordonnés".

La sélection des espèces introduites ou autochtones : Plantes ornementales, fonctions écologiques et biodiversité

La sélection et l'implantation d'espèces ornementales dans les espaces verts et les milieux humides sont la source d'une perturbation de la biodiversité directe et indirecte. L'implantation d'espèces proches des espèces indigènes peut en effet entraîner une "pollution génétique" source de baisse de la diversité de la flore. Les plantes horticoles sont par ailleurs souvent sélectionnées et ont parfois perdu la capacité à produire du nectar et donc à abriter et nourrir des insectes butineurs ; elles peuvent de plus devenir des plantes invasives.

La sélection des plantes aquatiques implantées dans les milieux humides artificiels ou non pose également question. La sélection de plantes pour leurs qualités ornementales, leurs fonctions écologiques (épuration, potentiel de valorisation de la biomasse, …) entre parfois en conflit avec le maintien des fonctions de support de biodiversité des espaces de nature. L'implantation de Miscanthus sinensis par exemple, utilisée pour son potentiel de valorisation énergétique, ses capacités épuratoires et sa possible utilisation pour le paillage naturel, s'est développée ces dernières années alors que cette espèce est considérée comme potentiellement invasive localement (ANLV, 2013) et peut être une source de diminution de diversité des habitats (Arnould, 2012).

- **Une bonne végétalisation des espaces et de couvert arboré (indicateur 9) issu de conception écologique ou horticole** permettra par ailleurs une atténuation de l'îlot de chaleur urbain et contribuera notamment à

une meilleure adaptation au changement climatique (*Cf.* encadré Choix des végétaux et changement climatique).

Choix des végétaux et changement climatique

La prise en compte du changement climatique dans l'aménagement des espaces de natures se fait à trois niveaux : la lutte, l'adaptation et la réduction de l'impact du changement climatique.

L'aménagement des espaces verts doit permettre d'apporter des réponses à ces trois dimensions. Outre leur agencement des végétaux, leur choix est primordial.

Le changement climatique a pour première conséquence le changement des conditions abiotiques de l'écosystème urbain. Le pas de temps réduit sur lequel se déroulent ces variations climatiques empêche l'adaptation des espèces autochtones. Les écosystèmes urbains évoluant, ***choisir un cortège floristique adapté aux variations du climat à court et moyen terme est important.***

Dans l'optique d'une réduction des impacts dus au changement climatique notamment en matière d'îlot de chaleur urbain, la nature du cortège floristique a également un rôle. Chaque espèce dispose de son propre potentiel évapotranspirant et donc d'un pouvoir rafraîchissant spécifique. Or, les plantes les mieux adaptées aux conditions de sécheresse sont souvent aussi celles qui contrôlent le mieux leur évapotranspiration. L'ambition est alors ***d'utiliser des végétaux variés afin de combiner ombre portée, potentiel évapotranspirant et réduction des surfaces réfléchissantes****. A ce titre, les arbres de grande taille grâce à leur frondaison ont un rôle à jouer.*

Ce n'est cependant pas leur seul avantage puisque, contrairement à une majorité de fleurs dont la matière organique est recyclée chaque année, l'arbre est également un puits de carbone et permet de lutter contre le changement climatique en stockant, à la source, le CO_2.

La prise en compte de tous ces paramètres ***ne doit cependant pas être le prétexte pour une standardisation des cortèges floristiques les mieux adaptés****. En effet, fonctionnant comme un écosystème, la résilience de la ville face au changement climatique est conditionnée par une diversité d'espèces et d'habitats, passant par une réflexion approfondie sur la palette végétale.*

C) La conception de volume de stockage d'eaux

La conception de **volume de stockage d'eaux** (indicateur 6) de ruissellement à ciel ouvert, ou la restauration de champs d'expansion de crue va contribuer à se rapprocher du cycle de l'eau naturel.

La transformation d'un "terrain vague" ou d'un "espace vert horticole" en un"éco-parc" intégrant une dimension de gestion des eaux en amont du projet permet d'optimiser les volumes nécessaires en fonction du niveau de gestion souhaité (CERTU 2003).

D) La qualité des sols urbains en place ou des terres végétales rapportées

La qualité des sols urbains en place ou des terres végétales rapportées (indicateur 7) est à prendre en compte et il est nécessaire d'y adapter l'usage souhaité. Par exemple, pour réaliser un potager urbain ou un espace de jeux pour les enfants sur une ancienne friche industrielle contaminée, la qualité du sol doit être questionnée afin de mettre en œuvre la meilleure solution (déplacement du projet, mise en œuvre d'une solution technique approuvée, expérimentation avec les jardiniers de nouvelles techniques…). En fonction des contraintes techniques et financières, un projet d'aménagement urbain peut être l'occasion d'améliorer la qualité du sol (pour un usage donné), envisager des expérimentations de reconstitution de sols, limiter sa dégradation… lors de la création d'un "éco-parc".

E) La qualité des eaux du milieu récepteur

La qualité des eaux du milieu récepteur (Indicateur 8) peut être améliorée par l'aménagement de l'espace, et la conception d'ouvrage de gestion des eaux pluviales qui vont assurer un pré-traitement des eaux de ruissellement (*Cf.* 6.2.1.2. Imperméabilisation à proximité d'un milieu humide) dans un espace de type "éco-parc".

Synthèse

La conception ou réhabilitation d'un espace vert peut être une opportunité pour améliorer la qualité des milieux. Elle impacte de nombreux indicateurs d'état des espaces verts (taux d'imperméabilisation, CBS, biodiversité (faune/flore), qualité des sols, végétalisation des espaces) et des milieux humides (volume de stockage des eaux, qualité de l'eau, perméabilité des sols).

Les terrains vagues, de par leur multiples formes (anciens terrains agricoles, friches industrielles, …) peuvent être de qualité très variable ; parfois refuges pour la biodiversité, contaminés, perméables ou à l'inverse très fortement imperméables. Leur aménagement doit prendre en compte ces différents contextes afin de limiter leurs impacts ou améliorer leurs états.

Les ouvrages végétalisés de gestion des eaux sont une opportunité pour améliorer la qualité des espaces et du milieu récepteur. Leur multifonctionalité en est un atout. Le génie écologique est un moyen pour y arriver.

6.2.5 – *Synthèse des indicateurs des facteurs de changement*

Tableau 19 :

Synthèse des indicateurs de changement
Source : Cerema

Type de changement/transition	Indicateurs de changement/transition (régulation/pression)
Artificialisation : imperméabilisation et gestion de l'eau ;	• *flux polluant des eaux de ruissellement en amont de l'espace de nature ; kg /an sur un polluant donné entrant dans le milieu humide.* • *débits d'eaux en entrée de l'espace de nature.*
Pratiques de gestion	• *Surface de zone refuge (non tondue ou fauchée) / surface totale de l'espace.* • *Nombre de tonte/faucardage /an.* • *Quantité moyenne de produits phyto-sanitaires utilisée par hectare d'espace vert.* • *‰ Consommation d'eau par hectare d'espace vert.* • *Débits d'eaux en entrée et sortie de l'espace de nature.* • *Indice de connectivité au réseau hydrographique (distinguant la connexion via un drain, une connexion direct à une masse d'eau en amont ou en aval, la connexion à un réseau de MH, la connexion avec la nappe)*
Fréquentation	• Surface des espaces naturels et semi-naturels avec une restriction de fréquentation (interdiction, cheminement etc.). • densité de population à proximité de l'espace. • accessibilité de l'espace. • surface aménagée (chemin terre/gravillon). • si espace sensible, canalisation de la fréquentation. • niveau de connaissance de l'historique et des usages des sols. • nombre de journées de nettoyage du site
Aménagement / Conception	• la part de surface imperméabilisé dans l'espace vert. • la part de surface dédiée à la gestion de l'eau dans l'espace vert. • le type/nombre d'espèce des végétaux implantés en fonction du changement climatique et de la création d'habitat. • la mise en place d'un contrôle agronomique et chimique de la qualité des terres végétales d'apport.

Chapitre 7

Tendances d'évolution et dynamiques paysagères

Si la ville est un objet difficilement identifiable (chapitre 1), il reste que, depuis le 19e siècle et l'industrialisation des sociétés occidentales, elle connaît un essor sans précédent pour s'étaler horizontalement là, ou prendre de la hauteur ici. La périurbanisation relève d'une nouvelle alchimie entre ville et campagne. Si le mode de vie urbain se répand dans les campagnes, et y laisse sa marque de fabrique, une autre tendance se confirme au sein des villes denses. Sous l'impulsion des grands parcs paysagers écologiques de Gilles Clément, le visage et l'usage des jardins changent, ils deviennent plus libres, plus sauvages, un peu moins ordonnée, les citoyens s'en approprient des parcelles pour les cultiver…

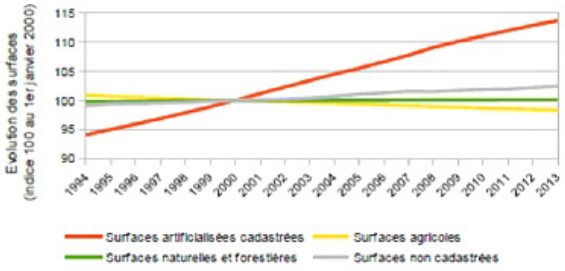
7.1 – Tendances nationales de l'artificialisation

À l'échelle des milieux urbains, les tendances d'évolution se traduisent notamment par la progression différenciée de l'artificialisation. D'après une définition adaptée de la base de données Corine Land cover, l'artificialisation est le changement d'état effectif d'une surface agricole, forestière ou naturelle vers des surfaces artificialisées c'est-à-dire des tissus urbains, les zones industrielles et commerciales, les infrastructures de transport et leurs dépendances, les mines et carrières à ciel ouvert, les décharges et les chantiers, les espaces verts urbains et les équipements sportifs ou de loisirs y compris les golfs. L'extension de l'artificialisation correspond à une consommation d'espaces agricoles, naturels ou forestiers. La notion d'artificialisation ne préjuge en rien de la réversibilité des sols.

En matière d'occupation du sol Corine Land Cover 2006 nous permet de dire que sur les 55 millions d'hectares que couvre la France métropolitaine 2,7 sont artificialisés soit environ 5,8 % de la superficie totale en 2006, contre 4,8 % en 2000, et 4,4 %

en 1990. Pour l'outre-mer, la Guyane avec la forêt amazonienne se démarque en restant largement en dessous de 0,1 %, tandis que Martinique, Réunion et Guadeloupe offrent des niveaux comparables et relativement élevées de 11 %. Ont été retenues ici les catégories Zones urbanisées ; Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication, Espaces verts artificialisés, non agricoles et à l'exclusion de la Mines, décharges et chantiers. La progression est nette et sans appel : le développement de l'urbanité s'accompagne d'une prédation de la ressource sol, par définition inextensible.

Figure 113 : Evolution de l'occupation du sol entre 1994 et 2013 en France métropolitaine
Source : Cerema Nord Picardie



Évolution de l'occupation du sol entre 1994 et 2013 en France métropolitaine (indice 100 au 1er janvier 2000)
Source : Cerema DTer Nord-Picardie, d'après DGFiP, fichiers fonciers, données agrégées 1994-2013
Lecture : les données correspondent à la situation au 1er janvier de l'année indiquée.

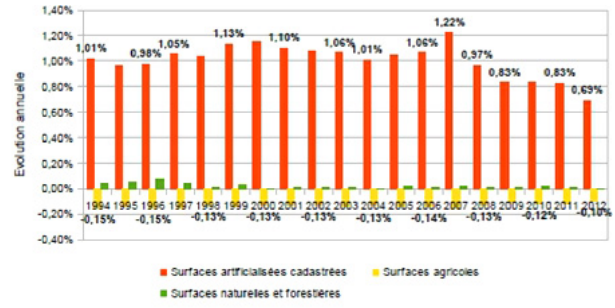
Certains territoires sont plus concernés que d'autres. Sur la période 2003-2013, la pression la plus forte sur les espaces naturels, agricoles et forestiers s'est exercée sur la Bretagne, les Pays de la Loire, l'île de France, le Nord Pas de Calais, le littoral normand, ainsi que les départements du Rhône, de la Haute-Garonne et des Bouches du Rhône. Les surfaces artificialisées les plus importantes se localisent sur une grande façade ouest. Si l'on se place à l'échelle communale, la consommation se concentre notamment sur le littoral (Bretagne et Méditerranée), les principales agglomérations, la vallée du Rhône, mais aussi une bonne partie de la Normandie et du département du Nord.

Parmi les tendances nationales de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers sur la période 1994-2013, les graphiques ci-après montrent un ralentissement de l'artificialisation depuis 2008.

L'étalement urbain décrit le fait que les villes croissent en surface en artificialisant un territoire à un rythme plus important que ne l'impose le seul facteur démographique. L'étalement urbain représente le phénomène d'expansion géographique de l'urbanisation par l'implantation en périphérie, au détriment des surfaces agricoles, un type d'urbanisme peu dense. Cette dilatation de l'espace urbain se traduit par une diminution de la densité des zones urbanisées du fait d'une extension plus rapide que la croissance démographique et d'un report vers la périphérie des villes et des bourgs de différentes fonctions telles que le commerce et les gros équipements. (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, Observatoire national de la consommation des espaces agricoles 2014).

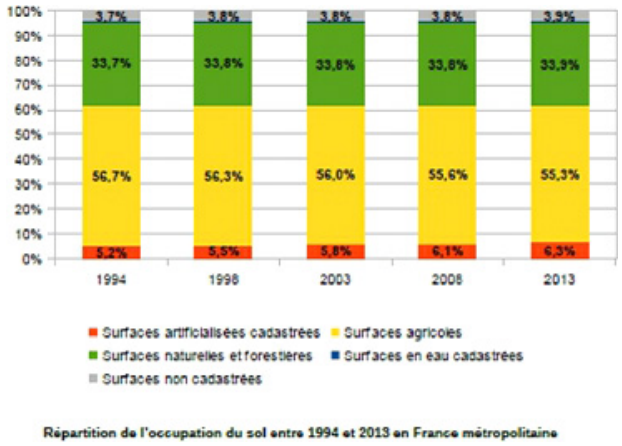
Cette tendance à l'artificialisation largement majoritaire ne doit pas cacher les initiatives de desimperméabilisation (parkings, rives, et cours d'eau ou même bordures de trottoirs), ainsi que les efforts de nombreux documents d'urbanisme pour stopper la progression des projections d'ouverture à l'urbanisation.

Figure 114 : Evolution de l'occupation annuelle du sol entre 1994 et 2012 en France métropolitaine
Source : Cerema Nord Picardie



Évolution annuelle de l'occupation du sol entre 1994 et 2012 en France métropolitaine (%)
Source : Cerema DTer Nord-Picardie, d'après DGFiP, fichiers fonciers, données agrégées 1994-2013
Lecture : l'évolution de l'année n correspond à la différence entre les situations aux 1er janvier des années n+1 et n.

Figure 115 : Répartition de l'occupation du sol entre 1994 et 2013 en France métropolitaine
Source : Cerema Nord Picardie



7.2 – Tendances d'évolution des espaces de nature en ville

Les tendances d'évolution quantitatives des espaces de nature de la ville sont difficiles à renseigner au niveau national. En effet, les données de l'urban atlas qui ont permis de fournir la part des surfaces de nature au sein d'une trentaine de villes françaises (chapitre 2) ne permettent pas un recul temporel suffisant et un suivi de l'évolution de ces surfaces. Les indicateurs des chapitres 5 et 6 issus des données des couches haute résolution (part du couvert arboré, part des milieux humides, part des sols non artificialisés), en sont à leur premier millésime et n'autorise pas de comparaison temporelle. Certaines villes produisent leurs propres données, mais celles-ci ne sont pas directement disponibles pour l'échelle nationale.

7.3 – Dynamiques paysagères

À défaut de données quantitatives, une approche qualitative des évolutions sera vue au travers du prisme des dynamiques paysagères.

7.3.1 – Tendances paysagères des espaces de nature en ville

Le XVIIIème siècle a laissé dans nos villes françaises l'empreinte de l'hygiénisme : les grandes allées, les parcs et promenades, les squares de proximité, généralement bien ordonnancés. Cet héritage a été longtemps perpétué et adossé à des pratiques horticoles, pour lesquelles l'esthétique se concentre sur le fleurissement, et l'introduction d'essences exotiques. Avec son concept de jardin en mouvement, Gilles Clément, bouscule les habitudes esthétiques et les pratiques, en ré-introduisant "le sauvage" dans la ville. Ici et là émergent des jardins de conception écologique, et c'est surtout la pratique horticole qui laisse la place à la gestion écologique, et la gestion différenciée. La création du label "éco jardin » en témoigne. Les espaces de nature aquatique et zones humides ne sont pas en reste dans cette évolution. Les projets d'aménagements de berges et de rives, devenues un temps axe routier ou parking, prônent la renaturation. On ré-ouvre à la vue et redécouvre les cours d'eau urbains. Autre tendance, les jardins ouvriers trop peu nombreux pour répondre à la demande des citoyens, sont supplantés par des jardins partagés sur des parcelles publiques.

Dans son livre, « Inventer les villes-natures de demain : gestion différenciée, gestion durable des espaces verts », Gaelle Aggeri donne les exemples de ce tournant que constitue la gestion et la conception écologique des espaces verts. L'association Plante et Cités produit elle un guide de conception écologique des espaces publics paysagers à l'intention des concepteurs et des maitres d'ouvrage des collectivités.

Les manières d'inventer la biodiversité urbaine se démultiplient avec la végétalisation des toits, des murs, des sols (les rails de tram, trottoir enherbé, …), et le renouveau d'une agriculture intra-urbaine avec des potagers urbains, de la gestion des espaces verts (pelouses sauvages, …), des noues et des zones d'infiltration ou stockage de l'eau…

7.3.2 – : Dynamique des périphéries urbaines

Les espaces périurbains résultent d'une avancée de formes urbaines à l'intérieur d'un périmètre rural. Contrairement à la ville bâtie, ces espaces périurbains sont composites ; ils peuvent contenir des milieux ouverts, de la forêt, des exploitations agricoles, des zones humides, des espaces naturels. « L'espace ouvert qui borde l'agglomération est le plus souvent perçu comme étant indéfiniment disponible pour l'extension urbaine, plutôt que comme un espace de transition, encore moins comme une limite… On est dans l'affrontement et non dans l'interaction… La limite se distend au rythme de l'urbanisation, butant seulement sur quelques espaces ouverts protégés.

Elle échappe souvent à une démarche d'aménagement globale et anticipatrice. » (IAU, île-de-France 2010).

La notion de front urbain a été développée notamment dans un but d'aménagement du territoire pour délimiter les lignes de contacts avec les espaces ouverts (naturels, agricoles ou forestiers). Le front urbain se traduit à la fois par une limite, dans le sens où il exprime la volonté de contenir l'étalement urbain, et par un espace de lien, de transition entre l'espace bâti et l'espace ouvert. Il ne devrait donc plus être considéré comme une « ligne de front », espace d'affrontement entre la ville et l'espace agricole, forestier ou naturel. Il s'agit de faire en sorte que chaque espace regarde l'autre au lieu de lui tourner le dos, que ces espaces différents se nourrissent l'un l'autre, s'influencent positivement et se transforment ensemble » (IAU, île-de-France 2010).

"Les approches du périurbain, le plus souvent issues d'une opposition traditionnelle entre urbain et rural, peinent à saisir la complexité du phénomène. D'une part, les approches structuro-fonctionnelles développées depuis plus de cinquante ans par la statistique nationale, et basées sur la polarisation de l'activité et de l'emploi, des équipements et des services, ne rendent compte que partiellement des recompositions territoriales.

D'autre part, la périurbanisation, systématiquement connotée négativement, a longtemps été appréhendée selon une approche critique du mitage territorial par la promotion privée (urbanisation par plaques de lotissements pavillonnaires, etc.), de l'individuation (accession à la propriété individuelle, repli social, etc.), de la fragmentation territoriale. À présent, ces clichés simplificateurs sont confortés au nom du développement durable (gaspillage du sol de par les faibles densités urbaines et humaines, surconsommations énergétiques, entre-soi communautaire). Bien au contraire, espaces urbains et ruraux, voire agricoles et naturels, s'imbriquent de plus en plus sur des territoires métropolisés et périurbanisés dont l'interdépendance s'accroît ; ce qui contribue à progressivement effacer les frontières traditionnellement admises qui les opposaient (Bailly et Duret 2012).

Les zones de transition entre les milieux urbains et les autres écosystèmes sont des espaces instables en mutation qu'il s'avère difficile d'identifier.

7.3.3 – Une ressource pour comprendre les dynamiques paysagères urbaines : l'atlas de paysage

Les atlas de paysage constituent une ressource pour qualifier la ville dans le grand paysage, et les dynamiques paysagères à l'œuvre.

La diversité des paysages français traduira aussi la diversité des situations urbaines au moyen d'éloquentes expressions graphiques. De plus, l'urbanisation transforme et crée de nouveaux paysages, par l'étalement urbain ou la périurbanisation. Différentes et complémentaires des trames et corridors de l'écologie du paysage, les représentations des paysagistes expriment un lien historique aujourd'hui ténu et à peine perceptible, à la géomorphologie, au réseau hydrographique, car justement le trait de crayon ne s'arrête jamais à la limite attendue ou convenue.

Les aires sous influence urbaine évoluent rapidement, elles transforment considérablement les paysages, aussi elles obligent à redessiner les contours des unités paysagères. La comparaison des unités paysagères de deux millésimes d'atlas paysagers peut s'avérer riche d'enseignements sur les zones et les formes d'urbanisation. Ainsi l'unité paysagère "confluence angevine", repérée en 2002, devient en 2014 la sous unité paysagère "les paysages urbains angevins" de l'unité "l'agglomération angevine", dont le périmètre s'est fortement étendu au sud, passant de l'autre côté de la Maine, à l'est et à l'ouest). L'atlas s'institue alors comme mémoire de la perception collective des paysages (*https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Les%20Atlas%20de%20paysages%2C%20M%C3%A9thode%20qualifica-tion%20des%20paysages.pdf*).

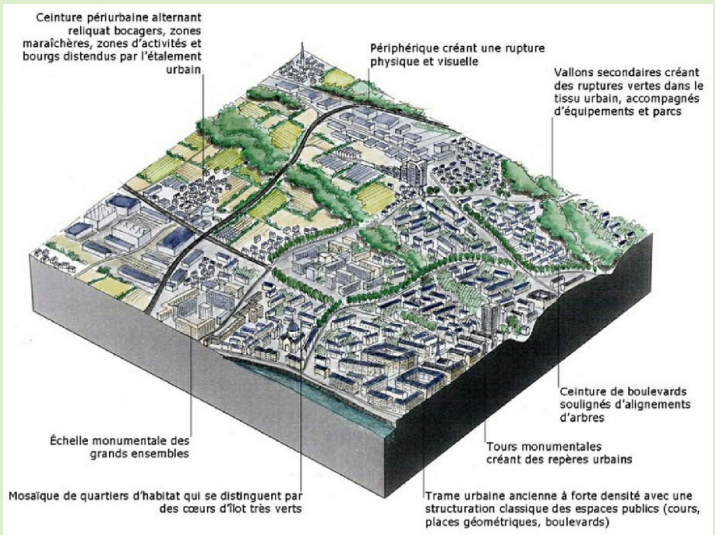
Zoom

Extrait Atlas des paysages 44 – Paysages urbains- Nantes

La caractérisation des interfaces entre Nantes et les autres unités paysagères, combine la description littérale, photographie et cartographie, à l'échelle de la ville dans son ensemble, puis plus en détail en sous-unité paysagère. Cet assemblage d'outils de représentation permet ainsi une description visuelle et qualitative des interfaces.

"Si comme toute ville, l'agglomération nantaise présente des paysages urbains variés, cette unité traduit par ses grands ensembles, relativement homogènes, la croissance rapide de la tâche urbaine ces cinq dernières décennies. Ainsi entre le cœur de ville historique à la fois carrefour et confluence, la ville s'est développée sur des anneaux viaires successifs (boulevards de ceinture puis périphérique) pour phagocyter les bourgs périphériques. Ces croissances par à-coups se traduisent par de grands quartiers, zones d'activités ou grands ensembles qui se juxtaposent et s'intercalent entre les vallons secondaires de l'Erdre et la Loire qui gardent leur caractère semi-naturel. Les sites inscrits et les sites classés jouent globalement un rôle précieux de sauvegarde d'espaces « naturels » à caractère patrimonial intégrés au tissu urbain. En promontoire sur ces vallées, l'agglomération compose un paysage urbain véritablement à l'échelle du département… La composition de cette ville se prête particulièrement à une lecture « panoramique » qui permet de révéler à la fois la subtilité de sa topographie et de ses systèmes hydrographiques, la prédominance de ses repères et de ses belvédères, la diversité de ses ambiances et la problématique de ses interfaces multiples."

Figure 116 : Bloc diagramme de l'unité paysagère de Nantes – Extrait de l'atlas des paysages de Loire Atlantique 44
(http://www.paysages.loire-atlantique.gouv.fr/index932f.html?_pg=paysage&_p=3)



"La couronne de l'agglomération se caractérise par un paysage composite qui juxtapose des lambeaux parfois importants d'agriculture périurbaine et des zones urbaines souvent constituées de tissus pavillonnaires. Cela se traduit par une ambiance complexe mêlant à la fois l'urbain et le rural où les franges entre les deux espaces

sont ténues mais démultipliées. C'est un véritable paysage périurbain où l'on est, ni à la ville, ni à la campagne. Le « support paysager » de cette sous unité est constitué par un espace agro-naturel qui peut être de deux ordres :

•soit des espaces maraîchers très dynamiques et en expansion comme à l'est. Cela se traduit par un paysage très anthropique alternant les mers de tunnels plastiques et des serres aux surfaces parfois très impressionnantes.

•soit des espaces bocagers résiduels (maillage de haies plus ou moins lâche) dont certains secteurs sous l'effet de la déprise agricole tendent à se refermer par enfrichement.

•soit des espaces semi-naturels souvent concentrés sur les vallées"

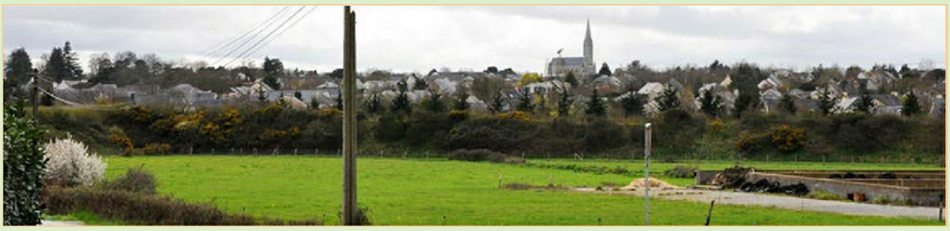
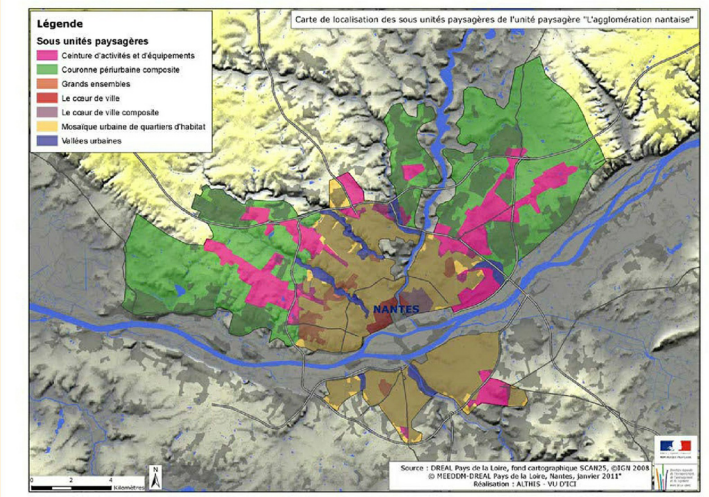


Figure 117 : Photographie et bloc diagramme de la sous-unité paysagère couronne de l'agglomération de Nantes



Conclusion des parties 1 et 2

Péri-urbain, enjeu central ?

Entre frontière de la ville et empreinte globale, limite géographique ou fonctionnelle : où commence et où finit l'écosystème urbain ? L'interdépendance de cet écosystème avec les autres transparaît partout, la périurbanisation se généralisant.

Roel Plant, de l'IRSTEA (Gt urbain, 2013) donne l'alerte : « L'urbanisation étant un processus irréversible, l'espace périurbain n'est-il pas plus important à étudier que le centre-ville. » Les principaux espaces de nature s'y trouvent encore… sous peu ils disparaîtront. Ils ne s'appelleront plus terres mais foncier. Les espèces animales et végétales aux lisières de la ville ont probablement une valeur majeure pour l'espace urbain, certains espaces péri-urbains constituent d'incontestables réservoirs écologiques.

Le péri-urbain est une zone complexe de transition où coexistent les différents types d'écosystèmes (agrosystèmes, forêts, milieux aquatiques, urbain…). C'est donc une zone à enjeux écologiques majeurs où se concentrent les pressions et les dynamiques d'évolution. La création et la préservation de nouveaux espaces de nature dans ces périphéries commencent à émerger : forêts urbaines et parcs agricoles, zone protégée pour la biodiversité, milieux aquatiques. Elles semblent déterminantes pour créer un réseau écologique, une trame verte et bleue qui fasse les liens entre le cœur de ville et sa périphérie.

Derrière cette question qui met en exergue une limite de l'évaluation des écosystèmes et de leurs services milieux par milieux, se profile l'intérêt d'une évaluation à l'échelle territoriale comme celle des Schémas de cohérence du territoire.

- Commande de la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de Transition Ecologique et Solidaire au Cerema (Territoires et ville)
- Pilotage conjoint Direction de l'Eau et de la Biodiversité (Laetitia De Monicault, Patrick Degeorges, Claire De Kermadec) et Commisariat Général au Développement Durable (Antonin Vergez, Ophélie Darses, Yann Kervinio, Philippe Puydarrieux)
- Groupe de travail « Écosystèmes urbains » sous la coordination de Cécile Vo Van (Cerema)
- Rédacteurs : Séverine Hubert, Magali Poudevigne, Laurent Dramais (Cerema Centre Est), Rémi Suaire (Cerema Est) et Nathalie Berthier (Cerema Île-de-France), Bénédicte Baxerres et Géraldine Audié-Libert (Cerema Sud-ouest), Sarah Talandier-Lespinasse, Roland Cotte, Muriel Saulais et Cécile Vo Van (Cerema Territoires et ville), Jean-Paul Bessière (Cerema Méditerranée), Théo Duquesne (stagiaire Master 2).
- Nous remercions tout particulièrement Nathalie Bertrand (IRSTEA Grenoble), pour sa contribution au chapitre 9 « biens agricoles »

* * *

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET BIENS RETIRÉS DE L'ÉCOSYSTÈME, PATRIMOINE NATUREL, CONTRAINTES

Partie 3

Introduction générale de la partie 3

Dans la sphère académique, il est courant de se référer aux travaux internationaux de l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire ou *Millennium Ecosystem Assessment* pour évoquer le concept de services écosystémiques : « *les biens et les services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement* » (« MEA » 2005). Toutes les publications qui s'ensuivirent ont répandu la notion dans des champs disciplinaires aussi variés que l'écologie, l'économie, la sociologie.

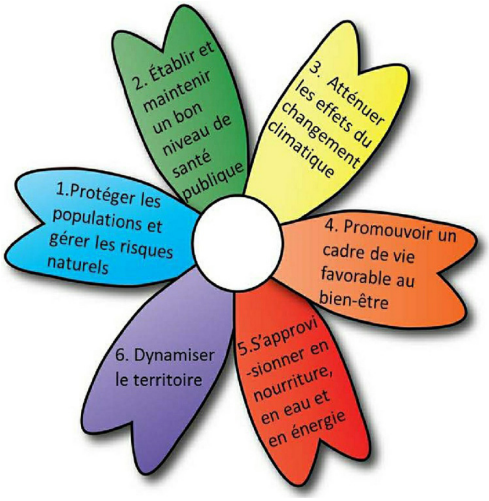
Dans la sphère des praticiens des collectivités, il en est bien autrement. Une enquête informatique réalisée en début du programme EFESE urbain auprès des collectivités, montre que sur les 213 répondants, 23 savaient définir les services écosystémiques tandis que 11 d'entre eux seulement (soit environ 5 %) connaissaient les 4 catégories du MEA, services support, d'approvisionnement, de régulations et récréatifs (Cerema, enquête Efese urbain, 2014). La notion de services écosystémiques se répand discrètement. Mais les niveaux de compréhension sont très hétérogènes : certains praticiens à l'inverse connaissent très bien le sujet. En effet, F. Ségur, responsable Arbres et Paysage à la Métropole de Lyon, invite à se retourner vers un passé plus lointain que la dizaine d'année du MEA, vers l'époque de la modernisation des grandes villes françaises au XIX^{e} siècle. À l'appui de ces propos, il cite C.AAlphand. ingénieur des Ponts et Chaussées pour la Ville de Paris : « *Tels sont les procédés à l'aide desquels il a été possible de doter Paris des plantations qui constituent aujourd'hui l'un de ces principaux ornements et qui contribuent puissamment à l'agrément et à la santé des habitants.… Mais cette dépense indispensable*

pour obtenir une végétation à peu près normale, n'a rien d'excessif mis en regard ***des services rendus par les plantations.*** *Elles sont indispensables pour renouveler l'air vicié d'une grande cité en absorbant l'acide carbonique qu'elle compose et transforme en oxygène, elles procurent l'ombre si nécessaire aux nombreux publics qui circulent sur les voies magistrales de Paris. Enfin, elles contribuent grandement à la décoration de la cité »* (Alphand 1867).

S'agissant des espaces verts en milieux urbains, nous pourrions donc faire remonter les prémisses de la notion de services écosystémiques et de son opérationnalité au XIXe siècle. L'élargissement et l'embellissement des avenues, l'aménagement des grands parcs, des squares et des promenades dont les villes françaises sont aujourd'hui héritières, se sont réalisés sur fonds d'évaluations et d'argumentaires construits autour d'enjeux de politiques publiques, tels que la modernité et l'hygiénisme. De quels argumentaires userait Alphand aujourd'hui et avec quelles évaluations défendrait-il une ville durable et résiliente, adaptée aux effets du changement climatique ?

Parmi les trois catégories de services écosystémiques retenues pour l'évaluation française, les services dits de régulation et culturels sont les plus largement documentés en milieu urbain dans la littérature scientifique internationale, et dans une moindre mesure les services d'approvisionnement (I4CE 2016) L'évaluation française pour les écosystèmes urbains restera dans ce schéma en donnant une large place à l'étude des catégories de régulation (chapitre 8) et culturels (chapitre 10). Le groupe de travail de l'EFESE dédié aux écosystèmes urbains a identifié plusieurs enjeux de politiques publiques qui ont guidé la sélection des services les plus spécifiques à retenir en milieu urbain (figure 1).

Illustration 1 : « Fleur des enjeux », 7 enjeux de politique publique urbaine comme point d'entrée à l'évaluation des services écosystémiques, au centre l'éducation et la sensibilisation à la biodiversité comme enjeu commun et central
(Source : Cerema, Séminaires collectivités, 2015)



Les enjeux de sécurité des personnes vis-à-vis des risques d'inondation et de santé des populations interfèrent principalement avec les services de régulation. Les enjeux, cadre de vie, santé, et surtout l'éducation à la biodiversité mobilisent fortement les services culturels. Les services d'approvisionnement en eau d'une cité ou l'agriculture périurbaine posent la question de l'interface avec les autres écosystèmes (Gt interface, 2016). Pour les écosystèmes urbains, leur traitement sera limité (chapitre 9). Particularité de l'évaluation française, le patrimoine naturel est placé hors champs de l'évaluation (chapitre 11). Le chapitre 8 est consacré à l'étude des services de régulation : régulation du climat global et régulation du climat local, régulation de la qualité de l'air, régulation des inondations et autoépuration des eaux. Le chapitre 10 sera dédié aux services culturels récréatifs, éducatifs ainsi qu'aux aménités paysagères fournis par les écosystèmes urbains. Si les services sont considérés un à un dans cette partie, il est à noter que sur un espace de nature se combinent systématiquement plusieurs services écosystémiques, appartenant

aux différentes catégories. La nature de ces “bouquets de services” est traitée au sein de la partie 4.

Illustration 2 : Potentiels des bénéfices des espaces de végétalisation urbains ((I4CE 2016)

	TVU et infrastructures vertes	Forêts et parcs urbains	Jardins privatifs et communautaires	Friches et espaces interstitiels	Arbres et linéaires	Toits et murs végétalisés
Participation à un continuum écologique						
Réservoir de biodiversité						
Séquestration de carbone*		Elevé (foret) / modéré (parc)				
Réduction du ruissellement / meilleure infiltration						
Effet rafraichissant						
Amélioration de la qualité de l'air						
Lutte contre l'ICU						
Valorisation foncière						
Santé et bien-être						
Tourisme						
Espace récréatif						

Légende : *Bénéfice élevé; Bénéfice modéré; Bénéfice faible ou inexistant.*

* *On considère ici la séquestration de carbone dans la biomasse et le sol d'une zone végétalisée en croissance sur une zone qui était artificielle il y a peu. La transition est supposée pérenne (donc sans considérer la réversibilité).*

Illustration 3 : Comparatif des coûts et services environnementaux rendus par des toits verts selon leur composition (M. Musy 2014)

TABLEAU 4 – COMPARATIF DES COÛTS ET SERVICES ENVIRONNEMENTAUX* RENDUS PAR DES TOITS VERTS SELON LEUR COMPOSITION

	Toit vert A (« extensif »)	Toit vert B (« intensif »)
Type de végétation	Rase	Herbacée, arbustive
Substrat (épaisseur)	10 cm	30 cm ou plus
Coût	Faible (25-100 €/m²)	Elevé (plus de 200 €/m²)
Isolation thermique	Nulle/non avérée	Modérée à élevée
Rétention des eaux pluviales/m²	Faible (4 à 8mm en lame d'eau absorbée)	Elevée (22 à 38 mm)
Amélioration/maintien de la biodiversité	Faible	Elevée
Lutte contre les effets de l'ICU	Nulle	Faible à élevée

* *Ce tableau présente deux cas spécifiques de toits verts, à l'aune des services environnementaux rendus. Cependant, un toit vert qui rendrait peu de services environnementaux peut avoir un grand rôle économique et social (tourisme, bien-être, agriculture urbaine ...). Ce tableau doit surtout attirer l'attention sur le fait que l'égalité toit vert-services écosystémiques n'est pas une évidence mais est au contraire fortement conditionnée par le respect de points précis (type de végétation, épaisseur du substrat, entretien, etc.).*

Source : I4CE 2014, d'après Mairie de Paris/Cahier technique (2012)

CHAPITRE 8

Services écosystémiques de régulation

Ce chapitre vise à rechercher la valeur des services écosystémiques (SE) de régulation au sein de l'écosystème urbain. Ce travail nécessite de resserrer le cadre de l'exercice à un nombre limité de SE. Cela ne signifie pas que ceux qui ne sont pas étudiés ne méritent pas de l'être, il s'agit d'une priorisation pour une première évaluation. Un choix méthodologique est alors nécessaire pour justifier des Services écosystémiques écartés de l'étude.

D'un point de vue anthropocentré, les événements majeurs comme les inondations et la catastrophe sanitaire de 2003 avec la canicule ont marqué les villes. Les politiques publiques de lutte contre ces phénomènes imposent d'étudier dans quelle mesure les écosystèmes peuvent contribuer à réguler ces phénomènes. Les services de régulation des inondations et du climat local se distinguent ainsi, permettant une certaine « atténuation » des risques. Les questions liées à la santé humaine conduisent à examiner la régulation de la qualité de l'air par les éléments de nature dans la ville. Le risque inondation et sécheresse, compte tenu des populations potentiellement impactées et des coûts engendrés, constitue aussi un des enjeux. Comment et dans quelle mesure les écosystèmes présents en ville participent à la régulation des risques majeurs voire à l'atténuation de ces risques ? Le service de régulation du climat local est un des SE les plus fréquemment évoqué et évalué dans les déclinaisons du MAE dans les villes mais aussi dans les publications scientifiques ciblées sur les milieux urbains.

Ce chapitre aborde donc successivement les services de régulation du climat global, du climat local, de la qualité de l'air, des nuisances sonores, d'auto-épuration des milieux aquatiques et des inondations.

8.1 – Synthèse

Cette étude d'évaluation des services écosystémiques rendus par les espaces de nature en milieu urbain en France constitue une phase exploratoire. Elle a permis de mettre en évidence pléthore de méthodes d'évaluation biophysique pour certains services de régulation (des inondations par exemple). Les méthodes d'évaluation de certains modèles anglo-saxons n'ont pas pu être transposées et calculées dans le cadre de cette étude (comme i-tree), faute de transparence totale des modèles de calcul d'une part, et d'adaptation aux spécificités de notre pays (conditions climatiques, espèces présentes dans les villes françaises…) d'autre part. D'autres modèles encore comme Invest demanderaient à eux seuls le déploiement d'une forte ingénierie sur des temps longs envisageable en phase II de l'EFESE.

En conséquence, les travaux présentés aboutissent pour chaque service à des suggestions pour le calcul ou à des reprises d'évaluation, ou encore à un panorama de résultats issus de méthodologies, d'échelle et d'objectifs différents. Au sortir de ce chapitre, il résulte donc une somme de méthodologies et de résultats plus que quelques chiffres clefs attendus… Nous tirons deux conclusions de cette grande hétérogénéité dans la recherche sur l'évaluation des services écosystémiques de régulation en milieu urbain. La première est qu'en préalable de tout lancement d'évaluation (compte tenu du coût et du temps nécessaire pour réaliser l'évaluation), il sera nécessaire de clairement établir une phase préalable avec la collectivité ou les acteurs pour cibler le POUR QUOI de l'évaluation avant de s'interroger sur le COMMENT. Seule la claire désignation d'un enjeu permettra de prendre les hypothèses méthodologiques adéquates et de « choisir » parmi le panel des possibles (conflit d'usage, ou d'un argumentaire chiffré de la valeur d'un espace, coût d'un projet alternatif avec solutions fondées sur la nature ; mise en place d'indicateurs « biodiversité et services écosystémiques » pour une politique sectorielle). Il suppose l'élaboration d'un arbre de décision.

L'eau et la végétation en milieu urbain permettent de lutter efficacement contre l'effet d'îlot de chaleur et contribuent ainsi à la régulation du climat local. Les mécanismes en jeu dans le rafraîchissement urbain sont de trois natures : effet d'ombrage par les végétaux, consommation de chaleur sous forme d'énergie pour l'évaporation et l'évapotranspiration, effet sur la circulation de l'air. Tous ces mécanismes dépendent de la nature et de l'état de santé de la végétation, et de la présence d'eau disponible dans le sol.

Le service de séquestration du carbone (stockage et fixation) a été quantifié en France pour la seule ville de Strasbourg, avec l'outil i-tree-eco. Au regard des émissions de CO_2 produits par les milieux urbains, la contribution des espaces de nature reste faible, et ne pourra qu'accompagner les politiques de réduction à la source.

Les espaces de nature en ville sont des outils performants et multifonctionnels de gestion de qualitative et quantitative des eaux (en particuliers des eaux pluviales). L'intégration dans la trame urbaine d'espaces de nature construits dans le but de gérer les eaux pluviales à la source (noues, fossés infiltrants, jardins de pluie…) permet de réduire le ruissellement et donc la quantité d'eau apportée à l'exutoire (souvent un réseau unitaire). Le passage à 25 % des EP gérées par des techniques alternatives a par exemple permis de diviser par 3 le nombre de déversements au droit des déversoirs d'orage de l'agglomération de Douais mais aussi de diminuer les coûts d'exploitation de près d'un million d'euros. L'impact sur les coûts de traitement des eaux est également significatif.

Les nuisances sonores sont difficilement cartographiables et quantifiables en milieu urbain, en conséquence leur régulation par les espaces de nature l'est aussi. Néanmoins, ce service semble être une source de bien-être déterminante pour la vie citadine.

8.2 – Service Régulation du climat global

8.2.1 – Présentation du service appliqué à l'écosystème urbain

8.2.1.1 – Effet direct : Stockage et fixation du carbone

L'effet de serre est un phénomène naturel indispensable à la vie sur terre en permettant d'avoir une température moyenne sur terre de 15 °C contre -18°C si cet effet n'existait pas. Toutefois, la concentration des gaz à effet de serre s'est sensiblement modifiée[1] en raison des activités humaines provoquant un changement climatique global lourd de conséquences (aggravation des phénomènes climatiques extrêmes, crises liées aux ressources alimentaires, augmentation des risques sanitaires, etc.).

Parmi les gaz à effet de serre, il est nécessaire de distinguer ceux qui sont d'origine industrielle et ceux qui existent « naturellement » dans l'atmosphère. Dans ce dernier groupe, l'approche choisie ici se limite volontairement au CO_2, car ce dernier représente les deux tiers des émissions mondiales induites par les activités humaines. Le carbone étant une composante essentielle du CO_2, c'est notamment en agissant sur cette composante qu'une régulation peut avoir lieu.

Une approche strictement rigoureuse aurait nécessité la prise en compte du protoxyde d'azote (N2O), du méthane (CH4) et de l'Ozone (O_3). Cependant, les émissions de protoxyde d'azote sont surtout liées à l'agriculture industrielle et les émissions de méthane aux ruminants ; l'écosystème urbain n'est donc sans doute pas l'écosystème le plus concerné bien que le méthane puisse également provenir de zones humides ou de décharges diverses qui peuvent s'y trouver.

Par leur capacité de séquestration du carbone, la **végétation urbaine** (plus particulièrement les arbres et arbustes) **ainsi que les sols** peuvent participer à l'atténuation du réchauffement climatique global. Ils sont alors considérés comme des **puits de carbone**, qui contribuent à limiter (au moins temporairement) la quantité de CO_2 atmosphérique. Il est important de souligner que les écosystèmes urbains (au même titre que les autres écosystèmes) sont aussi une source de gaz à effet de serre (respiration de la végétation, décomposition de la matière organique).

Au sein de ce service de régulation du climat global joué par les écosystèmes urbains, il convient de distinguer deux sous-catégories : le **stockage** de carbone et la **fixation** du carbone.

Le stockage de carbone correspond à la masse de carbone déjà capturée par la végétation et les sols. En effet, une partie du carbone absorbée par la végétation et le sol est intégrée dans la matière organique et n'est pas directement relâchée dans l'atmosphère. Il se retrouve stocké dans les compartiments aérien et souterrain de l'écosystème. Soulignons que le stockage du carbone n'est jamais permanent. À titre d'exemple, pendant la phase de sénescence, les végétaux se dégradent et relâchent dans l'atmosphère une partie du carbone qu'ils avaient précédemment stockée par photosynthèse. De même, la matière organique des sols (essentiellement constituée de carbone), au terme de multiples transformations, se minéralise et

restitue le carbone à l'atmosphère sous forme de CO_2 par un processus qui peut durer des dizaines voire des centaines d'années. Bien que le stockage ne soit pas permanent, il contribue à retarder l'effet de serre et à réguler les températures. En ce sens, il convient de le prendre en compte dans le cadre de l'évaluation du service de régulation du climat global.

La fixation de carbone représente, quant à elle, le flux de carbone présent dans un écosystème pendant un temps donné, par exemple une année. Le flux résulte de processus écologiques tels que la photosynthèse, la respiration ou la décomposition de la matière organique dans les sols. En étudiant le flux global d'un végétal sur une année, trois cas de figure peuvent se présenter : fixation du carbone, émission de carbone ou bilan neutre. Cela dépend du rapport entre les fonctions de source (respiration, décomposition) ou puits de carbone (photosynthèse) lors de la période considérée. La quantité de carbone fixée augmente avec le développement du feuillage et la taille de l'arbre. Lorsque celui-ci atteint sa maturité, il ne se développe presque plus et la quantité de carbone fixée se stabilise.

Les processus de stockage et de fixation du carbone au sein des écosystèmes évoluent au cours du temps en raison de l'évolution du milieu et des usages anthropiques (ex : prélèvement de bois). À titre d'exemple, une forêt urbaine âgée peut présenter un service de stockage élevé alors que celui de fixation est nul ou négatif. A contrario, une forêt urbaine jeune et en croissance peut présenter un service de stockage faible alors que celui de fixation est élevé.

Rappel : *l'arbre peut exercer sa fonction de puits de carbone lorsque l'absorption du CO_2 par photosynthèse est supérieure au CO_2 libéré par la respiration. Les glucides synthétisés servent d'abord à satisfaire les besoins métaboliques prioritaires de l'arbre, puis à sa croissance et enfin au stockage. Le carbone est relâché par la respiration et lors de la décomposition du bois.*

8.2.1.2 – Effets indirects

Parallèlement au stockage et à la séquestration de carbone par la végétation et les sols décrits ci-avant, **des effets indirects** (M. Musy 2014) **peuvent être attribués à la végétation urbaine** en matière d'émissions de carbone évitées :

- la présence de végétation à proximité d'un bâtiment permet d'améliorer les conditions de confort estival à l'intérieur des habitations et donc de réduire potentiellement le recours à la climatisation source de consommation énergétique et donc d'émission potentielle de carbone,
- les toitures végétalisées peuvent améliorer l'isolation des bâtiments et réduire les consommations énergétiques liées au chauffage et à la climatisation générant aussi potentiellement des émissions de carbone.

Ces effets indirects sont très difficiles à estimer, car ils dépendent de nombreux facteurs : climat et survenue d'événements climatiques extrêmes, isolation du bâti, recours à la climatisation, énergie utilisée, mode de production de l'énergie, etc. De ce fait, la suite du rapport se focalise sur les effets directs de la végétation et des sols : la séquestration et le stockage du carbone.

Les fonctions à l'origine du service ont été traitées dans le chapitre 3 de la partie 1.

8.2.2 – *Principaux déterminants du niveau de service*

En raison du manque de données disponibles dans la bibliographie sur le service de stockage et de fixation par les sols et les espaces végétalisés urbains, la quantification biophysique est centrée sur la végétation arborée au sein des villes. L'objectif de la quantification biophysique est donc d'évaluer le potentiel de la végétation arborée urbaine en matière de stockage et de fixation du carbone, c'est-à-dire d'estimer la quantité de carbone qu'elle absorbe et retient, participant ainsi à l'atténuation du changement climatique. Le taux annuel de séquestration du CO_2 par les arbres varie notamment en fonction de l'espèce considérée, de son âge, de son état sanitaire et de ses caractéristiques dendrométriques (hauteur, diamètre, etc.) (M. Musy 2014). L'évaluation de ce service de régulation du climat global sur un territoire suppose la mesure des flux et volumes de carbone stockés par les écosystèmes.

Une telle évaluation nécessite de recueillir de nombreuses données et notamment :

- des données issues du monde de la recherche sur la capacité de stockage et de fixation de la végétation urbaine, des arbres urbains (tonne C/ha/an), etc.
- des données relatives aux caractéristiques de la végétation locale : surface arborée, nombre d'arbres, espèces présentes, dimensions (diamètre, hauteur), biomasse, surface foliaire, taux de croissance, état sanitaire, taux de mortalité, etc.

Les indicateurs susceptibles d'être mobilisés sont les suivants :

- **quantité de carbone stocké par les arbres**
- **quantité de carbone fixé par les arbres**

La diversité des facteurs influençant le service de stockage et de fixation du carbone par la végétation rend difficile la mise en place de ratio simple à l'échelle d'une ville.

Certains auteurs ont cherché à évaluer la quantité de CO_2 piégé par les arbres à l'aide **d'outils de modélisation**, intégrant les données de surface arborée et de physiologie végétale (D. Cuny et Cuny 2013). Il existe quelques logiciels et outils méthodologiques pour calculer les quantités

de CO_2 fixées et stockées par les arbres. À titre d'illustration, le modèle américain i-Tree-Eco a, notamment, été appliqué dans plusieurs villes européennes dont Strasbourg (voir partie 4).

Le tableau ci-dessous mentionne quelques exemples de valeurs de taux de fixation pour différentes espèces en milieu urbain (Akbari 2002). La moyenne de ce taux pour un arbre est ici évaluée à environ **11** kg de C/an :

Illustration 4 : Séquestration annuelle de carbone par différentes espèces d'arbres

Table 4
Annual carbon sequestration by individual trees. Each tree is assumed to have a crown area 50 m[2a]

Tree type	Age	dbh (cm)	H (m)	Average C sequestered (kg/year)	C sequestrated at maturity[b] (kg/year)
Norway maple	30	33.0	10.1	3.2	9.9
Sugar maple	29	29.5	11.2	2.9	7.8
Hackberry	25	27.4	10.3	2.7	8.5
American and little-leaved linden	33	41.4	11.5	5.3	13.8
Black walnut	32	31.0	11.2	3.0	8.0
Green ash	26	30.2	11.7	3.6	10.8
Robusta and Siouxland hybrid	33	52.1	20.5	14.9	29.6
Kentucky coffee tree	40	31.0	9.9	2.1	3.6
Red maple	24	27.4	10.2	2.8	8.9
White pine	34	34.5	13.6	4.2	15.2
Blackhills (white) spruce	60	37.6	15.9	3.3	7.7
Blue spruce	60	49.3	18.9	6.7	12.8
Average				4.6	11.4
Average excluding Robusta/Siouxland				3.6	9.7

[a] dbh, Diameter of tree at breast height; H, tree height (source: Frelich, 1992).
[b] We define maturity when the tree has a crown area of 50 m[2].

(David J. Nowak 2006) fournit d'autres valeurs : Les arbres en bonne santé et matures fixent environ **93** kg C/an et les « petits » arbres **1** kg C/an.

(Mc Pherson et al. 2016) fournit des résultats pour des **arbres d'alignement** en ville au niveau de six zones climatiques californiennes :

- le taux de fixation de carbone varie de 22,9 kg/an à 67,1 kg/an, avec une moyenne de 41,2 kg/an ;
- en moyenne, 852,4 kg de CO_2 sont stockés par arbre. La quantité stockée varie fortement suivant les zones étudiées (1 256,3 kg/arbre au sein de la côte nord de la Californie et 327,6 kg dans la zone du sud-est).

8.2.2.1 – Dimension socio-économique

A) Service de régulation du climat global et bien-être humain

Les services écosystémiques peuvent être appréhendés via les bénéfices socio-économiques qu'ils génèrent, définis comme les bénéfices qui contribuent au bien-être humain.

Le service de régulation du climat global rendu par les espaces de nature en ville, potentiellement puits de carbone, participe au bien-être humain du fait de leur contribution à l'atténuation du changement climatique. Il peut, certes, être relativement faible, en comparaison des émissions urbaines. Ainsi, à Lyon, la croissance annuelle de l'ensemble de la végétation de l'agglomération ne permet de stocker que 3 jours de ses émissions totales" (IUNC France 2014). Il a, malgré tout, donné lieu à un certain nombre d'évaluations économiques et l'on peut estimer qu'il n'est pas sans impact sur l'activité économique et le bien-être humain, via les coûts environnementaux qu'il évite. Les coûts environnementaux désignent "les coûts des dommages causés à l'environnement et

aux écosystèmes, et aussi indirectement à ceux qui les utilisent : dégradation de la qualité d'une nappe et de sols, coût des traitements de potabilisation supplémentaires imposés aux collectivités, etc. (« Glossaire sur l'eau »), réchauffement climatique, pollution de l'air, etc. Dans le cas présent, les coûts environnementaux sont liés à la modification du profil des émissions de CO_2 dans l'atmosphère que la disparition des espaces de nature en ville induirait (émissions immédiates sous forme de CO_2 dans l'atmosphère d'une partie du carbone stocké dans les espaces de nature en ville et perte du service de fixation du carbone par les espaces de nature en ville).

B) Exemples d'évaluation économique du service de régulation du climat global en milieu urbain

8.2.3.1.b.1) L'évaluation du service de régulation du climat global rendu par la végétation urbaine de Londres (Treeconomics London 2015)

En 2015, la Chambre des lords britannique a publié une étude sur les services rendus par la végétation londonienne (« London iTree eco project », s. d.), parmi lesquels le service de régulation du climat global, subdivisé en deux sous-services : le service de stockage du carbone et le service de fixation du carbone.

S'appuyant sur l'outil **i-Tree Eco** et une enquête de terrain réalisée en 2014, les auteurs de l'étude montrent que les arbres londoniens stockent près de 2,4 millions de tonnes de carbone soit, approximativement, 15t/ha si l'on tient compte de la surface totale du Grand Londres (159 470 ha) et 106t/ha si l'on tient compte de la surface du seul couvert végétal (22 326 ha), valorisés à 147 millions de livres (ou172,7 millions d'euros [2]) (soit 62 £ la tonne de carbone [3], ou 72,8 € [4]). A titre de comparaison, France Stratégie (ex Centre d'Analyse Stratégique), dans un rapport paru en 2009, évaluait à 90t/ha la quantité de stock de carbone à valoriser à long terme pour les forêts tempérées (Centre d'analyse stratégique

2009)

Les arbres londoniens fixent 77 200 tonnes de carbone par an valorisées 4,79 millions de livres (ou 5,63 millions d'euros [5]). Divisés par le nombre d'arbres que compte le Grand Londres (soit 8 421 000), les taux de stockage et de fixation moyens sont respectivement de 0,28 tonnes de carbone par arbre (soit 280 kg de carbone ou 1008 kg de CO_2 [6]) et de 0,009 tonnes de carbone par an (soit 9 kg de carbone par an ou 32,4 kg de CO_2 par an).

À ce stade, se pose la question du transfert de valeur, qui ne paraît a priori pas pertinent compte tenu de la grande diversité de valeurs obtenues (quantité de carbone stockée et fixée par arbre) en fonction, notamment, de l'espèce (infra). En outre, un transfert de valeur nécessiterait d'avoir une vision claire du patrimoine arboré de chaque ville.

Illustration 5 : Statistiques détaillées relatives à l'ensemble des espèces d'arbres (Treeconomics London 2015).

Species	Number of Trees	Carbon (ømt)	Gross Seq (ømt/yr)	Net Seq (ømt/yr)	Leaf Area (km²)	Leaf Biomass (ømt)	Replacement Cost
English oak	613,562	481,795	11,401	10,012	104.314	6,945	£981,243,502
Sycamore	656,085	216,414	7,579	6,603	117.607	8,224	£638,225,621
Ash	374,195	163,217	3,817	2,896	59.763	6,358	£447,345,251
London plane	114,537	143,050	3,386	3,167	40.224	1,756	£351,623,660
Willow spp	260,927	136,170	2,131	1,751	35.28	2,178	£297,301,384
Oak spp	229,471	149,318	3,076	2,644	41.252	4,071	£281,480,595
Chestnut spp	162,454	98,710	2,113	1,910	24.09	1,689	£238,217,193
Small leaf Lime	111,403	39,744	1290	1,126	32.726	2,451	£213,662,425
Common lime	137,365	33,176	1,174	890	22.328	1,039	£151,020,672
Silver birch	521,556	64,163	3,972	3,731	45.692	2,714	£149,285,937
Beech spp	18,028	45,228	274	104	27.292	1,366	£133,382,782
Norway maple	198,412	41,279	1,750	1,633	36.198	1,954	£128,359,402
Ash spp	283,755	46,183	2,119	1,984	32.334	2,913	£120,097,452
Cypress spp	305,215	25,665	1,474	1,375	31.809	4,981	£110,998,649
Black poplar	22,927	34,606	770	673	5.502	397	£110,737,086
Horse chestnut	78,679	67,049	1,472	-1,403	20.398	1,426	£99,658,461
English yew	77,112	16,251	529	475	20.981	3,286	£91,831,518
Hawthorn	519,989	42,329	2,398	2,158	26.016	3,273	£88,030,561
Plum spp	255,730	38,330	2,352	2,155	19.816	1,533	£76,815,164
Sweet cherry	251,030	30,029	2,082	1,974	22.977	1,778	£75,748,268
Pine spp	68,881	15,705	446	372	9.818	946	£71,671,131
Poplar spp	6,565	33,027	412	339	5.053	341	£68,995,287
Sessile oak	9,798	32,509	369	270	8.312	820	£61,787,483
Apple spp	335,975	19,761	1,952	1,841	12.955	1,117	£61,361,389
European hornbeam	122,867	23,656	883	742	11.986	722	£59,410,222
Silver maple	29,492	11,443	306	276	8.544	450	£58,588,934
Leyland cypress	150,991	13,470	597	434	12.311	1,928	£49,836,711
Basswood spp	45,854	10,731	467	435	10.553	491	£49,270,469
Hornbeam spp	13,130	13,303	403	353	5.316	320	£36,745,777
Indian Bean tree	9,798	17,177	287	248	1.612	86	£35,758,037
Alder spp	39,389	13,270	506	486	6.845	378	£35,034,895
English walnut	32,824	10,576	537	483	13.123	553	£34,248,960
Turkey oak	59,083	11,735	571	544	1.653	163	£33,110,156
Field maple	101,705	11,087	695	648	9.799	551	£30,011,431

Species	Number of Trees	Carbon (ωmt)	Gross Seq (ωmt/yr)	Net Seq (ωmt/yr)	Leaf Area (km²)	Leaf Biomass (ωmt)	Replacement Cost
False cypress spp	93,474	8,288	488	452	6.579	1,645	£29,671,917
Holly spp	139,229	9,335	905	864	6.505	870	£26,219,825
Western redcedar	22,927	2,672	66	56	6.267	1,205	£24,736,634
Hop-hornbean	39,389	10,906	417	409	4.176	273	£24,550,497
Narrow-leafed ash	13,130	6,435	233	214	3.731	266	£23,965,916
Mountain ash spp	63,883	7,961	513	470	2.702	214	£23,548,328
White poplar	18,028	5,559	197	184	2.818	245	£22,080,745
Gray poplar	65,648	7,647	349	343	2.718	196	£21,209,816
Crimean linden	6,565	3,345	114	101	7.142	332	£20,748,662
Beech spp	14,696	5,676	278	256	4.55	228	£18,928,891
Italian alder	32,725	5,334	312	292	6.11	445	£17,404,026
Beech	52,519	9,078	519	501	9.611	481	£17,058,292
European alder	13,130	6,703	223	197	1.055	77	£17,014,366
Birch spp	192,719	2,290	598	576	6.941	434	£15,835,337
Norway spruce	52,519	5,811	324	304	7.723	1,287	£15,747,570
Tulip tree	13,130	4,247	198	181	1.243	73	£15,418,069
Common apple	14,696	5,091	180	143	2.132	184	£13,351,989
Purpleleaf plum	24,593	5,357	326	315	3.617	280	£12,144,753
Scots pine	32,824	3,543	141	139	4.302	415	£11,969,923
Yew spp	57,318	2,132	139	134	3.63	568	£11,363,349
White willow	31,158	5,185	265	260	5.645	358	£11,253,919
Locust spp	13,130	3,751	154	146	1.76	184	£11,156,940
Windmill palm spp	19,694	82	2	2	0.698	117	£10,331,582
Sargent cherry	34,391	3,740	234	203	2.42	187	£9,984,108
Holly oak	14,696	3,382	142	133	1.874	185	£9,894,928
American Mountain ash	40,956	2,961	279	268	2.059	163	£9,801,401
False acacia	26,160	4,736	241	221	3.167	170	£9,774,740
Bay tree spp	22,927	3,049	218	206	2.567	192	£9,702,996
Occidental plane	6,565	3,350	141	138	1.389	64	£9,321,140
Mexican fan palm	6,565	77	1	1	0.425	66	£9,100,548
Pear spp	44,288	3,839	320	206	3.492	261	£8,726,385
Kwanzan cherry	26,259	4,309	262	257	0.677	52	£8,712,381
Fig spp	31,158	3,076	253	240	2.173	163	£8,692,131
Weeping willow	6,565	2,523	119	109	1.476	94	£8,594,719
Common plum	42,622	3,955	333	317	1.334	103	£8,431,499
Leather leaf viburnum	4,899	2324	77	72	0.401	30	£7,942,299
Ciruelo rojo	4,899	3,320	134	121	1.455	113	£7,912,230
Date palm spp	6,565	26	1	1	0.065	11	£7,764,323
Elder	78,778	5,010	271	-91	2.933	220	£7,027,840
Magnolia spp	37,723	2,298	254	244	2.04	136	£6,369,845
Cherry laurel	39,389	2,493	298	287	0.896	69	£6,157,528
Hazel	39,389	2,126	207	201	2.926	203	£5,824,696
Higan cherry	14,696	2,521	187	185	0.396	31	£5,084,307
Cherry plum	39,389	2,426	276	271	1.519	92	£4,773,851
Bird cherry	13,130	1,908	135	133	0.344	27	£4,716,574
Kapuka	44,089	2,355	173	159	0.931	70	£4,345,869
Sweetgum spp	4,899	487	18	16	1.718	79	£3,949,922
Portugal laurel	6,565	1,418	104	99	0.075	6	£3,943,463

Species	Number of Trees	Carbon (£mt)	Gross Seq (£mt/yr)	Net Seq (£mt/yr)	Leaf Area (km²)	Leaf Biomass (£mt)	Replacement Cost
Giant dracaena	6,565	12	0	0	0.073	12	£3,755,647
Dutch elm	4,899	2,011	66	61	0.545	37	£3,142,196
Lawson cypress	6,565	566	36	34	0.385	96	£2,957,151
Blackthorn	65,648	2,516	173	137	2.012	156	£2,816,975
Elm spp	93,474	3,003	205	91	2.225	152	£2,551,383
Corsican pine	4,899	362	25	23	0.348	34	£2,427,163
Cockspur hawthorn	13,130	957	103	102	0.424	32	£2,298,322
Large leaf Lime	6,565	592	48	48	1.403	83	£2,164,619
Indian paper birch	24,593	879	151	148	1.274	76	£2,003,759
English holly	39,389	937	98	97	2.144	287	£1,974,492
Turkish hazel	6,565	760	67	66	0.311	22	£1,921,414
European larch	4,899	399	19	18	2.441	132	£1,652,751
Japanese larch	6,565	936	37	37	0.698	45	£1,624,427
Cappadocian maple	4,899	560	32	31	1.311	74	£1,502,789
Gum spp	4,899	574	49	47	0.439	57	£1,302,315
Lychee	6,565	526	53	51	0.318	24	£1,301,766
Acacia spp	6,565	496	34	32	0.495	120	£1,262,461
Common pear	18,028	557	70	39	0.307	23	£1,160,961
Juniper spp	13,130	318	37	35	0.203	56	£991,538
Olive spp	13,130	305	57	55	0.545	41	£935,364
Rhododendron spp	14,696	295	32	30	0.088	18	£930,481
Spruce spp	6,565	461	28	28	0.331	56	£899,850
Downy serviceberry	11,464	181	34	33	0.063	4	£869,562
Golden chain tree spp	11,464	552	74	70	0.379	28	£804,873
Paper birch	4,899	393	46	45	0.084	6	£753,656
Bay laurel	4,899	323	24	23	0.368	28	£727,278
Lawsonia spp	4,899	344	37	36	0.053	4	£631,509
Cotoneaster spp	11,464	227	46	45	0.664	50	£604,753
Laurustinus	13,130	335	35	-1	0.432	32	£504,984
Tamarisk spp	6,565	217	37	36	0.318	24	£501,087
Japanese maple	6,565	41	12	12	0.04	2	£492,362
Serviceberry spp	6,565	56	17	17	0.05	4	£492,362
Eastern service berry	6,565	84	22	21	0.129	10	£492,362
Northern birch	4,899	135	16	16	0.261	16	£459,261
Judas tree	6,565	129	28	27	0.146	9	£434,277
Buckthorn	6,565	94	22	21	0.353	26	£434,277
Glorybower spp	6,565	103	24	24	0.124	9	£361,898
Scarlet hawthorn	6,565	85	22	22	0.123	9	£361,898
Ceanothus spp	6,565	108	25	23	0.112	8	£356,107
Goat willow	4,899	82	11	11	0.329	21	£349,038
Redwood spp	6,565	345	9	6	0.047	7	£338,689
Golden montery cypress	6,565	22	6	6	0.025	4	£308,711
Redbud spp	4,899	44	13	13	0.07	4	£307,862
Italian cypress	4, 899	57	11	11	0.03	5	£303,112

Les principaux résultats de l'étude relatifs au service de régulation du climat global sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 1 :

Végétation urbaine de Londres - Évaluation du service de régulation du climat global - Stockage et fixation du carbone (Treeconomics London 2015) [a]

Service de régulation	Périmètre	Tonnes	Total (en tonnes)	Millions de £ (M£)	Millions d' € (M€)*	Total (en M£)	Total (M€)*
Stockage du carbone	Inner London	499 000	2 367 000	30,9	36,3	146,9	172,6
	Outer London	1 868 000		116	136,3		
Fixation du carbone (par an)	Inner London	15 900	77 200	0,987	1,16	4,79	5,63
	Outer London	61 300		3,8	4,46		

a. L'étude distingue l'Inner London et l'Outer London. L'"Inner London est un nom donné à un ensemble de districts centraux du Grand Londres, entouré par l'Outer London. L'Inner London s'étend sur 319 km^2. L'Outer London est le nom donné à un ensemble de districts de Londres situés autour de l'Inner London. La superficie de l'Outer London est de 1 254 km^2 (Source : Wikipédia).

*Taux de conversion au 16/09/16

8.2.2.1.b.2) L'évaluation des services rendus par la forêt urbaine New-Yorkaise (United States Department of Agriculture 2007)

Le Département américain de l'Agriculture a développé le modèle UFORE (Urban Forest Effects) afin de pouvoir évaluer les différents bénéfices relatifs aux forêts urbaines.

Les résultats obtenus en matière de stockage et de fixation du carbone sont résumés dans le tableau 2. Le nombre d'arbres de la ville est évalué à 5,2 millions soit un taux de stockage et de fixation moyen de, respectivement, 0,25 tonnes de carbone (soit 250 kg de carbone ou 900 kg de CO_2) et 0,008 tonnes de carbone par an (soit 8 kg de carbone ou 28,8 kg de CO_2). Ces chiffres sont assez proches des résultats obtenus dans le cadre de l'évaluation londonienne.

Tableau 2 :

Forêt urbaine New-Yorkaise – Evaluation du service de régulation du climat global – Stockage et séquestration du carbone (United States Department of Agriculture 2007)

Service de régulation	Tonnes	Millions de $ (M$)	Millions d' € (M€)*
Stockage du carbone	1 350 000	24,9	22,2
Fixation du carbone par an	42 300	0,779	0,693

*Taux de conversion au 16/09/16

Au-delà de l'équivalence monétaire présentée dans le tableau ci-dessus, la quantité de carbone stockée par les arbres New-yorkais correspond à la quantité de carbone émise dans la ville pendant 10 jours, ou encore aux émissions de carbone annuelles de 811 000 automobiles ou

aux émissions de carbone annuelles de 1200 maisons individuelles (United States Department of Agriculture 2007).

Illustration 6 : Structure, function and value of street trees in California, USA (Mc Pherson et al. 2016)

Annual monetary value (in million $US) of street tree services by climate zone and statewide (se).

Service	Inland Empire	Inland Valleys	North. Calif. Coast	South. Calif. Coast	Southwest Desert	Interior West	Total
Energy	21.37 (2.80)	25.73 (5.34)	31.27 (5.62)	15.95 (1.91)	6.54 (1.04)	0.28 (0.04)	101.15 (16.76)
Carbon Dioxide	1.95 (0.26)	2.13 (0.44)	3.28 (0.59)	2.36 (0.28)	0.56 (0.09)	0.04 (0.01)	10.32 (1.67)
Air Quality	0.60 (0.08)	23.64 (4.91)	−32.09 (5.77)	23.01 (2.75)	2.37 (0.38)	0.63 (0.10)	18.15 (2.45)
Stormwater	14.26 (1.87)	8.32 (1.73)	9.34 (1.68)	8.27 (0.99)	1.25 (0.20)	0.06 (0.01)	41.50 (6.47)
Property Value/Other	150.48 (19.72)	108.36 (22.50)	299.42 (53.80)	246.56 (29.48)	33.70 (5.37)	0.43 (0.07)	838.94 (130.94)
Total	188.67 (24.73)	168.18 (34.92)	311.20 (55.92)	296.14 (35.41)	44.42 (7.08)	1.44 (0.23)	1,010.05 (158.29)

C) Le prix du carbone et les différentes méthodes de monétarisation mobilisables

Les méthodes de monétarisation mobilisables pour évaluer le service de régulation du climat global sont les méthodes fondées sur :

- le prix du marché ;
- les dommages évités ;
- le coût d'abattement marginal ;
- les coûts de remplacement du service ;
- l'utilisation de valeurs tutélaires.

Toutes visent, plus précisément, à donner un prix au carbone, à valoriser une tonne de CO_2 non émise dans l'atmosphère, de façon à donner un signal clair « sur les bénéfices à émettre moins de carbone ou, de façon symétrique, sur le coût que les émissions de GES font porter à la société » (Ministère de l'Environnement, et de l'Énergie et de la Mer 2016).

• Les méthodes fondées sur le prix du marché

Ces méthodes consistent à se référer au marché de quotas d'émission, « dans lequel les installations qui émettent plus que le quota de CO_2 qui leur est alloué sont obligées d'en acheter sur un marché et sont donc pénalisées financièrement pour rattraper leur surplus d'émission, tandis que les installations qui réduisent leurs émissions peuvent revendre leurs quotas non utilisés sur ce marché et bénéficier ainsi de revenus ; en Europe, un marché de quotas a été mis en place pour les secteurs de l'énergie et de l'industrie qui sont les plus gros émetteurs de CO_2. La tonne de CO_2 s'y échange à environ 6 euros aujourd'hui »[7, 8]. « Ce ou ces prix du marché sont censés refléter le prix de la contrainte climatique en imposant une rareté sur les émissions de CO_2 via des permis d'émissions. Mais ces prix sont incomplets, car les marchés ne couvrent pour l'instant qu'une fraction des émissions, produites essentiellement par le secteur énergétique et quelques activités industrielles (soit moins de 50 % des émissions totales en Europe) et les prix qui émergent […] indiquent surtout que l'allocation des quotas a été très généreuse » (CGDD 2015b). « Pour pallier la faiblesse de ce signal-prix qui est insuffisant pour stimuler

les investissements bas carbone, la France a proposé la mise en place d'un corridor de prix » (Ministère de l'Environnement, et de l'Énergie et de la Mer 2016).

- **Les méthodes fondées sur le coût des dommages évités**

Ces méthodes sont fondées sur l'estimation des dommages évités grâce à une tonne de CO_2 non émise et consistent donc à évaluer le coût des dommages associés au changement climatique. « Ce type d'approche relève de ce qu'on appelle l'analyse coûts/avantage : la valeur de la tonne de carbone se mesure au regard de l'impact que l'émission de cette molécule supplémentaire aura sur le bien-être des générations futures. On associe donc à une tonne de CO_2 émise aujourd'hui la valeur actuelle d'un dommage futur que l'on cherche à évaluer. » (Centre d'analyse stratégique 2008).

Ces méthodes sont contestées au motif qu'elles reposent sur une évaluation nécessairement partielle et subjective des dommages (CGDD 2015b), (Ha-Duong 2010). Ainsi, le CAS (Centre d'Analyse Stratégique) notamment considère que les valeurs obtenues grâce à la mise en œuvre de ces méthodes « doivent être considérées avec prudence, dans la mesure où ne sont envisagés dans ces modèles que les effets les mieux compris et les plus facilement mesurables. Par ailleurs, les effets mesurés adviendront dans un futur éloigné et ont tendance à être minorés par le processus d'actualisation retenu. Enfin, la mesure des dommages apparaît difficile, en raison d'obstacles méthodologiques et éthiques délicats : comment appréhender, par exemple, le coût d'une migration importante, celui de la disparition de zones urbaines côtières, ou encore la valeur statistique de la vie humaine dans une approche internationale ? » (Centre d'analyse stratégique 2008).

- **Les méthodes fondées sur le coût d'abattement (ou coût de réduction) des émissions de CO_2**

« Une autre manière d'appréhender la valeur économique de la tonne de CO_2 consiste non plus à considérer le dommage associé aux émissions, mais le coût qu'il faut consentir pour les réduire à un niveau donné » (Centre d'analyse stratégique 2008).

Le coût d'abattement (ou de réduction) des émissions « mesure le "surcoût" induit par toute politique volontariste de remplacement du capital productif par un capital moins émissif, par rapport à un scénario de référence "au fil de l'eau". Cette notion de coût peut sembler plus tangible que les autres définitions du prix du carbone, car elle découle des technologies d'abattement disponibles. Pourtant, la définition de ce coût n'est pas si simple. Il dépend toujours d'un objectif de réduction d'émissions à un horizon temporel donné, et de contraintes sur les vitesses de déploiement des techniques » (CGDD 2015b).

- **Les méthodes fondées sur les coûts de remplacement du service**

Cette approche consiste à considérer le coût de fixation à long terme du CO_2 par d'autres méthodes, et notamment par le stockage géologique profond.

• Les méthodes fondées sur l'utilisation de valeurs tutélaires : la fabrication de la valeur tutélaire du carbone en France :

La valeur tutélaire du carbone est « une valeur politiquement négociée qui est censée donner un poids monétaire à l'externalité carbone dans l'analyse économique des projets publics. Elle permet de mesurer le taux de rendement interne des projets en internalisant le coût social du changement climatique. Le choix de cette valeur est le fruit d'une confrontation de dires d'experts et d'une comparaison de résultats de modèles » (CGDD 2015b).

Suite à une demande du premier ministre formulée en 2008 concernant la définition d'une valeur tutélaire de la tonne de carbone, le CAS a réuni une commission dite commission Quinet dont les recommandations servent aujourd'hui de référence pour l'évaluation environnementale des politiques publiques. Il est important de souligner que cette valeur ne correspond pas à un prix de marché, mais qu'elle « relève d'une décision de l'État, sur la base d'une évaluation concertée de l'engagement français et européen dans la lutte contre le changement climatique » (Centre d'analyse stratégique 2008).

Deux options sont possibles pour guider l'élaboration de valeurs de référence (ou valeurs tutélaires). La première option, dite « approche coût/avantage », vise à estimer les coûts réels que va supporter la société si le dommage advient. Cette approche permet d'estimer les dépenses maximales qu'il est légitime d'engager, du point de vue de l'efficacité économique, pour éviter ou compenser ces dommages.

La deuxième approche, dite « coût/efficacité », est fondée sur une estimation de la valeur qu'il faut fixer pour inciter les acteurs concernés à s'adapter et atteindre ainsi le but recherché. C'est cette deuxième approche qui a été retenue par le CAS.

Une trajectoire de valeurs du carbone compatible avec les objectifs définis au niveau européen en matière de réduction des émissions de CO_2 aux horizons 2030 et 2050[9] a été définie, et une valeur de 100 €/tCO_2 en 2030 a servi de référence pour le reste de l'analyse.

Après 2030, le CAS préconise de faire croître cette valeur de 4 % chaque année jusqu'en 2050, ce qui correspond à appliquer un taux d'actualisation de 4 % (taux public recommandé par le rapport Lebègue en 2005[10]).

La commission Chevassus-au-Louis propose ainsi de partir de la valeur recommandée par le rapport Quinet (Centre d'analyse stratégique 2008) qui est de 32 € en 2010 pour rejoindre de façon progressive la valeur de 100 € en 2030, ce qui correspond à une augmentation annuelle du prix relatif de la tonne de carbone de 5,8 %.

Dans le cas présent, la valeur du carbone reflète le coût évité d'une réduction supplémentaire des émissions au sein de l'économie pour atteindre les objectifs nationaux en matière de réduction des émissions.

D) L'évaluation du service de régulation du climat global rendu par les forêts françaises métropolitaines

Dans les travaux du CAS relatif à l'approche économique de la biodiversité et des services écosystémiques (Centre d'analyse stratégique 2009) l'évaluation monétaire du service de régulation du climat global repose sur la valorisation de deux services, le flux annuel de fixation du carbone (ou service de fixation du carbone) et le capital de carbone stocké (ou service de stockage du carbone).

La valeur monétaire du service de fixation du carbone (€/ha/an) est obtenue en multipliant la quantité de carbone séquestrée chaque année par les forêts tempérées françaises (tCO_2/ha/an), évaluée à une tonne de carbone par hectare (soit 3,6 tonnes de CO_2 par hectares), par la valeur tutélaire du carbone recommandée par la Commission Quinet (32 €t/CO_2 en 2010), soit 115 €/ha pour l'année 2010.

Le service de stockage (€/ha/an) est évalué en multipliant la quantité de tonnes de carbone stockées (tCO_2/ha) par la valeur tutélaire du carbone (32 €t/CO_2 en 2010) que multiplie un taux de rémunération annuel fixé à 4 %. L'introduction d'un taux de rémunération vise à valoriser l'intérêt de conserver l'actif naturel sur pied et ainsi éviter le déstockage. Il est égal au taux d'actualisation recommandé pour le CAS.

Sachant que le CAS évalue à 90 tC/ha le stock de carbone à valoriser, le service de stockage est évalué à 414 €/ha pour l'année 2010 (207 €/ha si le taux de rémunération retenu est 2 %).

Au total, le service de régulation du climat global rendu par les forêts tempérées françaises est évalué à 529 €/ha pour l'année 2010. Multiplié par la surface totale de forêts en métropole, soit 15,3 millions (http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-foret-francaise-en-chiffres.html d'hectares), le service de régulation du climat global rendu par les forêts françaises peut être évalué à 8 094 millions d'euros en 2010, dont 6 334 millions pour le service de stockage et 1 760 millions d'euros pour le service de séquestration.

En 2030, le service de séquestration est évalué à 360 €/ha (1 × 3,6 × 100 €t/CO_2) et le service de stockage à 1 300 €/ha (90 × 3,6 × 100*4 %) (650 €/ha si le taux de rémunération retenu est de 2 %.

En termes de valeur totale actualisée[11] sur la période 2010-2050, les résultats obtenus pour un hectare de forêt moyen sont les suivants :

- environ 6 300 euros pour le service de fixation du carbone jusqu'en 2050 ;
- environ 10 600 euros pour le service de stockage du carbone jusqu'en 2050 (taux de rémunération à 2 %) [12].

Tableau 3 :

Synthèse des résultats obtenus

Évaluation	Évaluation londonienne	Évaluation new-yorkaise	Évaluation française
Écosystème concerné	Végétation urbaine	Végétation urbaine	Forêts métropolitaines
Services concernés	Stockage et fixation	Stockage et fixation	Stockage et fixation
Prix de la tonne de carbone	62 £ (72,8 €)	18,4 $ (16,4 €)	32 € tCO_2 soit, environ, 8,8 € tC
Année de publication de l'étude	2015	2007	2009
Valorisation des tonnes de carbone stockées	Quantité (t) * Prix (£)	Quantité (t) * Prix ($)	Calcul d'une valeur totale actualisée sur la période 2010-2050 avec introduction d'un taux de rémunération
Valorisation des tonnes de carbone fixées	Quantité (t) * Prix (£)	Quantité (t) * Prix ($)	Calcul d'une valeur totale actualisée sur la période 2010-2050
Zone d'étude	Grand Londres	New-York	France
Superficie de la zone d'étude (ha)	159 470	121 440	
Couvert végétal(%)	14,00 %	20,90 %	
Couvert végétal (ha)	22 326	25 381	
Quantité de carbone stockée (tC)	2 367 000	1 350 000	
Quantité de carbone fixée (tC)	77 200	42 300	
Quantité de carbone stockée (tC)/ha	106	53	90
Quantité de carbone fixée (tC)/ha	3	2	1
Quantité de carbone stockée moyenne par arbre (tC)	0,28	0,25	
Quantité de carbone fixée moyenne par arbre (tC)	0,009	0,008	
Valorisation de la quantité de carbone stockée (€)	172 600 000	22 200 000	
Valorisation de la quantité de carbone fixée (€)	5 630 000	693 000	
Valeur du stock de carbone pour l'année considérée (€) /ha	7 731	875	414 pour l'année 2010 ; 10 600 en termes de valeur totale actualisée sur la période 2010-2050
Valeur de la fixation du carbone pour l'année considérée (€) /ha	252	27	115 pour l'année 2010 ; 6300 en termes de valeur totale actualisée sur la période 2010-2050

8.2.2.2 – Lien avec le modèle « état-transition » proposé

Le lien entre la capacité de l'écosystème à rendre le service et son état est présenté ici à l'échelle de l'espace de nature en poursuivant ainsi l'élaboration du modèle Etat-transition.

La capacité de l'espace de nature à rendre le service en fonction de son état (les états étant définis dans le chapitre 5) est déterminée de manière qualitative sur dire d'expert ainsi que sur la base de la bibliographie. Pour chaque état (en fonction des indicateurs d'état décrits dans le chapitre 5), le niveau de service est noté de 1 à 4.

Comme il est détaillé dans les chapitres 5, 6 et 7, des transitions sont possibles entre états, ceux-ci étant par nature temporaires. Les états "Terrain Vague" et "MH asséché" sont particulièrement concernés par cette affirmation, le terrain vague dans la définition que nous en faisons étant un espace "à aménager" et le MH asséché pouvant retrouver ses fonctionnalités en cas de remise en lien avec le réseau hydrographique par exemple.

Les 4 niveaux de service sont définis pour être en cohérence avec les classes déterminées pour les indicateurs d'états, 4 correspondant de très bon à bon, 3 moyen, 2 médiocre et 1 mauvais.

Tableau 4 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	Terrain vague (Vocation zone AU du PLU)	Espace vert ordonné ou horticole	Éco-parc		Espace naturel (ex pas du loup à Metz, sans gestion, espace classé en zone N par exemple au PLU)
				sans gestion alternative des eaux	avec gestion alternative des eaux	
- taux de végétalisation - taux de couvert arboré ;		1 : peu ou pas de végétation arborée.	2 : Présence potentielle de grands sujets arrivant à maturité jouant un rôle dans la fixation et la séquestration du Carbone mais le service fourni reste minime sur le climat global, notamment au regard des vaste surfaces arborées de l'écosystème Forêt.			

Tableau 5 :

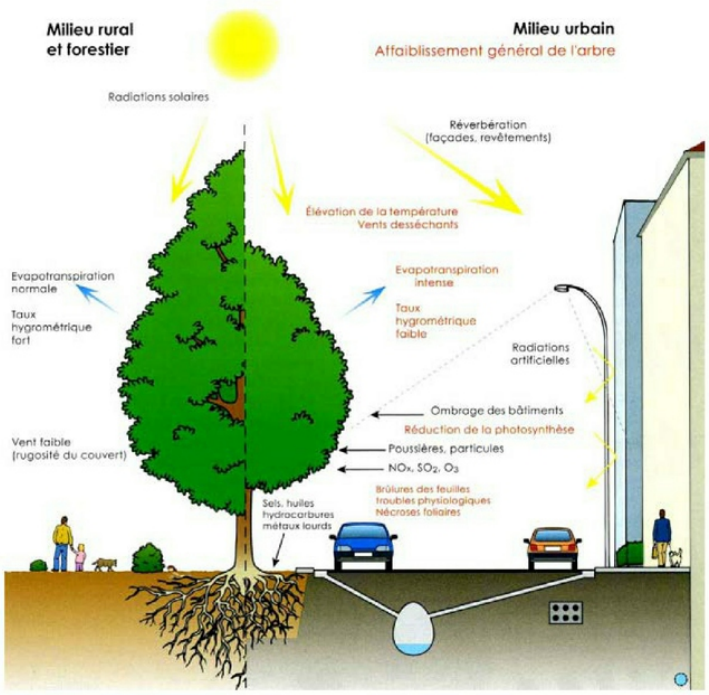
Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	MH asséché	MH peu aménagé et dégradé	MH préservé ou artificiel		MH naturel (ex : La petite Amazonie à Nantes)
				aménagé et gestion équilibré	Base de loisir (ayant vocation à accueillir du public)	
		1 : peu d'éléments naturels susceptibles de capturer le CO_2 atmosphérique (eau, végétation arborée)		2 : Présence potentielle de surface en eau et de végétation arborée jouant un rôle dans la fixation et la séquestration du Carbone mais le service fourni reste minime sur le climat global, notamment au regard des vaste surfaces arborées de l'écosystème Forêt.		

8.2.2.3 – Détail des principaux déterminants

- Les **propriétés du milieu urbain (physico-chimie du sol, climat, qualité de l'air, etc.)** sont de nature à influencer directement la production de biomasse ainsi que les échanges gazeux associés (CO_2, O2, etc.), à l'origine du service de régulation du climat global (*Cf.* schéma ci-dessous). Toute amélioration des conditions d'habitat (moindre pollution, notamment) est favorable à la production de biomasse, aux échanges gazeux et donc à la régulation du climat global induite par la végétation arborée.

Illustration 7 : Les incidences du micro-climat et de la pollution sur la végétation, (Freytet 1993). Extrait de L'arbre en milieu urbain, (VegDUD 2014)



– La quantité de biomasse produite varie selon le type de végétation et la gestion de cette végétation (Anquetil 2010). Ainsi, d'une manière générale, les plantes ligneuses stockent plus de carbone que les plantes herbacées. Parmi les plantes ligneuses, les arbres sont des puits de carbone majoritaires par rapport aux arbustes (Anquetil 2010). **L'efficacité du patrimoine arboré urbain dans le stockage et la fixation du carbone dépend de nombreux facteurs** et notamment des **espèces présentes**, **de l'état sanitaire** et **du taux de croissance** (Selmi 2016). La quantité de carbone captée est plus importante pour les arbres qui ont un fort taux de croissance (David J. Nowak et Crane 2002) (Dubé, Saint-Laurent, et Sénécal 2006).

– Dans l'écosystème urbain, **seuls les sols non imperméabilisés** sont en mesure de remplir la fonction de décomposition et de stockage de carbone. Les stocks de carbone dépendent de l'équilibre entre, d'une part, des apports par la végétation et les amendements organiques et, d'autre part, des pertes liées à la minéralisation d'une fraction des matières organiques présentes et à la lixiviation des formes dissoutes de carbone organique. Cet équilibre dépend de divers facteurs, mais l'usage des terres et le climat sont déterminants dans son évolution. (Walter et al. 2015). Pour l'écosystème urbain, les **apports de matières organiques sont bien plus faibles** que dans un écosystème classique (d'une part les débris végétaux ne peuvent exister que si les végétaux sont eux-mêmes présents ; d'autre part le ramassage des feuilles à l'automne, et leur exportation en tant que déchets verts sont des techniques de gestion qui consistent à **exporter la matière organique** plutôt que de laisser l'écosystème l'éliminer). De plus, il y a probablement en milieu urbain des habitats qui se sont développés sur d'anciens « technosols » dont les capacités de stockage sont probablement différentes de sols « standards » (Commission européenne 2012). Par ailleurs, la plus grande partie de la couche arable, qui renferme normalement près de la moitié du carbone organique contenu dans les sols minéraux, est habituellement décapée à l'occasion des travaux de construction. En conséquence, le sol retiré perd une part importante de ses réserves de carbone organique du fait d'une minéralisation accrue et de sa réutilisation.

– Le service de régulation du climat global fourni par la végétation et les sols est influencé par certaines pratiques de gestion. Les actions volontaires suivantes sont favorables à l'expression de ce service :

- augmentation des surfaces arborées jouant un rôle important dans le stockage et la fixation du carbone en lieu et place de l'imperméabilisation des sols,
- désimperméabilisation de surfaces imperméables existantes et végétalisation,
- instauration d'une dynamique de plantation d'arbres permettant d'avoir sur le territoire des arbres matures et des arbres avec des taux de croissance élevés.
    - choix des espèces : tolérance aux conditions du milieu urbain, moindre sensibilité à la pollution, bonne qualité de bois permettant une utilisation comme matière première pour divers équipements et donc un maintien du stock de carbone à plus long terme (Chaparro et Terradas 2009), etc.,
- amélioration des propriétés physico-chimiques du milieu afin d'assurer une meilleure santé des arbres,
    - protection des arbres nouvellement plantés : les arbres nouvellement plantés en milieu urbain peuvent être fortement fragilisés par la population locale. Vandalisme et piétinement constituent la première cause de mortalité identifiée (Morani et al. 2011). Aussi, il paraît important de bien **sensibiliser les populations urbaines, voire de protéger temporairement les plantations** (ganivelles, etc.) pour assurer un développement optimal de la végétation.
    - réduction de l'utilisation des combustibles fossiles lors de l'entretien des arbres (Selmi 2016). Ex : Essence et une partie de l'électricité consommée par les engins de taille et d'élagage,

- limitation des opérations d'élagage à celles rendues indispensables pour des raisons de sécurité (Strohbach et al. 2012).

8.2.3 – *Valeurs de services et discussion*

8.2.3.1 – Évaluations biophysiques locales

• *Résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg (Selmi 2016)*

Le modèle i-Tree Eco

Le modèle i-Tree est un modèle développé par le « US Forest service » dans les années 1990. Il consiste à évaluer les services et dys-services de régulation rendus par la végétation arborée urbaine (stockage et fixation du carbone, régulation de la qualité de l'air, etc.) à partir notamment de la caractérisation des arbres urbains. En 2006, une version paramétrée pour être appliquée à des contextes géographiques différents a été mise en ligne.

Le modèle se base sur des données climatologiques, atmosphériques et sur des caractéristiques de la végétation arborée locale (nombre d'arbres, espèces, diamètre, hauteur, état sanitaire, etc.).

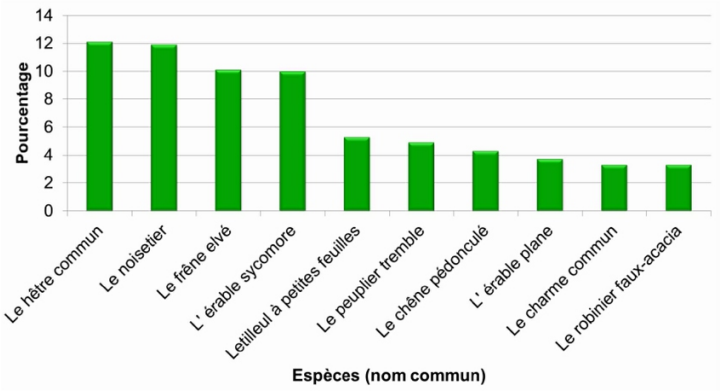
Le modèle a été utilisé dans différentes villes européennes : Barcelone (Chaparro et Terradas 2009), Torbay (Rogers et al. 2011), Strasbourg (Selmi 2016), etc.

Dans le cadre de la thèse de Wissal SELMI, le modèle i-Tree-Eco a été appliqué à la ville de Strasbourg.

Quelques données locales sur la ville de Strasbourg

Dans cette ville, l'espace résidentiel occupe 24 % de la superficie totale. Les zones industrielles, les zones forestières et les espaces verts artificialisés s'étalent respectivement sur 21 %, 19 % et 10 % de la superficie totale. Le reste se répartit sur les zones institutionnelles (8 %), les zones agricoles (8 %), le réseau hydrographique (10 %) et les espaces libres (1 %). Les espaces végétalisés publics recouvrent 2171 ha soit 27 % de la superficie totale de la ville. 54 % de ces espaces sont localisés dans les zones forestières et semi-naturelles, 23 % dans les espaces verts artificialisés et 9 % dans les zones institutionnelles. Les espaces végétalisés gérés par la ville de Strasbourg ont été caractérisés par un inventaire statistique basé sur 228 placettes jugées représentatives de la végétation arborée. Ils comportent ainsi, d'après le modèle, 588 000 arbres avec une densité de 271 arbres/ha. Les espèces les plus communes sont réparties de la manière suivante :

Illustration 8 : Les espèces les plus communes dans les espaces végétalisés publics strasbourgeois (Selmi 2016).



Les résultats

En ce qui concerne la végétation arborée, les résultats issus du modèle i-Tree-Eco sont mentionnés ci-dessous. La fixation nette de carbone prend en compte la quantité de carbone émise par les arbres dépérissants (Morani et al. 2011), (Rogers et al. 2011).

Illustration 9 : Résultats du stockage et de la fixation de carbone par la végétation arborée gérée par la ville de Strasbourg, issus du modèle i-Tree-Eco (Selmi 2016)

Classes d'occupation du sol	Stockage (Cst en tC)	Séquestration annuelle (Cseq en tC/an)	
	Total	Brute	Nette
Espaces agricoles	3859.4	93.9	89.6
Zones forestières et semi-naturelles	82652.2	2841.7	2660.1
Zones institutionnelles	6005.3	200.1	174.6
Zones industrielles	2253.4	110.6	101.8
Espaces verts artificialisés	29912.4	726.8	641.3
Zones résidentielles	1548	59.4	50.9
Espaces libres	732.6	9.4	8.9
Cours d'eau	931.7	17.85	17.2
Total	127895	4059.7	3744.5

L'évaluation montre que les arbres gérés par la ville de Strasbourg stockent environ 128 000 tonnes de carbone et fixent (entre juillet 2012 et juin 2013) environ 4 060 tonnes de carbone. Notons que le service fourni par la végétation arborée strasbourgeoise est sous-estimé dans la mesure où la végétation des espaces privés n'est pas prise en compte.

Commentaires

Le modèle utilisé se veut très opérationnel à partir de données très différentes aussi bien au niveau de la végétation locale que de l'environnement urbain en présence. Bien évidemment, il ne s'agit pas de quantifier avec exactitude le carbone stocké et fixé mais d'évaluer au mieux ce service à partir d'éléments concrets locaux et des données scientifiques actuellement disponibles.

Des limites et incertitudes sont encore associées à ce modèle, mais des perspectives pour améliorer et affiner les résultats dans les prochaines années peuvent être formulées :

- **seule la végétation arborée gérée par les services de la ville de Strasbourg a été prise en compte**. Il serait intéressant de poursuivre l'évaluation en tenant compte des espaces privés, dans la mesure où ils participent aussi au stockage et à la fixation de carbone sur le territoire communal ;
- étant développée aux États-Unis, une grande partie de l'architecture du modèle est fondée sur des algorithmes adaptés au contexte américain. **Il serait intéressant de développer des équations allométriques propres aux villes françaises**. Pour cela, W. Selmi estime qu'à l'exemple de l'Angleterre, l'application du modèle à une cinquantaine de villes françaises serait de nature à permettre une adéquation aux conditions bioclimatiques françaises.

● Programme « **MillionTreesNYC** »

Le Programme « MillionTreesNYC » (Morani et al. 2011) lancé sur la ville de New-York a pour objectif de planter 1 million d'arbres dans la ville, en raison des nombreux bénéfices associés. Des modélisations ont été réalisées afin de notamment quantifier le service de fixation et de stockage du carbone.

Les projections estiment que les 100 000 arbres plantés annuellement pourront capter un maximum de 1500 tonnes de carbone par an, soit un taux de fixation annuel de 15 kg de carbone par arbre (Morani et al. 2011). Dans la même lignée, le 12 novembre 2016 lors de la 22éme Conférence des Parties, plus de un million d'arbre ont été planté au Maroc.
(http://www.rsemarocmagazine.com/cop22-plus-dun-million-darbres-seront-plantes-jour/)

● Autres valeurs

Au niveau international, différentes études estiment les quantités de carbone capturées par la végétation urbaine. Boudès et al (Busy et al. 2014), ont repris les principaux résultats en distinguant trois catégories : les espaces végétalisés pris de manière isolée, les villes dans leur ensemble, les autres dispositifs (présentés à titre de comparaison).

Illustration 10 : Résultats de stockage et séquestration carbone par la végétation (t/ha) ((Busy et al. 2014).
Les termes « séquestration » et « fixation » sont considérés comme synonymes.

Tableau 7.4. Résultats de stockage et séquestration carbone par la végétation (t/ha).

Dispositif étudié		Étude	Ville, Pays	Stockage (moyennes) kg C/m²	Séquestration nette [brute] (moyenne) kg C/m²/an
Espaces urbains	Parcs urbains	Bruyat, 2011	Lyon, France (moyenne de 2 parcs)	(85)	-
		Paoletti *et al.*, 2011	Florence, Italie	55,1	-
		Yoon *et al.*, 2013	Daegu, Corée	24,9	-
	Espaces verts	Jo, 2002	Séoul (quartier Kangnam), Corée	60,1	3,77
			Séoul (quartier Junglang), Corée	58,70	3,91
			Kangleung, Corée	46,70	1,60
			Chuncheon, Corée	26	1,71
	Forêt proche de la ville	Dwivedi *et al.*, 2009	Bhopal, Inde	12,54	-
Végétation urbaine		McPherson, 1998	Sacramento, USA	46,91	0,85
		Bruyat, 2011	Lyon (agglo.) France	(55)	-
			Lyon (centre ville) France	(34)	-
		Escobedo, 2004	Pune, Inde	33,4	-
			Santiago, Chili	9	-
			Toronto, Canada	8,7	-
			Santiago, Chili	6	-
		Liu & Li 2012	Shenyang, Chine	33,22	2,84
		Strohbach & Haase, 2012	Karlsruhe, Allemagne	32,3	-
			Leipzig, Allemagne	11,8	-
		Davies *et al.*, 2011	Leicester, Royaume-Uni	31,6	-
		Zhao *et al.*, 2010	Hangzhou, Chine	30,25	1,66
		Nowak & Crane, 2002	Baltimore, USA	25,28	0,52 [0,71]
			Syracuse, USA	22,82	0,54 [0,73]
			Philadelphia, USA	14,09	0,31 [0,43]
			Atlanta, USA	35,74	1,23
			Jersey city, USA	5,02	0,21
			USA moyenne des villes	25,1	-
		Myeong *et al.*, 2006	Syracuse, USA	(22,33)[1]	-
		Whitford *et al.*, 2001	Merseyside, Royaume-Uni	(16,8)	(0,13)
				(11,5)	-
		Kenney & Associates, 2001	Toronto, Canada	(14,25)	(0,45) [0,56)]
		Nowak, 1994	Chicago, USA	14,1	-
		Chaparro & Terradas, 2009	Barcelone, Espagne	11,2	(0,09)
		Nowak, 1993	Oakland, USA	11	-
		Raciti *et al.*, 2012	Boston, USA	10,6	-
		Wang & Lin, 2012	Taïwan, Taïwan	9,25	1,34
		Yang *et al.*, 2005	Beijing (ville centrale), Chine	(7,45)	(0,38)

L'analyse de ce tableau montre une forte hétérogénéité des résultats. À l'échelle des villes, les estimations s'étalent de 5,02 à 46,91 kg C/m2, avec une moyenne de 19,77 kg C/m2. Deux principaux facteurs expliquent ces différences : la structure de la végétation (couverture arborée) ainsi que les modalités de calculs.

L'hétérogénéité des résultats confirment la nécessité d'acquérir des données locales pour évaluer le service de séquestration du carbone. Elle repose aussi la question de l'applicabilité des modèles américains à d'autres zones bioclimatiques.

8.2.3.2 – Évaluations monétaires

A) Méthode de monétarisation à privilégier

Au vu des évaluations existantes, des données disponibles et du calendrier dans lequel s'inscrit le présent travail, la méthode fondée sur l'utilisation de la valeur tutélaire du carbone sera privilégiée.

B) Données nécessaires pour la conduite de l'évaluation

Selon la méthode retenue, et dans l'hypothèse où l'on évalue stockage et fixation, les données nécessaires pour la conduite de l'évaluation sont :

8.2.3.2.b.1) Données biophysiques :

- la capacité de fixation de la végétation urbaine de la ville considérée ;
- la capacité de stockage de la végétation urbaine de la ville considérée ;
- le nombre d'arbres (si l'on retient une capacité de fixation et de stockage moyenne par arbre et que l'on fait du transfert de valeur).

8.2.3.2.b.2) Données économiques :

- la valeur accordée à une tonne de carbone ;
- le taux d'actualisation annuel ;
- le taux de rémunération ;
- le degré de permanence de la fixation considérée ou la prise en compte de l'incertitude ; du fait du caractère non pérenne, une tonne de carbone fixée ne peut être considérée comme équivalente à une émission évitée au sein de l'économie ;
- la période d'évaluation

Il s'agira d'évaluer également l'incertitude liée aux données utilisées /mesurées/ estimées/ projetées.

C) Recherche d'un chiffrage à l'échelle nationale

Questions préalables à l'évaluation :

➔ Comment rendre compte du degré de pérennité de la fixation considérée ?

➔ Evalue-t-on ou non le service de stockage ? Si oui, quel taux de rémunération retient-on ?

➔ Sur quelle durée évalue-t-on le service ?

➔ Comment prend-on en compte le risque ? La prise en compte du risque n'est-elle pas une façon de traiter la problématique de l'impermanence ? Ou s'agit-il plus, dans ce dernier cas, d'incertitude ?

L'évaluation à l'échelle nationale du service, ou plutôt à l'échelle des douze villes retenues pour l'évaluation française des écosystèmes urbains, nécessiterait que l'on dispose des mêmes données pour ces villes [13] que celles mobilisées pour Strasbourg.

De quelle méthode s'inspire-t-on pour valoriser la tonne de carbone fixée et stockée ? De leur côté les Anglais ont multiplié les résultats obtenus en matière de carbone séquestré et stocké par la valeur qu'ils attribuent à la tonne de carbone, soit 62 £.

S'agissant du service de fixation, si la valeur tutélaire française du carbone est utilisée, les résultats obtenus en matière d'évaluation monétaire pour l'année 2012 seraient les suivants :

Tableau 6 :

Évaluation du service de séquestration du carbone pour la ville de Strasbourg
Source : Cerema, 2016

	Strasbourg
Carbone séquestré / an (T)	4 060
CO_2 séquestré / an (T)	14 615
Prix de la tonne de CO_2 en 2012 (€)	36
Évaluation monétaire du service de séquestration du carbone pour l'année 2012 (€)	523 508
Zone d'étude (en ha)	2 170

Avant de pouvoir poursuivre les travaux, et calculer notamment la valeur totale actualisée sur une période de 40 ans, il est nécessaire de savoir dans quelle mesure il est possible de partir sur l'hypothèse d'une capacité de séquestration identique pour les quarante années à venir et de se mettre d'accord sur les différents points cités ci-dessus.

La question de l'évaluation pour les autres villes est délicate, il n'est pas a priori pertinent d'appliquer un transfert de valeur. L'ambition pourrait être d'appliquer l'outil i-Tree éco à l'ensemble des 12 villes françaises.

8.3 – Service Régulation du climat local

8.3.1 – Présentation du service appliquée à l'écosystème urbain

Les végétaux, les sols et l'eau présents au sein de l'écosystème urbain peuvent jouer un rôle significatif dans l'abaissement des températures locales. Ce service de régulation est particulièrement important en ville en raison du phénomène d'îlot de chaleur, (*Cf.* chapitre 3). Il permet d'améliorer le **confort thermique des citadins lors des fortes chaleurs**. Au-delà de cet apport en matière de bien-être et de qualité de vie, il peut aussi contribuer à **limiter les lourdes conséquences sanitaires associées aux épisodes de canicules**, comme les surmortalités (*Cf.* chapitre 17 sur la santé).

Il est cependant important de souligner que **l'influence de la végétation, des sols et de l'eau a un caractère très localisé**. Elle se manifeste principalement au niveau de leur emprise, ce qui constitue un élément important à considérer en termes de stratégie d'adaptation.

8.3.1.1 – Rôle de la végétation

De nombreuses études se sont intéressées au rôle de la végétation en ville sur l'îlot de chaleur urbain, par la modélisation ou la mesure (Laïlle, Provendier, et Colson 2013). Il a, par exemple, pu être démontré que les parcs sont plus frais que les zones qui les entourent, cette différence étant

plus marquée la nuit que le jour (Laïlle, Provendier, et Colson 2013). L'intensité et la netteté de ce phénomène dépendent de la taille et de la composition végétale du parc notamment.

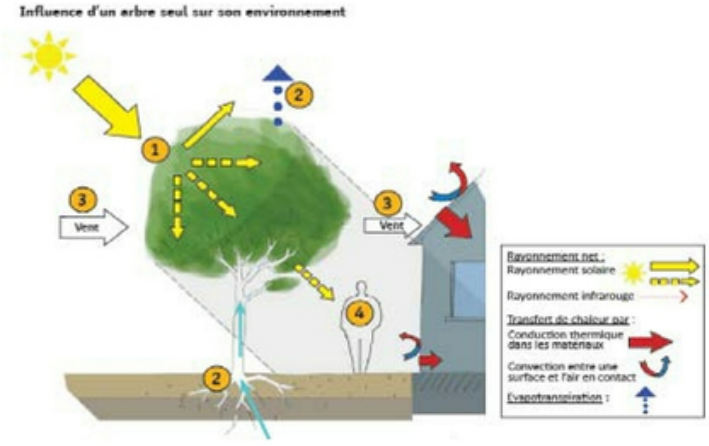
L'abaissement des températures par les végétaux est notamment lié à l'ombrage, à l'évapotranspiration, à un albédo élevé et à l'apport de rugosité sur la circulation de l'air.

La végétation absorbe et réfléchit une partie des rayonnements solaires. De ce fait seule une partie du rayonnement est transmis au sol. **L'ombre** des arbres rafraîchit ainsi l'air sous la canopée et **évite à la population d'être soumise à la chaleur directe du plein soleil**. D'autre part, l'ombre issue de la végétation **évite que les surfaces du sol et des bâtiments accumulent de la chaleur et la dissipent ultérieurement.** De ce fait, les habitants ressentent également un **meilleur confort thermique au sein de leur habitation**. L'intérêt des arbres à feuilles caduques ne se limite pas aux périodes de forte chaleur ; en hiver, l'absence de feuillage permet au rayonnement d'arriver jusqu'au sol et permet un réchauffement, « utile » cette fois-ci.

L'évapotranspiration est un processus qui dissipe une partie de l'énergie solaire en flux d'humidité (*Cf.* chapitre 3). En s'évaporant, l'eau change de phase et consomme de l'énergie : elle **rafraîchit donc l'atmosphère**. En hiver, cette évapotranspiration peut permettre d'humidifier localement l'atmosphère ce qui peut limiter les baisses de température (nocturne en particulier).

En outre, la présence d'arbres autour d'un bâtiment augmente la **rugosité** générale de la surface, réduisant ainsi la vitesse du vent et donc sa force de pénétration tout en facilitant la turbulence (mouvement aléatoire de l'air se superposant au mouvement moyen) : ceci réduit les entrées d'air chaud dans les bâtiments en été et d'air froid en hiver et permet une efficience énergétique accrue (Laïlle, Provendier, et Colson 2013). Cet effet dépend cependant fortement de la configuration locale des quartiers. Il convient toutefois de noter que des arbres isolés peuvent augmenter localement la vitesse du vent (Gross, 1999).

Illustration 11 : Influence d'un arbre seul sur son environnement (Busy et al. 2014)



Le schéma suivant illustre l'influence d'un arbre seul sur son environnement.

La végétation à l'origine du service de régulation du climat local peut se présenter **sous différents aspects :** pelouse, arbre, toitures végétalisées, façades végétalisées, etc. Elle intervient également à **différentes échelles :** arbre isolé, alignement d'arbres, bosquet, forêt urbaine, etc.

Zoom...

... sur les toitures et façades végétalisées :

Les toitures et façades végétalisées ont potentiellement une influence sur les îlots de chaleur. D'une part, elles protègent les bâtiments contre le rayonnement solaire, ce qui limite l'accumulation de chaleur pendant la journée et le réchauffement nocturne de l'air. D'autre part, l'évapotranspiration qui a lieu, en consommant de l'énergie, rafraîchit l'air et diminue les températures de surfaces. L'impact sur le confort thermique extérieur au niveau de la rue est assez limité (De Munck, 2013). En revanche, les toitures végétalisées, du fait de leur pouvoir à la fois isolant pour le bâtiment et évapotranspirant, apparaissent comme l'une des solutions les plus efficaces pour réduire la consommation énergétique liée à l'usage de la climatisation en période de canicule.

NB : Afin d'avoir un réel effet, il est important de souligner que la végétation ne doit pas être en condition de stress hydrique (CNRM 2012).

8.3.1.2 – Rôle des sols

Les sols non imperméabilisés jouent un rôle majeur dans le service de régulation du climat local. Ils ont la capacité de retenir l'eau (notamment les eaux pluviales) temporairement et de les restituer à l'atmosphère par évaporation, ce qui rafraîchit l'air. Par ailleurs, ils sont le support de la végétation urbaine qui participe aussi au phénomène d'évapotranspiration.

Enfin, leur albédo est toujours plus favorable que celle des surfaces asphaltées sombres, qui absorbent et restituent la chaleur (à noter que de nombreux matériaux ont toutefois un albédo plus favorable que des sols nus : bétons, pavés clairs, bois…).

8.3.1.3 – Rôle de l'eau dans la régulation du climat local

Les surfaces d'eau libre peuvent aussi, grâce à leurs capacités de thermorégulation, jouer un rôle pour réduire les conséquences des fortes chaleurs. En effet, en s'évaporant l'eau réduit la température ambiante à proximité. La présence de cours d'eau à ciel ouvert avec l'aménagement de berges attenantes, la mise en place de fontaines ou de jets d'eau, la gestion des eaux pluviales en surface, l'arrosage des rues sont autant de facteurs réduisant la sensation de chaleur (Hendel 2015). Ces différents éléments constituent des **îlots de fraîcheur** permettant d'améliorer les conditions de vie des citadins.

Par ailleurs, comme mentionné précédemment, **la disponibilité de l'eau** dans le sol est un paramètre déterminant pour permettre la régulation de la végétation par évapotranspiration.

8.3.2 – Caractérisations du service

8.3.2.1 – Dimension biophysique, lien avec les indicateurs d'état

À l'échelle de la ville, il est difficile de définir un indicateur simple permettant d'estimer la baisse de température potentielle liée à la végétation et l'eau. Dans la mesure où leurs effets ont lieu localement, ils sont dépendants de la configuration fine des lieux : partie de quartier, orientation des rues, pâté de maison, etc. De ce fait, deux échelles d'évaluation sont envisagées : la ville et l'espace de nature.

A) Au niveau de la ville

Problématique et objet de la quantification :

Si l'on recherche un indicateur simple, l'objectif peut être d'estimer la surface de la ville qui contribue potentiellement à atténuer l'effet d'îlôt de Chaleur Urbain[14] (ICU) et à améliorer le confort urbain en termes de température par le biais de la végétation et de l'eau (surface arborée et enherbée, bassins en eau, surfaces avec jets d'eau, jeux d'eau, fontaine etc.). Il est également possible de se focaliser sur l'arbre en ville, qui joue un rôle important dans le service de régulation du climat local. Dans ce cas, le couvert arboré peut être un moyen d'évaluer le service.

Par le biais de la modélisation et par des approches multi-disciplinaires, il est également possible d'obtenir des résultats plus précis et intégrés à l'échelle de la ville. La démarche nécessite alors des moyens plus conséquents.

Données à recueillir lors d'une évaluation simplifiée :

- surface de végétation pouvant jouer un rôle d'atténuation des ICU et d'amélioration du confort des citadins en période de fortes chaleurs : couvert arboré, surface du territoire en zones naturelles, semi-naturelles et assimilées, surface de toitures végétalisées ;
- surface en eau pouvant jouer un rôle d'atténuation des ICU et d'amélioration du confort des citadins en période de fortes chaleurs : cours d'eau, plan d'eau, zones humides ;
- températures de surface (mesures télédétectés / infrarouge thermique)

Indicateurs susceptibles d'être mobilisés :

- % de surface de la ville qui contribue potentiellement à atténuer les ICU, ou % de surface de la ville qui contribue potentiellement à améliorer le confort thermique des citadins ou % de surface de la ville offrant des îlots de fraîcheur ;
- couvert arboré participant potentiellement à améliorer le confort thermique des citadins

B) Au niveau local

Problématique et objet de la quantification :

Au niveau local, l'objectif est d'estimer la diminution de température induite par la végétation urbaine (et/ou l'eau en surface). Elle peut s'obtenir par des investigations à mener sur le terrain (mesures, enquêtes sur le ressenti des citadins) et/ou à partir de données issues du monde de

la recherche.

Le bien-être rafraîchissant induit par les espaces verts peut aussi indirectement être estimé en observant l'affluence de ces espaces en période de fortes chaleurs (fréquentation, questionnaires permettant de quantifier le ressenti des habitants, les effets bénéfiques locaux, etc.).

Données à recueillir lors d'une évaluation :

- données issues du monde de la recherche sur le lien entre la végétation (et/ou l'eau) et la baisse de température en milieu urbain ;
- mesures de terrain d'écart de températures en lien avec la végétation et/ou l'eau ;
- enquête auprès des citadins sur le ressenti de la température en présence de végétation et/ou de points d'eau ;
- suivi de la fréquentation des espaces verts en période de fortes chaleur. Y a-t-il une différence significative en période de canicule, par exemple ?

Indicateurs susceptibles d'être mobilisés :

- écart de la température locale induite par la végétation urbaine et/ou l'eau (estimé ou mesuré) ;
- écart de la température locale ressentie par les citadins en lien avec la végétation urbaine et/ou l'eau ;
- évolution de la fréquentation des parcs en période de fortes chaleurs.

8.3.2.2 – Dimension socio-économique

A) Service de régulation du climat local et bien-être humain

Le service de régulation du climat local rendu par les espaces de nature en ville, participe au bien-être humain en ce qu'il contribue à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain et ses conséquences, sur la santé des citadins, l'environnement et le bâti.

Dans une synthèse des études réalisées par l'Institut de veille sanitaire (InVS) sur le rôle des îlots de chaleur urbains dans, notamment, la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur (Laaidi 2009), il apparaît que le fait d'habiter dans un quartier plus chaud (c'est-à-dire un ICU), surtout si cette chaleur persiste la nuit et pendant plusieurs jours, multiplie par deux le risque de décès. L'InVS en conclut que les ICU sont la cause d'une forte surmortalité en période caniculaire, et préconise un certain nombre de mesures afin de réduire le risque de surmortalité lié aux vagues de chaleur, parmi lesquelles l'**augmentation des espaces verts**, afin d'atténuer les ICU.

Plus globalement, les ICU ont des conséquences sur l'environnement (détérioration de la qualité de l'air extérieur et intérieur, hausse de la demande d'énergie et en eau potable), la santé (surmortalité mais aussi stress thermique, faiblesses, troubles de la conscience, exacerbation de diverses maladies, etc.) et la durée de vie des matériaux. Or, "Une étude sur la longévité des revêtements urbains montre qu'une couverture arborée protège efficacement l'asphalte, et

permet de réaliser des économies sur les coûts d'entretien en permettant de diminuer la fréquence des réfections de surface (Mc Pherson et al. 2005) aux dires des gestionnaires, ceci est à moduler, car les proéminences créées par les racines des arbres détruisent aussi les chaussées. Il faut donc bien choisir son espèce pour maximiser l'efficacité thermique et limiter les « remontées racinaires »

Ces diverses conséquences constituent autant de coûts pour la société que le service de régulation du climat local rendu par les espaces de nature en ville peut contribuer à diminuer. En effet, les mesures de végétalisation figurent en première place parmi les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains.

B) Exemples d'évaluation économique du service de régulation du climat local en milieu urbain

L'évaluation économique du service de régulation du climat local est généralement appréhendée via les économies d'énergie qu'il génère dans les bâtiments en matière de climatisation et de chauffage.

En effet, « *La présence d'arbres autour d'un bâtiment augmente la rugosité générale de la surfacer et permet une efficience énergétique accrue. D'autres dispositifs végétaux ont un effet sur le microclimat urbain, notamment la végétalisation du bâti et toutes les surfaces perméables végétalisées. Ainsi, les toitures et murs végétalisés contribuent à une meilleure isolation thermique des bâtiments, grâce à l'ombre, l'évapotranspiration et l'épaisseur du substrat* » (Plantes et cités et Val'hor 2013).

Diverses études témoignent de cet impact de la végétation urbaine sur la consommation d'électricité :

D'après une étude menée par l'équipe d'Akbari et Taha qui a examiné par modélisation le potentiel d'utilisation de la végétation et des matériaux à hauts albédos dans quatre villes canadiennes […] afin de lutter contre les îlots de chaleur et de minimiser les besoins des climatisations et de chauffage […], une augmentation du taux de végétalisation de 30 %" et "une augmentation de l'albédo des matériaux des bâtiments de 20 % (soit un albédo moyen) pouvaient générer des économies d'énergie liées au chauffage et à la climatisation de 10 % et de 35 % respectivement" (Institut national de santé publique du Québec 2009).

La création de zone d'ombre et coupe-vent par les espaces de nature en ville peuvent engendrer une réduction des dépenses de chauffage et de climatisation allant de 4 à 22 % pour les premières et de 10 à 50 % pour les secondes (Relf, 1996, cité dans Land Use consultants, 2004, cité dans cdc biodiversité, 2015) (Caisse des dépôts - Mission Economie de la biodiversité 2015).

"Les forêts urbaines peuvent avoir cet impact à travers la création de zones d'ombre […] qui, selon une étude américaine […] engendrent une économie estimée à 29 $ (environ 25 euros) par ménage en climatisation au cours de l'été (équivalent à 250 kWh), et 9 % de la totalité des frais relatifs à l'air conditionné. Le US Forest Service estime qu'une forêt urbaine dans la ville de New-York engendre des économies d'énergie de 27 millions de dollars grâce aux zones ombragées qu'elle crée" (Treeconomics London 2015).

Le service de régulation du climat local pourrait également être évalué via les coûts environnementaux et sanitaires qu'il permet d'éviter.

Enfin, il pourrait être évalué comparativement à ce que coûteraient d'autres mesures pour diminuer le phénomène d'îlot de chaleur urbain (mesures touchant les bâtiments intégrant une protection contre la chaleur ou les matériaux utilisés dans le cadre des infrastructures routières).

L'évaluation du service de régulation du climat local rendu par la végétation urbaine de Londres (Treeconomics London 2015)

En 2015, la Chambre des lords britannique a publié une étude sur les services rendus par la végétation londonienne, parmi lesquels le service de régulation du climat local rendu par les arbres urbains. S'appuyant sur l'outil i-Tree Eco, le service est évalué en termes d'économies d'énergie réalisées dans les bâtiments (exprimées en MWH [15], en MBTU [16] et en £) et d'émissions de carbone évitées. L'expression monétaire des économies d'énergie réalisées dans les bâtiments est fondée sur le prix du MWH (149,20 £/MWH) et le prix du MBTU (14,06 £/MBTU).

En synthèse, la végétation urbaine londonienne permet d'éviter 260 600 £ de dépenses énergétiques (302 451 € [17]) et l'émission de 882 tonnes de carbone, valorisées 54 684 £ (63 466 € [18]) (soit 62 £ la tonne de carbone, supra).

i-Tree Eco modélise la position des arbres, leur orientation et leur distance par rapport aux bâtiments pour déterminer l'impact de la forêt urbaine sur l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, en termes de chauffage et d'air conditionné.

Les principaux résultats de l'étude relatifs au service de régulation du climat local sont résumés dans les tableaux ci-après :

Tableau 7 :

Végétation urbaine de Londres - Evaluation du service de régulation du climat local - Effets des arbres en termes de consommations énergétiques sur les bâtiments situés à leur proximité (par an) (Treeconomics London 2015)

		Chauffage	Climatisation	Total
Inner London	MBTU	- 47 221		- 47 221
	MWH	- 2 613	8 560	5 947
	Carbone évité (en tonnes)	- 806	1 186	380
Outer London	MBTU	- 113 561		- 113 561
	MWH	- 6 715	17 671	10 956
	Carbone évité (en tonnes)	- 1 949	2 451	502
Greater London	MBTU	- 160 782		- 160 782
	MWH	- 9 328	26 231	16 903
	Carbone évité (en tonnes)	- 2 755	3 637	882

Les résultats relatifs au chauffage, négatifs, expriment le fait que les arbres peuvent, à l'inverse, générer des consommations de chauffage supplémentaires en hiver.

L'évaluation du service de régulation du climat local rendu par la forêt urbaine New-Yorkaise (United States Department of Agriculture 2007)

Le département américain a développé le modèle UFORE (Urban Forest Effects) afin de pouvoir évaluer les différents bénéfices relatifs aux forêts urbaines.

Les résultats obtenus en matière d'économies d'énergie et d'émissions de carbone évitées sont résumés dans le tableau ci-après.

L'étude rappelle que, selon leur localisation autour du bâtiment, les arbres peuvent diminuer ou augmenter les consommations énergétiques hivernales.

Tableau 8 :

Forêt urbaine new-yorkaise - Évaluation du service de régulation du climat local
Consommations énergétiques et émissions de carbone évitées (par an)
(United States Department of Agriculture 2007)

	Chauffage	Climatisation	Total
MBTU	- 137 400		- 137 400
MWH	- 1 900	82 900	81 000
Carbone évité (t)	- 2 600	11 700	9 100

Tableau 9 :

Forêt urbaine new-yorkaise - Evaluation du service de régulation du climat local - Dépenses énergétiques évitées et valorisation des émissions de carbone évitées (par an) (United States Department of Agriculture 2007)

	Chauffage ($)	Climatisation ($)	Total ($)	Total (€)
MBTU	- 1 263 000		- 1 263 000	- 1 125 866
MWH	- 294 000	12 788 000	12 494 000	11 136 776
Carbone évité (t)	- 49 000	216 300	167 000	148 859

In fine, le service de régulation du climat local permet d'économiser 11,2 millions de $ (10,01 millions d' €) par an en termes de dépenses énergétiques et d'éviter l'émission de 9100 tonnes de carbones valorisées 167 000 $ (148 859 € par an).

Comparaison coûts-bénéfices de la forestation urbaine comme stratégie d'atténuation des îlots de chaleur

Impact sur la consommation énergétique d'une stratégie de végétalisation -Extrapolation d'une valeur de référence

Dans une étude (Bélanger Michaud 2013) portant sur la comparaison coûts-bénéfices de la forestation urbaine comme stratégie d'atténuation des îlots de chaleur, l'auteur procède à un transfert de valeur.

Extrait :

"Une autre étude, canadienne cette fois, provenant de la division Parks, Forestry & Recreation à la Ville de Toronto, conclut que ses 10,2 millions d'arbres permettent la diminution de la consommation énergétique de 41 200 mégawattheures (MWh) au total pour une valeur de 9,7 millions de dollars canadiens par an, dont 6 400 MWh pour le chauffage en hiver et 34 800 MWh pour la climatisation l'été (Burkhardt, 2009). Cela donne une moyenne de 0,004 MWh ou plus précisément 4,039 kilowattheures (kWh) économisé par arbre pour une année. De façon très préliminaire, en reportant cette même proportion d'énergie économisée par arbre à l'arrondissement RPP, nous pourrions extrapoler que les 26 464 arbres permettraient d'économiser 106 894 kWh, à 0,0682 $ par kWh ce qui équivaut à 7290 $ d'économie par année correspondant à 0,28 $ par arbre par an [19].

S'il paraît discutable de faire du transfert de valeur à partir du calcul d'une moyenne par arbre de la quantité d'énergie économisée, il serait intéressant de tester l'outil i-Tree sur une sélection de villes françaises.

Économie d'énergie en lien avec les toitures végétalisées :

"*les toitures végétalisées, du fait de leur pouvoir à la fois isolant pour le bâtiment et évapotranspirant, apparaissent comme une des solutions les plus efficaces pour réduire la consommation énergétique liée à l'usage de la climatisation au cours de la canicule : elles permettent de diminuer d'environ 12 % la consommation totale d'énergie sur la durée de la canicule et de 13 % la demande maximale au plus chaud de la canicule*."

Mortalité évitée en lien avec la Nature en ville EV : Cf.

"'*épisode de canicule peut entraîner une* ***sur-mortalité*** *comme ce fut le cas en France lors de la canicule exceptionnelle survenue entre le 1er et le 20 août 2003 (14 800 décès supplémentaires, soit une sur-mortalité de 60 %). En milieu urbain, les impacts de la canicule ont été accentués avec une* ***surmortalité de 134 % en île de France****, soit plus du double de la moyenne nationale (Cf. Fig. 9). Notons qu'en Île-de-France, cet épisode de canicule s'est cumulé à une importante pollution à l'ozone entre le 1er et le 14 août (qui serait responsable de 7 % de la surmortalité survenue entre le 3 et le 17 août 2003 à Paris et en proche couronne)"*

+ "un écart de 1 °C n'est pas anodin en termes de mortalité car l'InVS estime qu'une hausse de 1°C aurait aggravé le risque de 80 % pendant la canicule d'août 2003"

C) Les méthodes de monétarisation mobilisables

8.3.2.2.c.1) Les méthodes fondées sur les coûts

Ces méthodes déduisent la valeur d'un service écosystémique à partir, notamment, des dépenses évitées grâce au service écosystémique ; dans le cas présent, les dépenses évitées correspondent aux économies de chauffage et de climatisation réalisées grâce au service de régulation du climat local. Elles correspondent également aux dépenses évitées grâce aux tonnes de carbone non émises. **Elles pourraient inclure les dépenses/coûts sanitaires évité(e) s mais il existe un risque de double-compte avec le service de régulation de la qualité de l'air pour certaines pathologies (bien que le rôle de la végétation soit double avec**

une diminution des températures localement en période de canicule et une régulation de la qualité de l'air).

La végétation permet de diminuer les taux de morbidité et de mortalité liés aux chaleurs intenses. "Cependant, il importe de mentionner que les bienfaits en matière de santé permis par le rafraîchissement de la température ne peuvent être considérés sans tenir compte préalablement de l'apport conjoint d'un autre service *environnemental* apporté par la végétation, soit celui de la séquestration des poussières et polluants atmosphériques […] La raison étant qu'il est difficile, voire impossible, de départager la part de responsabilité de la chaleur ou des polluants de l'air sur les cas de mortalité et de morbidité, d'autant que ces 2 facteurs accentuent les effets toxiques de l'un et de l'autre" (Bélanger Michaud 2013).

Par exemple, Léa Tardieu, économiste, propose d'évaluer le service de régulation du climat local fourni par le végétal via les dépenses de climatisation : A Chicago, par exemple, il a été estimé qu'un large arbre de trottoir, situé à l'ouest d'une résidence en brique typique de la ville, pouvait réduire la demande annuelle en énergie de climatisation de 2 à 6 % (McPherson et al. 1997). En outre, il est estimé que les dépenses de climatisation en Europe sont d'environ 14 euros/personne/an (INSEE). La taille moyenne des ménages étant de 2,3 personnes, cela fait donc environ 1,3 euros/ménage/an (4 %*14 × 2,3), valeur que l'on applique aux ménages situés en bordure du parc pour évaluer les dépenses de climatisation économisées ou les dépenses de climatisation engendrées par la perte du service.

Perte annuelle du service = [nombre de ménages alentours du parc (10 m)* Valeur (€/ménage)]

Perte totale = Valeur annuelle actualisée sur période choisie (durée d'exploitation + durée travaux) avec évolution des prix (au même rythme que le Pib/tête avec une élasticité de 0,5)

Variation spatiale = Pas de variation spatiale de la valeur mais variation du nombre de ménage

8.3.2.2.c.2) Les méthodes fondées sur le transfert de valeurs

Ces méthodes consistent à transposer à un cas d'étude des valeurs calculées pour un autre cas d'étude en utilisant une ou plusieurs méthodes d'évaluations économiques. Dans le cas présent, il pourrait s'agir de transposer la quantité moyenne d'énergie économisée par arbre et de la multiplier ensuite par le prix du kWh d'électricité.

Toutefois, "les économies d'énergie générées par la végétation, varient d'un territoire à l'autre, car elles sont dépendantes de plusieurs facteurs dont l'espèce et la maturité, l'emplacement géographique, le climat, le coût local de l'électricité, l'étendue de l'utilisation de climatiseurs, etc. Ainsi, la valeur économique du verdissement dans une ville où la climatisation est plutôt absente n'aura pas les mêmes retombées qu'à un endroit où son utilisation est généralisée. De même, les régions dont le climat est chaud à l'année bénéficieront davantage des bienfaits économiques en matière d'efficacité énergétique. D'autre part, plus le coût de l'électricité sera élevé, plus les économies relatives à l'apport de la végétation seront substantielles. Ainsi, une ville qui ne connaît pas de saison froide et dont le thermomètre atteint souvent des températures très élevées, bénéficiera davantage des bienfaits économiques de la végétation, et ce d'autant plus si l'utilisation de climatiseurs y est déjà grandement répandue, le tout combiné à un coût élevé d'électricité. Dans

de telles conditions, les économies seront supérieures par rapport aux dépenses qui prévalaient avant un verdissement. Néanmoins, les villes qui connaissent une saison hivernale peuvent bénéficier d'économies d'énergie durant la saison froide en plus de la saison chaude, moyennant un emplacement optimal de la végétation[20] ".

En d'autres termes, il paraît difficile d'avoir recours à cette méthode, compte tenu des spécificités socio-économiques et biophysiques de chaque pays voire de chaque région.

D) Exemple d'évaluation française pour d'autres écosystèmes : L'évaluation du service de régulation du climat local rendu par les dépendances vertes[21] des infrastructures linéaires de transport (Labarraque 2016)

Dans un travail portant sur l'évaluation des services de régulation rendus par les écosystèmes qui bordent l'autoroute A10, entre Chambray-lès-Tours et Veigné (environ 3 km), l'auteur a notamment évalué le service de régulation du climat local rendu par les alignements d'arbres, haies et petits bois, en lui affectant une valeur de 39 €/ha. Multiplié par le nombre d'hectares d'alignements d'arbres, haies et petits bois (soit 5,87 hectares) le service de régulation du climat local est évalué à 229 €/an.

Cette valeur de service de 39 €/ha a été calculée en utilisant les statistiques agricoles de la base Agreste et les prix de marché des diverses productions. En effet, le service de régulation du climat local correspond ici au rôle de protection joué par les haies vis-à-vis des cultures adjacentes en matière d'effet brise-vent, ces haies permettant d'augmenter le rendement agricole de 5 à 30 % par rapport à une situation sans haie (Tardieu 2014). Un autre rôle important des haies est le maintien des sols au travers de la régulation du ruissellement. La valeur de 39 euros peut donc être rattachée à plusieurs services de nature différentes.

8.3.3 – *Principaux déterminants du niveau de service*

8.3.3.1 – Lien avec les espaces de nature

Tableau 10 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	Terrain vague (Vocation zone AU du PLU)	Espace vert ordonné ou horticole	Éco-parc		Espace naturel (ex pas du loup à Metz, sans gestion, espace classé en zone N par exemple au PLU)
				sans gestion alternative des eaux	avec gestion alternative des eaux	
- taux imperméabilisation - taux de couvert arboré ;		1 : peu de végétation arborée donc moindre ombrage et moindre évapotranspiration. Sol plus ou moins imperméabilisé pouvant diminuer l'évaporation	3 à 4 : Service potentiellement fort en fonction du volume et de la densité des sujets arborés notamment anciens. Le service est plus faible lorsque la végétation est basse mais reste important compte tenu du contexte urbain.	3 à 4 : Service potentiellement fort en fonction du volume et de la densité **des houppiers des sujets notamment anciens**. Le service est plus faible lorsque la végétation est basse mais reste important compte tenu du contexte urbain. La présence d'eau en surface peut renforcer le service.		

Tableau 11 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	MH asséché	MH peu aménagé et dégradé	MH préservé ou artificiel		MH naturel (ex : La petite Amazonie à Nantes)
				aménagé et gestion équilibré	Base de loisir (ayant vocation à accueillir du public)	
		1 à 2 : variable suivant la nature du milieu, qui se développe.	2 : Milieu souvent peu fréquenté avec service moindre.		3 à 4 : Service potentiellement fort notamment si conjugaison de la présence d'eau libre à des espaces arborés.	

8.3.3.2 – Détail des principaux déterminants

Comme mentionné précédemment, les caractéristiques du milieu urbain modifient les caractéristiques de la végétation (moindre taille, moindre port). Le service de régulation rendu par la végétation (apport d'ombrage notamment) est ainsi directement réduit par rapport à

des végétaux exposés à des conditions de vie plus favorables. Les surfaces artificialisées (tassement, imperméabilisation) sont également moins favorables à l'expression de ce service par rapport à des sols naturels.

D'une manière générale, toutes les pressions susceptibles de porter atteintes à la végétation et de réduire les conditions hydriques des sols (changement climatique, qualité de l'air, etc.) peuvent limiter le service de régulation du climat local.

Au-delà de ces aspects, différents facteurs sont susceptibles d'optimiser le service de régulation rendu par l'écosystème urbain.

A) Facteurs influençant l'évapotranspiration

Ce mécanisme dépend du type de plantes mais également des conditions climatiques et édaphiques : plus le sol est humide – s'il est présent ce qui n'est pas le cas général en milieu urbain -, plus l'eau s'évapore du sol et plus les plantes évapotranspirent (Vergriete et Labrecque 2007).

L'imperméabilisation des sols fortement présente en milieu urbain constitue un frein pour l'expression du service de régulation du climat local. Les sols imperméables favorisent le ruissellement des eaux pluviales au détriment de l'infiltration, qui présente l'avantage de permettre un stockage temporaire dans les couches supérieures du sol et donc une potentielle évaporation ultérieure.

En milieu urbain, l'évapotranspiration peut aussi être fortement réduite en raison des **faibles proportions de surfaces végétalisées** et de la **faible présence de l'eau en surface (cours d'eau, mare, étang, zones humides**, etc.).

L'augmentation des surfaces végétalisées (végétation, arbres, toitures végétalisées, façades végétalisées, etc.), le développement de surface en eau ainsi que la diminution de l'imperméabilisation des sols font partie des facteurs permettant d'augmenter les phénomènes d'évaporation et/ou d'évapotranspiration et ainsi de contribuer au rafraîchissement de l'air ambiant au sein des villes. Par conséquence, la gestion de l'eau (techniques alternatives ou tout tuyau) modifie aussi fortement l'évapotranspiration

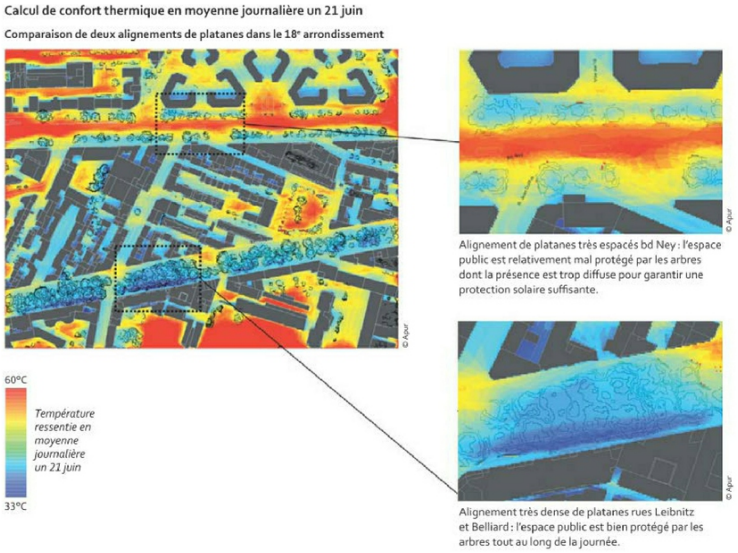
B) Facteurs influençant l'ombrage perçu par les habitants et usagers

La surface du couvert arboré et sa répartition au sein d'un écosystème urbain rend directement compte de la potentialité du service fourni par la végétation, contrairement à la végétation basse, qui a un rôle limité ici. Soulignons que le caractère très local des effets de l'ombrage est un élément essentiel à considérer en termes de stratégie d'adaptation : Souhaite-t-on privilégier le service de régulation au sein de vastes parcs urbains ou préfère-t-on répartir la végétation sur l'ensemble du territoire pour qu'un maximum de citadins bénéficie du service au quotidien ? Toutes les situations intermédiaires étant possibles.

D'autres facteurs influencent également l'ombrage perçus par les usagers :

La densité de plantation est un paramètre important à considérer en raison de son impact direct sur les ombres induites et sur le confort thermique. Les schémas suivants, issus de l'étude de l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) (APUR 2014) sur les ICU à Paris, comparent le confort thermique ressenti moyen au niveau de deux alignements d'arbre de la même espèce (le platane). L'alignement clairsemé est ressenti de manière inconfortable par rapport à des plantations plus denses.

Illustration 12 : Calcul de confort thermique en moyenne journalière un 21 juin - Comparaison de deux alignements de platanes dans le 18e arrondissement de Paris (APUR 2014)



Le programme Veg-DUD (*Cf.* ci-après) souligne également que la configuration de l'alignement détermine l'importance des effets. Des houppiers continus créent un effet d'écran qui maximise l'ombrage et la diminution du vent dans la rue.

La nature des essences : Lors de la conception d'un espace vert ou d'un alignement d'arbres, le choix de l'essence est essentiel, car il détermine la surface ombragée qui sera produite. Les caractéristiques du feuillage influençant le plus l'interception des rayonnements solaires sont la surface foliaire et la densité foliaire. Plus la surface foliaire de la végétation est grande, plus celle-ci peut potentiellement intercepter les rayonnements. La densité d'une canopée a également une influence sur la quantité de rayonnements réfléchis et absorbés : une canopée dense et épaisse intercepte jusqu'à 98 % du spectre de la lumière alors qu'une canopée légère en intercepte 60 à 80 % (Vergriete et Labrecque 2007)). Enfin, le port des arbres joue aussi un rôle important dans l'interception des rayonnements solaires puisqu'il détermine la surface occupée par l'ombre projetée des houppiers.

Soulignons que, pour que le choix des essences soit durable, il convient que les espèces retenues soient adaptées au climat actuel et futur (*Cf.* changement climatique). Quelques exemples sont fournis ci-dessous :

Illustration 13 : Pourcentage d'ombrage pour différentes espèces arborées (source : APUR)

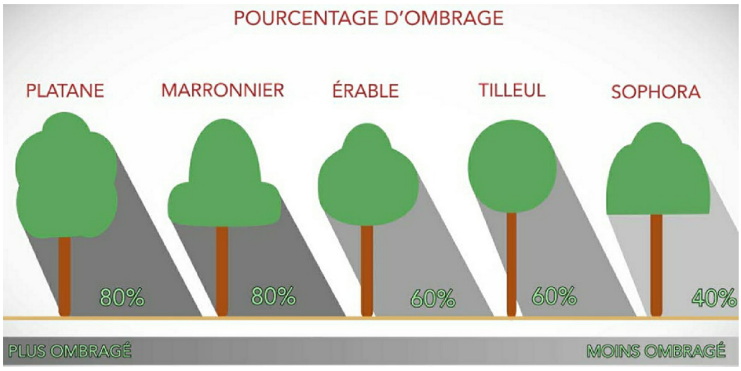
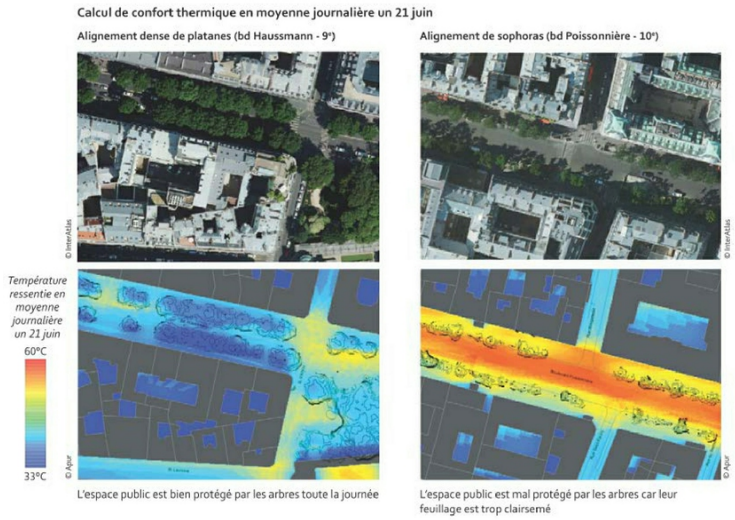


Illustration 14 : Calcul de confort thermique au niveau d'alignements d'arbres d'espèces différentes (APUR 2014)

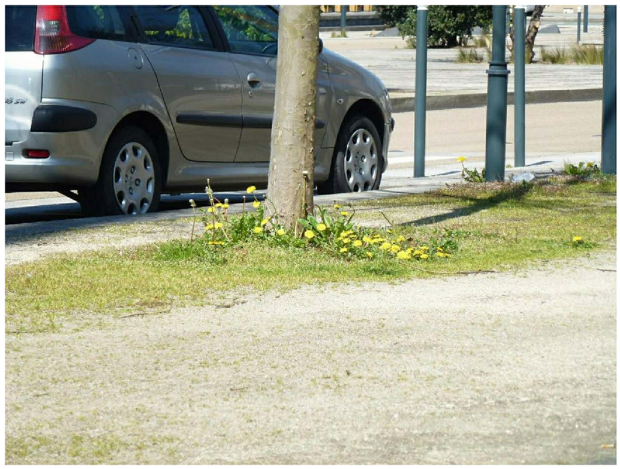


La localisation de la végétation par rapport aux usagers doit être prise en compte pour qu'ils puissent réellement bénéficier du confort thermique associé. En effet, le service ne sera fourni que si l'ombre générée atteint effectivement l'usager. Par ailleurs, le niveau de service sera d'autant plus important que l'ombrage interviendra au moment où l'usager potentiel est présent et/ou la chaleur est la plus forte.

L'exposition et la distance de la végétation par rapport aux façades influencent les consommations d'énergie et le confort dans la rue (programme Veg-DUD). Plus les arbres protègent les façades, moins le passant reçoit de rayonnement solaire réfléchi et de rayonnement infrarouge en provenance de celles-ci. De même, les façades interagissent moins entre elles. Pour optimiser la régulation thermique liée aux arbres d'alignement, les résultats du programme démontrent qu'il peut être intéressant de raisonner l'aménagement des rues de façon non symétrique en prenant en compte leur orientation.

C) Liens avec les pratiques de gestion des espaces de nature en ville

L'entretien courant ou pour des raisons de sécurité de la végétation arborée (élagage notamment) peut limiter le service de régulation du climat local, réduisant l'apport d'ombrage et l'évapotranspiration.



La gestion des pourtours des pieds des arbres peut aussi influencer le rôle de régulation de la végétation. En effet, des surfaces imperméables mises en place en pourtour immédiat des pieds d'arbres, pour faciliter l'entretien ultérieur, modifient les conditions hydriques des sols et peuvent minimiser l'évapotranspiration. A contrario, des pieds d'arbres végétalisés optimisent potentiellement le service.

L'arrosage de la végétation (à partir d'eaux pluviales ou non potables) et des sols peut permettre d'optimiser l'évapotranspiration.



Ex : À titre, d'exemple, l'aménagement de la *rue Garibaldi à Lyon* (*Cf.* Photo) prévoit l'utilisation d'un stockage d'eaux pluviales (réaffectation du rôle des anciennes trémies) pour arroser la végétation en période de canicule. Il s'agit d'optimiser le phénomène d'évaporation. Une étude est en cours pour mesurer le service de régulation rendu.

Plus largement, les politiques en faveur de la protection des sols et de la nature en ville sont particulièrement favorables à l'expression du rôle de régulation thermique joué par les sols (albédo, phénomène d'évaporation). Les outils de planification d'urbanisme jouent un rôle important notamment en fixant des règles visant la limitation de l'imperméabilisation nouvelle et de protection ou développement de la végétation. Il est également possible d'agir sur les surfaces imperméables existantes, notamment en les désimperméabilisant.

Ex : Le *SDAGE Rhône Méditerranée* est particulièrement innovant sur ce sujet. La disposition 5A-04 vise à "éviter, réduire et compenser l'impact des nouvelles surfaces imperméabilisées". Il incite les documents de planification d'urbanisme à désimperméabiliser des surfaces existantes en compensation de l'ouverture de zones à l'urbanisation. La valeur cible de compensation par désimperméabilisation à atteindre est très ambitieuse. Elle est fixée à 150 % de la nouvelle surface imperméabilisée suite aux décisions d'ouverture à l'urbanisation.

La gestion des eaux pluviales, avec l'utilisation des techniques alternatives (noues, fossés, etc.) est aussi un moyen de favoriser la rétention des eaux en surface et l'évapotranspiration. A contrario, les systèmes classiques de gestion des eaux pluviales, qui consistent à les évacuer le plus rapidement possible en souterrain, **modifient ainsi la condition hydrique des sols, la possibilité d'évaporation et le rafraîchissement associé.** Les techniques alternatives présentent de nombreux autres avantages : régulation des inondations, régulation de la qualité de l'eau, amélioration du cadre de vie, etc.

8.3.4 – Valeurs de services et discussion

8.3.4.1 – Évaluations locales

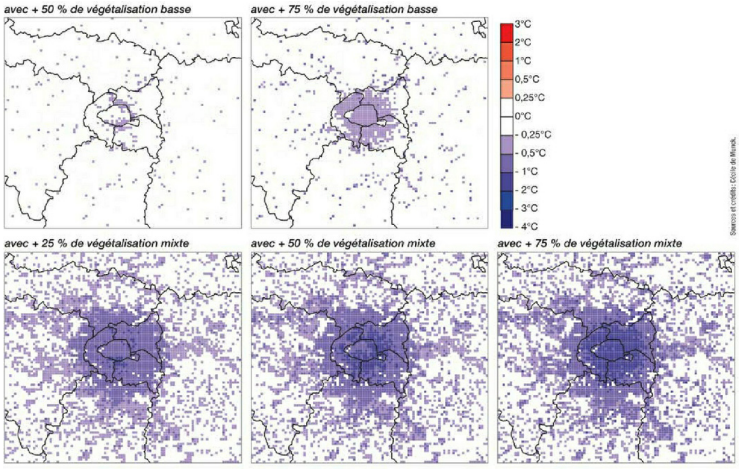
De nombreuses études mettent en évidence les gains thermiques induits par l'eau et la végétation. Quelques exemples sont présentés ci-dessous :

A) Amélioration du confort thermique avec la végétation

- **Gain thermique induit par la végétation en Ile-de-France en période de canicule** (De Munck 2013). À partir de différents scenarios de végétalisation utilisés en Île-de-France dans un contexte de canicule, plusieurs conclusions ont pu être émises :
- le rafraîchissement est d'autant plus marqué que le taux de végétalisation est élevé, allant de **0,25 °C à 2 °C**, selon le taux et la localisation de la végétation dans l'agglomération parisienne ;
- la végétation mixte arborée (40 % d'arbres feuillus et 60 % de végétation basse et moyenne) est nettement plus efficace que la végétation basse ;

- les toitures végétalisées n'ont un réel impact sur la température dans les rues au niveau des piétons que si elles sont arrosées, impact qui reste malgré tout très limité : **de -0,25 °C à -0,5 °C** ;
- les toitures végétalisées, du fait de leur pouvoir à la fois isolant pour le bâtiment et évapotranspirant, apparaissent comme une des solutions les plus efficaces pour réduire la consommation énergétique liée à l'usage de la climatisation au cours de la canicule : elles permettent de diminuer d'environ 12 % la consommation totale d'énergie sur la durée de la canicule et de 13 % la demande maximale au plus chaud de la canicule.
- l'augmentation des surfaces végétalisées de pleine terre en ville limite aussi le stress thermique dans les rues (par exemple, augmenter le taux de végétalisation des surfaces urbaines de 25 % à 75 %, avec de la végétation basse, permet **de diminuer d'une demi-heure le temps moyen passé pour un individu en stress thermique extrême au soleil, ou en stress thermique très élevé à l'ombre**).

Illustration 15 : Variations de température nocturne selon les scénarios de végétalisation, focus sur la région Île-de-France (De Munck 2013)



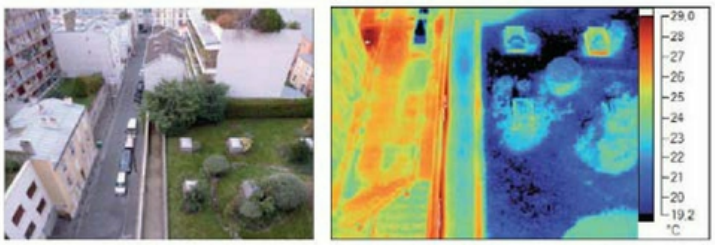
Variations de température minimale nocturne dans les rues, à 2 m du sol, obtenues par la végétalisation de 25, 50 et 75 % des surfaces disponibles au sol, avec de la végétation basse ou de la végétation mixte arborée.

- **Le cas des alignements d'arbres, des toitures et façades végétalisées** (Résultats du programme VegDUD) (M. Musy 2014).

Le programme de recherche VegDUD a notamment mis en évidence **l'influence des arbres d'alignement sur le confort dans la rue**. Pour l'ensemble des scenarii étudiés (différentes orientations de la rue, différentes hauteurs et largeurs de la rue) et dans des conditions sans manque d'eau, les arbres d'alignement permettent de **diminuer la température de l'air de quelques degrés**. **En ce qui concerne les surfaces au sol, la diminution des températures à l'ombre peut dépasser les 10°C** et ainsi améliorer significativement le confort dans la rue.

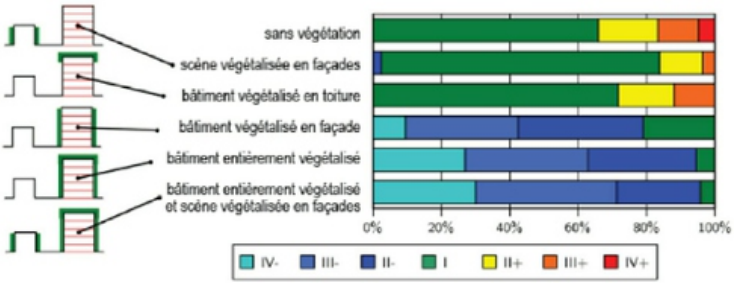
Le programme Veg-DUD a également étudié la différence de température entre la surface de **toitures végétalisées** et l'air ambiant et a montré que le bénéfice réel est très dépendant de la nature du substrat (humide ou sec) et que la quantité d'eau disponible est déterminante en période estivale.

Illustration 16 : Thermographie d'une toiture végétale (APUR 2012). La température de surface de la toiture végétale est de **5 à 10° C inférieure** à la température des surfaces dans la rue en contrebas.



Concernant les **façades**, les résultats montrent que les parties végétalisées ne se réchauffent pas sous l'influence du rayonnement solaire. L'effet sur la température de l'air de la rue est faible mais la diminution des émissions du rayonnement infrarouge depuis les façades vers les passants améliore son confort thermique. **La protection d'un bâtiment (mal ou pas isolé) par des surfaces végétales permet d'améliorer le confort à l'intérieur de celui-c**i. L'effet des toitures ne se limite pas au dernier étage et la végétalisation des bâtiments en vis-à-vis a également un impact.

Illustration 17 : Impact des toitures et façades végétalisées sur le confort thermique à l'intérieur des bâtiments pour une semaine chaude (maximum de 30°C) mais pas caniculaire (la température passe sous les 20°C chaque nuit) et pour un bâtiment sans isolation.



Légende : I correspond à des conditions thermiques agréables, IV- à un inconfort froid, et IV+ à un inconfort chaud et II et III sont des conditions intermédiaires considérées comme acceptable (Malys 2012)).

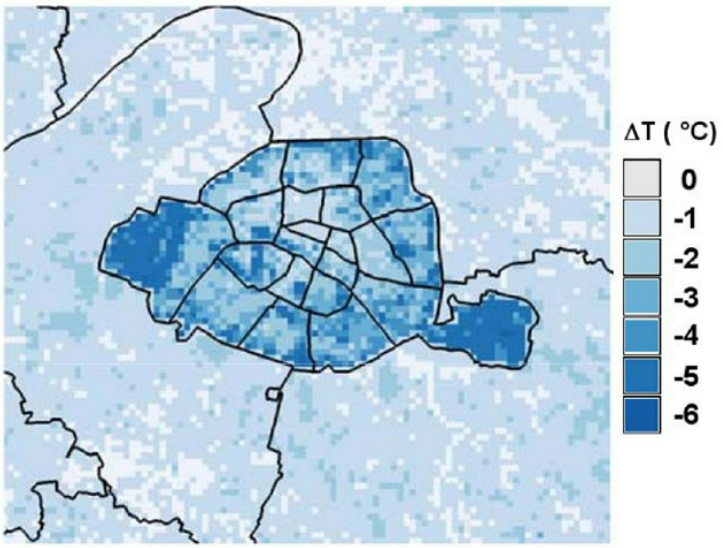
NB : L'apparition d'inconfort froid mis en évidence par les résultats est facilement évitable en aérant durant la journée (apport d'air chaud depuis l'extérieur).

- **Gain thermique induit par la végétation et l'eau à Paris en période de canicule** (projet EPICEA, 2012) (CNRM 2012)

L'objectif central du projet EPICEA est de quantifier l'impact du changement climatique à l'échelle de la ville et l'influence du bâti sur le climat urbain, en étudiant un épisode climatique extrême - la canicule 2003 - afin de proposer des stratégies d'adaptation. Dans ce projet, le modèle Town Energy Balance (TEB, Masson, 2000) a été utilisé.

Une étude d'un scénario de verdissement (végétalisation des espaces de sol nu disponibles et de la moitié de la surface des rues dites larges) sur l'effet d'îlot de chaleur urbain en contexte de canicule montre que **le verdissement de la ville n'a un impact que si la végétation est maintenue dans un état permettant l'évapotranspiration** (absence de stress hydrique). Avec un arrosage suffisant, on obtient ainsi un **impact très important en journée (-1 à 3°C)** et ce d'autant plus que le taux de végétation est élevé. Par contre, il ne se transmet que très peu verticalement et **reste cantonné aux basses couches de l'atmosphère**.

Illustration 18 : Baisse maximale des températures à 2m (en °C) en journée obtenue en ajoutant de la végétation et en l'arrosant. (CNRM 2012)



B) Autres données chiffrées sur la régulation du climat local

Une étude réalisée dans la ville de Munich par Stephen Pauleit et Friedrich Duhme (Pauleit et Duhme 2000) montre qu'une augmentation de 10 % de la surface végétalisée abaisse la température de 1°C dans un rayon de 100m (Boutefeu 2007a). Or, un écart de 1 °C n'est pas anodin en termes de mortalité car, comme cela a déjà été évoqué l'InVS estime qu'une hausse de 1°C aurait aggravé le risque de 80 % pendant la canicule d'août 2003.

Le tableau suivant recense quelques données chiffrées relatives aux effets de la végétation sur la température des milieux urbains :

Illustration 19 : Écarts de température pouvant être reliés à la présence de végétation surfaces végétales

Lieu	Type de végétation	Baisse de température	Auteurs
Valence	Espaces verts	-2,5 °C au sein des espaces verts par rapport au centre ville	Gomez et al. (1998)
Montréal	Parcs urbains	-2,5 °C au sein des parcs urbains par rapport aux zones habitées environnantes	Taha et al. (1997)
Tokyo	Espaces végétalisés	-1,6 °C en été dans espaces végétalisés par rapport aux espaces non végétalisés	Taha et al. (1997)

Illustration 20 : Étendue des effets selon l'échelle des espaces de nature (D. Cuny et Cuny 2013)

Lieu	Type de végétation	Baisse de température	Auteurs
Valence	Espaces verts	-2,5 °C au sein des espaces verts par rapport au centre ville	Gomez et al. (1998)
Montréal	Parcs urbains	-2,5 °C au sein des parcs urbains par rapport aux zones habitées environnantes	Taha et al. (1997)
Tokyo	Espaces végétalisés	-1,6 °C en été dans espaces végétalisés par rapport aux espaces non végétalisés	Taha et al. (1997)

C) Synthèse de quelques données quantitatives biophysiques recensées

Tableau 12 :

Synthèse de quelques données quantitatives recensées

Source	Facteur modificatif produisant le service	Quantification du service
Veg DuD	Alignement d'arbre	- réduction de quelques degrés de T°air - reduction d'une dizaine de degré pour les surfaces (amélioration du confort thermique)
Veg DuD	Toitures végétalisées	- 5 à 10°C entre surfaces toitures et surface dans la rue en contrebas
Veg DuD	Façade	- Faible effet sur T° de l'air - amélioration du confort thermique pour les passants (par moindre rayonnement infrarouge depuis les façades) - amélioration du confort thermique à l'intérieur des bâtiments (mal ou peu isolé)
Thèse de Munck/Musace/VegDuD	Végétalisation	- rafraîchissement d'autant plus marqué que le taux de végétalisation est élevé - 0.25 à - 2°C selon localisation et taux de végétalisation - végétation arborée plus efficace que végétation basse
Thèse de Munck/Musace/VegDuD	Toitures végétalisées	- 0.25 à -0.5°C air au niveau des piétons (si arrosées) - 12 % de consommation totale d'énergie sur durée canicule - 13 % conso au plus chaud de la canicule
Epicea	Apport de végétation arrosée	- 1°C à -3°C en journée (à 2m du sol)
Epicea	Arrosage des rues	- 0.5°C en moyenne - 1 à -2°C en instantané
Grand Lyon (Quartier Buire)	Arrosage des rues	- 3 à -5°C (T° de la chaussée au sol) - 0.5°C ressentie par piéton
S. Paulet et F. Duhme (à Munich)	+10 % surface végétalisée	- 1°C dans un rayon de 100m
Gomez et al. (à Valence-Espagne)	Espace vert	- 2.5°C au sein des EV par rapport aux centre ville
Taha et al. (à Montréal-Canada)	Parcs urbains	- 2.5 °C au sein des parcs urbains par rapport aux zones habitées environnantes
Taha et al. (à Tokyo-Japon)	Espaces végétalisés	- 1.6°C en été dans espaces végétalisés par rapport aux espaces non végétalisés

D) Gain thermique en lien avec l'aspersion des rues

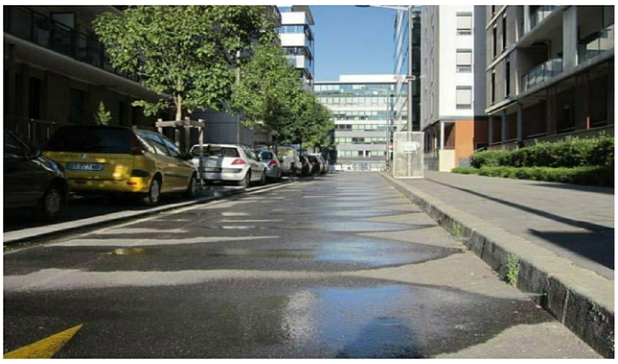
- **Le projet Epicea** a étudié l'impact sur le climat de Paris d'un scénario avec humidification de la ville par aspersion d'eau dans les rues. La diminution de températures constatée est moins élevée qu'avec le scénario de verdissement avec une végétation non soumise au stress hydrique. L'humidification de la ville par aspersion d'eau dans les rues pendant la journée conduit à une diminution assez faible de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain, **inférieure à 0,5 °C en moyenne** pendant toute la durée de l'épisode, avec des baisses instantanées

comprises **entre 1 et 2 °C.** L'impact de cet arrosage est beaucoup plus sensible en journée et cet effet ne se fait sentir qu'à proximité du sol.

NB. Il est cependant nécessaire de préciser qu'un arrosage direct du sol induit une augmentation de l'humidité locale de l'air en surface. C'est donc la température ressentie qu'il est nécessaire de considérer, cette dernière résultant de la combinaison entre température réelle et humidité.

- Pour en atténuer les effets, **le Grand Lyon**, en partenariat avec Veolia Environnement, a également expérimenté un dispositif d'arrosage de la chaussée dans le quartier neuf de la Buire. Les effets de l'aspersion d'eau sont mesurés dans le bitume et à 1,50 m de hauteur. Après comparaison des résultats obtenus sur la rue témoin avec ceux de la rue pilote, la solution d'humidification de chaussée a permis : - de réduire la température de chaussée, au sol, de **3 à 5° C,** - de réduire la température ressentie par le piéton de **0,5° C environ**. Dans le cadre d'un projet d'aménagement mettant en œuvre un tel dispositif, la consommation moyenne a été estimée à 4 litres/jour/m2 de chaussée pour une journée chaude.

Illustration 21 : Aspersion par buses de la rue de la Buire à Lyon, lors des fortes chaleurs.
© Grand Lyon



8.3.4.2 – Évaluations monétaires

A) Méthode de monétarisation à privilégier

Au vu des évaluations existantes, des données disponibles et du calendrier dans lequel s'inscrit le présent travail, la méthode fondée sur le transfert de valeurs est privilégiée.

B) Données nécessaires pour la conduite de l'évaluation

Selon la méthode d'évaluation retenue :

8.3.4.2.b.1) Données biophysiques :

- La quantité d'énergie économisée dans les bâtiments grâce à la végétation de la ville /Quantité moyenne d'énergie économisée par arbre ;

- La quantité d'émissions de carbone évitées ;
- Le nombre d'arbres ;
- L'impact, en %, de la végétation sur la demande d'énergie.

8.3.4.2.b.2) Données économiques :

- La valeur accordée à une tonne de carbone ;
- Le prix du kWh ;
- Les dépenses de climatisation en France ;
- La période d'évaluation ;
- Le taux d'actualisation ;
- L'incertitude liée aux données utilisées/mesurées/estimées/projetées.

8.3.4.2.b.3) Autres données :

- Le nombre de ménages aux alentours des parcs urbains.

L'évaluation du service de régulation du climat local à l'échelle des douze villes, issus de l'urban atlas, retenues pour l'évaluation française des écosystèmes urbains pourrait se faire via l'application de l'outil i-Tree Eco sur ces douze villes.

Une autre possibilité est d'avoir recours au transfert de valeur, en utilisant, en particulier, une quantité moyenne d'énergie économisée par arbre en milieu urbain.

Données disponibles pour la France en matière de climatisation et d'impacts de la végétation urbaine sur le climat :

La climatisation en France, impact direct et indirect

Dans un rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement réalisé par le bureau d'études Energies Demain et l'Association Armines sous le pilotage de l'Ademe, en collaboration avec la DGEC du ministère en charge de l'environnement, les auteurs estiment que "Les impacts environnementaux de la climatisation sont parfois difficilement quantifiables, en raison d'un **manque de moyens permettant la remontée de données sur les taux de diffusion de la climatisation dans les bâtiments et les transports, ou encore les consommations électriques liées à cet usage, de même que l'impact de ces dernières sur la courbe de charge électrique**. Ce manque de données est d'autant plus préjudiciable dans les départements d'Outre-mer, où la diffusion de la climatisation est beaucoup plus élevée" (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement 2009).

Les principales idées du rapport en lien avec le sujet traité dans la présente étude sont résumées ci-après :

S'agissant du territoire métropolitain :

À ce jour, le parc de bâtiments climatisés est encore faible, mais en constante augmentation dans le secteur tertiaire (pour lequel presque un quart des surfaces sont climatisées), et se développe rapidement dans le secteur résidentiel (de 3,5 à 4,5 % des logements selon les estimations). Cette tendance à la hausse de la diffusion de la climatisation dans le parc de bâtiments risque d'être accélérée par les impacts du changement climatique.

S'agissant de la climatisation embarquée, elle se généralise et équipe 60 % du parc automobile en 2008.

La climatisation a deux types d'impact sur l'environnement, des impacts directs provoqués par l'émission de fluides frigorigènes et indirects, dus aux consommations d'énergie électrique et de carburant.

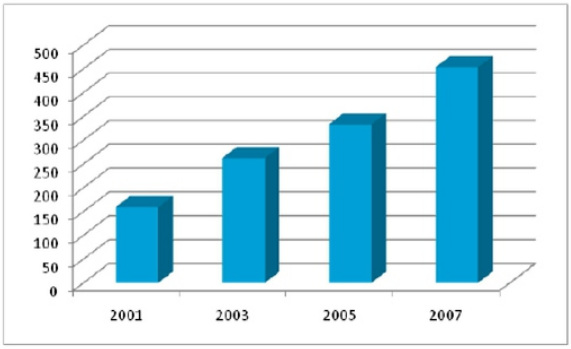
Les fluides frigorigènes contenus dans les équipements de climatisation participent au réchauffement climatique de par leur fort pouvoir de réchauffement global. En 2009, lesdits fluides étaient à l'origine de l'émission de 5,4 millions de tonnes équivalent CO_2, dont 2,5 millions de tonnes équivalent CO_2 pour le secteur du bâtiment et 2,9 pour la climatisation embarquée. En comparaison des émissions de CO_2 de la France métropolitaine en 2009 issues de l'inventaire national, qui s'élèvent à plus 506 millions de tonnes équivalent CO_2, la participation des fluides frigorigènes s'élève à 2,9 % des émissions totales et celles liées à la climatisation s'élève à 1,1 %.

S'agissant des impacts indirects, 5 % de la consommation d'électricité des bâtiments est liée à l'usage de la climatisation, notamment dans les bâtiments tertiaires. Les consommations provoquées par la climatisation des locaux industriels restent faibles comparativement aux consommations totales du secteur, mais sont cinq fois supérieures à celles du secteur du bâtiment résidentiel.

S'agissant des départements d'Outre-mer, la climatisation y est très répandue et représente, par exemple, 35 % des consommations totales d'électricité en Guadeloupe.

La climatisation en métropole, bilan dans le résidentiel

Illustration 22 : Consommations électriques annuelles liées à l'usage de la climatisation en GWh (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement 2009)



Tendances à venir dans le secteur résidentiel :

“En considérant la prolongation du marché actuel de la climatisation (100 000 logements équipés chaque année), le parc atteindrait l’effectif de près de 2 millions de logements à l’horizon 2020. Ce qui préfigurerait une consommation d’électricité liée à l’usage de la climatisation de 1 TWh en 2020”.

La climatisation en métropole, le secteur tertiaire

S’agissant du secteur tertiaire, en 2007, les consommations d’électricité liées à la consommation s’élevaient à 13,6 TWh.

Bilan des consommations du secteur du bâtiment

En 2007, le secteur du bâtiment a une consommation liée à la climatisation de 14 TWh d’électricité ce qui représente 3 % des consommations d’électricité de la France et 5 % des consommations du secteur du bâtiment.

Travaux portant sur le territoire français et faisant le lien entre espaces de nature en ville, service de régulation du climat local rendu et diminution de la consommation énergétique

Dans son rapport de thèse intitulé “Modélisation de la végétation urbaine et stratégie d’adaptation pour l’amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville”, Cécile de Munck présente la végétalisation en milieu urbain comme “une mesure qui, par son pouvoir rafraîchissant sur le climat extérieur, tient à la fois de levier d’adaptation au changement climatique et de levier de mitigation [22] en réduisant la demande de climatisation. La végétation remplit aussi de multiples fonctions au sein de l’écosystème urbain. Le terme de stratégie sans regret est d’ailleurs utilisé par Colombert et Boudes (2012) pour la végétation. Ce terme qualifie des stratégies, qui, en plus d’apporter une solution à un problème donné (ici le changement climatique), peuvent être valorisées par les bénéfices conjoints qu’elles offrent : dans le cas de la végétation urbaine, une meilleure gestion des événements pluvieux intenses et le maintien de la biodiversité par exemple”.

“Pour répondre aux besoins d’évaluation des stratégies d’adaptation au changement climatique, le modèle de canopée urbaine TEB (Town Energy Balance) développé par (Masson, Grimmond, et Oke 2002) s’est étoffé ces dernières années. De nouvelles paramétrisations permettent de mieux décrire les processus énergétiques des bâtiments (Bueno et al. 2012). Des indicateurs ont été développés pour évaluer la vulnérabilité énergétique (Bueno et al. 2012) et la vulnérabilité thermique (Pigeon et al. 2008).

Dans ce contexte, l’objectif de la thèse consiste à améliorer les typologies de végétation urbaine du modèle de canopée urbaine TEB, afin d’évaluer l’adaptation de la ville par la climatisation et la végétalisation pour l’amélioration du confort thermique et de la consommation énergétique.

“Considérations énergétiques

En lien direct avec la problématique du confort et du stress thermique, l’augmentation des températures urbaines laisse supposer une augmentation de la consommation d’énergie liée à une sur-demande de climatisation. Pendant la canicule de 2003, considérée comme représentative

des étés moyens d'ici la fin du siècle, cette sur-consommation d'énergie liée aux besoins de climatisation, avait été estimées à 10 % de la consommation d'électricité totale. Du fait des changements climatiques, le rapport commandité par la Communauté européenne (Adnot, 2003a, b) prévoit en France une augmentation de la consommation d'énergie liée à la climatisation de 180 % entre 2003 et 2020".

Le travail de Cécile de Munck a consisté à étudier deux stratégies d'adaptation au changement climatique, la climatisation et la végétalisation urbaine, "qui sont fréquemment mises en œuvre pour l'amélioration du confort thermique et/ou de la demande énergétique".

Son travail de thèse s'inscrit dans trois projets de recherche, dont le projet VegDUD ou le rôle du Végétal dans le Développement Urbain Durable. Le projet VegDUD est constitué de différents volets qui permettent de qualifier et quantifier un certain nombre de services écosystémiques rendus par le végétal urbain, notamment l'amélioration du confort climatique en été, une meilleure gestion des eaux pluviales, une moindre demande énergétique et plus généralement une amélioration des ambiances urbaines.

Un des objectifs de la thèse était d'évaluer les performances de la végétation comme mesure d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la consommation énergétique liée à l'usage de la climatisation et du chauffage.

L'autre projet dans lequel s'inscrit le travail de thèse de Cécile de Munck est le projet MUSCADE (Modélisation Urbaine et Stratégie d'adaptation au Changement climatique pour Anticiper la Demande et la production Énergétique) (De Munck 2013). Le projet MUSCADE vise à étudier, de nos jours à 2100, les interactions entre structure de ville, procédés constructifs, consommation d'énergie, production d'énergie décentralisée, micro-climat urbain et changement climatique.

Zoom...

... sur les résultats du PROJET MUSCADE et les travaux de Cécile de Munck (2013)

Les résultats de simulation montrent que les toitures végétalisées n'ont, soit aucun effet sur la température dans les rues au niveau des piétons, soit un effet minime (au mieux de 0.5°C) quand elles sont arrosées. L'augmentation de la couverture végétale au sol est plus efficace à rafraîchir les rues, avec un rafraîchissement d'autant plus élevé que le taux de végétalisation est important et que la proportion d'arbres est élevée. Ces différences d'impacts entre végétation basse et arborée proviennent principalement des différences de densité foliaire et donc des variations des taux d'évapotranspiration entre les deux types de végétation car les effets d'ombrage des arbres sur les surfaces urbaines ne sont pas actuellement pris en compte dans le modèle. Les rafraîchissements obtenus varient entre - 0.5 et - 2°C selon les stratégies, et le scénario de végétalisation maximale (augmentation de 33 % de la surface globale de végétation et installation massive de toitures végétalisées irriguées sur les bâtiments collectifs et individuels) permet d'atteindre jusqu'à - 3°C localement. L'effet de rafraîchissement est aussi plus marqué la nuit que le jour pour les stratégies arborées, ces différences provenant du choix que j'ai fait en termes de plage horaire et mode d'arrosage (la nuit, par asperseurs). Le rafraîchissement des températures se traduit systématiquement par l'amélioration du confort thermique avec une réduction sensible du temps passé dans les différents niveaux de stress thermique, jusqu'à 1 heure de moins passée en stress thermique extrême pour un individu au soleil ou en stress thermique très élevé à l'ombre pour le scénario de végétalisation maximale. La prise en compte des effets d'ombrage des arbres devraient logiquement améliorer les bénéfices des stratégies arborées en termes de confort thermique. Enfin, l'analyse des impacts des différents tissus urbains montre un effet net de la forme urbaine sur les conditions de confort, avec un confort extérieur meilleur dans le tissu Haussmannien dont la forme permet de limiter les apports solaires et ainsi le réchauffement des rues en journée.

Contrairement à leur faible impact sur le confort thermique extérieur, les toitures végétalisées, du fait de leur pouvoir à la fois isolant pour le bâtiment et évapotranspirant, apparaissent comme une des solutions les plus efficaces pour réduire la consommation énergétique liée à l'usage de la climatisation au cours de la canicule : elles permettent de diminuer d'environ 12 % la consommation totale d'énergie sur la durée de la canicule et de 13 % la demande maximale au plus chaud de la canicule. Une réduction équivalente de consommation énergétique totale n'est atteinte que pour la stratégie maximale arborée, qui du fait de l'arrosage nocturne, est beaucoup moins performante que les toitures végétalisées sur le pic de consommation. Ces résultats étaient prévisibles du fait que la végétation au sol n'a qu'un effet indirect sur la consommation énergétique via le rafraîchissement des températures extérieures. Ces simulations ont aussi démontré qu'une augmentation faible de végétation arborée avait autant d'impact sur la consommation énergétique qu'une augmentation élevée de végétation basse, en lien avec les rafraîchissements respectifs que ces deux solutions génèrent.
Ces performances tant sur l'amélioration du confort thermique extérieur que sur la consommation énergétique ont toutefois un coût en eau considérable qu'il convient de comparer aux apports d'eau que la ville peut recevoir au cours des autres saisons sous forme de précipitations. En supposant que le ruissellement de surface engendré au cours de l'année sur l'ensemble des surfaces urbaines puisse être stocké afin d'assurer l'arrosage estival de la végétation urbaine, le ruissellement annuel moyen, estimé à partir de dix ans de simulation, permettrait d'assurer l'arrosage complet de la végétation urbaine uniquement pour le scénario de toitures végétalisées et pour les scénarios d'augmentation minimum de végétation de pleine terre. Quand on augmente trop la couverture de végétation en ville, la diminution de ruissellement annuel engendrée ne permet plus de couvrir les besoins en eau pour l'arrosage en été, suggérant que la ressource en eau devrait être trouvée ailleurs. Il serait intéressant dans le futur de vérifier ces résultats avec une version de TEB qui permettrait une description explicite des processus hydrologiques dans le sous-sol urbain.

Finalement, l'impact estival moyen des stratégies de végétalisation estimé sur dix ans montre des tendances similaires à celles observées pendant la canicule, mais de moindre ampleur. L'augmentation de végétation engendre en général une diminution des températures extérieures tout au long de l'année, plus marquée pour la végétation arborée, ce qui donne lieu à une légère surconsommation d'énergie sur l'année (de 1 % environ). Le pouvoir isolant des toitures végétalisées permet quant à lui une économie d'énergie annuelle d'environ 7% qui démontre encore les performances supérieures des toitures végétalisées sur la végétation de pleine terre en termes de réduction de consommation énergétique.

L'analyse comparée des impacts des scénarios d'adaptation par la climatisation et par la combinaison de climatisation et végétalisation dans les deux études présentées montre qu'en période de canicule, avec des conditions de confort intérieur équivalentes (température de consigne à 26°C), les mesures de végétalisation évaluées sont capables de contrebalancer l'augmentation de température engendrée par les rejets de chaleur de la climatisation et même de rafraîchir l'environnement extérieur, permettant d'améliorer le confort thermique dans la rue. En climat présent, les consommations énergétiques étant principalement liées à l'usage du chauffage, l'impact annuel des stratégies de pleine terre n'est pas forcément intéressant, mais pourrait le devenir en climat futur, sachant que le réchauffement global entraîne une diminution significative de la consommation d'énergie pour le chauffage en hiver et inversement, une augmentation en été pour la climatisation.

8.4 – Service Régulation de la qualité de l'air

Comme mentionné précédemment, la pollution atmosphérique est un problème récurrent en milieu urbain. Elle peut entraîner des dommages sanitaires (gênes respiratoires, maladies, etc.), écologiques (nécroses, altération de processus physico-chimiques) et physiques (dégradation

des matériaux de construction et des façades des bâtiments).

Différents facteurs et actions permettent d'améliorer la qualité de l'air et l'homme intervient de façon préventive dans différents secteurs pour réduire les émissions polluantes : le transport (réduction des véhicules polluants, restriction de la circulation, réduction de la vitesse, développement des mobilités douces, etc.), le résidentiel-tertiaire (réduction des émissions liées au chauffage, réglementation du brûlage des déchets, sensibilisation du public, etc.) et l'industrie (ex : réduction des valeurs limites d'émissions). La présente partie est ciblée sur le service régulation de la qualité de l'air fourni par la végétation urbaine. Elle est en lien fort avec la partie 6.1.3.1 consacrée aux émissions de polluants atmosphériques ainsi qu'avec les enjeux sanitaires développés dans le chapitre 17.

8.4.1 – Présentation du service appliquée à l'écosystème urbain

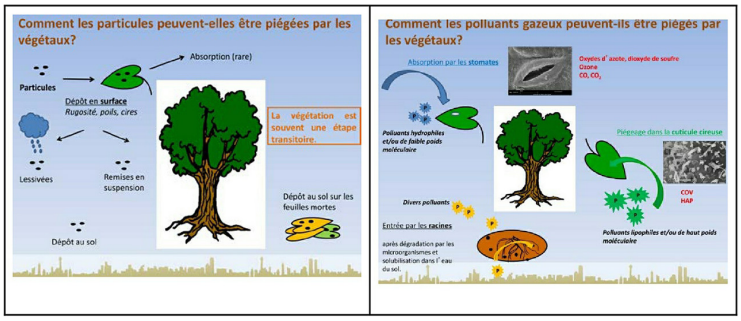
Comment les végétaux améliorent la qualité de l'air ?

La végétation en ville (espaces verts, jardins, toitures végétalisées, etc.) et particulièrement les arbres peuvent grandement contribuer à améliorer la qualité de l'air au niveau local (Balez et Reunkrilerk 2013) et fournir ainsi de meilleures conditions de vie aux citadins. Outre l'apport d'oxygène lors de la photosynthèse, plusieurs travaux démontrent que la **végétation intercepte les particules atmosphériques** (dont les PM10) (Beckett, Freer-Smith, et Taylor 2000) et **absorbe les polluants** (effet prouvé en particulier pour NO_2 et SO_2) (Laïlle, Provendier, et Colson 2013).

L'interception des particules polluantes est un processus majoritaire par rapport à l'absorption dans les stomates (Nowak et al. 2013). La surface foliaire (Nowak et al. 2009), dépendant notamment de la surface de couverture de la végétation (canopée) (Nowak et al. 2008), est le principal facteur déterminant la quantité de particules potentiellement interceptées par la végétation. Plus la surface foliaire est importante, plus les interceptions de particules polluantes augmentent.

Les schémas suivants expliquent comment sont piégés les particules et divers polluants.

Illustration 23 : Représentation pédagogique de la filtration des particules et de l'absorption des polluants par les végétaux (M.-A. Cuny et Thibaudon 2012)



Outre l'effet direct sur les polluants, les arbres urbains peuvent également contribuer, de manière indirecte, à améliorer la qualité de l'air **en réduisant la température de l'air** (régulation du climat local) et **en réduisant la consommation d'énergie par les bâtiments** (D.J. Nowak et Dwyer 2007) En effet, la température agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est favorable à la formation photochimique de l'ozone. Ainsi, en été, une augmentation de température (2 à 4°C) augmente la formation d'ozone.

Par ailleurs, la moindre utilisation de la climatisation liée à la végétation urbaine limite les émissions de polluants associées (moindre consommation d'électricité pouvant engendrer des gaz à effet de serre, etc.).

Par ailleurs et comme pour la régulation du climat local, la végétation, par la rugosité, facilite la turbulence locale et peut ainsi permettre de mieux dissiper ponctuellement la pollution.

NB : Les végétaux peuvent également produire des effets négatifs sur la qualité de l'air : émission de composés organiques volatiles, production de pollens allergisants (*Cf.* Chapitre 2.5.1.), barrière à la dispersion des polluants vers les couches supérieures de l'atmosphère. Ces éléments doivent également être pris en compte dans le cadre de nouveaux aménagements végétalisés en milieu urbain et notamment lors du choix des essences.

Zoom

Les végétaux comme bio-indicateurs

Parallèlement à la contribution de la végétation à l'amélioration de la qualité de l'air, certains végétaux présentent l'intérêt d'être des bio-indicateurs et/ou des bio-accumulateurs, permettant notamment de surveiller la qualité de l'air.

Du fait, notamment de leur longévité, de leur activité métabolique continue, de leur dépendance vis-à-vis des apports atmosphériques, et de la lenteur de leur croissance, les lichens sont très sensibles aux changements de composition de l'air, et donc à la pollution de l'air. Pour les mêmes raisons, ils offrent la possibilité de suivre la pollution sur une grande période.

Les lichens intègrent principalement les données globales relatives à la charge de l'atmosphère en effluents acides (dioxyde de soufre, oxydes d'azote). Le dioxyde de soufre – qui se transforme en acide sulfurique au contact de l'eau atmosphérique – est le principal agent de l'appauvrissement de la végétation lichénique. Et comme toutes les espèces n'ont pas le même degré de sensibilité, il est possible, en se basant sur la présence ou l'absence de certaines d'entre elles, de délimiter différentes zones d'égal niveau de pollution. Par ailleurs, si une espèce disparaît à la suite de la dégradation de la qualité de l'air, elle peut ensuite réapparaître rapidement si la situation s'améliore, traduisant ainsi précisément les fluctuations à moyen terme.

8.4.2 – *Caractérisation du service*

8.4.2.1 – Dimension biophysique, lien avec les indicateurs d'état et la typologie des espaces de nature

A) Problématique et objet de la quantification :

L'objectif est d'évaluer la quantité de particules fines et de polluants atmosphériques piégés par la végétation urbaine. Pour cela, il convient dans un premier temps d'estimer la quantité de végétation (arbres, toitures végétalisées, murs végétalisés, etc.) participant à l'amélioration de cette qualité. Il sera ensuite nécessaire d'appliquer des ratios issus de la recherche pour obtenir la quantité de polluants piégés par la végétation urbaine (transfert de valeur).

Pour estimer l'effet de l'amélioration de la qualité de l'air par la végétation sur la santé des citadins, il peut aussi être envisageable d'utiliser des valeurs bibliographiques reliant la baisse de concentration en polluants et la diminution de certaines maladies.

Le suivi de l'évolution de la qualité de l'air en ville ne peut en aucun cas refléter le service offert par la végétation dans la mesure où cette évolution est multifactorielle (rôle de la végétation, fluctuation du trafic routier, évolution du parc automobile, développement industriel, topographie, etc.).

B) Données à recueillir lors d'une évaluation :

- données issues du monde de la recherche sur le pouvoir dépolluant de la végétation urbaine (tonne/ha/an) et/ou des arbres,
- données issues du monde de la recherche sur le lien entre baisse de concentration en polluants et diminution de certaines maladies,
- caractéristiques de la végétation locale : surfaces végétalisées, surfaces arborées, linéaire d'alignement d'arbres dans le territoire, nombres d'arbres, espèces présentes, etc.
- surfaces d'espaces verts,
- surfaces de toitures et de murs végétalisés.

C) Indicateurs susceptibles d'être mobilisés :

- quantité de particules fines piégées par la végétation urbaine (tonne/ha/an) (avec zoom sur les arbres, en fonction du contexte local) ;
- quantité de polluants atmosphériques (NO_2, SO_2) piégés par la végétation urbaine (tonne/ha/an) ;
- nombre de cas de maladies potentiellement évitées en lien avec l'amélioration de la qualité de l'air induite par la végétation.

8.4.2.2 – Dimension socio-économique

A) Service de régulation de la qualité de l'air et bien-être humain

Il est possible d'évaluer le service de régulation de la qualité de l'air via les bénéfices sanitaires liés à une réduction de la pollution grâce à la végétation urbaine. Ainsi, "la réintroduction de la nature en ville est une façon durable de gérer la pollution de l'air, car les écosystèmes peuvent absorber une grande quantité de polluants atmosphériques dégagés par les activités humaines […] Nowak et al. (2010) estiment que les arbres dans les parcs urbains aux Etats-Unis absorbent 75 000 tonnes

de polluants atmosphériques annuellement, soit un bénéfice évalué économiquement à 500 millions de dollars (environ 430 millions d'euros)" (Caisse des dépôts - Mission Economie de la biodiversité 2015).

S'agissant de la ville de Strasbourg, Wissal Selmi estime que la végétation arborée gérée par les services municipaux a éliminé environ 0,03 % du CO émis, 7 % des PM10, 1,5 % des PM2,5 et 0,5 % du SO_2 (Selmi 2016).

B) Exemples d'évaluation économique du service de régulation de la qualité de l'air en milieu urbain

8.4.2.2.b.1) L'évaluation du service de régulation de la qualité de l'air rendu par la végétation urbaine de Londres (Treeconomics London 2015)

En 2015, la Chambre des lords britannique a publié une étude sur les services rendus par la végétation londonienne, parmi lesquels le service de régulation de la qualité de l'air. S'appuyant sur l'outil i-Tree Eco, ses auteurs montrent que les arbres londoniens éliminent, environ, 2241 tonnes de polluants par an, que l'étude valorise à 126,1 millions de livres (ou 139,6 millions d'euros [23]), utilisant, pour ce faire et lorsqu'elles sont disponibles, des valeurs tutélaires britanniques et dans le cas contraire, des valeurs tutélaires américaines.

Les valeurs tutélaires britanniques correspondent aux coûts sociaux des dommages générés par une tonne de polluant émise. Lesdits coûts englobent : les effets en matière de mortalité (nombre d'années de vie perdues), les effets en matière de morbidité (nombre d'hospitalisations pour des maladies respiratoires ou cardiovasculaires), les impacts sur les bâtiments et sur les matériaux.

Tableau 13 :

Coûts sociaux des dommages selon le polluant et la zone géographique considérés (Treeconomics London 2015)

Polluant	Valeur par tonne (en £)		Valeur par tonne (en €)	
	Inner London	Outer London	Inner London	Outer London
Monoxyde de carbone (CO)	927	927	1029,46	1029,46
Dioxyde d'azote (NO_2)	98907	64605	109822,71	109822,71
Ozone (O_3)	6528	6528	7248,45	7248,45
Particules PM10	273193	178447	303365,91	198155,65
Particules PM2,5	7482	7482	8309,93	8309,93
Dioxyde de soufre (SO_2)	1633	1633	1813,7	1813,7

Les coûts sociaux des dommages varient selon le polluant considéré, de 927 £ (1029,46 €) pour une tonne de monoxyde de carbone émise quelle que soit la zone géographique considérée, à 273 193 £ (330 366 €) pour une tonne de PM émises dans le centre de Londres.

Tableau 14 :

Quantité de polluants éliminée chaque année (en tonnes) et valeurs associées (Treeconomics London 2015) (Source : Treeconomics London, Valuing London's urban forest. Results of the London i-Tree Eco Project, 2015)

Polluant	Tonnes de polluant éliminées chaque année			Valeur (en £)			Valeur (en €)*		
	Inner	Outer	Total	Inner	Outer	Total	Inner	Outer	Total
Monoxyde de carbone (CO)	11	21	32	10 360	19 561	29 921	11 506	21 728	33 234
Dioxyde d'azote (NO_2)	288	410	698	28 433 674	26 521 053	54 954 727	31 579 850	29 459 225	61 039 075
Ozone (O_3)	86	911	997	564 111	5 947 607	6 511 718	626 530	6 608 333	7 234 863
Particules PM10	105	194	299	28 588 993	34 679 430	63 268 423	31 761 762	38 550 876	70 312 638
Particules PM2,5	43	110	153	323 814	825 666	1 149 480	359 750	917 839	1 277 589
Dioxyde de soufre (SO_2)	28	34	62	45 141	57 038	102 179	50 151	63 405	113 556

*Taux de conversion au 3/11/16

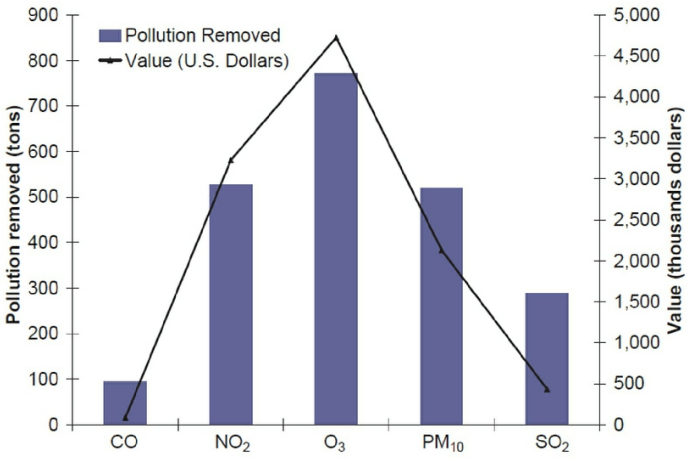
La végétation urbaine du Grand Londres élimine, chaque année, 2241 tonnes de polluants, avec une valeur associée de 126 millions de livres (140 millions d'euros), dont :

- 32 tonnes de CO, ce qui représente, en matière de coûts évités, près de 30 000 livres (33 234 €) par an ;
- 698 tonnes de NO_2, soit près de 55 millions de livres (61 millions d'euros) de coûts évités ;
- 997 tonnes de O_3, soit plus de 6,5 millions de livres (7,2 millions d'euros) de coûts évités ;
- 299 tonnes de PM10, qui représentent plus de 63 millions de livres (70,3 millions d'euros) de coûts évités ;
- 153 tonnes de PM2,5, ce qui représente 1,149 millions de livres (1,278 millions d'euros) de coûts évités ;
- 62 tonnes de SO_2, soit l'équivalent de 102 179 livres (113 556 euros) de coûts évités.
- 1,2 tonne de CO ;
- 13,84 tonne de NO_2 ;
- 55,87 tonne de O_3 ;
- 11,76 tonne de PM10 ;
- 4,5 tonne de PM2.5 ;
- 1,03 tonne de SO_2.

8.4.2.2.b.2) L'évaluation du service de régulation de la qualité de l'air rendu par la forêt urbaine New-Yorkaise (United States Department of Agriculture 2007)

Le Département américain de l'Agriculture a développé le modèle UFORE (Urban Forest Effects) afin de pouvoir évaluer les différents bénéfices relatifs aux forêts urbaines, parmi lesquels l'élimination de polluants.

Illustration 24 : Quantité de polluants éliminée chaque année (en tonnes) et valeurs associées (en $) (United States Department of Agriculture 2007)



S'agissant du service de régulation de la qualité de l'air, la forêt urbaine New-yorkaise élimine environ 2202 tonnes de polluants chaque année valorisé à hauteur de 10,6 millions de dollars :

- Près de 100 tonnes de CO
- Près de 550 tonnes de NO_2
- Près de 800 tonnes de O_3
- Plus de 500 tonnes de PM10
- Près de 300 tonnes de SO_2

Force est de constater que si les ordres de grandeur en matière de polluants éliminés sont relativement similaires pour Londres et New-York, respectivement, 2241 et 2202 tonnes, les valorisations monétaires varient sensiblement :

- Londres : 126 millions de livres (2015) ;
- New-York : 10,6 millions de dollars 2007, soit (si l'on rapporte à l'année 2015), 12,12 millions de dollars 2015, soit (si l'on convertit en livres) 7,78 millions de livres 2015.

C) Les méthodes de monétarisation et valeurs mobilisables

8.4.2.2.c.1) Les méthodes fondées sur les coûts associés aux dommages évités

Ces méthodes sont fondées sur l'estimation des dommages évités grâce à une tonne de polluant non émise et consistent donc à évaluer le coût des dommages associés à l'émission de polluants.

Le CGDD a évalué le coût économique de la mortalité (décès prématurés ou années de vie perdues) et de la morbidité (nouveaux cas de bronchite chronique, journées d'activité restreinte, etc.) lié à la pollution de l'air(CGDD 2013d) entre 20 et 30 milliards d'euros pour une année.

8.4.2.2.c.2) Les méthodes fondées sur le transfert de valeurs

Ces méthodes consistent à transposer à un cas d'étude des valeurs calculées pour un autre cas d'étude en utilisant une ou plusieurs méthodes d'évaluations économiques. Dans le cas présent, il pourrait s'agir de transposer la quantité moyenne de polluant éliminée par ha de forêt urbaine et de la multiplier par le coût des dommages associés à l'émission d'une tonne de polluants.

Illustration 25 : Encadré sur la valorisation monétaire des impacts sanitaires attribuables à la pollution de l'air en France (CGDD 2013d)

Encadré 3 – La valorisation monétaires des impacts sanitaires attribuables à la pollution de l'air

La valorisation monétaire de la mortalité

L'évaluation monétaire de la mortalité passe par l'évaluation quantitative des bénéfices liés à une réduction de la mortalité, exprimée, soit en nombre de décès prématurés, soit en années de vie perdues.
Dans le premier cas, la valeur d'une vie statistique (VVS), aussi appelée valeur d'évitement d'un décès, fait référence à l'effort que la collectivité est prête à consentir pour réduire les probabilités de décès. En France, cette valeur est utilisée dans l'évaluation économique des projets d'infrastructures routières. Elle a fait l'objet de révisions régulières. Le rapport Boiteux de 2001 donne, pour la pollution de l'air, une valeur d'évitement d'un décès de 504 000 €. L'application de cette valeur au nombre de décès permet d'évaluer le coût des dommages sanitaires de la pollution de l'air en termes de mortalité.
Il est également possible d'évaluer le coût de la mortalité en passant par la valeur d'une année de vie. Il est alors fait référence à l'effort que la collectivité est prête à consentir pour augmenter l'espérance de vie d'une année.
Il n'existe pas, en France, de valeur tutélaire pour l'année de vie perdue du fait de la pollution de l'air. L'étude s'est basée sur le programme de recherche européen Needs qui recommande une valeur de 41 000 € par année de vie perdue pour la mortalité à long terme dans les États Membres de l'Union Européenne à 15.

La valorisation monétaire de la morbidité

Le Rapport Boiteux évalue les coûts de morbidité à 30 % du coût de mortalité attribuable à la pollution de l'air. Cette méthode rend donc le coût de morbidité étroitement dépendant du coût de la mortalité.
Les valeurs de la Commission européenne sont basées sur une valorisation monétaire des différentes composantes de coûts de morbidité :

- les coûts « financiers » liés à la maladie : ils comprennent les coûts de traitement médical (qu'ils soient ou non couverts par un système d'assurance ou par les dépenses individuelles) ;
- les coûts d'opportunité : ils comprennent les coûts liés à la perte de productivité (pertes du temps de travail ou perte de capacité productive) et les coûts liés à la perte de loisir ou de travail domestique. Ils incluent le travail non rémunéré ;
- les coûts intangibles comme le coût de la souffrance, l'anxiété vis à vis de l'avenir, la souffrance et les autres problèmes des membres de la famille et des amis.

L'évaluation des « coûts intangibles » et des « coûts liés à la perte de loisir ou de travail domestique » mobilisent des méthodes d'évaluation particulières permettant de donner une valeur à des biens qui n'ont pas de prix. Les projets de recherche européens ExternE et Needs utilisent des valeurs monétaires pour ces coûts qui représentent parfois une part importante des coûts de morbidité liés à la pollution de l'air.

Illustration 26 : Valeurs monétaires recommandées par le CGDD pour les épisodes morbides (CGDD 2013b)

Tableau 22 : les valeurs monétaires retenues pour les épisodes morbides pour éviter les doubles-comptes

		Coûts retenus	Valeur retenue	Source	Commentaires
PATHOLOGIES	Bronchites chroniques	Coûts non marchands	200 000 €	Needs,	Valeur fortement dépendante de la caractérisation des bronchites chroniques
		Coûts financiers médicaux	3 300 €	Chanel et al, tirés de IMIB, 1996	
	Bronchites aiguës	Coûts non marchands	131 €	Chanel et al, tirés de Maddison, 1997	
		Coûts financiers médicaux	39 €	Chanel et al, tirés de IMIB, 1996	
	Journées de crise d'asthme	Coûts non marchands	31 €	Chanel et al, tirés de Maddison, 1997	
		Coûts financiers médiaux	0,55 €	Chanel et al, tirés de IMIB, 1996	
Journées d'activité restreinte		Coût d'absentéisme	82 €	Externe, tiré de CBI, 1998	
Hospitalisations pour cause respiratoire		Coûts financiers médicaux	3 623 €	Chanel et al, tirés du MPSI	Valeurs proches des coûts issus du dernier PMSI.
Hospitalisation pour cause cardio-vasculaire		Coûts financiers médicaux	3 865 €	Chanel et al, tirés du PMSI	

Source : CGDD/SEEIDD

En utilisant les valeurs recommandées dans le précédent tableau, le coût de la morbidité attribuable à la pollution de l'air par les PM10 est de l'ordre de 10 Md€ en 1996. Le coût de la morbidité attribuable à la pollution de l'air par les PM2,5 est de l'ordre de 8,04 Md€ en 2000. Ces évaluations nécessitent de connaître les indicateurs physiques des impacts sanitaires des PM10 et PM2,5 en 2000 soit :

En matière de morbidité :

- Le nombre d'admissions hospitalières
- Le nombre de bronchites chroniques
- Le nombre de bronchites aiguës
- Le nombre de journées de crises d'asthme
- Le nombre de journées d'activités restreintes

S'agissant des coûts de mortalité, la valeur monétaire retenue pour l'évitement d'un décès est de 504 000 € (valeur tutélaire) et la valeur monétaire retenue pour une année de vie perdue est de 41 000 €.

L'application de ces différentes valeurs nécessite donc de connaître les indicateurs physiques des impacts sanitaires ou, à l'inverse, les indicateurs physiques associés à la diminution des impacts.

8.4.3 – *Principaux déterminants du niveau de service*

8.4.3.1 – Liens avec les espaces de nature

Tableau 15 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	Terrain vague (Vocation zone AU du PLU)	Espace vert ordonné ou horticole	Éco-parc		Espace naturel (ex pas du loup à Metz, sans gestion, espace classé en zone N par exemple au PLU)
				sans gestion alternative des eaux	avec gestion alternative des eaux	
- taux imperméabilisation - taux de couvert arboré ;		1 : Peu ou pas de végétation arborée susceptibles de capter les polluants	2 à 3 : Variable en fonction notamment de la présence de la végétation arborée			

Tableau 16 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	MH asséché	MH peu aménagé et dégradé	MH préservé ou artificiel		MH naturel (ex : La petite Amazonie à Nantes)
				aménagé et gestion équilibré	Base de loisir (ayant vocation à accueillir du public)	
		1 à 2 : Service moindre. Variable en fonction de la nature du milieu et de la végétation associée				

8.4.3.2 – Détail des principaux déterminants

Le service de régulation de la qualité de l'air fourni par la végétation dépend notamment de la **surface végétalisée** au sein de la ville, des **espèces présentes**, de leurs **âges**, des **concentrations en polluants**, de la **nature des polluants**, de la **saison**, du **climat**, des **taux de mortalité de la végétation**, etc.

Est proposé ci-après un zoom sur l'influence des espèces dans la régulation de la qualité de l'air.

L'influence des espèces dans la filtration des particules

Les données suivantes sont issues de la synthèse réalisée par (D. Cuny et Cuny 2013).

Les **conifères** (pin, cyprès, épicéa) apparaissent plus efficaces pour l'accumulation des particules par rapport aux **feuillus**, en raison de leur surface foliaire plus adhésive (cuticule plus importante) et de leur grande surface spécifique pour les récupérer (Beckett, Freer-Smith, et Taylor 2000),

(McDonald et al. 2007). Ceci est particulièrement vrai pour les plus grosses particules (PM10). En revanche, les résultats divergent en ce qui concerne les PM2,5 et les PM1, certaines expérimentations menées sur le terrain confirmant que le piégeage des fines particules est plus important par les conifères, d'autres ne mettant pas en évidence de différence significative entre conifères et feuillus (érable, peuplier et alisier blanc) (Freer-Smith et al. 2005). L'**arrangement des feuilles sur les arbres** et **leur quantité** ont également une influence, et il a été montré qu'un feuillage dense mais restant suffisamment accessible (l'air doit pouvoir circuler) favoriserait le piégeage des particules. Ainsi, les valeurs optimales estimées sont respectivement de 0,7 à 0,85 pour la densité du couvert végétal, et de 0,25 à 0,33 pour la porosité du feuillage [24]. Par ailleurs, certains auteurs ont estimé que 2000 m2 d'herbes non coupées sur une toiture végétale pourraient piéger jusqu'à 4 tonnes de particules.

L'efficacité du piégeage par les **toitures végétalisées** varie également en fonction des **espèces et de leur croissance, mais aussi en fonction de la concentration locale en polluants et des conditions météorologiques**. Ainsi, elle sera plus importante lorsque le développement foliaire sera maximal, et plus faible lorsque les feuilles seront recouvertes d'eau ou de neige.
Les plantes grimpantes sur les façades des bâtiments pourraient aussi jouer un rôle, à la manière du lierre qui est capable d'absorber les particules de diamètre inférieur à 2,5 et 1 µm avec un rendement évalué à près de **30 milliards de particules par m2 de lierre** (Sternberg et al. 2010).

Le rôle de la végétation dans le piégeage des particules est avéré par de nombreuses études, mais il est très difficile d'en extrapoler les résultats (manque de précisions du contexte des études, expression non homogène des résultats, etc.). Par ailleurs, comme précisé précédemment, l'évolution de la qualité de l'air en ville dépend de nombreux autres facteurs (fluctuation du trafic routier, évolution de l'industrie, climat, etc.).

L'influence des espèces dans l'absorption des polluants (cas du dioxyde d'azote)

L'absorption des polluants dépend aussi des espèces présentes au sein de la ville. Les données suivantes sont issues de la synthèse réalisée par M-A Cuny et D. Cuny (D. Cuny et Cuny 2013).

Des tests en laboratoire sur plus de 200 espèces végétales (herbacées sauvages, cultivées, arbustes et arbres) classent **le magnolia de Kobé, le gommier blanc et le peuplier noir parmi les espèces à forte capacité d'assimilation pour le NO_2** et, selon les auteurs, sont de ce fait adaptées pour une implantation dans les espaces verts près des routes. Par modélisation, ils ont estimé que le recouvrement des murs et des toits des bâtiments et des axes routiers du bassin de Los Angeles avec du **pétunia** aboutirait à l'assimilation de près de **16 000 tonnes de NO_2** par an, ce qui correspond à 3,1 % des émissions annuelles liées au trafic routier dans cette zone (Takahashi et al. 2005).

De façon générale, d'après les études, les **arbres à feuilles caduques auraient de plus fortes capacités d'assimilation par rapport aux espèces à feuilles pérennes, mais leur effet disparaîtrait en hiver avec la chute des feuilles**. Les légumineuses, dont font

partie le robinier faux acacia ou le trèfle, présentent un intérêt particulier lié à leur capacité à former une symbiose avec des bactéries du sol du genre Rhizobium. En effet, cette association confère aux **légumineuses la capacité de fixer l'azote de l'air au sein de nodules racinaires**, les bactéries permettant de réduire l'azote atmosphérique en ammonium, directement assimilable par les plantes. Notons que dans ce cas, le piégeage se fait au niveau des racines et non des feuilles.

Les lichens ont également la faculté d'accumuler certaines substances telles que les métaux lourds, des pesticides et tous les polluants dits « organiques », principalement issus de l'activité humaine (PCB, hydrocarbures aromatiques polycycliques et autres). L'analyse de leur composition chimique renseigne sur certaines pollutions d'origine industrielle, urbaine ou agricole.

8.4.4 – *Valeurs de services et discussion*

8.4.4.1 – Évaluations locales

A) Résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg (Selmi 2016)

Le modèle i-Tree Eco ainsi que les **données locales sur la ville de Strasbourg** sont présentées dans la partie relative au service de régulation du climat global. Il est toutefois important de préciser que la dépollution par les arbres de Strasbourg a été estimée à l'aide des données de terrain, des données climatologiques (météo France 2013 ; NOAA, 2013) et de la concentration des différents polluants dans l'air (ASPA, 2013).

Les résultats

Entre Juillet 2012 et Juin 2013, les arbres gérés par les services municipaux de la ville de Strasbourg ont éliminé environ 1.2 t/an de CO ; 13.84 t/an de NO_2 ; 55.87 t/an de O_3 ; 11.76 t/an de PM10 ; 4.5 t/an dePM2.5 et 1.03 t/an de SO_2.

En termes d'élimination annuelle des polluants par m^2 de couvert arboré, ces arbres publics ont éliminé environ 0,08 g/m^2/an de CO ; 0,92 g/m^2/an de NO_2, 3,73 g/m^2/an de O_3, 0,78 g/m^2/an de PM10, 0,30 g/m^2/an de PM2.5 et 0,07 g/m^2/an de SO_2.

Une comparaison entre le taux d'élimination des polluants par les arbres et le taux d'émissions des polluants atmosphériques à Strasbourg montre que la végétation arborée gérée par les services municipaux ont éliminé environ 0,03 % du CO émis, 7 % des PM10, 1,5 % des PM2.5 et de 0,5 % du SO_2.

Remarques

Le taux d'élimination des polluants par les arbres publics à Strasbourg (**6 g/m^2/an**) est plus faible que les taux d'élimination estimés dans d'autres villes américaines comme Los Angeles (23,1 g/m^2/an) et Washington (11,3 g/m^2/an). Il est comparable à celui de Minneapolis (6,2 g/m^2/an) (David J. Nowak 2006). Cette différence est liée à différents facteurs :

les concentrations des polluants atmosphériques, les conditions météorologiques locales, l'indice de surface foliaire, la surface foliaire, le pourcentage du couvert arboré persistant, la durée de la saison de croissance, etc. (David J. Nowak 2006) (Nowak et al. 2013).

À Londres, le taux d'élimination des polluants par la forêt urbaine est de 1,4 g/m^2/an.

B) Autres données chiffrées sur l'amélioration de la qualité de l'air

- Dans le cadre du programme "Million TreesNYC" visant à planter un million d'arbres dans la ville de New York, les calculs estiment que ces arbres pourront retenir plus de 10 000 tonnes de polluants (CO, NO_2, SO_2, PM10), sur la base d'un taux de mortalité fixé à 4 %.
- (Freer-Smith et al. et Broadmeadow 2009) estiment que les bois de Nottingham (Royaume-Uni) peuvent réduire les concentrations de NO_2 et de SO_2 dans l'air de **4 à 5 %**.
- (McPherson et al. 1997), estiment que les arbres de Chicago prélèvent **5 575 tonnes** de polluants atmosphériques, fournissant ainsi un service épurateur de l'air de 9,2 millions de dollars.
- La société internationale d'arboriculture du Québec (SAIQ 1995) précise que, dans les rues sans arbres, 10 à 12 000 particules par litre d'air sont présentes alors que pour des rues bordées d'arbres, seules 3 000 particules sont présentes. Ces performances sont à nuancer selon l'état de santé des arbres.
- Une étude de cas dans l'est de Londres (East London Green Grid) a aussi montré qu'un scénario comprenant 75 % de prairie, 20 % d'érable sycomore et 5 % de sapin Douglas pourrait enlever **90.41 tonnes de PM10 par an** (Tiwary 2009).
- La ville de Lyon teste depuis 2005 un mur végétal biofiltrant dont les vertus dépolluantes semblent plutôt encourageantes. Selon les analyses de l'air à l'entrée et à la sortie du mur, une **diminution de 50 % pour le dioxyde d'azote et de 80 % pour certains composés organiques volatils** (benzène, toluène, ethylbenzène et xylène) est constatée (Direction des Espaces Verts de la ville de Lyon, Colloque ALE 17 juin 2008).
- Des travaux de modélisation ont évalué que le recouvrement de 20 % des toitures des locaux commerciaux et industriels de Détroit avec du Sédum entraînerait une **diminution des concentrations de NO_2 dans l'air de près de 900 tonnes par an** [25].

8.4.4.2 – Évaluation nationale

Évaluation monétaire

Au vu des évaluations existantes, des données disponibles et du calendrier dans lequel s'inscrit le présent travail, la méthode fondée sur le transfert de valeurs et l'utilisation de valeurs tutélaires sera privilégiée.

8.4.4.3 – A. Données nécessaires pour la conduite de l'évaluation

Selon la méthode retenue, les données nécessaires pour la conduite de l'évaluation sont :

Données biophysiques :

- Quantités de polluants éliminées par les espaces de nature de la ville considérée

Données physiques (car il n'existe pas a priori de coût social du dommage associé aux différents polluants) :

- Le nombre d'admissions hospitalières évité
- Le nombre de bronchites chroniques évité
- Le nombre de bronchites aiguës évité
- Le nombre de journées de crises d'asthme évité
- Le nombre de journées d'activités restreintes évité
- Le nombre de décès évité
- Le nombre d'année de vie perdue évité

Données économiques :

- Valeur de la tonne de polluant évité
- La période d'évaluation
- Le taux d'actualisation

8.4.4.4 – B. Recherche d'un chiffrage à l'échelle nationale

L'évaluation du service de régulation de la qualité de l'air à l'échelle des douze villes retenues pour l'évaluation française des écosystèmes urbains pourrait se faire via l'application de l'outil i-Tree Eco sur ces douze villes.

Des transferts de valeur en matière de quantités de polluant éliminés sont-ils possibles ?

B.1 Air quality regulation

Air pollutants could be removed from the atmosphere by trees in urban and peri-urban green spaces. The pollutant removal is made through dry deposition, a mechanism by which gaseous and particle pollutants are transported to, and absorbed into plant surfaces (Jim and Chen, 2008). Following Lovett et al (1994), the removed pollutant fluxes F_i (in $g/cm^2/s$) of pollutant i is equal to the product between the dry disposition velocity (V_{di} in cm/s) and the hourly concentration of pollutant in air (C_i in g/cm^3)as follows :

$$F_i = V_{d_i} \times C_i$$

The total pollutant flux is given by F_i, and is then expressed per unit area (ha) and time unit (year).

The deposition process is controlled stomata functioning depending on their density and aperture (Lovett et al, 1994). The V_{di} thus represents the average rate when stomata are open, and the stomata conductance depending on various factors such as the air humidity, wind velocity, the temperature, soil moisture or the tree's health (Jim and Chen, on 2008). The calculation of air pollutant removal is based on a year time period for 12 h per day (average daytime). The V_{di} are based on mean values from literature (Lovett et al, 1994 ; Jim and Chen, 2008) and are summarized in Table B.1.

Illustration 27 : Données issues de la thèse de Léa Tardieu (Tardieu 2014)

TABLE B.1 – Data for calculation of pollutant removal by trees for both study areas

Vienne (Zone 1)	Concentration (C_i g/m^3)	V_{di} (m/s)	Pollutant removal F_i (kg/ha/year)
NO_2	0,000027	0,0037	15,76
$PM10$	0,000019	0,0064	19,18
O_3	0,000063	0,0045	44,73
SO_2	0,000001	0,0055	0,87
CO	n/a	0	0
Haute-Vienne (Zone 2)	Concentration (C_i g/m^3)	V_{di} (m/s)	Pollutant removal F_i (kg/ha/year)
NO_2	0,000027	0,0037	15,76
$PM10$	0,000019	0,0064	19,18
O_3	0,000063	0,0045	44,73
SO_2	0,000001	0,0055	0,87
CO	n/a	0	0

We can compare these results with other studies (see table B.2), specifically with the ones of Jim and Chen (2008) estimating the pollutant removal service performed by forests in Ganzhou (China) ; Nowak (2006) for 55 cities in united states ; and Baumgardner et al (2012) for the Mexico city.

TABLE B.2 – Pollutant removal by trees (in Kg/ha/year for three other studies

F_i (kg/ha/year)	Nowak et al, (2006) exemple for Buffalo	Jim et al, (2008)	Baumgardner et al, (2012)
NO_2	10	26,4	0,7
$PM10$	21	6,1	71,3
O_3	37	n/a	19,7
SO_2	15	27,2	2,3

8.5 – Service Régulation des nuisances sonores

8.5.1 – Description du service appliquée à l'écosystème urbain

Différentes stratégies peuvent être engagées pour limiter la gêne occasionnée par la circulation et améliorer les conditions de vie des citadins : réduction du bruit à la source (diminution du bruit des véhicules, réduction du trafic, limitation des vitesses, modification des revêtements, etc) et réduction de la propagation du bruit (aux abords des habitations, les écrans acoustiques absorbants ou réfléchissants, les merlons de terre ont prouvé leur efficacité sur les espaces extérieurs et les premiers étages). Selon l'étude récente menée par Bruitparif le long du périphérique parisien, les protections acoustiques apportent en moyenne un gain d'environ 7 dB(A), une valeur notable car une baisse de 10 dB(A) correspond à une division par deux de la sensation auditive (le bruit paraît deux fois moins fort).

Parallèlement, la **végétation** peut aussi contribuer à réduire mais surtout à masquer les bruits urbains. Dans le cadre du programme VegDUD (*Cf.* focus n° 9), une étude sur les ambiances sonores dans une rue canyon montre qu'entre la configuration de référence (façade et toiture minérales) et le cas extrême (façade et toiture végétalisées), l'effet de la végétation est notable dès le premier étage des façades sur toute la largeur de la rue. Un gain de l'ordre de 5 dB est ainsi observé entre ces deux scénarios pour les basses fréquences (à 100Hz).

Dans les réflexions sur les nuisances sonores, la notion de perception prend tout son sens. En effet, certaines études ne prouvent pas forcément une baisse effective en termes de dB et pourtant la perception du bruit peut être impactée favorablement. La bibliographie montre, par exemple, que pour jouer un rôle significatif dans la réduction des nuisances sonores, la **végétation**

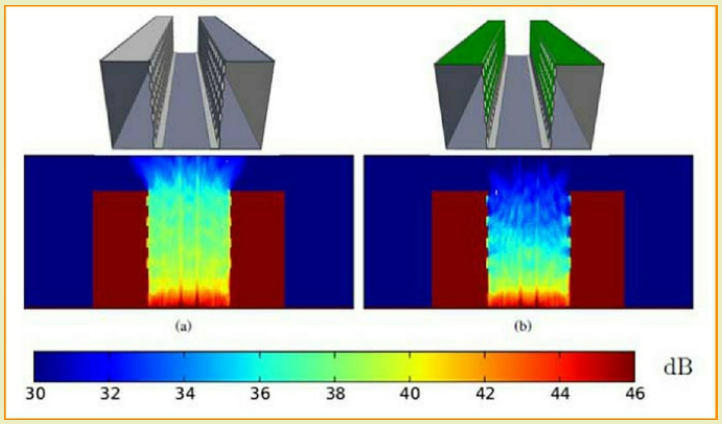
arbustive doit être épaisse et dense : une ceinture d'arbres large de 30m et longue de 15m peut diminuer le bruit d'une autoroute de 6 à 10 dB. Cependant, une végétation dense de 10 m, avec des feuilles, ne réduit le bruit que de 1 dB(A), ce qui peut être considéré comme négligeable. Ces derniers résultats ne traduisent cependant pas le ressenti et la perception des usagers (or, c'est bien la perception du bruit qui est source de nuisance et non pas uniquement la mesure réelle en dB). Le bruissement des feuilles, le chant des oiseaux, l'impression de protection associée à la végétation arbustive participent, par exemple, à la **sensation d'atténuation des nuisances sonores**. Ces éléments, plus ou moins subjectifs, sont essentiels dans la perception du bruit et contribuent à créer des « zones de calme ».

Zoom

Impact de revêtements végétaux sur les ambiances sonores dans une rue canyon (Résultats du programme VegDUD)

À partir de mesures in situ d'impédance acoustique permettant de caractériser les propriétés d'absorption et de réflexion des revêtements végétaux (façades et toitures), la propagation du son dans une rue canyon a pu être modélisée. De nombreux scénarios ont ainsi été évalués : de la configuration de référence pour laquelle l'ensemble des façades et des toitures des bâtiments est entièrement minéral et donc parfaitement réfléchissant, au cas extrême où l'ensemble de ces surfaces est végétalisé.

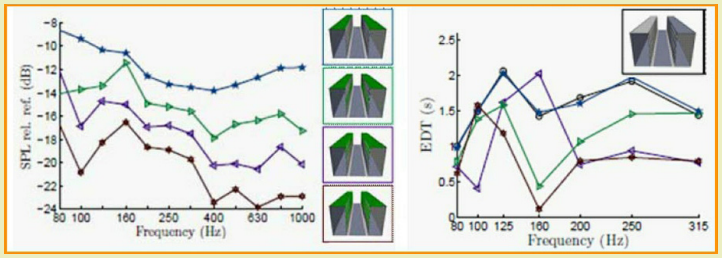
Illustration 28 : Cartographies des niveaux sonores à 100 Hz pour :
- (a) le scénario pour lequel toutes les surfaces sont parfaitement réfléchissantes,
- (b) celui pour lequel les 4 premiers étages ainsi que les toitures des deux bâtiments sont végétalisés.



L'effet de la végétalisation des façades est insignifiant en bas de la rue. Entre la configuration de référence et le cas extrême, l'effet de la végétation est notable dès le premier étage des façades sur toute la largeur de la rue. Un gain de l'ordre de 5 dB est ainsi observé entre ces deux scénarios pour les basses fréquences (à 100Hz). Dans une telle rue canyon, la végétalisation des toitures n'a aucun effet perceptible, pour les sources et les indicateurs acoustiques considérés.

Concernant l'atténuation des niveaux sonores en dehors de la rue (de l'autre côté des bâtiments), les prévisions numériques montrent qu'il est plus efficace de végétaliser les étages supérieurs des bâtiments que les étages inférieurs (Figure B).

Illustration 29 : Niveaux sonores par rapport à la situation sans végétation (à gauche) et temps de réverbération (à droite). Les sources sonores sont localisées dans la rue et les effets sont évalués à l'extérieur de la rue.



Les valeurs des différents indicateurs acoustiques (niveau sonore SPL et temps de réverbération EDT) doivent être prises au sens de tendances, et en considérant avec attention l'importante variabilité des propriétés acoustiques des différentes surfaces végétales, ainsi que leur évolution dans le temps (par exemple saisonnière).

Résultats produits par l'IFSTTAR ; Laboratoire d'Acoustique Environnementale (Guillaume G., Gauvreau B.)

8.5.2 – *Fonctions à l'origine du service – (traitées au chapitre 3)*

8.5.3 – *Quantification biophysique du service*

À l'échelle de la ville il est difficile de définir des indicateurs permettant de quantifier le service de régulation des nuisances sonores dans la mesure où les effets ont lieu localement (partie de quartier, rue, pâté de maison, etc.).

De ce fait, deux échelles d'évaluation sont possibles.

8.5.3.1 – Au niveau de la ville

Problématique et objet de la quantification :

À l'échelle de la ville, quantifier le service de régulation de nuisances sonores peut s'obtenir en estimant les surfaces qui, en lien avec les éléments naturels, sont caractérisées par de moindres nuisances sonores. Surface de zones calmes QSI

Données à recueillir lors d'une évaluation : surface de végétation pouvant jouer un rôle d'atténuation des nuisances sonores (surface arborée, alignement d'arbre, parcs, etc.), présence de murs végétalisés (localisation, nombre, surface), localisation des « zones de calmes » liées à la végétation.

Indicateurs susceptibles d'être mobilisés :

- % de la ville en zones dites « calmes » où la végétation joue un rôle majeur,

- % de la ville en espaces végétalisés contribuant potentiellement à réduire les nuisances sonores ressenties (Espaces verts, parcs, alignement d'arbres, etc.), linéaire de cheminements alternatifs (séparés des voies de circulation et ayant un caractère naturel (végétation, proximité cours d'eau).

8.5.3.2 – Au niveau local

Au niveau local, l'objectif de l'évaluation peut être d'estimer la baisse réelle et/ou potentielle du niveau de bruit par la végétation (espaces verts, alignement d'arbres, etc.). Ceci implique l'acquisition de données de terrain (mesures ou enquêtes sur la perception du bruit par les citadins) et/ou d'utiliser des valeurs issues de la recherche.

Données à recueillir lors d'une évaluation :

- mesures d'écart de bruit en lien avec la végétation,
- enquête auprès des citadins sur la perception du bruit en présence de végétation.

Indicateurs susceptibles d'être mobilisés :

- diminution réelle du niveau de bruit local induite par la végétation urbaine, diminution des nuisances sonores ressenties par les citadins en lien avec la végétation urbaine,
- ratio : diminution de x dB/quantité de végétation (arbres, murs végétalisés).

8.6 – Service Auto-épuration des milieux aquatiques

8.6.1 – Présentation du service appliqué à l'écosystème urbain

Le milieu urbain concentre à la fois des sources de pollution de l'eau et l'essentiel de la consommation en eau potable. Les espaces de nature en ville peuvent jouer un rôle prépondérant dans le service d'épuration des milieux aquatiques [26] en retenant ou en dégradant les polluants. Ce service varie en fonction de la place des écosystèmes dans le bassin versant et de leur contribution à l'épuration de l'eau qu'ils reçoivent puis évacuent.

Le milieu urbain intègre des réseaux collectant les eaux usées et les eaux pluviales (parfois réunies dans des réseaux unitaires) et des réseaux d'alimentation en eau potable. Les espaces naturels peuvent participer au traitement des différents types d'eau sans pour autant remplacer l'intégralité des dispositifs techniques de traitements (stations d'épuration, bassins artificiels,…). Ils peuvent venir en appui de ces traitements, soit en amont en permettant une infiltration à la source des eaux pluviales ou un prétraitement, soit en aval en traitement secondaire en complément des dispositifs d'assainissement collectif (traitement biologique et infiltration des eaux traitées). Les systèmes extensifs [27] de gestion et de traitement (lagunes, filtres plantés de roseaux…) sont précisément conçus pour rendre ce service d'épuration. Le schéma ci-aprés compare les conséquences

d'une ville « grise » imperméabilisée et d'une ville « verte » tirant parti des services écosystémiques.

Concernant l'eau potable, les zones de captage étant généralement en milieu péri-urbain voire rural, les espaces de nature en ville pourront jouer un rôle indirect sur la protection du milieu en limitant la pollution des rejets vers ces captages. Par ailleurs, les milieux aquatiques servant souvent de supports pour des activités récréatives et culturelles, le service d'autoépuration est également nécessaire pour assurer au moins en partie la protection de la qualité de l'eau des espaces recevant du public.

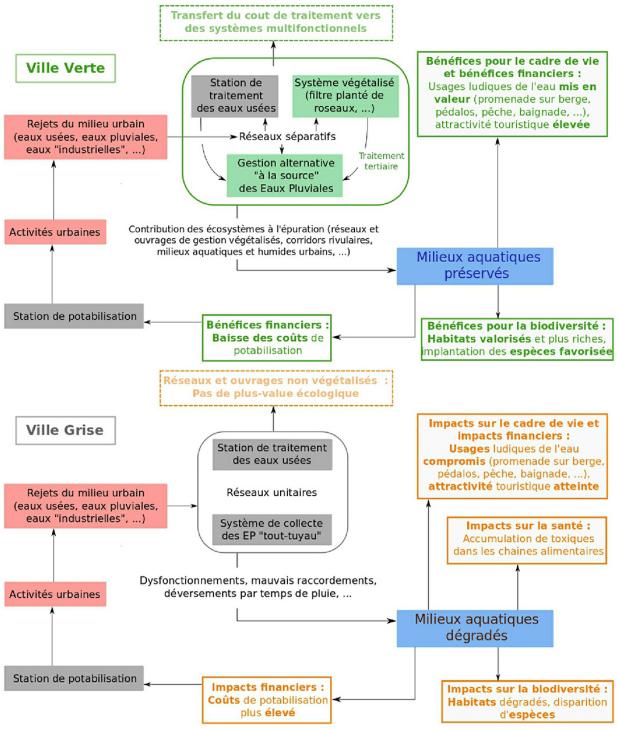
En résumé, le service d'auto-épuration des milieux aquatiques est le service retiré des écosystèmes permettant de disposer d'une eau propre et utilisable, ou nécessitant un moindre traitement, notamment pour la consommation d'eau douce nécessaire à la vie, mais aussi pour toutes les autres activités nécessitant des milieux aquatiques sains (services d'approvisionnement ou services à caractère socio-culturel) (CREDOC 2009b).

L'évaluation du service peut être faite aux deux échelles d'étude du milieu urbain :

- à l'échelle de la ville : L'ensemble des milieux humides et aquatiques collectant des eaux urbaines concourent au service d'auto-épuration, l'évaluation est cependant complexe à réaliser du fait des multiples sources de pollution (souvent diffuse) et de l'impossibilité d'établir un simple bilan de flux amont-aval ;
- à l'échelle de l'espace de nature : si la capacité d'auto-épuration d'un espace de nature dépend de sa position dans le bassin versant ou du réseau hydrographique dans lequel il s'inscrit, il est néanmoins possible de caractériser le service rendu à l'échelle de l'espace élémentaire. Un bilan de qualité de l'eau entrante et sortante de l'espace et de l'état de l'espace est parfois possible et permet une caractérisation fine du service.

Quelques chiffres : La capacité épuratrice de dispositifs enherbés aux abords d'un cours d'eau de six mètres de large atteint sur les écoulements superficiels une moyenne inter-annuelle de 70 %. Une bande enherbée de 12 à 18 m de large offre une capacité d'épuration entre 84 à 91 % (Onema, 2012a). De manière générale et en condition moyenne une zone tampon rivulaire[28]*, quelle qu'elle soit, d'une largeur de 10 à 20 m permet une épuration correcte, supérieure à 80 % du flux parvenant à la rivière de polluants tels que matières en suspension, azote, phosphore, pesticides…* (CSPNB 2008).

Illustration 30 : Comparaison des conséquences du fonctionnement d'une ville « grise » et d'une ville « verte ».
Source : Dter Est/C.Mucig, R. Suaire.



8.6.2 – *Caractérisation du Service*

8.6.2.1 – Dimension Biophysique

La caractérisation du service "Auto-épuration" met en jeu des indicateurs portant sur la qualité bio-géo-chimique des eaux et des sols, les caractéristiques morphologiques et spécifiques des espèces végétales présentes, des considérations hydrauliques et hydrologiques, associés à des notions d'étendue des écosystèmes. Plusieurs méthodologies ont été développées pour quantifier tout ou partie du service soit sur un écosystème en particulier (exemple des zones humides ou de filtres plantés de roseaux dont a été calculé le taux de rétention des polluants, Giroud *et al.*, 2007 ; Schmitt, 2014), soit sur une zone géographique (ex des travaux du Programme de Recherche Interdisciplinaire sur l'Environnement de la Seine (PIREN-Seine) qui vise à mieux comprendre le fonctionnement du bassin et sa capacité à réguler la pollution qu'il reçoit). Des modèles de transfert, de stockage/rétention et de dégradation de polluants existent également, généralement séparément et à des échelles variables (de l'ouvrage au bassin hydrographique) (Flipo 2005). Mais ces études restent ponctuelles et des données à l'échelle de la France manquent (CREDOC 2009b), (N. Maughan 2014).

Un bilan de flux de polluant amont/aval permet de caractériser à un instant donné la capacité d'autoépuration à l'échelle d'un espace de nature. Ce type de mesure ou de paramètre est donc le plus efficace pour caractériser le service, mais il est complexe à mettre en oeuvre et doit être répété fréquemment et sur le long terme pour être représentatif.

A défaut de disposer d'un indicateur global, il est possible d'évaluer les caractéristiques concourant au service et l'état de santé de l'écosystème témoignant de son aptitude à rendre le service.

Suite à une synthèse bibliographique il est possible d'identifier des paramètres utilisables pour quantifier le service. Ces paramètres sont pour la plupart créés et proposés dans le cadre de l'EFESE. Les indicateurs d'état utilisés pour décrire les paramètres de service sont issus de la liste présentée dans le chapitre 5 (complétés parfois par des indicateurs supplémentaires nécessaires à la caractérisation des paramètres présentés en Annexe).

Par ailleurs, des méthodes ont pu être développées et parfois testées pour quantifier et/ou qualifier directement le service d'auto-épuration. Elles sont répertoriées en Tableau 18.

Tableau 17 :

Méthodes globales de quantification/qualification du Service d'auto-épuration des milieux aquatiques ou d'une fonction écologique à l'origine du service

Nom, Référence	Échelle	Type	Objet d'étude	Méthode / paramètres	Objectifs de la méthode	Limites / moyens à mettre en œuvre / domaine application
Modèle Etat Transition, *Lavorel, Cerema*	local (EN)	Qual.	Espace de nature	Participative, dire d'expert et bibliographique ; Les indicateur d'état (*Cf.*ch5) sont utilisés en entrée et le résultat est un paramètre par service ;	qualification des SE en fonction de l'état des écosystèmes considérés	- à l'état de recherche ; - sur la base des connaissances du fonctionnement des écosystèmes ; - Disponibilité des données ; - Validation sur dires d'experts.
Matrice des capacités, *Bukhard, 2009, 2012), (stoll, 2014), (Campagne et al., 2016)*	BV	Qual.		Participative, sur dires d'experts Les paramètres de services ou le service global peuvent être analysés via cette méthode qualitative	qualification des SE en fonction de l'occupation du sol (ou du type d'écosystème) (possibilité de cartographier en fonction de la typologie employée)	- Opérationnel ; - Méthode participative requérant une animation ; - Validation sur dires d'experts.
Projet OMEGA, *Cherqui, F., 2013*	BV urbain	Qual.	Système de Gestion des Eaux Urbaines (SGEU)	Outil méthodologique Pas d'indicateurs directs utilisés mais une analyse systémique globale.	Définition des SE et des indicateurs permettant de les évaluer et de juger de la pertinence de solution de gestion pour les faire évoluer	- à l'état de recherche ; - évalue le service à l'échelle du SGEU incluant des espaces de nature (ouvrages de gestion alternative,..) ; - pas d'évaluation biophysique par service mais analyse systémique globale
Logiciel Invest, *Cabral, Feger 2015*	Agglo/ BV	Quant.		Modélisation de la rétention de nutriment Paramètre de sortie : Capacité de rétention du sol (partiellement représenté par la capacité de filtration et la rugosité de l'écosystème)	Cartographie des SE quantifiée sur la base de modèles numériques et d'occupation du sol	- Opérationnel (logiciel libre) ; - Module plus adapté à une grande échelle (SCOT, grand cycle de l'eau), sensible aux données d'entrée (charge azotée

Nom, Référence	Échelle	Type	Objet d'étude	Méthode / paramètres	Objectifs de la méthode	Limites / moyens à mettre en œuvre / domaine application
						notamment) ; - Disponibilité des données (occupation du sol, pluviometrie, MNT, …) ; - Mis en oeuvre à Bordeaux (à l'échelle de la CUB et du SCoT) et à Grenoble (échelle de la Région Urbaine de Grenoble) ;
Projet SIMPLUV : Outil d'aide à la decision pour la gestion des EP	Agglo / BV	Quant.		Modélisation des pressions polluantes (+hydraulique + physique) +Etude bibliographique +Intégration d'enjeux locaux Paramètres de sortie : flux quantitatif et qualitatif de l'eau (équivalent au Bilan amont-aval à l'échelle d'un BV).	Cartographie des pressions sur la ressource en eau et évaluation des effets des différentes solution de gestion des eaux sur la protection de la ressource (répond à la question : quel est l'effet sur le milieu de l'implantation de tel ouvrage à tel endroit dans la ville ?)	- à l'état de recherche (*in fine* outil utilisable par une collectivité) ; - modèle basé sur une recherche bibliographique, - Besoin de mesures de terrain, - Disponibilité des données (occupation du sol, pluviometrie, MNT, usages routiers, …) - Testé et développé en collaboration avec la commune de Lorient.
Itree - HYDRO	Agglo / BV	Quant.	Arbre en ville, zone humide	Modélisation basée sur : - Occupation du sol - mesures dendrométriques et morphologiques des arbres urbains ; - Données climatiques et caractéristiques du BV. Paramètres de sortie : flux quantitatif et qualitatif de l'eau (équivalent au Bilan	Cartographie des SE rendus par les arbres en ville sur la base de mesures dendrométriques et de modélisation numérique	- à l'état de recherche en France ; - Besoin de mesures de terrain et de calibration du modèle sur un nombre important de villes ; - Appliqué aux
				amont-aval à l'échelle d'un BV pour des paramètres physicochimiques - DBO/DCO, MES - et des nutriments - azote, phosphore).		USA et au Royaume-Uni.

Nom, Référence	Échelle	Type	Objet d'étude	Méthode / paramètres	Objectifs de la méthode	Limites / moyens à mettre en œuvre / domaine application
Outil CAWAQS Dans le cadre du programme PIREN-Seine	BV	Quant.		Modélisation basée sur : - Occupation du sol ; - Données climatiques et caractéristiques du BV ; - Mesures de qualité de l'eau. Paramètres de sortie : flux quantitatif et qualitatif de l'eau (équivalent au bilan amont-aval à l'échelle d'un BV pour des paramètres physicochimiques - DBO/DCO, MES - et des nutriments - azote, phosphore).	Cartographie des transfert, rétention et dégradation de polluants Évalue le transfert des polluants, leur stockage et dégradation à une grande échelle > doit permettre de quantifier le service à l'échelle ville,	- à l'état de recherche ; - Besoin de données important et temps de mesure/acquisitio n longs ; - Appliqué pour le bassin de la Seine.

À l'échelle de l'espace de nature des travaux expérimentaux ont été menés pour caractériser les pressions exercées par l'émission de polluants en milieu urbain sur les écosystèmes, mais également pour analyser la capacité de ces écosystèmes à capter, transformer, ou dégrader les polluants. Ces travaux généralement très spécifiques (caractérisation hydraulique, observation de la qualité chimique des dépôts, description des flux de micropolluants métalliques, effet de la végétation…) permettent dans la plupart des cas de décrire partiellement le service mais ne sont pas toujours extensible à une échelle plus large (Saulais 2011).

Des exemples de caractérisation fine des flux de polluants entrants/sortants d'ouvrages de gestion des eaux correspondants à des espaces de nature existent dans des cas particulier où l'instrumentation est possible (instrumentation permettant une caractérisation hydraulique du site, des prélèvements par événements pluvieux, des analyses chimiques…). Ces cas correspondent généralement à des espaces conçus pour collecter, concentrer et traiter les rejets urbains (l'instrumentation d'un écosystème collectant des un flux de polluants diffus en milieu urbain étant particulièrement complexe notamment pour la caractérisation hydraulique et le prélèvement d'échantillons représentatifs). Des exemples présentant des abattements de pollution sont donnés dans le tableau 19.

Tableau 18 :

Tableau comparatif des performances épuratoires de quelques systèmes extensifs de traitement des eaux pluviales

		Rejets urbains par temps de pluie (RUTP)			Rejets pluviaux stricts[a] et RUTP[b]
Type de filière		Zones de rejets végétalisées	Marais artificiels peu profond	Filtre planté de roseaux horizontal	Filtre planté de roseaux vertical
Performances épuratoires moyennes observées (abattement de la pollution en %)	Source	Colin et al., 2013	US EPA, 1999	Boutin et al., 2000	Branchu et al., 2010 (a) et Giroud et al., 2007 (b)
	MES	54	67	80 à 84	92a, b
	Phosphore total	2	49		
	Azote ammoniacal			42 à 58	29[a]
	Azote Kjeldahl	1			54[a]
	Azote total	5	28		
	Hydrocarbures		87		82[a]
	Plomb		62		81[a]
	Cuivre		41		
	Zinc		45		78[a]
	Cadmium		36		25[a]
	Bactéries		77		
	DBO5	38			88[a]
	DCO	36		76 à 80	75a, b

La majorité des études concerne des milieux humides, les espaces verts présentant des difficultés d'instrumentation et n'étant pas conçus pour gérer les eaux pluviales dans la majorité des cas. Certains types d'ouvrages intermédiaires très particuliers comme les dispositifs végétalisés de gestion des eaux pluviales à la parcelle (noues, bandes enherbées, fossés filtrants…) ont en revanche pu être évalué dans certains cas précis.

Les travaux menés dans les cadres des deux observatoires urbains français, l'OTHU et l'OPUR font notamment référence sur le sujet.

A) La matrice des capacités (Bukhard, 2009, 2012), (Stoll et al. 2014), (Campagne 2016) : une évaluation qualitative des SE sur base de dire d'expert et de bibliographie

La méthode de la matrice des capacités s'appuie sur le croisement de références bibliographiques et de dires d'expert pour attribuer des valeurs de services rendus (sur une échelle de 1 à 5) à des types d'occupation du sol (généralement basé sur une cartographie uniforme à grande échelle

comme Corine Land Cover) (voir définition détaillée dans la description du service régulation des inondations).

Le service d'autoépuration des milieux aquatiques n'est pas défini en tant que tel dans la méthode de Burkhard (Burkhard, Kroll, et Muller 2012) mais scindé en deux services : "épuration de l'eau" et "régulation des nutriments". Le milieu urbain est mal décrit dans les exemples d'application disponibles.

La méthode permet également de croiser la demande avec la fourniture du service (en s'appuyant sur des données de densité de population cartographiées). Elle peut se révéler particulièrement appropriée pour étudier à une échelle large la capacité d'un bassin versant, d'une zone périurbaine, ou d'une collectivité à fournir les services écosystémiques demandés par les habitants de sa partie urbanisée (en complément des espaces de nature en ville).

B) La rétention des nutriments dans les sols, condition à l'épuration par les espaces de nature : modélisation par le logiciel INVEST (Projet Esnet, 2016 ; Cabral et al. 2006)

INVEST est un modèle permettant de cartographier des valeurs d'indicateurs biophysiques quantitatifs de services écosystémiques, et dans certains cas d'en donner une évaluation économique (voir définition détaillée dans la description du service régulation des inondations).

Le service d'"Épuration de l'eau" défini dans le modèle INVEST représente la capacité de rétention des nutriments et des sédiments des écosystèmes. Les données utilisées comprennent : un modèle numérique de terrain (MNT : données topographiques cartographiées), les précipitations moyennes, des données bibliographiques sur l'évapotranspiration, les capacités de rétention d'eau et de stockage de nutriments des sols et des plantes et l'occupation du sol. Ces données sont utilisées pour attribuer des coefficients par type d'occupation du sol.

Le modèle croise donc la circulation de l'eau (à l'échelle d'un bassin versant ou sous-bassin versant) et des caractéristiques des sols (dépendantes de l'occupation du sol fixée sur la base d'une typologie homogène comme Corine Land Cover) afin de déterminer la rétention des nutriments (nitrates et phosphates) à l'échelle de la parcelle (ou de l'espace de nature). La rétention des éléments nutritifs est rapportée (phosphore et azote) en kg / ha / an.

Il convient de noter que l'application du modèle INVEST dans le cadre du projet Esnet est réalisée sur le péri-urbaine plutôt que sur le cœur de ville.

C) Le projet SIMPLUV : un outil d'aide à la décision pour l'implantation d'ouvrage de gestion des eaux pluviales favorisant l'épuration

L'outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux pluviales sur un territoire urbain est basé sur une analyse de l'occupation du sol permettant de définir les émissions polluantes par sous-bassin versant afin de cibler et préciser les investigations et de fournir des éléments pour choisir les ouvrages à implanter et leur localisation.

Dans un premier temps des données SIG sur l'occupation du sol, le réseau hydrographique, et la BD topo sont couplées à des données bibliographiques sur l'émission de polluants dans l'air et sur les surfaces urbaines en fonction notamment du trafic. Le couplage de ces données permet de déterminer un indice de pollution apporté par le bassin versant (a priori pour n'importe quel polluant sélectionné et pour lequel des références bibliographiques sont disponibles). Une approche similaire est adoptée pour déterminer une pression hydraulique (débit et volume entrant sortant) et une pression physique (érosion et incision des cours d'eau).

L'outil sert ensuite à tester l'influence de différents plans de gestion sur la hiérarchisation des pressions par sous bassin versant, pour favoriser la préservation du milieu récepteur. L'outil quantifie par exemple l'effet de l'implantation d'un filtre planté sur le réseau pluvial en termes d'abattement de la pollution et d'un point de vue hydraulique.

Si des tests ont été effectués sur l'agglomération de Lorient, les résultats ne sont à ce jour pas encore disponibles. L'outil est toutefois conçu pour fonctionner à l'échelle de la ville et permet notamment de vérifier l'influence de l'implantation d'espace de nature conçu pour le traitement des eaux sur le service d'autoépuration des milieux aquatiques

D) Le modèle i-Tree : évaluation biophysique et économique des SE rendus par les arbres en ville

Le module i-Tree Hydro permet de caractériser spécifiquement l'effet de la végétation sur l'hydrologie à l'échelle d'un bassin-versant. Il représente les variations de qualité de l'eau à l'exutoire en fonction de l'occupation du sol et du couvert arboré en ville (associé à la strate arbustive et la strate herbacée si elles sont présentes).

En plus des données SIG (hydrographie, MNT, occupation du sol…) de nombreux paramètre hydrologiques et concernant la couverture arborée doivent être compilés pour utiliser le modèle.

Le calcul du flux de pollution transmis au milieu récepteur se fait sur la base de la modélisation hydrologique et de valeur moyennes de charges polluantes par événement pluvieux. Le modèle suppose ainsi que l'abattement de la pollution est uniquement dû au type d'occupation du sol et son influence sur le comportement hydrologique (l'influence de cette hypothèse simplificatrice étant non étudiée dans les exemples d'applications disponibles du modèle).

Le modèle permet un calcul à l'échelle d'un petit bassin versant mais est plus approprié à une échelle équivalente à celle de la ville et de son bassin versant qu'à l'échelle d'un espace de nature et son bassin versant. En effet, à l'échelle de l'espace de nature, l'outil propose des taux d'abattement moyens par unité de surface sans prendre en compte dans le détail un certain nombre de paramètres liés à la rugosité ou la végétalisation de l'espace. À l'échelle de la ville cette approche basée sur l'occupation du sol et la topographie est plus performante.

Aucune application n'a été effectuée en France à notre connaissance. Les applications d'envergure internationale du modèle global i-tree n'ont pas mobilisé le module Hydro (pas d'application au Royaume-Uni en France ou en Espagne par exemple) mais quelques exemples existent aux États-

Unis. La fiabilité des résultats concernant la qualité de l'eau et donc le service d'auto-épuration des milieux aquatiques reste donc à confirmer.

E) Le modèle CAWAQS : estimation des flux de polluants à l'échelle du bassin versant dans le cadre du programme PIREN-Seine

Des modèles simulant les transferts "Eau/sol/plante" peuvent également déterminer la capacité d'espaces de nature à fixer ou dégrader des polluants (Flipo 2005). Des exemples sont disponibles en France de la mise en œuvre à grande échelle du couplage de modèles de transfert de polluant, notamment ceux utilisés dans le cadre du programme PIREN-Seine (Outil CAWAQS, basé sur le couplage des modèles STICS, PROSE et NEWSAM).

Ce programme pluriannuel de grande ampleur a eu pour objectif de décrire, modéliser et comprendre le fonctionnement hydraulique et écologique du bassin de la seine et de ses principaux affluents. Dans ce cadre, le développement de l'outil CAWAQS a permis de décrire notamment le rôle des zones humides du bassin versant du Grand Morin dans la dénitrification. Les transferts de nitrates à l'échelle du bassin ont été modélisés y compris dans la zone urbaine présente sur la partie en aval du Grand Morin. À titre d'exemple, les résultats de modélisation sur les 40 derniers km du bassin du Grand Morin concluent à stockage de 39 % des flux d'azote reçu dans les aquifères, un export de 41 % par les rivières et une dénitrification dans la zone benthique pour les 20 % d'azote restant (Flipo 2005).

Ce type de travaux nécessite cependant le développement d'un modèle lourd pour coupler plusieurs outils numériques existants, et surtout un programme de mesure adapté et ambitieux pour valider les hypothèses prises et caler le modèle. Plusieurs années mobilisant plusieurs équipes de recherche ont été nécessaires pour un travail de cette ampleur.

8.6.2.2 – Dimension Socio-économique

A) Service d'auto-épuration de l'eau et bien-être humain

Le service d'auto-épuration des milieux aquatiques urbains participe au bien-être humain en ce qu'il permet de disposer d'une eau propre et utilisable, ou nécessitant un moindre traitement, pour la consommation d'eau douce ainsi que pour les autres activités nécessitant des milieux aquatiques sains telles que la pêche ou un certain nombre de services culturels.

Ce faisant, les espaces de nature en ville diminuent les coûts de traitement et d'épuration des eaux (potabilisation et dépollution) mais aussi et surtout les risques de maladies liés à la mauvaise qualité des eaux.

B) Exemple d'évaluation économique du service d'auto-épuration rendu par les zones humides urbaines

8.6.2.2.b.1) L'évaluation économique du service d'approvisionnement en eau pour les milieux humides urbains de la ceinture verte de Montréal

Dans une étude visant à évaluer économiquement les services rendus par les écosystèmes de la ceinture verte de Montréal (Groupe AGECO 2013) les auteurs s'intéressent notamment, à la purification de l'eau par les milieux humides, service pouvant "être perçu comme un service final d'approvisionnement en eau potable pour la population, mais […] aussi […] comme un support à d'autres services écosystémiques. Par exemple, l'approvisionnement en eau de qualité permet de supporter des activités dans les milieux aquatiques […] Dans certains cas, ce service écosystémique contribue aussi à des activités commerciales, telles que la pisciculture et la conchyliculture. Dans le cadre de la ceinture verte, seule la valeur correspondant à l'alimentation en eau potable a été utilisée […][29].

Plus précisément, la contribution des milieux humides au service d'approvisionnement en eau a été évaluée via la réduction des coûts de traitement de l'eau que ces milieux permettent. En outre, les auteurs font "une distinction entre la valeur de purification de l'eau pour les milieux humides en zone rurale et urbaine, […] la pression de dépollution portée par les milieux humides urbains étant plus grande".

Via du transfert de valeur, les auteurs établissent la valeur de l'approvisionnement en eau pour les milieux humides urbains à **3248 $/ha/an** (2279 €, taux de conversion au 8/12/2016) et à **1328 $/ha/an** (932 €, taux de conversion au 8/12/2016) pour les milieux humides ruraux.

Tableau 19 :

Synthèse de la valeur des biens et services écosystémiques des milieux humides urbains[a]

	Tourbières			Marais			Marécages			Étangs et eaux peu profondes		
Biens et services écosystémiques	**$/ha/an**	**Superficie (ha)**	**Valeur totale**	**$/ha/an**	**Superficie (ha)**	**Valeur totale**	**$/ha/an**	**Superficie (ha)**	**Valeur totale**	**$/ha/an**	**Superficie (ha)**	**Valeur totale**
Régulation du climat												
Stockage du carbone	1 362	995	1 354 781	795	1 944	1 545 480	633	5 447	3 447 698	992	295	292 342
Séquestration du carbone	28	995	27 852	28	1 944	54 432	28	5 447	152 505	28	295	8 252
Qualité de l'air	n.d.	995		n.d.	1 944		n.d.	5 447		n.d.	295	
Pollinisation	n.d.	995		n.d.	1 944		n.d.	5 447		n.d.	295	
Loisirs et tourisme	710	995	706 237	710	1 944	1 380 240	710	5 447	3 867 086	710	295	209 237
Traitement des déchets	**3 248**	**995**	**3 230 786**	**3 248**	**1 944**	**6 313 787**	**3 248**	**5 447**	**17 690 557**	**3 248**	**295**	**957 186**
Approvisionnement en eau	n.d.	995		n.d.	1 944		n.d.	5 447		n.d.	295	
Habitat	2 298	995	2 285 821	2 298	1 944	4 467 312	2 298	5 447	12 516 287	2 298	295	677 221
Prévention des inondations	6 432	995	6 397 910	6 432	1 944	12 503 808	6 432	5 447	35 032 531	6 432	295	1 895 510
Plaisir esthétique et spirituel	n.d.	995		n.d.	1 944		n.d.	5 447		n.d.	295	
Contrôle biologique	n.d.	995		n.d.	1 944		n.d.	5 447		n.d.	295	
Valeur totale	**14 078**	**995**	**14 003 387**	**13 511**	**1 944**	**26 265 384**	**13 349**	**5 447**	**72 706 663**	**13 708**	**295**	**4 039 748**

a. Ibid.

8.6.2.2.b.2) Les méthodes de monétarisation mobilisables

S'agissant de cette partie, il est proposé de renvoyer directement aux travaux menés dans le cadre du groupe de travail "Zones humides" de l'Efese et notamment à la fiche relative au service écosystémique "Auto-épuration des milieux aquatiques". Ladite fiche explicite notamment :

- **les deux approches distinctes en matière d'évaluation monétaire du service d'auto-épuration des milieux aquatiques : l'évaluation du service en tant que tel, autrement dit de la capacité épuratoire du milieu, et l'évaluation par les usages ;**
- **les données nécessaires à la conduite de l'évaluation.**

En résumé, la première approche, qui consiste à s'appuyer plutôt sur la méthode dite des coûts substituts, revient à valoriser le niveau ou taux d'abattement ou de rétention des différents polluants par les milieux humides, en le multipliant par les coûts de traitement des eaux sur les différents paramètres ciblés en station d'épuration.

La mise en œuvre de cette méthode à l'échelle des 12 villes françaises retenues pour l'Efese urbain nécessiterait de connaître la capacité épuratoire de l'ensemble des zones humides présentes dans lesdites villes. Une autre solution pourrait consister à faire du transfert de valeur, concernant notamment la capacité épuratoire des zones humides pour les nitrates (voir méthode proposée par le groupe de travail Zones humides de l'Efese).

La mise en œuvre de cette méthode nécessite, également, de disposer des coûts de traitement en station (*Cf.* les exemples de valeurs de coûts de traitement des nitrates et des pesticides en station donnés dans la fiche).

La deuxième approche consiste à évaluer le service d'auto-épuration des milieux humides via les usages qui en bénéficient, telles que la conchyliculture, la pêche à pied ou l'alimentation en eau potable. La mise en œuvre de cette méthode à l'échelle des 12/15 villes françaises retenues pour l'Efese urbain pourrait consister à identifier quelques zones humides clés/emblématiques pour chacune des 12/15 villes françaises retenues pour l'Efese urbain et à quantifier les usages associés.

8.6.2.2.b.3) Évaluation française des services rendus par les zones humides

Le Commissariat général au développement durable a mené plusieurs études visant à attribuer une valeur monétaire aux différents services rendus par les zones humides, parmi lesquels le service de purification de l'eau.

Celui-ci a en effet fait l'objet d'une évaluation économique pour trois sites tests localisés dans le bassin Seine-Normandie : le Parc Naturel Régional des marais du Cotentin et du Bessin, la plaine alluviale de la Basse et la moyenne vallée de l'Oise(CGDD 2013a).

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 20 :

Valeur monétaire du service de purification de l'eau rendu par les zones humides (CGDD 2013a)

Site	Cotentin et Bessin		Bassée		Oise	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Service de purification de l'eau rendu par les zones humides (€/an/ha)	830	890	475	1420	315	560

Dans les trois cas d'étude, le service a été évalué selon l'approche par les usages.

8.6.3 – *Principaux déterminants du niveau de service*

8.6.3.1 – Liens avec l'espace de nature

Le lien entre la capacité de l'écosystème à rendre le service et son état n'est présenté ici qu'à l'échelle de l'espace de nature en poursuivant ainsi l'élaboration du modèle Etat-transition.

La capacité de l'espace de nature à rendre le service en fonction de son état (les états étant définis dans le chapitre 5) est déterminée de manière qualitative sur dire d'expert ainsi que sur la base de la bibliographie. Pour chaque état (en fonction des indicateurs d'état décrits dans le chapitre 5, le niveau de service est noté de 1 à 4).

Comme il est détaillé dans les chapitres 5, 6 et 7, des transitions sont possibles entre états, ceux-ci étant par nature temporaires. Les états "Terrain Vague" et "MH asséché" sont particulièrement concernés par cette affirmation, le terrain vague dans la définition que nous en faisons étant un espace "à aménager" et le MH asséché pouvant retrouver ses fonctionnalités en cas de réalimentation en eau par exemple. Les 4 niveaux de service sont définis pour être en cohérence avec les classes déterminées pour les indicateurs d'états, 4 correspondant de très bon à bon, 3 moyen, 2 médiocre et 1 mauvais.

Tableau 21 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	Terrain vague (Vocation zone AU du PLU)	Espace vert ordonné ou horticole	Éco-parc		Espace naturel (ex pas du loup à Metz, sans gestion, espace classé en zone N par exemple au PLU)
				sans gestion alternative des eaux	avec gestion alternative des eaux	
- taux imperméabilisation ; - perméabilité des sols ; - volume de stockage des eaux en surface ; - Habitat (CBS), peut influencer la rugosité des milieux et l'écoulement ; - connectivité ; - Communauté lombricienne (qualité chimique) ; - qualité chimique des eaux douces ;		**Entre 1 et 2 :** pas de végétation ayant un rôle dans la dépollution, qualité du sol très variable, pas de gestion ntégrée des EP, plus ou moins mperméabilisé, possibilité de présence de pollution (déchets …).	**Entre 2 et 3 :** assainissement tout tuyau, pas de végétation ayant un rôle dans la dépollution, plus ou moins imperméabilisé (cheminement piéton), source de pollution dû aux produits phytosanitaires (interdiction à partir de 2019 mais substance persistante), perméabilité variable mais sol en place de qualité variable.	**Entre 3 et 4 :** assainissement tout tuyau, pas de végétation ayant un rôle dans la dépollution, imperméabilisation maitrisée, perméabilité variable mais sol en place de qualité moyenne à très bonne, plus de diversité d'espèces et rugosité augmentée ;	**4 :** Gestion intégrée des EP, végétation pouvant avoir un rôle dans la dépollution, imperméabilisation maitrisée et intégrée dans la logique de gestion des EP, perméabilité variable mais sol en place de qualité moyenne à très bonne, plus de diversité d'espèces et rugosité augmentée.	**Entre 3 et 4 :** Pas de gestion des EP, pas de végétation ayant un rôle dans la dépollution, imperméabilisation très limitée, perméabilité variable et sol en place de bonne qualité, très bonne diversitée d'espèces et rugosité augmentée.

Les espaces verts urbains, zones perméables aux sols fonctionnelles et végétalisées, peuvent contribuer significativement à l'épuration des eaux (pluviales notamment). Les facteurs influençant l'infiltration de l'eau et le temps de séjour (volume de stockage, rugosité, perméabilité…) et la qualité de la végétation sont des facteurs prépondérants. La gestion et la conception des espaces est également centrale, dans la mesure ou la circulation de l'eau dépendra essentiellement de la phase amont de la conception et ou la gestion pourra influencer des paramètres comme la rugosité ou la perméabilité. Dans une moindre mesure la fréquentation pourra influencer le niveau de service rendu.

Tableau 22 :

Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts

indicateurs d'état mobilisés (*Cf.* ch5)	Paramètres de services mobilisables	MH asséché	MH peu aménagé et dégradé	MH préservé ou artificiel		MH naturel (ex : La petite Amazonie à Nantes)
				aménagé et gestion équilibré	Base de loisir (ayant vocation à accueillir du public)	
- taux imperméabilisation ; - perméabilité des sols ; - volume de stockage des eaux en surface ; - Habitat (CBS), peut influencer la rugosité des milieux et l'écoulement ; - connectivité ; - Communauté lombricienne (qualité chimique) ; - qualité chimique des eaux douces ;		**1 :** MH qui ne joue plus son rôle de rétention /stockage des eaux, espace drainé, comblé, le temps de séjour est diminué.	**Entre 1 et 2 :** hydropériode non gérée et potentiellement modifié par le biais d'un événement particulier (colmatage,…), contribue à la rétention et au stockage des eaux.	**4 :** hydropériode caractéristique d'un MH, contribue à la rétention et au stockage des eaux, limitation du piétinement, végétation hygrophile sélectionnée, fonctions biologiques du sol préservées, gestion appliquée pouvant être conçue pour être favorable à la rétention des polluants.	**Entre 3 et 4 :** hydropériode pouvant être modifiée, MH pouvant être régulé pour un accueil du public, peut contribuer à la rétention et au stockage des eaux de manière limitée, piétinement régulier	**Entre 3 et 4 :** hydropériode caractéristique d'un MH, contribue à la rétention et au stockage des eaux, limitation du piétinement, végétation hygrophile adaptée, fonctions biologiques du sol préservées.

En plus des facteurs communs avec les espaces verts (perméabilité, rugosité, …) la gestion des hydropériodes et de la hauteur d'eau dans le milieu humide vont être déterminantes pour l'autoépuration des eaux.

Par exemple une base de loisir avec une gestion des hydropériodes adaptées à des pratiques sportives et/ou des fins récréatives ne sera pas nécessairement adaptée pour favoriser un temps de séjour optimal pour l'épuration de l'eau.

8.6.3.2 – Liens avec le fonctionnement

Ce processus est cependant dépendant de quatre facteurs majeurs (Sauve et al. 2014) :

- la texture du sol qui traduit la répartition granulométrique (taille) des particules minérales qui le composent,
- la structure, qui est la façon dont s'agrègent naturellement et durablement les particules élémentaires, minérales et organiques,
- la matière organique, qui joue un rôle fondamental sur ses propriétés physicochimiques et ses fonctions (formation et stabilité de la structure, résistance à la compaction, aération et stockage de l'eau, rétention de minéraux et de certains métaux…)

- le comportement hydraulique, qui se caractérise par la porosité (microporosité et macroporosité), qui correspond au volume total des vides du sol remplis d'eau ou d'air et la perméabilité, qui traduit l'aptitude du sol à laisser circuler l'eau.

Par exemple, *lorsque le sol présente une faible perméabilité (cas des sols argileux), une mauvaise structuration ou une forte compacité, comme c'est souvent le cas en milieu urbain, l'eau ruisselle en surface et seule une faible partie est infiltrée. Au contraire, l'eau s'infiltre très facilement en cas de forte macroporosité (cas des sols sableux).*

D'autre part, le sol n'est pas un composant inerte et les micropolluants présents sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement, peuvent être retenus dans les sols par des processus de sorption à la surface des constituants du sol (Blecken et al., 2009 ; (Citeau 2006), (Soullier et al. 2002). Encore une fois les caractéristiques du sol influencent cette capacité. Les sols argileux, comparés aux sols sableux présentent par exemple une très bonne fixation de la matière organique et des polluants. D'autre part, certains facteurs comme le pH influencent la capacité de fixation des polluants.

Sédimentation et stockage

La rugosité de la végétation des milieux humides (ripisylves notamment) modifient les conditions de transport de l'eau et les vitesses d'écoulement sont ralenties. Cela entraîne la **sédimentation et le stockage des matières en suspensions (MES) qui peuvent contenir des quantités importantes de nutriments (azote et phosphore), de débris organiques, de bactéries, de métaux, de phytosanitaires**, etc…

Dans les espaces végétalisés non humides tels que les noues, fossés ou bassins qui interceptent le cheminement des eaux pluviales, **la rugosité de la végétation** (tiges et feuillages notamment) **ou de la couche de surface** (richesse en humus, débris végétaux…) **ralentit l'écoulement et favorise la sédimentation** des particules solides sur lesquelles peuvent être adsorbé d'autres composés (Sauve et al. 2014), (Soullier et al. 2002).

Quelques chiffres : *La capacité épuratrice de dispositifs enherbés aux abords d'un cours d'eau de six mètres de large atteint sur les écoulements superficiels une moyenne inter-annuelle de 70 %. Une bande enherbée de 12 à 18 m de large offre une capacité d'épuration entre 84 à 91 % (Onema, 2012a). De manière générale et en condition moyenne une zone tampon rivulaire (CSPNB 2008), quelle qu'elle soit, d'une largeur de 10 à 20 m permet une épuration correcte, supérieure à 80 % du flux parvenant à la rivière de polluants tels que matières en suspension, azote, phosphore, pesticides… (CSPNB 2008)*

Transformation par les micro-organismes

Composante majeure des réactions de dégradation des polluants organiques, la transformation par les micro-organismes des sols se fait par diverses réactions physico-chimiqes réduction, oxydation, séquestration, volatilisation… L'**azote organique pourra notamment être minéralisé** [30] (Norganique > NH4+ > NO_3-) puis métabolisé ultérieurement par les végétaux et les algues (CSPNB 2008) Truu et al., 2009). C'est également le cas des micro-polluants

organiques (hydrocarbures, produits phytosanitaires…) qui peuvent être utilisés comme source d'énergie par les micro-organismes et **être bio-dégradés** (Migrain et Monteil 1992), (Técher 2011).

Absorption et modification de la mobilité des polluants par les végétaux

En plus de l'absorption et de la métabolisation de nutriment (nitrates, phosphates, …) les végétaux peuvent **accumuler et stocker certains micro-polluants** comme les composés métalliques. Par ailleurs, via l'action racinaire, les végétaux induisent des changements au niveau de la matière organique dissoute, du pH ou encore de l'oxygénation et de la perméabilité du sol et ont ainsi un **effet sur la solubilité et la mobilité des métaux**[31] (Blecken et al., 2009) d'une part et l'**efficacité de l'action microbienne**[32] d'autre part.

Le devenir des pollutions est assez complexe et résulte d'une **multifonctionnalité exercée par l'action combinée du sol, des végétaux et des micro-organismes.**

De même il a été montré que les performances épuratoires des systèmes végétalisés de traitement des eaux étaient dépendantes de ces trois paramètres et l'objectif est aujourd'hui d'arriver à tirer partie d'un maximum de ces fonctions écologiques pour les optimiser (Huang et al., 2012 ; Truu et al., 2009 ; Vymazal, 2005).

Quelques chiffres

Le réseau racinaire peut réduire considérablement la teneur en sels nutritifs tels que les nitrates et les phosphates. L'action conjuguée de l'absorption racinaire par les végétaux et la dénitrification par les micro-organismes peut dans certaines conditions éliminer plus de 99 % des nitrates (Onema, 2012a).

Les plans d'eau du parc de Miribel-Jonage (France) permettent de faire passer la teneur des eaux en nitrates (NO_3) de 50 à 10 mg/l environ (Fedenatur, 2004).

L'efficacité d'une bande enherbée à limiter le transfert des pesticides par ruissellement est généralement supérieure à 50 % et dépasse souvent 90 %, pour un large spectre de substances (Gouy et al.).

À Rochefort (France), une station de lagunage de 70 ha permet de traiter naturellement environ 5000 m^3 d'eaux usées par jour.

Sur un ensemble de zones humides réparties sur 89 sites à travers le monde, il a été estimé que la fonction d'épuration pouvait représenter une valeur économique d'environ 251 €/ha/an (CREDOC 2009a).

8.6.3.3 – Liens avec les pratiques de gestion

L'état du continuum Eau-Sol-Plante-Micro-organismes et les interactions entre ces différents compartiments sont les principaux déterminants du service d'auto-épuration.

Les pratiques de gestion définies dans le chapitre 6 ayant une influence sur l'état de ces compartiments sont susceptibles d'influencer le niveau de service.

En lien avec les indicateurs d'état décrits ci-dessus (*Cf.* tableaux 22 et 23), les facteurs suivants influencent le niveau de service rendu par les écosystèmes :

- Gestion de la végétation : tonte, fauche/faucardage… sont nécessaires pour assurer le fonctionnement des espaces de nature, une mauvaise coordination entre les interventions, les cycles biologiques et les seuils de résilience des écosystèmes peut défavoriser le service d'auto-épuration de milieux aquatiques. Une évolution naturelle et spontanée de la végétation peut être privilégiée (en particulier en période de croissance et lors d'événements climatiques extrêmes de type sécheresse ou pluie importantes) pour maintenir les fonctions écologiques et un favoriser la circulation de l'eau dans le sol. Le service peut donc être favorisé par des fauches tardives, une gestion des adventices et de manière globale un maintien de l'équilibre de l'écosystème (une végétation fonctionnelle permettant de limiter naturellement le colmatage). Cet équilibre permet de limiter le colmatage, une des principales sources de dysfonctionnement des espaces de nature recevant des eaux urbaines, mais des curages périodiques peuvent être nécessaires selon les cas[33]. L'exportation des produits de fauche en fonction de la quantité et de la qualité peut aussi influencer le service, un excès de déchets végétaux pouvant favoriser l'apparition d'un milieu nitrophile, tandis qu'une couche superficielle de végétaux morts peut favoriser des processus biologiques de dégradation (ANLV, 2013 ; Citeau, 2006 ; Paulus, 2011).
- Utilisation de produits phytosanitaires : Outre l'influence directe des produits phytosanitaires en tant que polluants, leur toxicité avérée pour un certain nombre de miro-organisme et leur effet néfaste en termes de biodiversité à l'échelle de l'écosystème peuvent déséquilibrer les processus biologiques en jeu dans l'auto-épuration (Ecosphère & Agence de l'eau RMC 2006), (Soullier et al. 2002).
- Gestion de l'hydropériode : la gestion de l'hydropériode des milieux humides recevant des eaux urbaines est guidée par les conditions hydrauliques mais peut être modulée pour permettre un maintien ou un développement des fonctions écologiques supports du service d'auto-épuration (Agence de l'Eau Artois-Picardie, 2007). Une gestion des périodes d'inondation et d'assèchement peut en effet favoriser des processus biologiques qui permettront la rétention ou la dégradation de certains polluants. La gestion de l'hydropériode peut également modifier le temps de séjour et ainsi la rétention des sédiments (Sauve et al. 2014), (Soullier et al. 2002).
- Modification de l'hydromorphologie des cours d'eau : la chenalisation, le nettoyage et le recalibrage pour éviter leur débordement annihile la fonction de sédimentation et de stockage ; le prélèvement au sein des structures alluvionnaires peut conduire à l'apparition d'un substrat uniforme qui limite de manière considérable la capacité d'accueil de l'ensemble des organismes contribuant à l'auto-épuration (Ecosphère & Agence de l'eau RMC 2006).

D'une manière générale, les fonctions biologiques contribuant au service d'auto-épuration nécessitent des conditions physico-chimiques et hydrauliques diverses. Une diversité globale de milieux ainsi qu'une diversité de bio-morphologique au sein des espaces de nature favorise donc la qualité du service rendu en favorisant l'ensemble des fonctions écologiques contribuant au service.

L'influence des pratiques de gestion sur l'état des espaces de nature en milieu urbain est discutée en détail dans le chapitre 6.

8.6.4 – *Valeurs du service et discussion*

8.6.4.1 – Évaluations locales

Les évaluations de ce service d'auto-épuration des eaux seront montrées au travers de quatre expériences locales qui feront l'objet de quatre présentations sous forme de « zoom ».

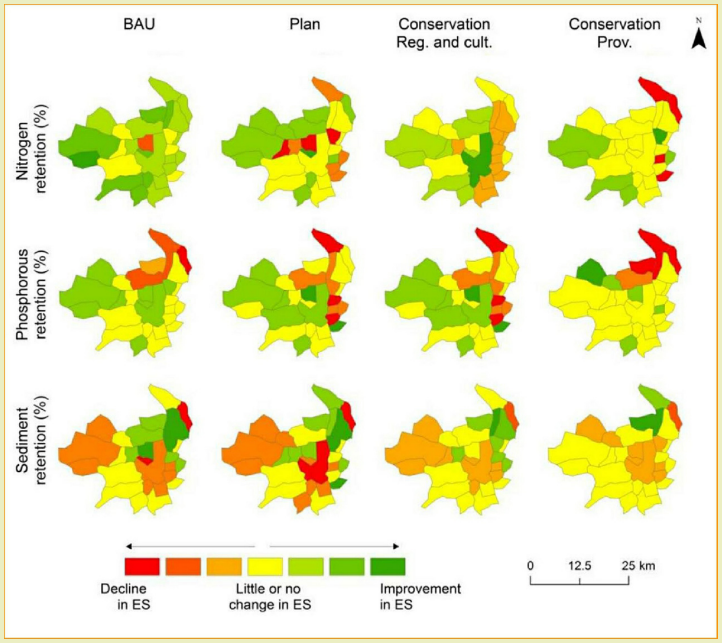
Il convient de noter que certains exemples rapportés ici portent sur une échelle supérieure à celle de la ville, ce qui souligne le fait que les méthodes d'évaluation existantes sont dans la plupart des cas peu adaptées à la caractérisation des services rendus par l'écosystème urbain.

Zoom 1

Les résultats de l'outil INVEST en France

La Communauté Urbaine de Bordeaux a notamment utilisé ce modèle pour représenter l'évolution prévisible du service d'auto-épuration des milieux aquatiques en fonction de différents scénarios de gestion et d'aménagement. Les résultats pour la rétention de nutriments et de sédiments sont présentés dans l'illustration 32.

Illustration 31 : Moyennes de l'évolution des SE par commune de l'agglomération bordelaise en fonction des scénarios d'aménagement à horizon 2030



Légende : BAU ="Buisness As Usual" : tendance historique de 1990 à 2000 maintenue ; "Plan" : Utilisation des PLU disponible pour simuler les aménagements prévus ou prévisibles ; "Conservation - regulation and cultural services" : tendance historique et simulation de changement positifs prévisible dans les types d'espaces contribuants aux services de régulation et services culturels ; "Conservation - Provisioning" : tendance historique et simulation de changement positifs prévisible dans les types d'espaces contribuants aux services d'approvisionnement.

Les premières conclusions de l'étude menée sur le territoire de la CUB tendent à démontrer que la qualité du service d'auto-épuration du territoire selon la couverture du sol est globalement en diminution quel que soit le scénario d'évolution (forte diminution dans la zone ou la pression foncière est la plus forte, autour de la ville de bordeaux et le long de la Garone à l'Est, faible augmentation à l'ouest pour la rétention de nitrate). Les scénarios proposés sont plus favorables aux services culturels et de régulation du climat global.

Un diagnostic semi-quantitatif de la rétention d'azote par les écosystèmes a également été réalisé sur le territoire de la région urbaine de Grenoble dans le cadre du projet ESNET (Futur des réseaux de services écosystémiques dans la région urbaine de Grenoble) - OPERAs.

Le modèle Invest permet dans ce cas précis de chiffrer de manière relative la capacité de rétention en azote en fonction de l'occupation des sols en croisant l'influence de l'hydrographie et des pratiques de gestion sur les flux d'azote dans le paysage. Cette donnée de rétention renseigne sur la quantité d'azote qui n'atteindra pas le réseau hydrographique.

Illustration 32 : Représentation normalisée de la capacité de rétention de l'azote des sols de la région urbaine de Grenoble (REF).



Zoom 2

Des zones humides pour traiter les eaux usées urbaines

Illustration 33 : Présentation schématique de la Zone Libellule avec ses différents dispositifs (Lyonnaise des Eaux 2013)



La Zone Libellule[34] pour « **Zone de LIberté Biologique Et de LUtte contre les polLuants Emergents** », est un espace artificiel humide de 1,5 ha, mis en œuvre en aval de la station d'épuration de St Just-St Nazaire de Pézan (5 000 équivalent-habitants), basée sur la capacité épuratoire de la nature afin d'améliorer les performances d'élimination des micropolluants résiduels des eaux usées avant leur rejet dans la nature (résidus médicamenteux, cosmétiques, solvants, pesticides, …).

Un ensemble de bassins en eau, regroupant successivement différentes espèces de plantes et de micro-organismes associés, choisies pour leurs capacités naturelles, permettent d'absorber certains polluants. La zone est conçue pour abriter différents types de milieux humides (bassin à phytoplancton, roselière, méandre, delta, prairie humide….) qui permettent de varier les vitesses d'écoulement ou encore les profondeurs d'eau afin d'améliorer le traitement (Figures 34 et 35).

L'eau traitée par la station d'épuration traverse la Zone Libellule en une quinzaine de jours avant de rejoindre le milieu naturel (Lyonnaise des Eaux 2013)

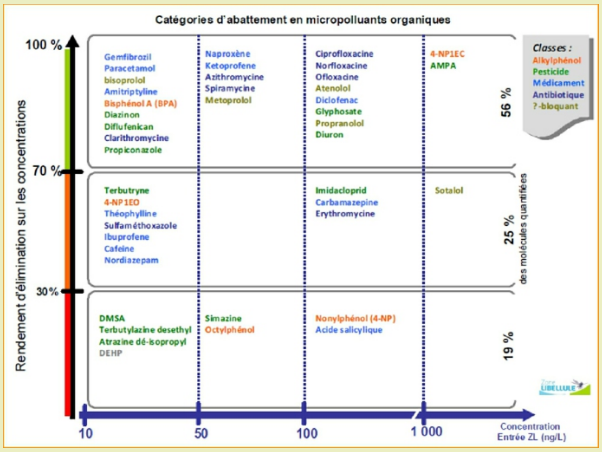
Illustration 34 : Photo de la Zone Libellule (Lyonnaise des Eaux et al., 2013)



L'efficacité du dispositif a ainsi pu être démontrée sur de nombreux points. Tout d'abord, grâce à la mise en eau de la parcelle, il a été mesuré que la biodiversité de la faune et de la flore a été multipliée par un facteur 6 sur les indicateurs choisis par rapport à un site témoin. Cette richesse en biodiversité a conduit (Lyonnaise des Eaux 2013) :

- à une **réduction en concentration des micro-polluants** de 70 % pour 56 % des 43 molécules analysées (Figure 36) et la réduction de plus de 80 % en flux rejeté au milieu superficiel ;
- à **réduire l'azote et le phosphore** de 30 % ;
- à un **abattement bactériologique** de plus de 2,5 log ce qui conduit 83 % des échantillons d'eau mesurés à avoir des concentrations inférieures aux seuils de qualité pour la baignade[35] ;
- à **limiter l'impact thermique** au niveau du rejet dans le milieu naturel ;
- à tamponner et préserver le milieu récepteur en cas de dysfonctionnements importants en amont. La récupération complète sur la qualité de l'eau au point de rejet de la zone Libellule demande quelques jours, et la résilience de l'écosystème aquatique s'observe en quelques semaines.

Illustration 35 : Rendements d'élimination des micro-polluants organiques par classe calculés à partir des concentrations entrée et sortie des molécules quantifiées (> 10 ng/l) sur la campagne de juillet 2011 (Lyonnaise des Eaux 2013)



Le devenir du flux de polluants infiltrés n'a pas été évalué lors de cette étude. **La Zone Libellule permet également de renforcer localement d'autres services écosystémiques** comme la **pollinisation** (fonction de régulation), la **production de nourriture primaire** (fonction d'approvisionnement), le **support à l'éducation** (fonction culturelle) ou encore le **développement de la biodiversité locale** (fonction de soutien).

Zoom 3

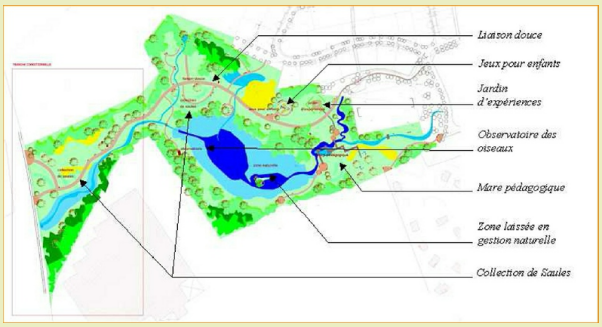
Une zone humide intégrée dans un parc urbain pour la gestion des eaux pluviales des quartiers alentours

Illustration 36 : Fonctionnement hydraulique du parc des Jonchets (Cerema et MEDDE 2015)



Le projet de restauration de la zone humide du parc des Jonchets à Montbéliard (Doubs) intègre la problématique de gestion des eaux pluviales pour l'ensemble des projets d'urbanisation du secteur : lotissements et zone artisanale. Ces projets urbains bénéficient de chaussées poreuses qui permettent l'infiltration des eaux dans le sol et retiennent la pollution chronique sur place et évitent sa concentration à l'exutoire. Un réseau de noues draine les eaux des différentes zones jusqu'à la zone humide du parc des Jonchets. Compte tenu de la présence d'une zone artisanale, un bassin de rétention des pollutions accidentelles a été réalisé (mares avec vanne) afin de rendre possible le confinement d'une pollution éventuelle pour éviter la dégradation de toute la zone humide (Figure 37). Cette zone humide comprend un espace de stockage des eaux pluviales de 17 000 m3, ce qui correspond à une pluie d'occurrence décennale. De plus, en cas de pluie plus importante, l'intégralité du parc peut être inondé et faire tampon.

Illustration 37 : Plans et aménagements du parc des Jonchets BE Infra services



Au-delà de sa vocation de gestion alternative des eaux pluviales, ce parc a été conçu pour être visité et approprié par les habitants : l'accent a été mis sur la variété des scènes paysagères dans un souci de transition visuelle entre le milieu urbain et la zone humide. De plus, pour des questions d'esthétique, la zone humide a été pourvue d'un plan d'eau permanent inexistant préalablement à l'aménagement. La conception du parc a été faite pour créer différentes ambiances : lieux de détente et de calme, aire de jeux pour les enfants, observatoire, mare pédagogique, parcours didactique… (Figure 38).

Enfin, les aménagements ont également été pensés pour la préservation de la biodiversité. Non seulement par la création de milieux variés (boisements, haies, prairies, zones plus ou moins humides) afin de favoriser la multiplicité des habitats et des espèces. Mais également en préservant de la fréquentation le cœur de la zone humide grâce à une gradation des aménagements incitant le visiteur à demeurer en périphérie, et à une gradation de l'entretien rendant quelques endroits totalement inaccessibles (fort développement de la végétation).

Zoom 4

Un système de noues multifonctionnel pour la gestion des eaux pluviales dans un écoquartier

Le projet d'écoquartier des rives du Bief à Longvic (Côte-d'Or) concerne 16 200 m^2 et vise à la réalisation de 70 logements. Tout en désenclavant le quartier, le parti pris du nouvel aménagement était de valoriser et de retrouver l'eau à la surface de la ville (Figure 39.

Pour cela, une noue centrale a été créée pour recueillir et traiter par infiltration l'ensemble des eaux de ruissellement de l'écoquartier. Par ailleurs, la plupart des surfaces ne sont pas imperméabilisées tandis que celles qui le sont, telles que les toitures de l'habitat, ont été traitées en toitures végétalisées. Cette noue centrale s'agrandit en bassin d'orage pour assurer la fonction d'écrêtement des crues jusqu'à la pluie d'occurrence cinquantennale. En rendant le cheminement de l'eau visible et en jouant sur les systèmes de traverse (pont suspendus, passage a gué, pas japonais…) le projet entretient la mémoire et la culture du risque inondation (Figure 40). Par ailleurs, les aménagements, la végétalisation et la gestion de l'espace a été voulu hydroéconome (limitation de l'arrosage des espaces verts au maximum, récupération de l'eau de pluie) et écologique de manière à générer un moindre impact sur la qualité des milieux aquatiques ("zéro phyto"…).

Illustration 38 : Plan schéma de la gestion alternative des eaux pluviales (Sequana Paysage / BE Silène, retouché Cerema / Dter Est)

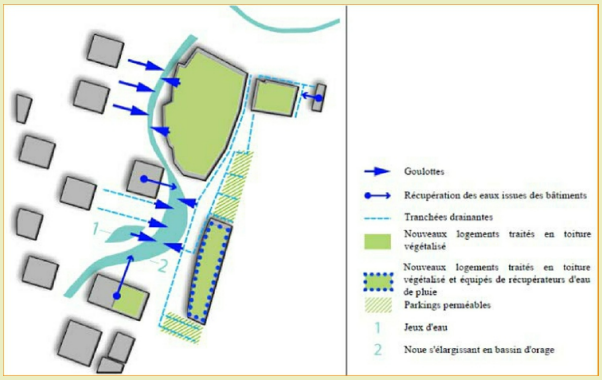


Illustration 39 : Photos des dispositifs de collecte ou franchissement de la noue mis en œuvre sur l'écoquartier "Les rives du Bief" (Cerema/Dtech TV et Cerema/Dter Est).
a et b. mise en valeur des dispositifs de collecte,
c et d. franchissements inspirés des pas à la Japonaise,
e. pont suspendu,
f. pont.



En outre, les aménagements paysagers, les aménités proposées (jeux d'eaux…) et les mobilités douces permises le long de la noue ont permis de redonner un cadre de vie aux habitants du quartier et d'ouvrir la ville sur le quartier.

8.6.4.2 – Évaluations monétaires

Au vu du calendrier dans lequel s'inscrit le présent travail, il semble que le transfert de valeurs s'impose. La question se pose toutefois de savoir s'il est pertinent de transposer une même valeur, exprimée en €/ha, à l'ensemble des zones humides urbaines françaises. Dans un rapport technique de 2007 sur l'évaluation des zones humides (RAMSAR 2007), la Convention de Ramsar rappelle l'importance relative de chaque service écosystémique issu de différents types d'écosystèmes de zones humides.

Illustration 40 : Services fournis par les zones humides a) continentales et b) côtières (RAMSAR 2007).

a. Zones humides continentales

Services (Commentaires et exemples)	Rivières et cours d'eau, y compris zones humides associées	Lacs permanents, y compris zones humides associées	Lacs saisonniers, marais & marécages y compris plaines inondables associées	Zones humides boisées, marais & marécages, y compris plaines d'inondation	Zones humides alpines & de toundra	Steppes & oasis	Zones humides géothermales	Zones humides artificielles, y compris jardins & systèmes d'eau
Approvisionnement								
Alimentation : production de poissons, gibier, fruits, céréales, etc.	●	●	●	●	•	•		
Eau douce : stockage et rétention de l'eau ; eau pour l'irrigation et la consommation	●	●	●	•	•	•		●
Fibres, combustibles & autres matières premières : production de bois d'œuvre, bois de feu, tourbe, fourrage, agrégats	●	●	•	●	●	•		
Produits biochimiques et ressources médicinales	•	•	?	?	?	?	?	?
Matériel génétique : gènes de résistance aux agents pathogènes des plantes	•	•	?	•	?	?	?	?
Espèces ornementales (p.ex. poissons d'aquarium)	•	•	?	•	?			
Régulation								
Régulation de la qualité de l'air (p.ex. captage des particules de poussière)			•	●				
Régulation du climat (par à effet de serre, températures, précipitations et autres processus climatiques)	•	●	•	●	•		•	•
Régimes hydrologiques : recharge/décharge des eaux souterraines ; stockage de l'eau pour l'agriculture ou l'industrie	●	●	●	●	•	•		•
Lutte contre la pollution & détoxification : rétention et élimination des matières nutritives et des polluants exogènes/autres	●	●	•	●	•	•		●
Protection contre l'érosion : rétention des sols et prévention des changements structurels (p.ex. érosion côtière, effondrement des berges, etc.)	●	•	•	●	?	•		•
Atténuation des catastrophes naturelles : maîtrise des crues, protection contre les tempêtes	●	●	●	●	●	•		•
Régulation biologique (p.ex. lutte phytosanitaire et pollinisation)	•	•	•	●	•	•		
Culture et agrément								
Patrimoine culturel et identité (sens d'appartenance)	●	●	●	●	•	●		
Inspiration artistique et spirituelle : sentiments personnels et bien-être	●	●	●	●	•	●	•	•
importance religieuse								
Récréatif : possibilités de tourisme et d'activités de loisirs	●	●	●	•	•	•	•	•
Esthétique : appréciation de la nature	●	●	•	●	•	•	•	•
Éducatif : possibilités d'éducation et de formation formelles et informelles	●	●	●	●	•	•	•	•
Autres								
Biodiversité & zones de nourrissage, reproduction et repos : habitats pour des espèces résidentes ou de passage	●	●	●	●	•	•	•	•
Formation des sols : rétention des sédiments et accumulation de matière organique	●	•	●	●	•	?	?	
Cycle des matières nutritives : stockage, recyclage, transformation et acquisition de matières nutritives	●	●	●	●	•	•	?	•

b. Zones humides côtières

Services (Commentaires et exemples)	Estuaires & Marais	Mangroves	Lagunes côtières (eau salée)	Deltas intertidaux, plats et dunes	Lits de varech	Récifs coralliens et de coquillages	Herbiers marins	Récifs artificiels
Approvisionnement								
Alimentation : production de poissons, algues et invertébrés	●	●	•	●	•	•	•	●
Eau douce : stockage et rétention de l'eau, eau pour l'irrigation et la consommation	•		•					
Fibres, combustibles & autres matières premières : production de bois d'œuvre, bois de feu, tourbe, fourrage, agrégats	●	●	●				•	
Produits biochimiques et ressources médicinales	•	•			•			•
Matériel génétique : matériel génétique, gènes de résistance aux agents pathogènes des plantes	•	•	•		●			•
Espèces ornementales (p.ex. poissons d'aquarium)	•	•	•					●
Régulation								
Régulation de la qualité de l'air (p.ex. captage des particules de poussière)	•	●	•					
Régulation du climat (par à effet de serre, températures, précipitations et autres processus climatiques)	●	●	●	•		•	•	●
Régimes hydrologiques : recharge/décharge des eaux souterraines ; stockage de l'eau pour l'agriculture ou l'industrie	•		•					
Lutte contre la pollution & détoxification : rétention et élimination des matières nutritives et des polluants exogènes/autres	●	●	•		?	•	•	•
Protection contre l'érosion : rétention des sols	●	●	•				•	•
Atténuation des catastrophes naturelles : maîtrise des crues, protection contre les tempêtes	●	●	•	•	•	●	●	●
Régulation biologique (p.ex. lutte phytosanitaire et pollinisation	●	●	●	•		•		•
Culture et agrément								
Patrimoine culturel et identité (sens d'appartenance)	●	•	●	●	•	•	•	●
Inspiration artistique et spirituelle : sentiments personnels et bien-être, importance religieuse	●	•	●	●	•	•	•	●
Récréatif : possibilités de tourisme et d'activités de loisirs	●	•	•	●	•			●
Esthétique : Appréciation de la nature	●	•	●	●				●
Éducatif : Possibilités d'éducation et de formation formelles et informelles	•	•	•	•		•		•
Autres								
Biodiversité & zones de nourrissage, reproduction et repos : habitats pour des espèces résidentes ou de passage	●	●	•	●	•	●	•	●
Formation des sols : rétention des sédiments et accumulation de matière organique	●	●	•	•				
Cycle des matières nutritives : stockage, recyclage, transformation et acquisition de matières nutritives	●	●	●	•	•	•		●

8.7 – Service de Régulation des inondations

8.7.1 – Présentation du service appliqué à l'écosystème urbain

Le service de régulation des inondations est défini ici comme la capacité des écosystèmes naturels à limiter l'importance des inondations (débordement des cours d'eaux et ruissellement urbain) et leurs impacts potentiels sur les installations humaines.

En 2011, en France, 17,1 millions de résidents permanents répartis dans 17 990 communes étaient exposés au risque inondation **par débordement de cours d'eau**. Entre 1982 et 2010, ce sont sept inondations considérées comme majeures, qui ont eu lieu en France (MEDDE 2012).

Outre ces phénomènes, **les inondations par ruissellement** concernent tous les territoires, que ce soit en montagne ou en plaine. Ces inondations sont liées à des pluies intenses localisées sans débordement de cours d'eau Comme le montre la figure 42 72,5 % des communes françaises ont connu au moins une fois une inondation par ruissellement, ou coulée de boues (CEPRI 2014).

Au même titre que d'autres, l'écosystème urbain est concerné par les inondations par débordement de cours d'eau. Cependant, le fonctionnement particulier de l'écosystème urbain implique une problématique spécifique liée au flux de ruissellement qui s'écoule sur les surfaces artificialisées. Les inondations par ruissellement peuvent être accompagnées ou non de débordement des réseaux d'assainissement (CERTU 2003a) pouvant avoir alors aussi des conséquences sanitaires. En première analyse, les inondations par unique débordement de réseaux paraissent moins graves que les inondations dues aux crues de cours d'eau, moins fréquentes et toucher principalement les grandes agglomérations (Berthier 2010). Les pratiques d'imperméabilisation des sols et le faible tapis végétal en ville aggravent le phénomène.

Zoom...

... sur des événements d'inondations par ruissellement

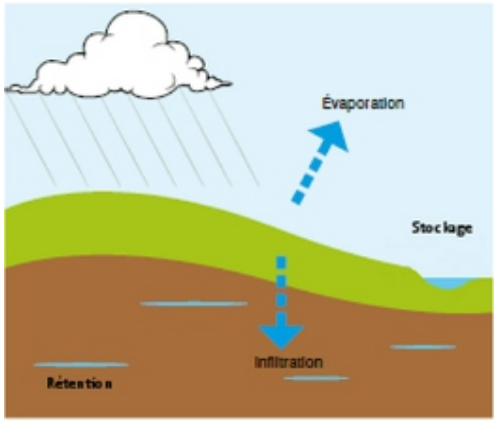
A Nîmes, en octobre 1988, une pluie exceptionnelle de 260 mm à 420 mm pendant six heures a rendu la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols et des réseaux de la ville insuffisante. Les exutoires naturels obstrués par des remblais routiers, ferroviaires et embâcles, l'eau a stagné en ville pendant six jours (CEPRI 2014).

A Marseille, en 2003, suite à des précipitations de l'ordre de 200 mm en une journée, une crue-éclair a eu lieu au niveau du Vieux-Port et de la Canebière. Lors de ce type d'événements pluvieux extrêmes, les eaux pluviales commencent par ruisseler sur les collines calcaires autour de Marseille et forment ensuite, dans les rues, des torrents temporaires. Enfin, le réseau sous-calibré pour de tels débits s'engorgent puis débordent, ce qui amplifie l'inondation au niveau des points bas de la ville [DOUGUEDROIT, A., 2008].

Les villes françaises concentrant population et activités présentent un taux d'imperméabilisation important et sont ainsi particulièrement vulnérables. L'enjeu de régulation des inondations y est prédominant. Les espaces de natures (parcs, alignements d'arbres, zones humides…), et/ou de pleine terre, les trames vertes et bleues contribuent à répondre à cette demande de protection des populations. Chacun de ces milieux divers de par leur nature, leur forme et leurs usages, mais aussi de par leur processus écologique (présentées au chapitre 3 : infiltration, stockage et évapotranspiration) contribuent chacun, à hauteur variable, au service de régulation

des inondations (*Cf.* illustration 43). Les paramètres caractérisant ces différents processus sont explicités au chapitre 5 et leurs effets sur le service retiré décrit au 3.2 du présent chapitre.

Illustration 41 : Rappel synthétique des processus écologiques contribuant au service de régulation des inondations.



De manière générale, toute surface non imperméabilisée (surface végétalisée, nue, ou artificielle comme les toitures végétalisées) permettant de reproduire le cycle de l'eau, contribue à la diminution de la vulnérabilité de la ville vis-à-vis des inondations. Une surface urbaine dédiée aux espaces en pleine terre et aux milieux humides est une forme de garantie de préservation du sol, de ses propriétés physiques (notamment hydrauliques). La présence d'un couvert végétal protège le sol de l'érosion et du tassement provoqué par l'impact des précipitations et de leur écoulement. Le système racinaire de la végétation en ville crée une véritable architecture de protection dans le sol, ce qui permet de le structurer et de le prémunir encore d'avantage contre l'érosion (conséquence des inondations ou des pluies à la source des inondations).

Zoom...

... sur le rôle des toitures végétalisées vis-à-vis de la réduction du ruissellement

A titre d'exemple, les toitures végétalisées peuvent constituer une option intéressante pour la régulation des inondations, notamment dans un contexte où l'espace est rare (Versini et al. 2014), (Rankovic, Pacteau, et Abbadie 2012), (Gill et al. 2007). Ces différents auteurs estiment que pour la région de Manchester, dans le cas d'une augmentation importante des épisodes de fortes pluies, le verdissement des toits des centres-villes, des zones commerçantes et des zones résidentielles permettrait de réduire le ruissellement de ces zones de respectivement 23,4 %, 20,4 % et 21,5 % par rapport à un scénario sans verdissement des toits. Une étude de l'APUR pour la ville de Paris sur le potentiel de végétalisation des toitures montre que sur 460 ha, 80 ha pourraient être rapidement végétalisés (APUR 2013).

8.7.2 – *Caractérisation du service*

Nous proposons ici d'approcher une évaluation de la capacité des écosystèmes "espaces de nature en ville" à fournir le service de régulation des inondations.

Comme vu précédemment ce service traite de plusieurs types d'inondations (débordement de cours d'eau et ruissellement urbain), qui n'ont pas les mêmes caractéristiques. Pour pallier la difficulté de trouver des paramètres et/ou méthodes de caractérisation communs à ces inondations, le service de régulation du ruissellement sera privilégié au regard de sa spécificité urbaine, la régulation par débordement de cours d'eau étant traité par d'autres groupes de travail de l'Efese.

Au regard de l'imbrication des systèmes techniques de gestion des eaux, des espaces perméables et imperméables, il est parfois difficile de distinguer ce qui relève du service rendu par les espaces de nature en ville (tels que les parcs et jardins, les noues, les toitures végétalisées, les pieds d'arbres, les massifs de fleurs, les bassins de rétention végétalisés…) de ce qui relève du service rendu par les réseaux techniques de gestion des eaux urbaines. Pour ce service, il est difficile de compartimenter les espaces et d'isoler les espaces verts, des espaces imperméabilisés qui sont la source même du ruissellement. Nous verrons notamment que les méthodes d'évaluations intègrent les fonctions des espaces de nature et les fonctions des réseaux techniques de gestion des eaux urbaines.

8.7.2.1 – Dimension biophysique

A) Indicateurs de capacité des écosystèmes à fournir le service

La capacité des espaces de nature en ville à réguler les inondations est intimement liée aux processus écologiques sous-jacents de ces derniers mais aussi à des facteurs liés aux conditions météorologiques (chronique et intensité des événements pluvieux), à l'état hydrique des sols au moment de la précipitation (pour un même événement, la réponse des écosystèmes sera différente en fonction de l'état de saturation du sol). La quantification requiert donc un indicateur de service intégrant les différents indicateurs d'état relatifs à l'état du milieu ainsi qu'à la météorologie (*Cf.* Chapitre 5).

L'indicateur idéal serait un indice multicritère qui indiquerait la contribution des espaces de nature à l'atténuation des inondations : atténuation pouvant être exprimée en termes de débit évité de ruissellement pour les inondations par ruissellement ou en capacité de stockage/ou ralentissement dynamique) des milieux pour les inondations par débordement des cours d'eau.

L'évaluation de ce service doit s'appuyer sur une instrumentation importante et un solide réseau de mesures afin de déterminer les volumes de stockage ou les capacités de production du ruissellement de l'espace urbain. Comme pour le service d'autoépuration, des études ont été réalisées mais elles restent encore ponctuelles et des données à l'échelle de la France manquent encore (CREDOC 2009b), (N. Maughan 2014).

À défaut de disposer d'un indicateur biophysique du service de régulation des inondations intégrateur de l'ensemble des fonctions mises en œuvre par les différents types d'écosystèmes, mesurable, robuste et utilisable à l'échelle du territoire français, plusieurs approches sont recensées dans la bibliographie :

- celles qui quantifient le "disservice", c'est-à-dire le volume d'eau ruisselé par exemple ;
- celles qui s'attachent à un type de milieu/compartiment particulier (milieu humide, arbre, toiture végétalisée, sol par exemple) ;
- celles qui recensent les diverses caractéristiques concourant au service séparément (infiltration, stockage…).

Suite à une analyse bibliographique des facteurs favorisant le service écosystémique, il est possible d'identifier des paramètres permettant de quantifier "partiellement" le service. Ces paramètres sont présentés dans le tableau 24. Les indicateurs d'état utilisés pour décrire les paramètres de service sont issus de la liste présentée dans le chapitre 5 (complétés parfois par des indicateurs supplémentaires nécessaires à la caractérisation des paramètres présentés ici). Sont indiquées dans le tableau *en italique* les références des programmes de recherches ayant mobilisé ces paramètres. Elles sont présentées de manière plus détaillée en annexe.

Ces paramètres sont pour la plupart proposés dans le cadre de l'EFESE et ne font aujourd'hui l'objet d'aucun suivi.

Tableau 23 :

Paramètres proposés dans l'EFESE pour quantifier la capacité des écosystèmes à rendre le service de régulation des inondations en milieu urbain

Paramètre qui permet de quantifier la capacité des écosystèmes à fournir le service	Échelle	Paramètre descripteur d'un autre service	Méthode / Commentaires	Indicateurs associés	Applicabilité dans l'EFESE
Capacité de réduction du	Espace de nature	oui	Lors d'un événement pluvieux, une partie des précipitations	Coefficient de ruissellement	Coefficient de ruissellement
volume de ruissellement	à la ville		est évapo-transpirée, l'autre stockée par le sol ou infiltrée, le reste représente l'eau ruisselée. Le volume de ruissellement sera alors plus ou moins important en fonction des propriétés physiques du sol et de l'événement pluvieux. Ce paramètre évolue aussi en fonction de la chronique pluvieuse précédente. *Plusieurs programmes de recherche ont visé à produire ce type de données : DERKZEN et al en 2015 à Rotterdam, MARECHAL en 2011 et 2015 dans PLURISK et CABRAL et FEGUER en 2015 dans Invest et i-tree.*	Indicateur 1 : coefficient d'imperméabilisation des sols ; Indicateur 5 : perméabilité des sols ; Indicateur 9 : Taux de couvert arboré	bien documenté dans la littérature scientifique.
Capacité de rétention de l'eau dans le sol	Espace de nature	oui	Lors d'un événement pluvieux, une partie des précipitations est évapo-transpirée, l'autre stockée par le sol ou infiltrée dans le sol, le reste représente l'eau ruisselée. Ce paramètre ne couvre qu'une partie du service. *Utilisé dans UQUALISOL-ZU (programme Ges Sol)*	Réserve utile ; Hydromorphie ; Perméabilité ; Indicateur 5 : perméabilité des sols	Appropriée à l'échelle d'une commune, mais plus compliquée pour une agglomération en raison de la complexité des données d'entrée
Capacité d'évapotranspiration de la végétation	Espace de nature	oui	L'évapo-transpiration comprend l'évaporation de surfaces en eau et du sol, la transpiration des végétaux et l'évaporation de l'eau interceptée. En d'autres termes, elle représente le volume d'eau sortant de la ville sous forme de vapeur. Ce volume d'eau non mobilisable lors des inondations permet de quantifier le service rendu par les arbres et plus généralement par la végétation. Ce paramètre ne couvre qu'une partie du service. *Utilisé dans i-tree*	Volume d'eau évapotranspiré par un arbre, la végétation Indicateur 9 : Taux de couvert arboré	Testé sur des bassins versants aux USA et UK, outils disponible qui pourrait être testé dans le cadre de l'Efese ;
Géomorphologie du cours d'eau	Espace de nature	oui	En cas de montée des eaux, l'ampleur de l'inondation est	Hauteur d'eau	difficulté d'accessibilité

Paramètre qui permet de quantifier la capacité des écosystèmes à fournir le service	Échelle	Paramètre descripteur d'un autre service	Méthode / Commentaires	Indicateurs associés	Applicabilité dans l'EFESE
	au bassin versant		fonction du volume d'eau stocké en amont afin d'éviter que le niveau ne monte dans les points bas. Ce phénomène varie en fonction des caractéristiques géomorphologiques du cours d'eau et de la climatologie. *Cité dans Credoc 2009* *Utilisé en modélisation hydrologique*	Indicateur 6 : volume de stockage des eaux en surface	des données

Tableau 24 :

Indicateurs proposés par la Commission européenne pour cartographier et évaluer le service de régulation des flux d'eau et le service de protection contre les inondations en ville

Service écosystémique	Indicateur (unité)	Nature de l'indicateur	Échelle spatiale pertinente		
			Régionale	Métropolitaine	Urbaine
Régulation des flux d'eau et atténuation du ruissellement	Capacité de stockage en eau du sol (mm)	Indicateur de capacité	x	x	x
	Capacité d'infiltration du sol (cm)	Indicateur de capacité	x	x	x
	Capacité de rétention de l'eau par la végétation et le sol (tonnes/km²)	Indicateur de capacité	x	x	x
	Précipitations interceptées (m³/an)	Indicateur de capacité	x	x	x
	Ruissellement de surface (mm)	Indicateur de capacité	x	x	x
Protection contre les inondations	Part des zones vertes dans les zones de danger en terme d'inondations (%)	Indicateur de capacité		x	x
	Population exposée au risque d'inondation (% par zone unitaire)	Indicateur de demande		x	x
	Zones exposées au risque inondation (ha)	Indicateur de demande		x	x

À ces paramètres pourraient être ajoutés ceux proposés par la commission Européenne [European commission]. Contrairement au projet Efese, deux services indépendants pour traiter de la question des inondations sont identifiés : 1) le service de régulation des flux d'eau et atténuation du ruissellement et celui 2) de protection contre les inondations en ville.

Des jeux d'indicateurs mobilisables à différentes échelles (de la métropole à la ville) sont identifiés sans toutefois descendre à l'échelle des espaces de natures. Ces indicateurs de capacité, présentés dans le tableau 25 se rapprochent des indicateurs d'états déterminés au ch5, à l'échelle des espaces de natures en ville. Ils correspondent plus à la description d'un processus indépendant qu'à la description globale du service. Par ailleurs, même s'ils sont pertinents à l'échelle de la ville, la disponibilité des données est à vérifier à cette échelle.

Les indicateurs de demande sont pour leur part intéressants (puisque représentatifs de la vulnérabilité et plus seulement de l'aléa) et pourraient être disponibles au niveau national dans le cadre des études globales réalisées pour la mise en œuvre de la directive inondation.

En conclusion et en centrant la réflexion sur la spécificité des inondations urbaines par ruissellement, le paramètre le plus "facilement" mobilisable et utilisé pour évaluer le service de régulation des inondations correspond à la capacité des espaces de nature à réduire le volume de ruissellement. Il mobilise des indicateurs tels que les coefficients de ruissellement, d'imperméabilisation, de perméabilité des sols, de couvert arboré/végétalisé. Le coefficient de ruissellement renseigne sur la capacité de l'écosystème à réguler les débits d'eau. Étant fonction des chroniques pluvieuses, de l'état de saturation des sols avant un évènement pluvieux, ce paramètre est variable dans le temps et ne peut qu'être défini pour une (ou des) pluie(s) de référence(s) donnée(s) caractéristique(s) du territoire étudié.

B) Méthodes d'évaluation biophysique

Des méthodes intégratrices, partielles, à différentes échelles et sur différents objets d'études ont pu être développées et parfois testées pour quantifier et/ou qualifier directement le service de régulation des inondations.

Une première revue bibliographique a permis de mettre en avant dix méthodes d'évaluation du service de régulation des inondations en Europe. Elles sont répertoriées dans en annexe.

Si les méthodes ont fait l'objet d'une application sur le territoire français, les résultats sont présentés au paragraphe "4 : Valeurs du service".

Leur mise en œuvre dans le cadre de l'Efese et/ou par les services d'une collectivité est classée suivant plusieurs catégories :

- transposabilité pour une évaluation nationale dans le cadre de l'Efese sur un panel de ville ;
- réalisable à moyen terme par une collectivité = nécessite une étude approfondie ;
- à l'état de recherche mais intéressante à suivre = développement en cours, projet de long terme.
- opérationnelle = utilisable par un service technique de collectivité ;

Pour certaines, elles ont été développées spécifiquement pour l'évaluation des services et/ou de bouquets de services en milieu urbain (Plurisk, Rotterdam, I-tree, INVEST, Omega, Destisol) ou à l'échelle du document d'urbanisme (Uqualisol ZU), pour d'autres il s'agit de méthodes existantes et développées dans d'autres cadres et pouvant être adaptées au milieu urbain à différentes échelles (modèle Etat-Transition, matrice des capacités, modélisations hydraulique).

Le coefficient de ruissellement un paramètre primordial

Comme vu précédemment, plusieurs de ces méthodes (Rotterdam, PLURISK, Invest et itree) utilisent mais de manière différente, un paramètre commun : **le coefficient de ruissellement** souvent couplé à l'occupation du sol pour spatialiser les services. Il semble intéressant pour la suite du travail et pourrait être mobilisé sur un panel de ville dans le cadre de l'Efese même si certaines

limites sont précisées : par exemple les projets Plurisk et Rotterdam démontrent une importante différence de service rendu par type d'espace en fonction de la configuration spatiale de la ville et ce indépendamment de ce coefficient. De même comme montré sur Rotterdam le choix d'une pluie de référence peut influencer le service qui sera par exemple très fortement impacté pour des événements extrêmes (voir illustration 50).

Zoom...

... sur Rotterdam : un cas d'application du coefficient de ruissellement couplé à l'occupation du sol, à transposer sur un panel de villes Française ?

En 2015, Derkzen et al. ont proposé une méthode de quantification de six services écosystémiques sur la ville de Rotterdam dont la régulation des inondations. Ce service est défini comme la combinaison des fonctions écologiques liées à l'interception, l'infiltration et le stockage des eaux. Il correspond au volume de rétention du flux de ruissellement rapporté à la surface des espaces de nature, par quartier. Cette étude est basée sur l'élaboration d'une typologie d'espaces verts et de composantes d'un espace : arbres, marais, arbustes hauts, arbustes bas, végétation herbacée, parcs et jardins, eaux de surfaces et autres. Pour chaque élément de la typologie est affecté un coefficient de ruissellement standard (Tratalos et al. 2007) et un volume unitaire de rétention (exprimé en l/m^2) est calculé pour un événement pluvieux de 10mm (caractéristique du secteur).

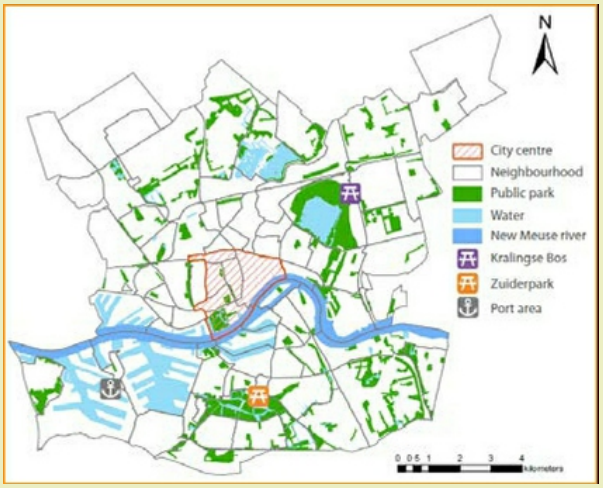
La capacité des quartiers à rendre le service est représenté sur la figure 44. Il ressort que les surfaces en eau (étang, lac, rivière et canaux) et que les quartiers le long des cours d'eau contribuent majoritairement à la réalisation de ce service de par leur importante capacité de stockage. Enfin, l'étude met en évidence des synergies fortes entre le service de rétention du ruissellement et de récréation (figure45).

Cette recherche pourrait être approfondie pour évaluer sa reproductibilité sur des villes françaises moyennant certaines précautions (topographie, données d'occupation du sol et évènement pluvieux de références).

Illustration 42 : Fourniture du service de stockage du ruissellement par quartier de Rotterdam, 2015, (Derkzen, Verburg, et Van Teeffelen, A. 2015).



Illustration 43 : Caractéristiques de la ville de Rotterdam et de ses espaces en eau.



Des méthodes à l'état de la recherche

L'état de développement de ces méthodes reste de manière générale au stade de la recherche même si certaines ont été mise en œuvre sur certains territoires (Rotterdam, I-Tree, Invest, Uqualisol ZU). Il en résulte un besoin d'adaptation au territoire français nécessitant le plus souvent un temps long et un investissement important.

Zoom

Un projet de recherche ayant pour objet d'évaluer spécifiquement le service de régulation des eaux en milieu urbain rendus par les structures vertes en cours de développement à suivre.

Le projet Belge PLURISK (Justine Maréchal 2014) repose en partie, sur une revue bibliographique conduisant à une évaluation qualitative du service de régulation des inondations fourni par types d'espaces verts urbains. Ce service est caractérisé ici par l'augmentation de l'infiltration et diminution du ruissellement. Le principal paramètre utilisé pour quantifier le service rendu est le coefficient de ruissellement. Les valeurs retenues par type d'espace sont présentées en annexe. Par exemple, il en ressort que les haies et arbustes ressortent comme étant des espaces plus favorables à la diminution du ruissellement que les différents types de forêts ou de surface enherbées.

Une fois ce travail réalisé, J.Maréchal pose l'hypothèse que le service retiré d'un même type d'espace varie suivant la localisation de l'espace dans la ville. Par exemple, un petit parc avec une pelouse en centre urbain et un grand parc en péri-urbain présentant une diversité d'habitats connectés à des axes d'écoulement n'auront pas le même rôle sur les inondations. Une deuxième phase d'étude est actuellement en cours sur cinq villes belges : Bruges, Gand, Antwerpen, Mechelen et Leuven. Elle a pour objet d'identifier les éventuels liens entre les indices de structure spatiale (taille, forme, connectivité, distance des espaces par rapport au centre-ville) et le service de régulation de l'eau choisi (infiltration, ruissellement…). Les premières conclusions montrent qu'en allant du centre-ville à la zone rurale, ces 5 villes obéissent au même "patron spatial" tant en termes de densité du tissu urbain et de formes urbaines que de surface et de connectivité des espaces.

Cette réflexion, qui pourrait être appliquée en France, aurait in fine pour but de développer une approche simplifiée d'évaluation qualitative du service de régulation de l'eau par des paramètres simples et facilement quérables.

Des études ou acquisition de données importantes

Des études approfondies ou des acquisitions de données lourdes sont souvent nécessaires. L'exemple de l'étude réalisée sur Rotterdam met bien en évidence que l'évaluation du SE est soumise à la disponibilité des données spécifiques à la ville et qu'une incertitude liée à l'utilisation de valeur moyenne y est attachée. **Seule la méthode "participative" dite des capacités** permet de déterminer une "note" de service rendu par type d'occupation du sol **à partir uniquement de la participation d'experts**, gestionnaires, riverains… **sans mobilisation de données biophysiques** (voir pour plus de détail son application au territoire de la Scarpe et de la vallée de l'Escaut pour évaluer les services rendus par les différents milieux humides au paragraphe 4.1 - Évaluation locale). Elle sera testée en milieu urbain dans le cadre d'un projet de recherche à venir.

Une méthode participative pour évaluer les services : La matrice des capacités (Burkhard, Kroll, et Muller 2012), (Stoll et al. 2014), (Campagne 2016)

Cette méthode d'évaluation est basée sur un processus participatif mobilisant des experts locaux de tout horizon. Celle-ci repose sur une matrice composée en ordonnée des types d'espaces à étudier présents sur le territoire et en abscisse des services écosystémiques sélectionnés. Chaque expert est alors convié à remplir la matrice en utilisant un score représentatif du rôle de l'écosystème vis-à-vis du service écosystémique associé. Une homogénéisation des résultats est ensuite faite après discussion des experts en atelier et hiérarchisation des services écosystémiques par rapport à la moyenne des notes attribuées par service rendu. En d'autres termes, il s'agit d'une méthode de quantification relative du bouquet de services rendus par les écosystèmes. La méthode est transposable, mais la matrice des capacités est à actualiser dans chaque territoire en fonction des acteurs, enjeux et contexte local.

Des échelles et des objets d'études variables, à adapter aux enjeux et questionnement

Les méthodes sont chacune applicables sur un périmètre particulier pouvant aller de l'échelle intercommunale, voire du SCoT (Invest) à l'espace de nature (modèle Etat transition) en passant par l'échelle du quartier (Destisol), d'un bassin versant (I-tree). La matrice des capacités peut être, elle, appliquée à l'ensemble des échelles. La majorité a toutefois été développée pour mener une réflexion sur le périmètre des villes (Plurisk, Rotterdam, I-tree, Omega, Uqualisol-ZU). Ces derniers pourraient potentiellement être appliqués dans le cadre de l'Efese.

Les objets d'études sont aussi parfois différents, certaines méthodes (Rotterdam, PLURISK, modèle Etat-transition) tentent d'évaluer le service retiré des espaces de nature alors que d'autres (Invest et I-tree, Omega) modélisent les bassins versants et leur complexité d'interaction hydrologiques (entre surface perméable, imperméable, réseau d'assainissement,…) sans faire obligatoirement la part de la contribution des espaces verts.

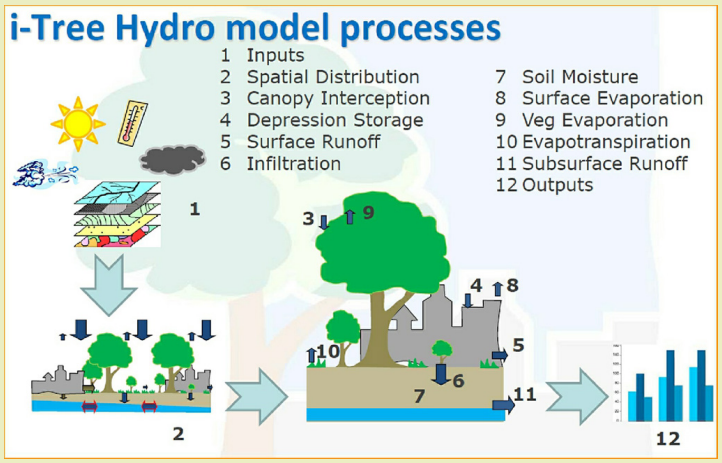
Zoom

Une méthode d'évaluation du service à l'échelle d'un bassin versant ou d'une ville : I-Tree hydro

Le module I-tree Hydro permet de simuler les effets des variations de l'occupation du sol sur le ruissellement à l'exutoire du bassin versant. La couverture arborée n'est pas la seule à être étudiée, cinq classes de couverture du sol sont considérées : sol, végétation arbustive/herbacée, surface imperméable, couvert arboré sur des surfaces imperméables, couvert arboré sur des surfaces perméables.

Les données en entrée sont nombreuses : hydrographie, MNT, occupation du sol, climatologie. Elles permettent d'évaluer l'évapotranspiration ainsi que l'humidité des sols et la structure de la végétation (indice de structure foliaire). Le calcul de volume de ruissellement se fait par modélisation hydrologique sur la base de la méthode dite du "curve number" qui ajuste le ruissellement produit par le bassin versant en fonction de l'état hydrique des sols. La schématisation du processus de modélisation est présenté en illustration 46.

Illustration 44 : Schématisation du processus de modélisation hydrologique d'i-Tree



Le module i-Tree a été mis en oeuvre sur plusieurs bassins versants à l'étranger *pour comparer des scénarios de végétalisation à différentes échelles. Par exemple, pour un bassin versant de 0.8 km² à Syracuse (NY, USA) quatre scénarios de végétalisation ont été comparés : 0 %, 5 %, 10 % et 25 % d'infrastructure verte. Il est mis en évidence que le ruissellement généré par le scénario sans infrastructure verte est 25 % supérieur aux autres.*

Le Grand Londres a une population totale d'arbres de 8,5 millions, ce qui représente une surface foliaire totale de 1047 km². La mise en oeuvre d'i-Tree sur ce territoire a permis de mettre en évidence que la présence des arbres permet un évitement de 3 414 000 m³/an d'eau ruisselée dans la ville. Évitement estimé à 1,5 million de livres.

Synthèse

Trois méthodes potentiellement mobilisables pour évaluer le service de régulation des inondations à l'échelle des villes.

Dans le cadre de l'Efese, à l'échelle de la ville, trois modèles sont intéressants à tester pour évaluer le service de régulation des inondations : Rotterdam, I-tree et la matrice des capacités. Un dernier, dont le niveau d'avancement ne permet pas son application, doit être suivi : Plurisk.

La méthode de la matrice de capacité, opérationnelle et adaptable pour l'échelle de la ville (bien que non appliquée à ce jour pour le milieu urbain) n'est en revanche pas quantitative (l'évaluation, qualitative, est faite sur la base de dires d'experts) et nécessite la réunion d'un panel d'experts pertinent à une échelle pertinente.

La méthode I-tree est, elle, adaptée au milieu et à l'échelle urbaine mais ne traite pas l'écosystème dans son ensemble (elle ne peut être employée que pour le cas spécifique des arbres urbains).

Enfin la méthode de Rotterdam est certes bien adaptée pour l'échelle de la ville mais nécessite des données précises et détaillées.

Ces méthodes ont l'avantage d'avoir été développées pour quantifier les services écosystémiques et sont composées de modules qui permettent de traiter des autres services et de mener une analyse par bouquet.

Toutefois, ayant été développées à l'étranger, leur mise en oeuvre nécessite un travail complémentaire d'évaluation de leur transposabilité au territoire français et d'acquisition de données d'entrée.

8.7.2.2 – Dimension socio-économique

A) Service de régulation des débits d'eau et bien-être humain

Le service de régulation des débits d'eau en milieu urbain participe au bien-être humain, en ce qu'il contribue à atténuer le ruissellement d'eau de pluie diminuant ainsi, le risque inondation et ses conséquences, sanitaires, économiques et environnementales.

Les inondations par ruissellement présentent, en effet, un risque pour la population, qu'il n'est pas toujours possible d'évacuer à temps, ce qui peut entraîner des victimes. Elles représentent également un risque pour la santé publique (compte tenu des produits charriés par les eaux ruisselées comme les hydrocarbures, les métaux lourds, etc. ; compte tenu des coupures de réseaux que cela peut entraîner et qui peuvent nuire au bon fonctionnement des établissements de soins ; déversement d'eaux souillées en cas de saturation des réseaux, etc." (CEPRI 2014)

Outre ces impacts sanitaires, qui peuvent faire l'objet d'une évaluation économique, le service de régulation des débits d'eau rendu par les espaces de nature en ville peut également contribuer à diminuer les impacts économiques souvent associés aux inondations par ruissellement tels que les frais de restauration des infrastructures et autres équipements et commerces dégradés par les inondations, l'interruption des activités qui y siégeaient, etc.. En outre, "La pollution du milieu naturel qui peut résulter de tels événements peut être à l'origine d'une impossibilité temporaire de maintenir les activités aquatiques. Ainsi, l'arrêt de la pêche, des sports nautiques et la fermeture des plages entraînent des pertes financières pour la ville et ses commerçants […]. Enfin, les biens

des particuliers ne sont pas épargnés par les inondations par ruissellement, où l'on retrouve régulièrement des problèmes de caves et sous-sols inondés ou encore des véhicules emportés […] Mais les dégâts peuvent être bien plus importants, notamment lorsque l'eau ruisselé est accompagnée de coulées de boue. Les dommages subis par les particuliers ont des répercussions économiques aussi bien dans leur sphère privée (jours d'arrêt pour remise en état, acquisition de nouveaux biens…) que dans la société (système d'indemnisation CATNAT[36]en cas de déclaration de l'état de catastrophe naturelle)."[37]

Enfin, les inondations par ruissellement pluvial ont des impacts sur l'environnement, puisqu'elles "peuvent entraîner une importante pollution des eaux de surface et souterraines, ainsi qu'une pollution des sols, ce qui peut porter atteinte à la qualité de l'environnement et à la survie de la faune et la flore".

En concourant à atténuer les eaux de ruissellement, les espaces de nature en ville peuvent diminuer les impacts sanitaires, économiques et environnementaux liés à ce phénomène.

Ce faisant, les espaces de nature en ville diminuent les "quantités d'eau circulant dans le réseau artificiel d'évacuation et de traitement" (Astères 2016) réduisant ainsi "les besoins d'investissement et les coûts d'entretien des communes dans leurs infrastructures de gestion des eaux"[38].

En effet, "Forest research […] estime qu'un arbre dans une cour peut à lui seul éviter le ruissellement de 3 455 l d'eau de pluie par an. Cela peut également se faire à travers d'autres formes d'écosystèmes urbains tels que les lacs, les zones humides, comme l'a fait la ville de Nummela en Finlande : la gestion du ruissellement en surface est effectuée à travers le rétablissement de zones humides, pour un coût inférieur à une solution élaborée par l'Homme (62 000 € par hectare contre 50 000 € par hectare), tout en offrant simultanément des bénéfices récréatifs (Mission Economie de la Biodiversité et cdc biodiversité 2015)

Le service de régulation des débits d'eau en ville a notamment été évalué pour la ville de Londres.

B) Exemples d'évaluation économique du service d'atténuation des eaux pluviales en milieu urbain

8.7.2.2.b.1) L'évaluation du service d'atténuation des eaux pluviales rendu par la végétation urbaine de Londres (Treeconomics London 2015)

S'appuyant sur l'outil i-Tree Eco, la société Treeconomics a réalisé une évaluation des services rendus par la végétation londonienne, parmi lesquels le service d'atténuation des eaux pluviales.

Les 8,5 millions d'arbres londoniens représentent une surface foliaire totale de 1 047 km^2 qui permet d'éviter, chaque année, 3 414 000 mètres cubes d'eaux de ruissellement, que l'étude valorise à 2,8 millions de livres. Elle considère, pour ce faire, le montant de la redevance versée à Thames Water, soit **0,807 livres / m3**. Thames Water est l'opérateur historique des eaux londoniennes (distribution d'eau et traitement des eaux usées).

Tableau 25 :

Végétation urbaine de Londres - Evaluation du service d'atténuation des eaux de ruissellement (Treeconomics London 2015)

Atténuation des eaux de ruissellement	M^3 / an	£	€*
Inner London	705 000	568 935	668 508
Outer London	2 709 000	2 200 000	2 585 295
Total	**3 414 000**	**2 768 935**	**3 253 803**

*Taux de conversion au 29/11/16

8.7.2.2.b.2) Comparaison coûts-bénéfices du boisement urbain comme stratégie d'atténuation des ilôts de chaleur (Bélanger Michaud 2013)

Dans une étude portant sur la comparaison coûts-bénéfices du boisement des villes comme stratégie d'atténuation des ilôts de chaleur dans un arrondissement de Montréal, l'auteur propose, notamment, une évaluation économique du service d'atténuation des eaux de ruissellement, en multipliant le coût de traitement des eaux de l'usine d'épuration de Montréal par la quantité d'eau interceptée par les arbres publics de l'arrondissement.

8.7.2.2.b.3) L'évaluation du service d'atténuation des eaux de ruissellement pour la ville de Minneapolis (Mc Pherson et al. 2005)

Dans une analyse coûts-bénéfices portant sur les arbres de la ville de Minneapolis, aux États-Unis, les auteurs évaluent à 1,27 millions de mètres cubes la quantité d'eau de pluie interceptée chaque année par les arbres de la ville, qu'ils valorisent à 9 millions de dollars, en considérant un coût annuel de stockage dans un bassin de rétention à 7,13 $/mètre cube (1 gallon = 0,133681 pied cube = 0,00378541 mètre cube).

Tableau 26 :

Évaluation du service d'atténuation des eaux de ruissellement rendu par les arbres de la ville de Minneapolis (Mc Pherson et al. 2005)

Espèces	Chutes de pluie interceptées (*CCf.* – Centum cubic feet = 100 pied cube)	Pied cube	Mètre cube	Bénéfice associé ($)	Bénéfice associé (€)*	Bénéfice moyen par arbre ($)	Bénéfice moyen par arbre (€)*
Green ash / Frêne vert	68 789	6 878 900	194 789	1 394 504	1 313 829	48,61	45,87
Sugar maple / Erable à sucre	23 241	2 324 100	65 811	471 150	443 893	18,1	17,08
Norway maple / Erable de Norvège	25 498	2 549 800	72 202	516 899	486 995	22,03	20,79
Littleleaf linden / Tilleul à petites feuilles	29 990	2 999 000	84 922	607 958	573 120	29,34	27,69
American elm / Orme d'Amérique	184 140	18 414 000	521 426	3 732 916	3 519 005	190,35	179,64
Honeylocust / Févier inerme	14 918	1 491 800	42 243	302 416	285 086	21,02	19,84
American basswood / Tilleul d'Amérique	15 903	1 590 300	45 032	322 393	303 919	23,34	22,03
Northern hackberry / Micocoulier occidental	9 316	931 600	26 380	188 863	178 043	21,12	19,93
Ginkgo / Ginkgo	1 051	105 100	2 976	21 307	20 086	4,26	4,02
Silver maple / Erable argenté	13 020	1 302 000	36 869	263 951	248 829	54,7	51,63
Elm / Orme	29 107	2 910 700	82 422	590 058	556 252	126,94	119,8
White ash / Frêne blanc	5 074	507 400	14 368	102 857	96 949	30,56	28,84
Basswood / Tilleul	7 474	747 400	21 164	151 512	142 810	48,2	45,5
Red maple / Erable rouge	2 417	241 700	6 844	48 997	46 183	20,12	18,99
Autres arbres urbains	17 562	1 756 200	49 730	356 031	335 582	18,2	17,17
Total	**447 500**	**44 750 000**	**1 267 178**	**9 071 809**	**8 551 130**	**45,66**	**43,08**

8.7.2.2.b.4) Les différentes méthodes de monétarisation mobilisables

Les méthodes de monétarisation mobilisables pour évaluer le service d'atténuation des eaux de ruissellement sont notamment, les méthodes fondées sur les coûts et, plus spécifiquement :

- les méthodes fondées sur le coût des dommages évités : ces méthodes consisteraient à tenter d'estimer les dommages évités grâce aux espaces de nature en ville qui, par leur action sur les eaux de ruissellement, participent à diminuer le risque inondation ;

- les méthodes fondées sur le coût évité : dans le cas présent, ces méthodes consisteraient à considérer le coût d'une solution technique alternative telle qu'un bassin de rétention, comme dans le cas américain, ou encore le coût de traitement d'une société de gestion des eaux pluviales.

Comme mentionné dans les travaux du groupe de travail "Zones humides" de l'Efese, la quasi-totalité des études menées au niveau national et cherchant à évaluer le service de régulation des débits de crues se sont appuyées sur des méthodes basées sur les coûts.

8.7.2.2.b.5) Exemples d'évaluation française du service de régulation des débits d'eau pour d'autres écosystèmes

Les études publiées par le Commissariat général au développement durable (CGDD) sur les services rendus par les zones humides et les prairies proposent une évaluation économique d'un certain nombre de services rendus par ces types d'écosystèmes, parmi lesquels le service de protection contre les crues.

S'agissant du service de protection contre les crues rendu par les zones humides, celui-ci fait l'objet d'une estimation pour la moyenne vallée de l'Oise (CGDD 2011a). Plaine alluviale, la plaine de l'Oise est une zone d'expansion de crues.

Deux méthodes sont utilisées pour calculer le volume potentiellement stockable par cette zone : «

- La première méthode, basée sur le logiciel Mapinfo et un modèle numérique de terrain (qui donne l'altitude sous forme de carte numérique) à un pas de 250 mètres, évalue le volume d'eau retenu à 2 000 millions de m^3 sur les prairies alluviales périphériques à l'Oise […]
- La deuxième méthode considère une hauteur d'eau moyenne de 1 mètre sur l'ensemble des prairies régulièrement inondées (à savoir 5 343,49 hectares) et estime à 54 millions de m^3 le volume d'eau retenu.

Ces deux méthodes fournissent une première estimation de la capacité de stockage de la zone comprise entre 54 et 2 000 millions de m^3 ». Autrement dit, ces deux méthodes conduisent à une fourchette extrêmement large.

La population bénéficiant de ce service est estimée à 92 000 habitants.

L'estimation du service de rétention des crues consiste ensuite « à s'interroger sur ce qu'il se passerait si ce service venait à disparaître ». « Deux réponses sont envisageables :

- aucune action ne serait entreprise et des dégâts […] seraient causés en aval ;
- les acteurs locaux pallieraient cette situation en rendant le même service par un autre moyen artificiel, par exemple la construction d'un barrage écrêteur de crues ».

L'estimation des dégâts (ou dommages) évités (méthode dite des dommages évités) grâce à la capacité de rétention de crues de la moyenne vallée de l'Oise est une première façon d'estimer ce service. L'ensemble des informations nécessaires à la mise en œuvre de cette méthode nécessitant la réalisation d'une étude spécifique, les auteurs ont opté pour la méthode dite, de transfert de valeur. S'appuyant sur deux études ayant estimé les dommages annuels évités grâce à la présence d'une zone d'expansion des crues, la fourchette proposée par les auteurs est

comprise entre 1200 euros 2010 par hectares et par an et 2900 euros par hectare et par an. Multipliés par la surface de la moyenne vallée de l'Oise (soit 5 300 hectares), la valeur du service de rétention des crues est comprise entre 6 et 15 millions d'euros 2010 par an.

L'estimation du coût d'un barrage écrêteur de crues (méthode dite des coûts substituts) est une autre façon d'estimer le service rendu par la moyenne vallée de l'Oise. Les auteurs recueillent ainsi des coûts de construction de barrages écrêteurs de crues. Le coût de construction d'un tel ouvrage nécessite entre 0,2 et 0,8 euros 2010 par m^3, auquel s'ajoutent les coûts d'exploitation, estimés à 1 % des coûts de construction. Construire un barrage pour retenir 54 millions de m^3 coûterait entre 12,9 et 45,8 millions d'euros. En supposant une durée de vie de 100 ans et un taux d'actualisation de 4 %, la valeur annualisée de l'investissement cumulée aux coûts d'exploitation est comprise entre 0,6 et 2 millions d'euros par an.

Les auteurs retiennent la deuxième fourchette de valeur, soit entre 0,6 et 2 millions d'euros par an, considérant que, en situation de disparition du service, la société devra faire un choix et optera certainement pour la solution la moins coûteuse et la plus acceptable socialement (*Cf.* travaux réalisés dans le cadre du groupe de travail "Zones humides" de l'Efese.

Le service de protection contre les crues rendu par les zones humides a également fait l'objet d'une estimation pour la plaine alluviale de la Bassée selon la méthode d'évaluation économique basée sur les coûts (CGDD 2011a). Deux solutions de substitution ont été évalués : la construction d'un barrage écrêteur de crues et la construction de casiers de sur-stockage (*Cf.* encadré proposé par le groupe de travail "Zones humides" de l'Efese).

Zoom

Étude de cas pilotée par CGDD sur la plaine alluviale de la Bassée

Une autre étude pilotée par le CGDD, portant sur le site de la plaine alluviale de la Bassée, a évalué le service de régulation des débits de crues par la seule méthode des coûts substituts.

Si la mise en service des grands barrages de la Seine et de l'Aube sur les 50 dernières années et la mise en place du canal grand gabarit ont modifié le fonctionnement hydraulique et permis de limiter ses épisodes de crues réguliers, la plaine alluviale de la Bassée continue de jouer un rôle dans la régulation des inondations.

Si ce service venait à disparaître, deux solutions sont envisagées par l'étude : 1) Pallier cette situation en rendant le même service par un autre moyen artificiel (construction d'un barrage par exemple), 2) Essayer de reconstruire le service rendu naturellement par des casiers de sur-stockage. Ces deux options sont évaluées économiquement par les méthodes basées sur les coûts.

Il apparaît alors que la construction d'un barrage écrêteur de crues permettant de stocker un volume d'eau compris entre 65 et 130 millions de m^3 (volume retenu par la plaine alluviale de la Bassée) et son fonctionnement engendreraient une dépense comprise entre 2 et 12 millions d'euros par an. La construction de casiers de sur-stockage aboutirait, elle, à une dépense comprise entre 19 et 37 millions d'euros par an.

S'agissant des services rendus par les prairies en France métropolitaine en matière de régulation des débits d'eau, les auteurs de l'étude distinguent (CGDD 2013c) :

- le service de régulation de la quantité d'eau, décrit comme la collecte et la diffusion de la pluviométrie vers les nappes souterraines et les eaux de surface ;
- le service de protection contre les crues, rappelant que les prairies humides jouent souvent un rôle de « rétention d'eau (effet éponge) couplée à un épandage du débit de crue (effet d'étalement) qui permet une atténuation des crues par une diminution des débits et un étalement dans le temps ».

Le service de protection contre les crues est ensuite traduit en valeur monétaire selon la méthode d'évaluation économique basée sur les coûts, qui consiste à déduire la valeur d'un service écosystémique à partir des coûts qui seraient engagés pour le remplacer si celui-ci venait à disparaître ou si son fonctionnement venait à être altéré.

Le CGDD se fonde, pour ce faire, sur l'étude menée par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne sur le site de la Loire bourguignonne qui « estime que les zones humides de ce site apportent une capacité de stockage de l'ordre de 500 à 700 millions de m^3 et permettent de diminuer la hauteur d'eau de 18 à 50 cm sur la commune de Decize. L'évaluation est par nature très contingente de la demande et impose comme c'est le cas ici, d'identifier précisément la zone à protéger, et le risque en l'absence de prairie humide. En l'absence des zones humides, les acteurs locaux pallieraient cette situation en rendant le même service par un moyen artificiel autre, à savoir la construction d'un barrage écrêteur de crues.

En considérant les coûts d'investissement et d'exploitation d'un barrage, on obtient une dépense comprise en 2 et 10 M€/an. Rapportée à l'hectare, la valeur du service de protection contre les crues est comprise entre 60 et 300 €. »

Tableau 27 :

Valeurs a minima (en €/ha/an) proposées pour le service de régulation des débits d'eau et le service de protection contre les crues (CGDD 2013c)

Service écosystémique	Valeur proposée par le CAS (2009) pour les prairies permanentes françaises (hors DOM – COM)		Valeur proposée par les auteurs des études CGDD pour les prairies humides françaises (CGDD, 2010 ; CGDD, 2011)	
	Valeur (€/ha/an)	Méthode	Valeur (€/ha/an)	Méthode
Eau (régulation des débits)	Non évaluée		Non évaluée	
Protection (érosion, crues)	Non évaluée		60-300	Coûts de remplacement (Méthode basée sur les coûts)

Notons qu'il est également possible de réaliser des évaluations chiffrées de la valeur de ce type de services. C'est le cas pour la rivière Mayes et son parc (43 hectares) située dans l'est de la **ville de Londres** pour laquelle la valeur des services de régulations, après restauration de la plaine

alluviale, a été évaluée à environ 28 087 £ : 13 087 £ pour la régulation climatique, 10 000 £ pour la régulation hydrologique et 5 000 £ pour le contrôle de l'érosion (Everad, Shuker, et Gurnell 2011).

La plupart des zones humides du bassin du Mississippi ont été détruites par les détournements des cours d'eau et les drainages, ce qui a entraîné une perte de leur capacité à absorber les larges volumes d'eau liés aux inondations. Les dommages résultants des crues de 1993 sont estimés à des milliards de dollars. Tirant les leçons de ces catastrophes, une association de protection du bassin versant de la rivière Charles (Canada) a fait l'acquisition de 3 400 ha de milieux humides pour maintenir une zone tampon naturelle et contrôler les inondations à un prix de 10 millions de dollars. L'alternative : construire barrages et digues, cela aurait coûté 100 millions de dollars. (UICN France 2012)

8.7.3 – *Principaux déterminants du niveau de service*

8.7.3.1 – Liens avec l'état de l'espace de nature

Le lien entre la capacité de l'écosystème à rendre le service et son état n'est présenté ici qu'à l'échelle de l'espace de nature en poursuivant ainsi l'élaboration du modèle État-transition.

Comme pour les autres services de régulation, la capacité de l'espace de nature à rendre le service en fonction de son état est déterminée de manière qualitative sur dire d'expert[39] ainsi que sur la base de la bibliographie. Pour chaque état, le niveau de service est noté de 1 à 4. Il est défini pour être en cohérence avec les classes déterminées pour les indicateurs d'états, 4 correspondant de très bon à bon, 3 moyen, 2 faible et 1 mauvais. Chacun des "états types", bien qu'étant caractéristiques de la typologie définie dans la partie 1, peut rendre le même service de manière variable. Comme pour l'élaboration des indicateurs d'état (*Cf.* chapitre 5), les niveaux de services font donc l'objet de fourchettes par état. Les niveaux de services décrit ci-dessus ne tiennent toutefois pas compte de leurs situations géographiques sur le territoire ou dans le BV, de leur connectivité avec le réseau hydrographique, du patron structural de la ville. Cette localisation, peut influencer la qualité du service rendu (Justine Maréchal 2014) (Derkzen, Verburg, et Van Teeffelen, A. 2015).

Des espaces intégrant des ouvrages de gestion des eaux pluviales végétalisés permettant de limiter le ruissellement présentent un meilleur niveau de service par rapport à celui rendu par des ouvrages techniques non végétalisés.

Illustration 45 :
Régulation des inondations : un espace vert à fort niveau de service de régulation des inondations



Le square Jean Mermoz à Villemonble (93) est un bon exemple. Le réaménagement du quartier a mis en avant un enjeu d'inondation par ruissellement sur le territoire. La requalification de cet espace de 0,7 hectar a été un levier pour concevoir un projet intégré, préservant les usages, les platanes historiques et gérant les eaux pluviales. Le parc a été modelé afin de rendre inondable la pelouse graduellement, en fonction de la pluie. Ce type d'espace bénéficiera donc d'une note de 4 dans le cadre de l'application du modèle Etat-transition. *Crédits : Composante Urbaine*

Quantification de la capacité des espaces verts urbains à fournir le service de régulation des inondations

Tableau 28 :

Quantification, par dire d'expert, de la capacité des espaces verts urbains à fournir le service de régulation des inondations.

 ***Paramètres de services mobilisables***	***Indicateurs d'état mobilisés (chapitre 5)***	**Terrain vague**	**Espace vert ordonné ou horticole** ***Buttes Chaumont, Wikimedia*** 	**Éco-parc** **sans gestion alternative des eaux pluviales** 	**Éco-parc** **avec gestion alternative des eaux pluviales** ***Parc J Mermoz, Villemomble*** 	**Espace « naturel »**  ***Parc du pas du loup, Metz,*** http://metz.fr/
- production du ruissellement ; *- capacité d'évaporation ;* *- rétention en eau dans le sol ;* *- Topographie / hydrogéomorphologie.*	*- taux imperméabilisation ;* *- perméabilité des sols* *- recouvrement hygrophile ;* *- volume de stockage des eaux en surface ;* *- taux de couvert arboré ;* *- Habitat (CBS) ;* *- connectivité ;* *Communauté lombricienne.*	1 à 2 : non conçu pour ralentir ou stocker les eaux, plus ou moins imperméabilisés, rugosité variable, mauvaise connectivité.	1 à 2 : non conçu pour ralentir ou stocker les eaux, plus ou moins imperméabilisés (cheminement), rugosité augmentée par la végétation plus dense, connectivité plus ou moins pensée sur les nouveaux parcs.	2 à 3 : non conçu pour ralentir ou r stocker les eaux, mperméabilisation maîtrisée, rugosité augmentée par la végétation plus dense, connectivité plus ou moins pensée sur les nouveaux parcs.	3 à 4 : conçu pour ralentir ou stocker les eaux, imperméabilisation maîtrisée et intégrée dans la logique de gestion des EP, rugosité augmentée par la végétation plus dense, connectivité plus ou moins pensée sur les nouveaux parcs.	2 à 3 : Pas de gestion des EP, imperméabilisation très limitée, perméabilité variable et sol en place naturel, très bonne diversité d'espèces et rugosité augmentée.

La capacité de l'espace à produire du ruissellement est principalement liée à son taux d'imperméabilisation, même si la capacité de rétention de l'eau dans le sol, de l'évapotranspiration et la topographie sont des aussi des paramètres qui entrent en jeu. De ce fait, les terrains vagues puis les espaces ordonnés/horticoles étant susceptibles d'être les plus imperméabilisés (anciennes friches industrielles, cheminements…), présentent des notes plus faibles que des espaces ou la désimperméabilisation a pu être prise en compte.

Quantification de la capacité des milieux humides urbains à fournir le service de régulation des inondations

Tableau 29 :

Quantification, par dire d'expert, de la capacité des milieux humides urbains à fournir le service de régulation des inondations.

Paramètres de services mobilisables	*Indicateurs d'état mobilisés (chapitre 5)*	MH asséché	MH peu aménagé et dégradé	MH préservé ou artificiel		MH « naturel »
		 *Zone humide du Jonchet, Montbéliard*	 *Zone humide du Mesnil le Roi*	aménagé et gestion équilibré *Lac de l'Arbalette, Viry-Châtillon et Grigny* 	Base de loisir (ayant vocation à accueillir du public) *Lac les noues de la Seine, Viry-Châtillon et Grigny* 	 *Petite Amazonie, Nantes, Wikipedia,*
caractérisation de l'hydropériode - rétention en eau dans le sol ; - Topographie / hydrogéomorphologie ; - production du ruissellement ; - capacité d'évaporation ;	*- tx imperméabilisation ; - perméabilité des sols ; - recouvrement hygrophile ; - volume de stockage des eaux en surface ; - végétalisation des espaces/taux de couvert arboré ; - Habitat (CBS), peut influencer la rugosité des milieux et l'écoulement ? - connectivité ; - Communauté lombricienne (infiltration) ;*	1 : Diminution des périodes d'inondation, MH qui ne joue plus son rôle de rétention/stockage des eaux, espace drainé, comblé, le temps de séjour est diminué.	2 ou 3 : hydropériode caractéristique d'un MH, contribue à la rétention et au stockage des eaux, piétinement pouvant possiblement diminuer la perméabilité.	3 ou 4 : hydropériode caractéristique d'un MH pouvant être régulé, contribue à la rétention et au stockage des eaux, limitation du piétinement, végétation hygrophile adaptée.	2 ou 3 : maintien d'une ligne d'eau adapté aux usages de loisirs et ne respectant plus l'hydropériode naturelle, contribution limitée à la rétention et au stockage des eaux piétinement régulier et érosion des berges.	4 : hydropériode caractéristique d'un MH, contribue à la rétention et au stockage des eaux.

La notion d'hydropériode est centrale dans l'évaluation du service de régulation des inondations. Comme précisé par (Bouzillé 2014), "elle traduit l'évolution saisonnière du niveau d'eau dans le système en intégrant l'ensemble des flux d'entrée et de sortie du système".

La modification de l'hydropériode va en effet entraîner un déséquilibre dans les conditions de fonctionnement du milieu et par conséquent une transition de son état stable vers un autre.

Le piétinement, l'assèchement, la dégradation du milieu vont au contraire favoriser une diminution de la fréquence, de la durée de submersion ainsi qu'une dégradation des cortèges floristiques spécifiques. De même, le maintien d'une ligne d'eau adapté pour les loisirs (nautique, pêche) diminue les capacités de stockage du milieu. Ces espaces seront moins bien notés.

8.7.3.2 – Liens avec le fonctionnement

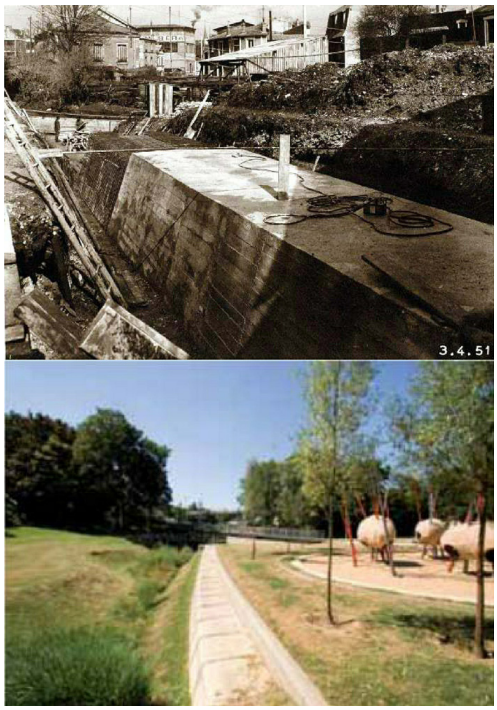
Les principaux processus impliqués dans le maintien du cycle de l'eau sont décrits au chapitre 3. Ils sont rappelés ici en spécifiant plus particulièrement quel est leur effet dans la réalisation du service de régulation des inondations. Ils sont décrits indépendamment les uns des autres mais c'est bien leur combinaison qui permet d'atteindre un bon niveau de service. La dégradation d'un des processus peut toutefois, en fonction du contexte local, être compensée par l'amélioration d'un autre en fonction des enjeux locaux.

- *stockage superficiel des eaux et rugosité des milieux* : ce processus écologique, concernant l'eau accumulée sur le sol, fait intervenir la notion de volume d'eau stocké. La présence de retenues d'eau (naturelles ou artificielles) permet d'intercepter une part du volume de ruissellement et de temporiser ces écoulements contribuant ainsi à l'atténuation des inondations ((MNHN 2010), (A. Musy 2005), (Agence de l'eau 2002). De même, la rugosité d'un sol végétalisé contribue au ralentissement dynamique des écoulements. Le développement de végétation haute arbustive ou arborée va permettre un ralentissement des écoulements.

Plus ce processus de stockage et d'augmentation de la rugosité par de la végétation haute sera prépondérant dans les espaces urbains, meilleur en sera le niveau de service retiré.

Par exemple, la réouverture de cours d'eau comme la Bièvre (illustration 48), la restauration de zones humides en milieu urbain sont des opportunités de nouveaux lieux de stockage/rétention.

Illustration 46 : La canalisation de la Bièvre vers les années 1950 et sa réouverture aujourd'hui, nouvelle zone de stockage des eaux et champs d'expansion des crues



- *infiltration de l'eau dans les sols* : ce processus écologique varie en fonction de la perméabilité du sol (texture, structure, matière organique, porosité), de la présence ou non d'une nappe souterraine et de sa couverture. Ainsi, sur le plan hydraulique, la capacité d'infiltration, le temps de séjour de l'eau dans le sol ou encore la disponibilité de l'eau pour les plantes vont varier selon ces paramètres. L'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain est très variable quantitativement et temporellement. La connaissance sur les écoulements de l'eau est encore mal appréhendée pour des sols urbains fortement remaniés (revêtement des sols, formes urbaines, hétérogénéité du proche sous-sol…).

Le service de régulation des inondations est donc fortement dépendant de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol urbain.

Une meilleure infiltration pour les sols à tendance sableuse :

Par exemple, lorsque le sol présente une faible perméabilité (cas des sols argileux), une mauvaise structuration ou une forte compacité, comme c'est souvent le cas en milieu urbain, l'eau ruisselle en surface et seule une faible partie est infiltrée. Au contraire, l'eau s'infiltre très facilement en cas de forte macroporosité (cas des sols sableux).

- ***Évapotranspiration*** [40] : ce processus écologique varie généralement en fonction du couvert végétal en place. L'évapotranspiration est un processus complexe combinant des phénomènes se produisant simultanément et dépendant des conditions météorologiques, de la disponibilité en eau, des propriétés physiques et physiologiques de la couverture végétale et du sol. Ainsi, se distinguent les parcs et jardins arborés et alignement d'arbres ou le processus sera majoré par rapport aux parterres de fleurs ou aux pelouses récréatives. Le service retiré sera donc amoindri dans ce dernier cas. En milieu urbain, l'évaporation est diminuée par l'imperméabilisation des sols.

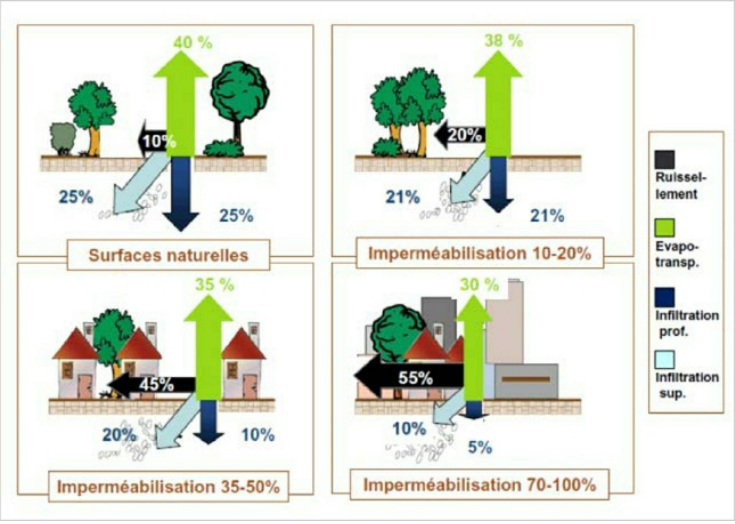
Synthèse

Le cycle de l'eau en milieu urbain est bien plus rapide que son cycle naturel : les sols y sont hétérogènes et leurs propriétés [41] principales fortement modifiées, la végétation diminuée, l'imperméabilisation augmentée. En conséquence les processus écologiques en jeu ne sont remplis que partiellement, ce sont bien ces paramètres (végétalisation, perméabilité,…) qui vont principalement déterminer les seuils locaux au-delà desquels des inondations pourront être générées (Cheverry et al., 2009).

Le service est d'autant plus diminué que le taux d'imperméabilisation (qui diminue la quantité d'eau infiltrée) augmente.

Cette forte dépendance entre les caractéristiques urbaines et la production du ruissellement est montrée sur l'illustration 49 sur des surfaces naturelles (non imperméabilisées), la production du ruissellement est estimée à 10 % du volume des précipitations alors que pour un sol fortement imperméabilisé, il peut augmenter jusqu'à 55 %.

Illustration 47 : Schéma de principe de l'évolution du bilan hydrique et de la production du ruissellement en fonction de l'imperméabilisation du sol (Barraud 2008).



Zoom...

... sur l'impact de la végétalisation sur le ruissellement

La Ville de Burnsville, au Minnesota, a pu constater l'impact de l'urbanisation sur la nappe d'eau souterraine. Dans un quartier résidentiel, des jardins de pluie expérimentaux ont été aménagés. On a ensuite mesuré l'impact du ruissellement dans un quartier similaire sans jardin de pluie. Le volume des eaux de ruissellement du quartier qui abritait les jardins de pluie s'est avéré de 90 % inférieur à celui de l'autre quartier, entraînant une augmentation de l'alimentation de la nappe d'eau souterraine (Boucher 2010).

La région de Manchester

Dans le cas d'une augmentation des épisodes de fortes pluies, le verdissement des toits des centres-villes, des zones commerçantes et résidentielles permettent de réduire le ruissellement de ces zones de respectivement 23,4 %, 20,4 % et 21,5 % par rapport à un scénario sans verdissement des toits.

Beijing, Chine – 2012

Une étude de cas à Beijing a montré que près de 2 500 m3 d'eau de ruissellement potentiels s'infiltrent pour chaque hectare végétalisé. En outre, le volume total d'eau de pluie stocké par les espaces verts urbains est du même ordre de grandeur que les besoins annuels de la ville pour l'entretien paysager, soit plus de 150 000 000 m3 (Plantes et cités et Val'hor 2013).

8.7.3.3 – Liens avec les pratiques de gestion

Les pratiques de gestion ont une influence sur l'état des milieux et les niveaux du service rendu. Il s'agit principalement de la gestion hydraulique des milieux humides (artificiels ou non), de l'entretien des ligneux permettant aux milieux de ne pas se fermer et du maintien de différentes strates de végétation permettant un meilleur ralentissement dynamique des débits d'eau.

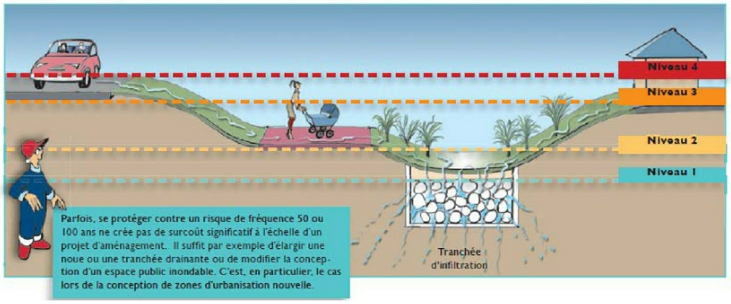
À l'échelle d'un quartier et concernant spécifiquement la gestion du ruissellement urbain et de l'assainissement, le guide 'la ville et son assainissement (CERTU 2003a) préconise **une gestion par niveau de service** (*Cf.* illustration 50) **qui permet, en fonction de la période de retour de l'événement pluvieux, d'adopter une stratégie de gestion du risque et de retour à la normale.** L'objectif consiste à gérer les eaux pluviales au plus près de leur lieu de production afin de réduire les débits et volumes à prendre en compte[42] et limiter ainsi les ouvrages de trop grandes dimension. Il s'agit de ne pas traiter uniquement les événements pluvieux extrêmes mais d'établir aussi des règles spécifiques aux pluies courantes. Il est donc important de mettre en cohérence, lors de la conception des ouvrages, les objectifs de gestion des espaces avec les intensités des événements pluvieux et les niveaux de services attendus. Ces niveaux de services sont définis dans l'illustration ci-dessous et présentés dans le guide "la ville et son assainissement" (2003).

Pour les pluies faibles à moyennes, l'objectif principal est de maîtriser les émissions polluantes alors que pour les pluies fortes à exceptionnelles il s'agit de limiter les inondations et assurer la sécurité des personnes. Toutefois, les espaces conçus pour gérer les eaux pluviales à ciel ouvert sont généralement dimensionnés pour les pluies de retour de 10 à 20 ans**, lorsque leurs capacités maximales d'infiltration des sols et/ou de stockage sont atteintes, ils ne peuvent plus**

limiter les flux de ruissellement de manière efficace, ce qui rend la probabilité d'inondation plus forte. Il s'agit pour le gestionnaire et l'aménageur de connaître ces limites pour mieux aménager les espaces et gérer les éventuels débordements (CEPRI 2014).

Illustration 48 : Les niveaux de services en fonction de l'intensité de l'événement pluvieux, (Cerema (2003), modifié par OIE 2014)

Niveau	Objectifs	Exemples d'aménagement	Exemple de période de retour associée
Niveau 1 : pluies faibles	Maintien de la qualité des rejets et de l'impact sur le milieu Pas de rejet d'eau non traitée par les déversoirs d'orage Pas de débordement	Noues, tranchées, structures réservoirs,... Pas de mise en charge dans les réseaux	< 0,5 à 6 mois
Niveau 2 : pluies moyennes	Impact limité et contrôlé sur la qualité du milieu naturel Surverses acceptées des déversoirs d'orage Pas de débordement	Noues, tranchées, structures réservoirs,... Mise en charge des réseaux sans débordement Capacité maximale des ouvrages de stockage	< 2 à 30 ans
Niveau 3 : pluies fortes	Acceptation d'une détérioration de la qualité du milieu Débordements localisés et limités avec maîtrise du risque inondation	Débordement maîtrisé des ouvrages vers les espaces publics pour stockage et/ou évacuation vers un exutoire	< 20 à 50 ans
Niveau 4 : pluies exceptionnelles	Seule priorité : éviter la mise en péril des personnes Situation de catastrophe naturelle	Débordement généralisé	Exceptionnel ≥ à 100ans



8.7.4 – *Valeurs du service et discussion*

8.7.4.1 – Évaluations nationales

Sont présentés ici des exemples d'application de certaines méthodes d'évaluation du service de régulation des inondations sur des territoires français (les méthodes utilisées sont synthétisées en annexe). Ces exemples ne concernent que des évaluations locales, jamais des évaluations d'envergure nationale.

8.7.4.2 – Évaluations locales

A) La matrice des capacités

Elle a été mise en œuvre sur le territoire de la Scarpe et de la vallée de l'Escaut dans le Nord-Pas-De-Calais pour évaluer les services rendus par les différents milieux humides.

Bien que le territoire d'application n'est pas spécifiquement urbain, la concertation mise en œuvre apparaît intéressante et transposable au contexte de la ville, la démarche et principaux résultats sont présentés ci-après.

La mise en œuvre de la matrice a permis de relier les habitats et les SE des ZH du PNR grâce à une concertation entre chercheurs, experts, gestionnaires et usagers du territoire.

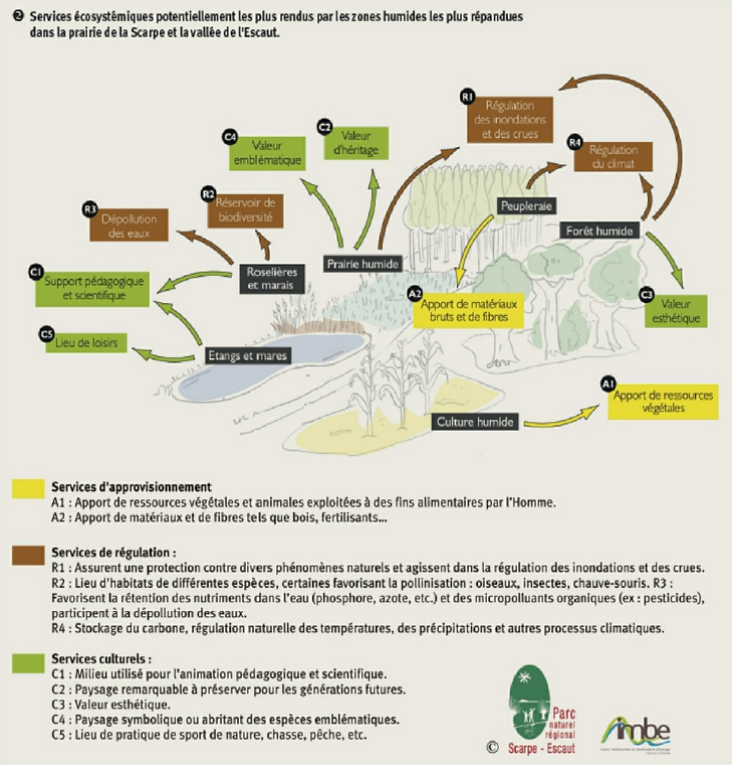
Sur l'exemple des zones humides les plus répandues dans la prairie de la Scarpe et la vallée de l'Escaut (Campagne 2016), les services de régulation et culturels sont potentiellement les plus rendus. La matrice listant les SE et la typologie des habitats rendant les services ont été adaptés en fonction des contraintes du territoire et des objectifs. La matrice est composée in fine de neufs types de ZH et dix-sept services. Trente participants ont mis un score de A (fort potentiel à rendre le service) à E (faible potentiel à rendre le service) en associant un indice de confiance déterminé en fonction de leur niveau de connaissance. La matrice finale correspond à la moyenne des matrices ainsi obtenue, pondéré par les indices de confiance.

Illustration 49 : Schéma de la matrice



Les résultats sont disponibles dans un rapport d'étude mais n'ont pu être consultés, toutefois la figure 51 met en avant les SE ayant les scores les plus forts dans la matrice pour les différents types de ZH. Les forêts humides semblent potentiellement rendre plus de service de régulation des inondations et de crue. et de manière générale, ce sont principalement les services de régulation et culturels qui sont le potentiellement les plus rendus par ces ZH.

Illustration 50 : Services écosystémiques **potentiellement** les plus rendus, pour un public large, par les ZH les plus répandues dans la prairie de la Scarpe et la vallée de l'Escaut.



B) L'apport d'eau en aval des bassins versant : Une application du modèle INVEST a été effectuée en France pour le service de régulation des inondations.

À l'échelle du SCoT, la Communauté Urbaine de Bordeaux a utilisé ce modèle pour évaluer la variation passée (de 1990 à 2006) du service d'apport d'eau mais aussi représenter l'évolution prévisible du service en fonction de différents scénarios de gestion et d'aménagement à l'horizon 2030. Les quatre scénarios d'évolution du territoire sont :

1. BAU ="Buisness As Usual" : tendance historique de 1990 à 2006 maintenue ;
2. Plan : Utilisation des PLU disponible pour simuler les aménagements prévus ou prévisibles ;
3. Conservation - regulation and cultural services : tendance historique et simulation de changement positifs prévisible dans les types d'espaces contribuants aux services de régulation et services culturels ;
4. Conservation - Provisioning : tendance historique et simulation de changement positifs prévisible dans les types d'espaces contribuants aux services d'approvisionnement.).

Les résultats sont présentés dans l'illustration 53.

Illustration 51 : Variation du service de régulation des inondations entre 1990 et 2006 sur le territoire de la Communauté Urbaine de Bordeaux (Cabral et al. En révision), et par zone hydrographique du ScoT (CERTU 2003a) (Feger et al. 2015)

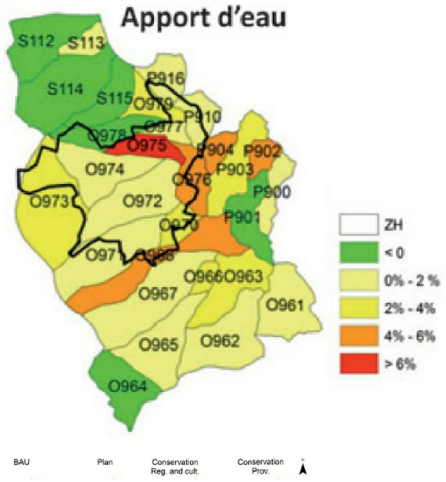
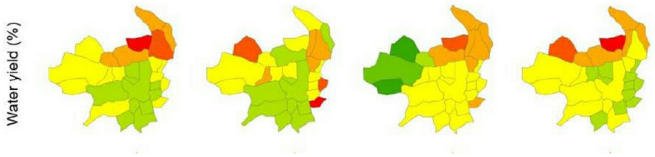


Illustration 52 : Moyennes de l'évolution des SE par commune de l'agglomération bordelaise en fonction des scénarios d'aménagement à horizon 2030



Illustration 53 :



Les premières conclusions tendent à démontrer que globalement, à l'échelle du SCOT, la qualité du service "d'apport d'eau" n'évolue que très peu en fonction du scénario d'aménagement futur (de -0.3 à 2 % de variation par rapport à l'occupation du sol de 2006). Toutefois la répartition géographique du service rendu est différente selon les scénarios.

C) Un diagnostic de la capacité de l'écosystème à tamponner les flux d'eau

Un diagnostic de la capacité de l'écosystème à tamponner les flux d'eau dans les zones à risque inondation par débordement de cours d'eau a été réalisé sur le territoire de la région urbaine de Grenoble dans le cadre du projet ESNET (Futur des réseaux de services écosystémiques dans la région urbaine de Grenoble) - OPERAs. Ce travail, non spécifique au milieu urbain, a été réalisé

sur les zones à risques identifiés dans les TRI à partir de l'identification des zones d'expansion des crues (issu des documents de planification) et la détermination d'un niveau de risque.

Cette approche, partielle, ne traite pas d'autres milieux qui peuvent permettre de tamponner les flux d'eaux et est pertinent à l'échelle des bassins versants et moins à l'échelle de la ville.

D) Évaluations monétaires

Données nécessaires à la conduite de l'évaluation

Données biophysiques :

- Capacité de l'écosystème à intercepter les chutes de pluie ; quantité d'eau de pluie interceptée / stockée

Données économiques :

- Coût annuel de stockage dans un bassin de rétention ?
- Montant de la redevance pour la gestion des eaux pluviales ? Taxe locale ?

E) Coût des techniques compensatoires

Coût moyen constaté pour des ouvrages superficiels : de 90 à 150 €/m3 ; coût moyen constaté pour du stockage enterré : 450 €/ m3 (Source : Agence de l'eau Loire Bretagne, Gestion intégrée des eaux pluviales, Collectivité : Laval, 2013)

Autres chiffres : 3,10 € TTC : prix d'1 m^3 d'eau de la Métropole de Lyon livré, collecté puis dépollué, soit 0,0031 € TTC le litre. En moyenne, en France, 3,31 €/m3 (Source : FP2E)

Illustration 54 : Coûts des différentes techniques compensatoires (ONEMA 2008)

Tableau 2 : Coûts des différentes techniques compensatoires (hors foncier, 1999) d'après Chéron & Puzenat (2004)

Technique	Coût	Entretien, nettoyage	Observations
Terrasses	0		
Tranchées ou fossés drainants	30,5 à 38€/m^3	0,30 à 0,46 €/m^3/an	Suivant la structure de la surface
Puits d'infiltration	3€/m^2 de surface assainie	1,5 €/m^2 de surface assainie	
Noues	3 à 15€/m^3 stocké ou 15 à 30€ par ml	Curage tous les 10 ans, entretien espaces verts	
Dalles béton gazon	15€/m^2		
Chaussées réservoir	33,5 à 67€/m^3	0,15 à 0,75 €/m^3/an	Durée de vie de l'enrobé 10 à 15 ans
Bassin en eau	9 à 60€/m^3	0,15 à 0,45 €/m^3	6 à 7% des investissements en GC
Bassin en béton couvert	150 à 530€/ m^3		
Bassin en béton non couvert	75 à 150€/m^3 70% GC, 30% équipements	GC 15 % investissements / an	30 ans
Bassin sec	9 à 90€/m^3 (rural <-> urbain)	0,3 à 1,5 €/m^3	
Structure alvéolaire	150 à 230€/m^3	0,3 à 1,5 €/m^3/ an	

Autre élément de coût : 45 % de la facture est affectée aux opérations liées à la production et à la distribution de l'eau potable, 37 % à la collecte et à la dépollution des eaux usées, 18 % concernent les taxes et redevances destinées aux organismes publics ou parapublics (source : FP2E)

F) La taxe pour la gestion des eaux pluviales urbaines

La loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (art. L 2333-97 à L 233-101 du code général des collectivités territoriales) donne la possibilité aux communes ou à leur établissement public de créer un service public administratif de gestion des eaux pluviales urbaines associé à une taxe annuelle également facultative. Cette disposition est rendue applicable par le décret n° 2011-815 du 6 juillet 2011 qui définit et encadre les modalités d'application de la taxe

1. D'après le 5e rapport du GIEC, la forte augmentation de la température de l'atmosphère et des océans serait à plus de 95 % de probabilité due à l'usage des énergies fossiles, libérant de grandes quantités de carbone dans l'atmosphère. Depuis l'époque préindustrielle la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone a augmenté de 40 %.
2. Taux de change au 16/09/16
3. Le prix de la tonne de carbone est fondé sur le coût d'une tonne de carbone non émise pour être en conformité avec la loi sur le changement climatique.
4. Taux de change au 16/09/16
5. Taux de change au 16/09/16
6. 1 tC eq. 3,6 tCO_2
7. Ibid
8. Directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre
9. L'objectif est de réduire les émissions de 20 % d'ici à 2020 par rapport aux émissions de 1990, et de 60 % à 80 % à l'horizon 2050.
10. Ce taux a été préconisé afin d'éviter un écrasement des prix relatifs par l'actualisation.
11. La valeur actualisée permet de connaître la valeur actuelle des services rendus dans le futur.
12. Le CAS fait généralement le calcul avec les taux, selon que l'on veuille donner une pondération plus ou moins importante à la fonction de pondération.
13. Grenoble, Aix-en-Provence, Orléans, Nancy, Marseille, Limoges, Lyon, Bordeaux, Montpellier, Nantes, Lille, Rennes
14. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain correspond à l'observation de températures plus élevées en milieu urbain par rapport à la campagne environnante. Il s'apparente à des micro-climats urbains, dont l'intensité est particulièrement marquée durant la nuit. Des explications complémentaires sont disponible au niveau du Chapitre 3.1.3.2
15. Mégawattheure
16. Million British Thermal Unit. Le British Thermal Unit (abrégé en Btu ou BTU) est une unité de mesure anglo-saxonne correspondant à la quantité de chaleur requise pour augmenter la température d'une livre d'eau d'un degré fahrenheit (3412 BTUs=1 kWh). Les BTU sont utilisés pour mesurer la consommation d'énergie (Source : https://www.energyvortex.com/energydictionary/british_thermal_unit_%28btu%29__mbtu__mmbtu.html).
17. Taux de change au 23/09/16
18. Taux de change au 23/09/16
19. Ibid
20. Ibid.
21. Les dépendances vertes désignent les espaces naturels ou naturalisés qui jouxtent les infrastructures.
22. ou d'atténuation
23. Taux de change au 2/11/16
24. Shan et al. (2007)
25. Clark et al. (2005)
26. qui correspond à la capacité des écosystèmes à réguler la qualité de l'eau
27. Ces systèmes de traitement des eaux sont des milieux humides artificiels utilisant des procédés rustiques qui miment des processus de dégradations observés dans les écosystèmes naturels.

28. Corridor rivulaire ou zone tampon rivulaire : bande de terrain le long d'un cours d'eau, dont la végétation naturelle boisée ou ripisylve est influencée par la rivière, et interagit avec elle. Sa largeur dépend beaucoup du fonctionnement hydrologique. En conditions naturelles, il s'agit d'un écotone entre milieu terrestre et aquatique, biologiquement très riche, et dont la structure arborescente favorise la connexion entre différents habitats. Dans les espaces artificialisés, un corridor rivulaire est une zone tampon qui protège la rivière et participe à la régulation qualitative et quantitative des eaux (CSPNB 2008). Il peut s'agir de ripisylve, bandes enherbées le long des cours d'eau mais aussi prairies ou bois s'étendant jusqu'à la berge.

29. Ibid.

30. Voir annexe 2 pour les principaux processus à l'œuvre pour le devenir de l'azote et du phosphore dans les cours d'eau

31. Le cuivre aura ainsi tendance à s'associer à la matière organique et à être moins mobile tandis que le cadmium, et dans une moindre mesure le zinc, sont des éléments mobiles, potentiellement transférables vers la nappe (Saulais, 2011).

32. Les fonctions de transformation de l'activité microbienne, par exemple dans des filtres plantés de roseaux, sont favorisée dans un sol planté (et par conséquent oxygéné et plus perméable) (SEGTEUP 2013)

33. (ex : les filtres plantés de roseau sur le réseau pluvial ne nécessitent généralement pas de curage régulier - au plus tous les 10 ans - alors qu'une zone de rejet végétalisé recevant des eaux de réseau unitaire ou des surverses de déversoir d'orage pourra être curée tous les 3 ans dans certains cas)

34. Créée par la Lyonnaise des Eaux, avec le concours d'acteurs régionaux et soutenue par le Conseil Général de l'Hérault et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.

35. Seuil excellente qualité à 200 UFC/100ml (entérocoques) et 500 UFC/100ml (E. coli) de la Directive 2006/7/CE « Gestion et qualité des eaux de baignade »

36. Instauré par la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, le régime "Cat Nat" est un régime spécifique d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. C'est un système d'assurance mixte, qui associe les sociétés d'assurance à la puissance publique.

37. Ibid

38. Ibid

39. membres de l'équipe projet de l'Efese urbain

40. quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère par la combinaison de l'évaporation directe à partir des surfaces d'eau libre et des sols nus ainsi que de la transpiration végétale.

41. forte compacité, perméabilité faible, macro-porosité quasi absente et aération déficiente ;

42. mais aussi d'éviter de concentrer les contaminants en aval pour protéger la qualité de la ressource et des milieux.

CHAPITRE 9

Biens produits par les écosystèmes urbains

Dans cette première évaluation de l'EFESE, le Groupe de travail Ecosystèmes urbains aborde les biens et services écosystémiques d'approvisionnement liés à l'agriculture urbaine de façon plus succincte et partielle qu'il n'a été amené à le faire pour les autres services.

Les enjeux nourriciers de la ville durable apparaissent comme un sujet fort d'interface entre les écosystèmes urbains et agricoles. Ainsi, les productions agricoles péri-urbaines constituent, dans cette première phase de l'EFESE, une limite à l'évaluation des services écosystémiques par milieux et apparaît comme un enjeu pour la seconde phase que pourra connaître l'EFESE.

Le phénomène des jardins collectifs urbains qui ne cessent de croître depuis une vingtaine d'années jouent un rôle dans les services d'approvisionnement, ils seront plutôt envisagés sous l'angle des services culturels (chapitre 10).

9.1 – L'agriculture urbaine : définitions et échelles

A l'échelle d'agglomérations toujours plus étendues, l'agriculture est présente sous différentes formes avec des interactions variées avec la ville proche. Comme le précise Ch. Aubry (2015), « *toutes [les] exploitations relativement proches des villes ne sont pas en lien fort avec elles, par exemple elles ne produisent pas pour la demande alimentaire de la ville, mais dans un modèle de production majoritaire de la filière, pour un marché global* ».

Ainsi nous nous limiterons dans l'analyse aux formes agricoles dont l'importance des interactions avec la ville proche peut les qualifier d'« *agriculture urbaine* ».

Une littérature abondante a émergé sur l'agriculture urbaine depuis le début des années 2000 (Bertrand & Perrin, à paraître) et propose de nombreuses définitions (i.e. Mougeot, 2002 ; Nahmias and Le Caro, 2012 ; FAO, 2007 ; Mok et al., 2014), tentant de traduire la diversité des formes de cette agriculture, professionnelle ou d'expérimentation sociale (Allen et al., 2003). La notion s'avère multidimensionnelle (Aubry, 2012 ; Daniel, 2013). Certains la définissent selon un critère de proximité géographique (FAO, 1999) ; d'autres soulignent l'insuffisance de cette caractérisation (Aubry et Pourias, 2013) pour témoigner des liens fonctionnels réciproques que la ville entretient avec l'agriculture de proximité en termes de productions alimentaires, de services rendus aux populations urbaines (i.e. Pearson et al., 2010 ; Bell et al., 2011), ou encore de complémentarités voire de concurrences entre usages (Moustier & MBaye, 1999). Plus largement, l'agriculture urbaine s'est inscrite dans un ensemble de pratiques sociales de production alimentaire et de consommation au sein d'une agglomération, aux échelles de la vie quotidienne et de territoires de la régulation urbaine (Nahmias, Le Caro, 2012), dans un rapport plus étroit des sociétés avec leur alimentation et leur environnement (Thibert, 2012).

Nous distinguerons donc au sein de cette agriculture, deux sous-ensembles, en fonction de l'implantation territoriale et de l'échelle considérée :

- l'agriculture périurbaine, occupant les abords de la ville, s'intégrant aux dynamiques métropolitaines.
- l'agriculture intra-urbaine, intégrée aux espaces urbains, qui se situe à l'échelle du quartier.

9.1.1 – L'agriculture périurbaine : professionnelle et nourricière

L'agriculture *périurbaine* est le plus souvent assimilée à l'agriculture présente dans la couronne périurbaine des aires urbaines. Elle représente une part non négligeable de l'agriculture nationale. Par exemple, dans le SCoT de l'agglomération lyonnaise, elle couvre 31 % du territoire. Elle était estimée en 2000 à 44 % des exploitations nationales et 41 % de la superficie agricole utilisée – SAU- (Agreste, 2002). Cependant, considérer la seule dimension spatiale du caractère périurbain de l'agriculture prête à discussion. Cela reflète les débats sur la définition des espaces périurbains identifiés aux aires de déplacements domicile-travail définies par l'INSEE (Le Jeannic, 1997), mais surtout ceux sur la nature des flux et services fournis par les exploitations à la ville proche, en lien direct ou indirect avec leur activité

productrice et économique. L'agriculture qualifiée de périurbaine est ainsi marquée par la diversité de ses caractéristiques productives et par le rapport économique qu'elle entretient avec l'espace urbain de proximité.

Ainsi, la relation économique de l'agriculture (ou des agriculteurs) à la ville recouvre plusieurs dimensions (Bertrand, Rousier, 2003) : détention de la propriété foncière (de moins en moins), production de services environnementaux (recyclage des déchets, gestion de la ressource en eau, gestion des espaces à risques tels que les zones d'éboulement et d'inondation) et sociaux (agrotourisme, activités pédagogiques ou récréatives, entretien de l'espace), production de biens alimentaires. Les modalités de commercialisation de biens alimentaires et le rapport économique à la « ville » prennent des formes variées, au sein même des exploitations, en fonction de la nature des productions : vente directe et circuits courts, marchés urbains de détail, grande distribution ou MIN (marchés d'intérêt nationaux). Le développement actuel de la vente directe, d'associations pour le maintien d'une agriculture locale et paysanne (telles que les AMAP), ou encore des circuits de proximité montre le lien fort entre certains espaces agricoles et la ville. Les circuits courts permettent la valorisation de relations de proximité entre l'agriculture et la ville, offrant des possibilités de débouchés rémunérateurs pour les exploitants périurbains. Ces circuits-courts concernent d'abord deux circuits de vente classique, les marchés urbains de détail et les grandes surfaces. Ainsi les MIN constituent des plateformes qui gardent leur importance pour l'agriculture périurbaine. Les circuits classiques de distribution impliquent ainsi un rapport à la ville comme bassin de consommation ; cette ville peut cependant être plus ou moins lointaine.

L'agriculture périurbaine est majoritairement constituée d'exploitations agricoles professionnelles aux fonctions productive et économique marquées. Les biens et services écosystémiques issus de l'agriculture péri-urbaine ne seront pas traités par la présente étude (Groupe de travail des interfaces, juin 2016).

9.1.2 – L'agriculture intra-urbaine : multiforme et créatrice de lien social

L'agriculture intra-urbaine concerne les lieux de production maraîchère au cœur de l'espace urbain. Ces espaces peuvent prendre différentes formes (Lagneau, 2015).

Les jardins potagers constituent la forme la plus ancienne et la plus courante. On peut en distinguer plusieurs types :

- les jardins privés, tradition ancienne ;
- les jardins ouvriers ou familiaux ;
- les jardins collectifs et d'insertion ;
- les jardins partagés généralement associatifs ;
- les jardins de "situation de crise", réduisant la paupérisation par l'autoproduction.

À cela il est nécessaire de rajouter des formes plus disparates, comme le mouvement des *incroyables comestibles*, et encore, l'émergence de formes de culture hors-sol : low-tech, reproduisant les cultures maraîchères en dehors du sol (sur les toits par exemple) ; high-tech, faisant appel à la technologie, comme la culture hydroponique.

Cette agriculture prend son origine d'une part dans les jardins familiaux. La loi du 26 juillet 1952 leur impose une gestion associative non commerciale, et consacre leur fonction éducative, tendant à montrer la primauté de l'impact social de ces dispositifs.

D'autre part, le mouvement des *community gardens*, né à New-York dans les années 70 dans un contexte de crise et de volonté de réappropriation de l'espace public pas les habitants, a créé une dynamique qui s'est exportée en Europe. Ainsi le développement récent des *jardins partagés* (à Lyon, la majorité de ces jardins a été créée depuis 2010, selon l'association Le Passe-Jardin) témoigne d'une volonté de mise à disposition et de gestion collective du foncier agricole.

Les interactions entre l'agriculture intra-urbaine et la ville sont diffuses, et très liées au quartier en contact direct avec l'espace considéré. Que ce soit la participation à la vie du quartier par la création de lien social, ou le questionnement de projets urbains qui intègrent des espaces agricoles, l'agriculture en ville n'est pas simplement en interface, mais plutôt intégrée au système urbain. Les jardins partagés sont par exemple de plus en plus intégrés dans les projets d'aménagement. Cette dynamique permet de questionner les modes de vie, de répondre à des évolutions en cours, et de réintégrer la production agricole dans la ville.

La production agricole n'est donc pas l'objectif principal de cette agriculture, qui apporte plus souvent du lien social (Aubry, Pourias, 2013). Cette demande sociale de l'agriculture dans la ville s'explique par plusieurs facteurs, à l'intersection des questions alimentaires, du développement durable, et du bien-être en ville (Poulot, 2015). En Île-

de-France, la surface consacrée aux *jardins associatifs* urbains est aussi importante que la surface de maraîchage péri-urbain.

9.2 – L'évolution du rapport ville / agriculture

9.2.1 – L'agriculture et la ville, une vieille histoire

L'agriculture et la ville ont toujours été liées. Jusqu'au début du XXème siècle, l'agriculture à proximité de la ville prend la forme d'une ceinture maraîchère. Avec des modes de transports peu rapides, c'est en effet la méthode la plus efficace pour l'approvisionnement en produits frais. Cette logique sous-tend le modèle dit de Von Thunen, qui modélise des cultures dépendant de la distance au marché urbain, et se disposant de fait en cercles concentriques autour de la ville. Au XXe siècle, avec la révolution industrielle et la prédominance donnée aux filières, l'évolution des transports de marchandises, les productions sont, petit à petit, moins corrélées à la consommation locale. Les agricultures aux abords des villes reflètent les logiques régionales, et font partie d'un bassin de production intégré à une économie mondialisée (Poulot, 2015).

9.2.2 – Un cadre législatif relativement récent visant à la protection et au suivi des espaces agricoles politiques

Depuis une vingtaine d'années en France, face à l'étalement urbain, à l'érosion du potentiel agricole et aux enjeux environnementaux, la préservation du foncier agricole (périurbain) fait l'objet d'une convergence législative et d'une prise de conscience de rareté de la ressource. Qu'il soit question de lois relevant de l'orientation agricole et du développement rural, ou de l'aménagement urbain, l'économie des sols (et leur gestion intégrée) a été élevée, au moins dans les textes, au rang de norme pour les politiques publiques. Ainsi, le cadre législatif est devenu plus contraignant avec une instrumentation abondante[1], de la loi Développement des Territoires Ruraux (DTR, 2005) établissant une meilleure maîtrise de la pression foncière exercée sur les terres agricoles périurbaines et les PAEN[2], ou PENAP en Rhône-Alpes à la loi d'Avenir de 2014 pour laquelle l'aménagement des territoires s'inscrit par une protection accrue des espaces agricoles, naturels ou forestiers.

Une réflexion sur la densité s'est développée parallèlement, dès la loi SRU (2000) qui a encouragé la « gestion économe de l'espace », et récemment avec la loi ALUR (2014) qui prône une modération de la « consommation d'espaces » et la « densification ». Les obligations faites aux documents d'urbanisme qui en résultent, renforcent cette logique spatiale de protection. Ainsi, les Schémas de cohérence territoriale (SCoT) et les Plans locaux d'urbanisme (PLU) doivent quantifier la consommation d'espaces sur dix ans, et fixer des objectifs chiffrés de modération de cette consommation. La prise en compte de la biodiversité ordinaire (trame verte), constituée pour l'essentiel d'espaces agricoles, s'impose aux documents de planification opérationnelle et contribue (partiellement) à la préservation des espaces agricoles. La création de l'Observatoire des espaces naturels, agricoles et forestiers (OENAF, loi d'Avenir 2014) dont une des missions est de mesurer le changement de destination des espaces agricoles et d'homologuer des indicateurs d'évolution, met l'accent sur le besoin de suivi dans le temps de l'urbanisation et de son impact sur les espaces agricoles.

9.2.3 – Vers une approche patrimoniale des espaces agricoles urbains et périurbains ?

L'intérêt porté aux espaces agricoles urbains et périurbains s'est traduit pour certains territoires par l'émergence de politiques publiques et collectives répondant aux enjeux de fonctionnement des espaces agricoles (continuités d'îlots, dynamiques productives agricoles, accessibilité des terres, caractère multifonctionnel des espaces, etc.). Ainsi, la planification opérationnelle, dans le du SCoT de Montpellier s'est adossée au concept d'« inversion du regard » a pu identifier avant de définir l'emprise urbaine, une armature verte fonctionnelle de dimension patrimoniale (Illustration 58) : « *La nature et l'agriculture ne sont plus des variables d'ajustement de l'extension urbaine mais des enjeux de préservation et de valorisation qui conditionnent l'attractivité du territoire à long terme* » (Montpellier Agglomération, 2006). Cette dimension patrimoniale et collective attribuée aux espaces agricoles périurbains a ainsi participé à interroger l'implication publique dans la gestion de ces espaces par le développement de politiques de maîtrise foncière (encore assez limitées) et/ou d'accompagnement du développement agricole (Jarrige et al., 2009). Ce type d'approches est aussi observé dans l'analyse fonctionnelle des espaces ouverts

développée par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Île-de-France, s'appuyant sur la compréhension du fonctionnement des espaces agricoles et naturels.

Les PAEN établis en 2005 par la loi DTR comme une compétence optionnelle des départements, est aujourd'hui partagée avec les communautés d'agglomération (loi Notre 2015). La loi DTR a introduit la notion de « mise en valeur » des espaces agricoles et naturels périurbains. Les PAEN associent un périmètre de protection sur le long terme (le périmètre est arrêté par décret) à un programme d'actions (activité agricole, animation, ouverture au public, etc., soit une prise en compte de l'ensemble des fonctions de ces espaces). Le dispositif permet ainsi l'émergence de stratégies agri-alimentaires locales. Peu utilisé depuis sa création (en 2017 seuls 12 PAEN avaient été approuvés), il a été particulièrement investi par l'aire métropolitaine lyonnaise. Le dispositif y a permis une nouvelle gouvernance du foncier agricole l'élevant au rang de *ressource commune* (Kassis, 2017), de nouvelles configurations des rapports entre acteurs locaux, l'émergence de nouvelles formes de propriété collective (fermes intercommunales, espaces tests, etc.) (voir illustration 59, Ansaldi et al., 2016)

Zoom

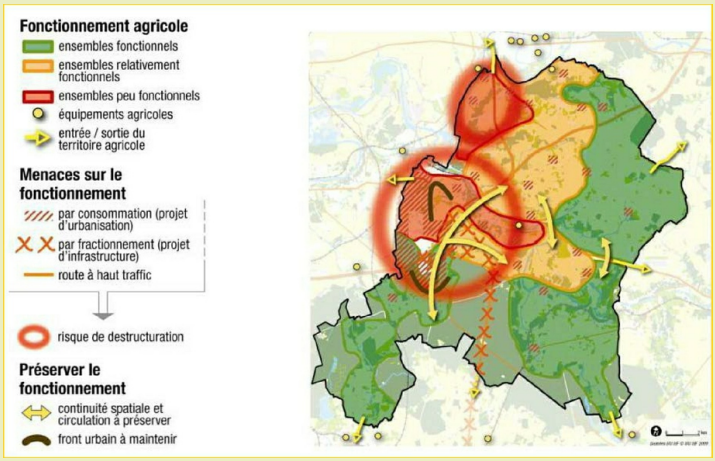
L'analyse fonctionnelle des espaces ouverts en Île-de-France

Méthode développée par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île-de-France, l'analyse fonctionnelle des espaces ouverts permet de hiérarchiser ces espaces selon les enjeux qui leur sont propres en :

- *prenant en compte leur multifonctionnalité : productive, récréative, support de biodiversité ;*
- *évaluant les impacts de l'urbanisation : consommation, altération, fragmentation.*

Cette analyse se traduit par exemple par des cartes de synthèse qui permettent de montrer la hiérarchisation des enjeux. Ci-dessous, une carte du fonctionnement agricole sur le territoire de la communauté de communes du Pays Créçois.

Illustration 55 : Zoom : l'analyse fonctionnelle des espaces ouverts en Île-de-France :
(Sources : http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/environnement/espaces-ouverts/analyse-fonctionnelle-des-espaces-ouverts.html, consulté le 04/08/15)



Pour en savoir plus :
http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/environnement/espaces-ouverts/analyse-fonctionnelle-des-espaces-ouverts.html (consulté le 04/08/15)

9.2.4 – De la considération de la question foncière : viabilité de l'agriculture périurbaine et concurrence sur l'usage des sols

L'interaction entre la ville et l'agriculture périurbaine a une traduction concrète spatiale et économique : l'usage du foncier agricole et la concurrence potentielle entre différentes fonctions (productive, environnementale, urbaine) qui lui attribue aujourd'hui la demande sociétale. Les lieux de cette concurrence foncière peuvent être classés en trois catégories (Boulefrad et al., 2013) :

- limites organiques : franges perméables faisant entrer en interaction les habitants et les exploitants agricoles, et se traduisant souvent par une avancée de l'urbanisation ;
- limites franches : caractérisées par une relative imperméabilité, et un front urbain fixe ;
- enclave : espaces agricoles entourés d'urbain, ou espaces urbains au sein de l'espace agricole (mitage).

Zoom

Les chiffres de la consommation d'espace

L'OENAF, dans son premier rapport, dégage les tendances suivantes :

- *la consommation d'espace par l'urbanisation se fait principalement au détriment des terres agricoles, les espaces naturels et forestiers restant stables ou en légère augmentation ;*
- *le rythme de consommation annuel moyen entre 2000 et 2012 est entre 40 000 et 90 000 hectares, avec un ralentissement depuis 2008, certainement dû à la crise.*

Un des trait majeurs, encore endigué avec difficulté (Martin, 2013), est celui de l'étalement urbain et de la progression de l'artificialisation des sols (demande résidentielle, déplacements journaliers, développement des infrastructures économiques) facteurs majeurs de déstructuration de l'espace agricole par le mitage et l'enclavement des parcelles, la difficulté de circulation des engins agricoles, conduisant in fine à la mise en danger de l'exploitation et à une possible déstructuration de filières agricoles locales.

La régulation de ces phénomènes repose sur un cadre législatif et une accumulation d'outils et de dispositifs relevant du contrôle des structures, de la planification spatiale, et de la maîtrise foncière par l'intervention sur le marché foncier de l'acteur public et

de collectifs issus de la société civile notamment via l'action des Sociétés d'aménagement foncier et d'établissement rural (Safer).

Les résultats sont cependant contrastés, laissant certains territoires en recherche d'une mise en application réelle de l'objectif de préservation des terres agricoles (Bertrand, 2013). Ainsi, l'action publique aux échelles territoriales est fortement déterminée par le degré de complexité des interventions, qu'il s'agisse de la superposition des échelles d'action ou du croisement des politiques sectorielles avec les enjeux territoriaux. La gestion locale des terres s'inscrit le plus souvent dans le cadre d'arrangements locaux entre acteurs usagers de la ressource foncière, dépassant la seule profession agricole. Des initiatives locales en matière de politiques foncières émergent aujourd'hui à l'échelle des territoires (intercommunaux en particulier) traversées par des enjeux d'environnement et de développement territorial, et pour lesquels se pose la question des outils adéquats d'action publique, entre incitation, règlementation contraignante et dispositifs hybrides (Bertrand, Melot, 2016). Ces politiques locales se trouvent parfois mises à mal par des arbitrages budgétaires au sein même des collectivités ou des changements de mandature. Les tensions avec la profession agricole sur l'usage agricole de ces terres et le type d'activité agricole souhaitée comptent parmi les freins à de telles politiques (à titre d'exemple l'échec de la concertation autour de la création d'un PAEN dans le secteur du pays voironnais au sein de la région urbaine grenobloise). Par ailleurs, des expérimentations se tissent aussi aujourd'hui en matière d'urbanisme montrant, pour certaines régions urbaines, des innovations en matière de projets agri-urbains (par exemple le réseau Terres en Villes).

Zoom

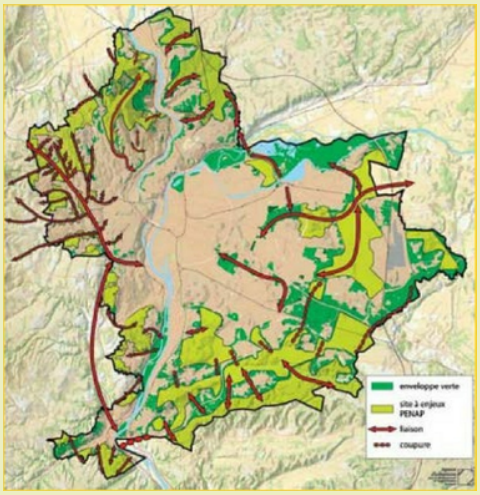
Le dispositif Projet Stratégique Agricoles et de Développement Rural et Protection des Espaces Naturels et Agricoles Périurbains dans le Schéma de Cohérence Territoriale de l'agglomération lyonnaise

Les différentes dimensions de cette action multi-acteurs (Région, Département, Métropole, Chambre d'Agriculture) sont les suivantes :

- une protection très forte de 70 % de l'armature verte du SCoT (réduction seulement possible par arrêté interministériel) ;
- un droit de préemption ;
- le financement de projets agricoles (installation d'agriculteurs, marchés…).

La carte ci-dessous montre la cohérence entre l'enveloppe verte, les PENAP (acronyme local pour PAEN) et les enjeux de liaison et de coupure.

Illustration 56 :
Zoom : le dispositif PENAP-PSADER dans le SCoT de l'agglomération lyonnaise



La concurrence des différents usages du sol impose d'afficher des règles claires pour hiérarchiser les espaces, et une connaissance fine du fonctionnement du sol (qualité agronomique, pollution…).

9.3 – L'alimentation, fil rouge des interactions entre écosystèmes urbain et agricole

9.3.1 – L'alimentation : trait d'union de la ville et de l'agriculture ?

Deux processus relativement récents - la métropolisation et les crises alimentaires – conduisent à poser la question du rapport entre villes et alimentation. Bien souvent envisagé sous l'angle de modèles agroalimentaires productivistes, une diversité d'études est menée aujourd'hui sur la caractérisation de mouvements émergents dans le système alimentaire en lien avec la consommation locale (Krausz et al., 2013), le renouvellement de la demande alimentaire urbaine (PSDR 3 projets Liproco, Coxinel, Ressterr), les formes urbaines (PSDR 4, projet Frugal) ou encore l'agriculture urbaine (Morgan 2009). L'émergence de politiques alimentaires à l'échelle des territoires fait de la question alimentaire un fil rouge permettant de faire le lien entre espace urbain et agricole.

L'exemple de la commune de Mouans-Sartroux (Alpes-Maritimes) montre l'opportunité de la question alimentaire pour lancer une dynamique. Avec pour objectif d'assurer la production des légumes consommés dans ses cantines scolaires, la commune a en effet créé une régie municipale agricole, qui exploite un terrain lui appartenant. Outre la dimension de production, l'initiative a aussi une visée pédagogique – envers les enfants des écoles – et sociale, puisque les surplus sont donnés à l'épicerie sociale de la commune. La mise en place de politiques alimentaires à l'échelle métropolitaine est également une piste explorée par certains territoires. La prospective « Rennes Ville Vivrière » en est un exemple (voir encadré).

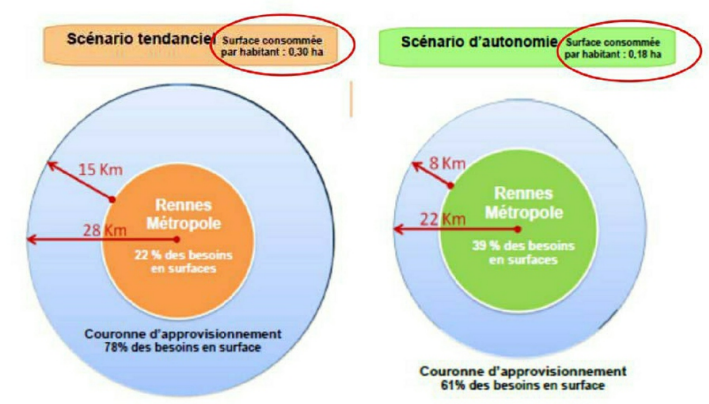
Zoom

Rennes Ville Vivrière (Darrot, 2015)

La démarche "Rennes Ville Vivrière" s'interroge sur l'autonomie alimentaire de la métropole rennaise. Les enseignements et pistes de réflexion en sont les suivant :

- la souveraineté alimentaire théorique à Rennes est accessible en utilisant une ceinture maraîchère dans une zone n'allant pas au-delà de 30 km du centre ;
- la question logistique est importante ;
- l'utilisation des trames vertes dans un but vivrier permet de répondre à environ 7 % du besoin, mais a de forts impacts paysagers.

Illustration 57 : Schéma représentant l'autonomie alimentaire de Rennes selon deux scénarios d'alimentation
(Sources rennes, ville vivrière, Darrot, 2015



9.3.2 – *Vers un écosystème agri-urbain*

De façon générale, intégrer les espaces agricoles dans l'écosystème urbain permet le compléter et de prendre en compte de nombreux cycles dans leur intégralité : cycle alimentaire, flux de populations pour les activités récréatives, etc. À l'échelle métropolitaine, il est ainsi possible, en articulant les différents outils relatifs à l'urbanisme et à l'agriculture, de mettre en place une politique intégrant enjeux urbains et agricoles.

L'exemple de l'agglomération rennaise est assez caractéristique. La politique agricole infuse différentes démarches, telles que :

- le schéma de cohérence territoriale, qui définit la "ville archipel" : les espaces bâtis sont délimités par des champs urbains qui assurent plusieurs fonctions (récréative, productive…), recréant ainsi un lien ville-agriculture ;
- le programme local d'agriculture, qui traduit un engagement partenarial entre la collectivité et les agriculteurs, et permet de mettre en oeuvre des règles de gestion pour pérenniser l'agriculture, mais également d'informer et de mobiliser la population ;
- les réflexions en cours sur l'autonomie alimentaire, dans le cadre d'un travail de recherche (voir illustration ci-avant). De façon générale, les métropoles nouvellement créées disposent de plusieurs outils qui peuvent s'articuler avec des démarches de contractualisation :
- les outils de planification : schémas de cohérence territoriale et plans locaux d'urbanisme ;
- les outils de protection et de mises en valeur des espaces agricoles : zones agricoles protégées, PAEN ;
- les outils de protection et de gestion des espaces naturels, tels les espaces naturels sensibles ;
- des outils de politique paysagère, comme les plans de paysage.

L'évaluation des services d'approvisionnement et les biens agricoles interrogent à nouveau les contours de la ville et leurs évolutions et poussent à une vision fonctionnelle de flux entre les systèmes. Le sujet d'interface que représentent les agricultures urbaines mériteraient d'être étudié dans une prochaine phase de l'EFESE.

1. A titre d'exemple, la création des Zones agricoles protégées (ZAP), en 1999. Elles constituent une servitude s'imposant aux PLU qui permet d'instaurer une protection durable de l'espace agricole en fonction de sa situation géographique ou de la qualité de sa production, vise particulièrement le périurbain.
2. Périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains

Chapitre 10

Services culturels rendus par les écosystèmes urbains

Depu**is le XIXe siècle, les parcs et jardins dénommés plus tard espaces verts urbains ont pour vocation première d'offrir aux citadins des lieux agréables, réservés à des usages récréatifs, de repos ou de rencontre. Leur fréquentation témoigne de leur succès.**

Ainsi, parmi les catégories de services écosystémiques retenues pour l'évaluation française (régulation, culturels et d'approvisionnement), les services culturels sont ceux auxquels on pense assez spontanément comme devant être étudiés en milieu urbain. Ceci est confirmé par la littérature scientifique internationale : les services culturels sont largement plus documentés en milieu urbain que les autres services (Méral et Pesche 2016). Pourtant, ils semblent avoir été étudiés plus tardivement que les autres, du fait de « clivages » méthodologiques et épistémologiques liés aux champs disciplinaires impliqués de l'économie et la sociologie (Blanc, communication orale, 2016). Comme en résonance, les praticiens des collectivités se réfèrent peu à la sociologie et aux données socioculturelles comme la fréquentation à des fins d'orientation et d'optimisation de la gestion et de la conception des espaces de nature.

La culture est une notion complexe à expliciter : "la culture régule tous les domaines de la vie y compris le rapport à la nature" (N. Blanc, communication orale, 2016). Les deux notions de culture et de nature sont liées, la perception de la nature étant un élément même de la culture. La diversité des rapports culturels à la nature ne sont pas toujours associés aux fonctions des écosystèmes, quelquefois ils sont simplement liés au biotope et à

ses conditions (le ciel, la météo). L'évaluation des services écosystémiques culturels est une manière inédite et très particulière de considérer ce rapport nature-culture. Nous tenterons dans ce chapitre d'en considérer les apports et les limites.

NB. Le patrimoine naturel n'est pas inclus dans le champ de l'évaluation des services culturels ; il est traité au chapitre 11 du présent rapport.

Le Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES 2016) définit les Services Écosystémiques Culturels (SEC) comme des bénéfices matériels et immatériels que les populations retirent du contact avec la nature. Trois types sont développés : les activités récréatives et le loisir (physique, social, spirituel, exploration de la nature) (partie 10.2.), les aménités paysagères ou services d'ordre esthétiques (contemplation, vie dans un environnement attractif) (partie 10.3) et l'éducation par la nature (éducation à l'environnement, connaissances scientifiques) (partie 10.4).

L'attribution de valeurs à ces services culturels implique de mobiliser des dimensions multiples, parfois conflictuelles. Pour les services culturels, les mesures biophysiques et les traditionnelles méthodes d'évaluation économique (ex : coûts de remplacement, coûts évités) méritent d'être dépassées pour se tourner vers des méthodes d'évaluation intégrant des données plus subjectives (ex : consentement à payer), mais aussi la narration.

10.1 – Dénomination, sélection, bénéficiaires et méthode d'attribution de valeurs

Le cadre conceptuel de l'EFESE s'appuie sur les travaux de la commission Chevassus-au-Louis pour définir les services culturels. ***"Les services culturels couvrent un spectre assez large de services matériels et immatériels que sont les pratiques récréatives, les usages esthétiques et culturels, et les usages éducatifs. Ces différents usages font intervenir à la fois des préoccupations individuelles et sociales qui peuvent être plus ou moins spécifiques à chaque territoire". (CAS, 2009)***

10.1.1 – Dénomination et sélection des services écosystémiques culturels

L'étude des services écosystémiques en milieu urbain ne pouvait pas faire l'impasse des services dits culturels. Mais entre l'apprentissage naturaliste avec les sciences participatives, le jogging sur des berges arborées, ou la contemplation d'un alignement d'arbres centenaires, quels services culturels faut-il considérer ?

Élaborée en 2013, la classification internationale de l'Agence européenne de l'Environnement distingue les services culturels (qui s'attachent aux interactions physiques et expérientielles avec les écosystèmes et les paysages et qui est repris dans le cadre conceptuel de l'EFESE), et celui des interactions intellectuelles, spirituelles et symboliques (que l'EFESE traite en partie dans le chapitre 11 dédié au Patrimoine naturel. (annexe1, (CICES 2014).

Tableau 10.1 :

Classification internationale CICES par l'Agence européenne de l'environnement, 2013

Division	Group	Class	Class type	Examples
Physical and intellectual interactions with biota, ecosystems, and land-/seascapes [environmental settings]	*Physical and experiential interactions*	*Experiential use of plants, animals and land-/seascapes in different environmental settings*	*By visits/use data, plants, animals, ecosystem type*	*In-situ whale and bird watching, snorkelling, diving etc.*
		Physical use of land-/seascapes in different environmental settings		*Walking, hiking, climbing, boating, leisure fishing (angling) and leisure hunting*
	Intellectual and representative interactions	*Scientific*	*By use/citation, plants, animals, ecosystem type*	*Subject matter for research both on location and via other media*
		Educational		*Subject matter of education both on location and via other media*
		Heritage, cultural		*Historic records, cultural heritage e.g. preserved in water bodies and soils*
		Entertainment		*Ex-situ viewing/experience of natural world through different media*
		Aesthetic		*Sense of place, artistic representations of nature*

Le tableau 10.2 récapitule les typologies de la publication de l'UICN-France sur les services écosystémiques en milieux urbain, des programmes de recherche SERVEUR de l'Université de Tours, et ESNET du laboratoire d'Écologie Alpine du CNRS Grenoble.

Tableau 10.2 :

Sélection des services écosystémiques culturels traités en milieu urbain (Source : Cerema, 2016)

	Typologie des SEC dans la littérature scientifique en France				
	Cadre conceptuel d'EFESE	**Index de biodiversité urbaine**	**Publication Services écosystémiques en milieux urbains (UICN)** [a]	**Programme de recherche SERVEUR (Université de Tours)** [b]	**Programme de recherche ESNET (CNRS de Grenoble)** [c]
Activités récréatives et de loisirs					
Sports de nature					
Chasse					
Pêche de loisir					
Expériences scientifiques					
Éducation					
Aménité paysagère					
Esthétique					
Spiritualité					
Tourisme vert et écotourisme					

a. (IUCN 2013)

b. Programme de recherche SERVEUR "*Services Écosystémiques des Espaces Verts*" de l'Université de Tours

c. L'objectif de ce programme de recherche, porté par le Laboratoire d'Écologie Alpine (LECACNRS) est d'analyser les futurs possibles des services écosystémiques dans la région urbaine de Grenoble.

La sélection des services écosystémiques culturels étudiés dans ce document a été réalisée en croisant ces travaux français avec les enjeux de politiques publiques mis en avant par le groupe de travail "écosystème urbain" de l'EFESE, partagés lors d'un séminaire auquel participait une douzaine de collectivités.

Les enjeux de cadre de vie, et d'éducation à l'environnement ont été considérés comme ceux qui mobilisent fortement les services culturels (Gt urbain, mars 2014).

Les services écosystémiques culturels retenus sont :

- **les services d'éducation et de connaissance -** Ils constituent un enjeu majeur d'information, d'éducation, d'expérimentation et de sensibilisation auprès de chaque acteur de la ville (citoyens, collectivités, etc),
- **les services récréatifs -** Ils participent à la perception du cadre de vie et à un usage de l'espace public,
- **les services d'ordre esthétique dits aménités paysagères-** Ce sont des services contribuant à un meilleur cadre de vie et à l'attractivité touristique.

10.1.2 – Bénéficiaires et méthodes d'attribution de valeurs

Les bénéficiaires des services culturels se classent en deux principales catégories :

- Les citoyens résidants (usagers réguliers) et les visiteurs (usagers occasionnels), qui constituent la part la plus nombreuse des bénéficiaires
- les structures gestionnaires des espaces de nature et les associations naturalistes qui gravitent autour d'elles, qui constituent une part beaucoup moins nombreuse, mais plus influente.
- les urbanistes, dans la mesure où ce type de service a une incidence sur l'attractivité du territoire urbain et donc sur le projet global.

Les méthodes évaluatives des services culturels peuvent emprunter à des champs disciplinaires de la sociologie, de l'économie et de l'écologie, ce qui donne des résultats très divers, allant des données chiffrées et monétaires (consentement à payer) aux enquêtes qualitatives. Ces dernières tentent de rendre compte de la spécificité de la relation qui s'établit entre un lieu et des personnes, format peu agrégeables à l'échelle nationale et difficilement transférable d'un contexte à un autre.

Dans l'optique du développement d'indicateurs de niveau national, le tableau 10.3 présente pour chacun des trois services culturels retenu de possibles indicateurs quantitatifs et ce à deux échelles, espace de nature et ville. Certains d'entre eux seront détaillés plus loin.

Tableau 10.3 :

Exemples d'indicateurs pouvant contribuer à évaluer les SEC retenus (Cerema, 2016)

Typologie du cadre conceptuel EFESE	Évaluation quantitative (en gris foncé, indicateurs calculés dans le cadre du présent document, en gris clair, indicateurs proposés pour un calcul par les collectivités (en fonction du contexte et des besoins locaux), en blanc autres indicateurs relevés dans la littérature)	
Service écosystémique	**Espace de nature**	**Ville**
Activités récréatives et de loisir (service dit de récréation sans prélèvement)		**Indicateur Ville Service Récréatif :** superficie (en ha) des parcs comportant des zones naturelles ou des zones naturelles protégées ou sécurisées pour 1000 habitants à l'échelle de la collectivité [a]
		Indicateur Ville Service Récréatif : superficie (en ha) des espaces verts urbains et des espaces de loisirs pour 1000 habitants [b]
	Indicateur Espace de nature Service Récréatif : nombre de personnes fréquentant régulièrement l'espace de nature	
		Indicateur Ville Service Récréatif : pourcentage de la population à moins de 300 m d'un espace vert [c]
Education et connaissance		**Indicateur Ville Service Education** : nombre de visites éducatives par enfant de moins de 16 ans dans les parcs comportant des zones naturelles, protégées ou sécurisées par an [d]
		Indicateur Ville Service Education : nombre d'événements de sensibilisation du public tenus dans la collectivité par an [e]
	Indicateur Espace de nature Service Education : nombre de personnes pratiquant avec leurs enfants une activité directe en lien avec la nature [f]	
Aménités paysagères	Indicateur Espace de nature Service Aménité : nombre d'éléments naturels présents dans un parc [g]	

Typologie du cadre conceptuel EFESE	Évaluation quantitative (en gris foncé, indicateurs calculés dans le cadre du présent document, en gris clair, indicateurs proposés pour un calcul par les collectivités (en fonction du contexte et des besoins locaux), en blanc autres indicateurs relevés dans la littérature)	
Service écosystémique	**Espace de nature**	**Ville**
	Indicateur Espace de nature Service Aménité : nombre d'aménagements pratiques présents dans un parc[h]	
	Indicateur Espace de nature Service Aménité : type d'ambiance de l'espace de nature[i]	

a. Index de Singapour

b. A partir de l'Urban Atlas

c. A partir de l'Urban Atlas. Indicateur recommandée par l'Europe et l'agence gouvernementale English Nature en termes de santé publique

d. Index de Singapour

e. Index de Singapour

f. Programme SERVEUR, université de Tours

g. Programme SERVEUR, université de Tours

h. Programme SERVEUR, université de Tours

i. Programme SERVEUR, université de Tours en grisé : indicateurs calculés pour l'EFESE écosystèmes urbains par le Cerema

Parmi les indicateurs identifiés dans le tableau ci-dessus :

- deux indicateurs de SEC récréatifs peuvent être calculés au niveau national :
  - superficie (en ha) des espaces verts urbains et des espaces de loisirs pour 1000 habitants,
  - pourcentage de la population résidant à moins de 300 m d'un espace vert,
- d'autres le sont au niveau des villes :
  - indicateurs de l'Index de Singapour,
  - taux de fréquentation (si dispositif de comptage ou enquête permettant de l'estimer),

- enfin certains indicateurs ont été testés sur des échantillons lors de programme de recherche. Leur fiabilité et leur pertinence est locale et par conséquent leur reconductibilité faible. On ne saurait les retenir que pour des évaluations locales visant à répondre à une problématique particulière.
  - nombre de personnes pratiquant avec leurs enfants une activité directe en lien avec la nature,
  - nombre d'éléments naturels présents dans un parc,
  - nombre d'aménagements pratiques présents dans un parc,
  - type d'ambiance de l'espace de nature.

Ainsi, certains indicateurs rendent possible une évaluation quantitative à l'échelle nationale. Leurs méthodes de calcul sont généralisables et reproductibles. Le calcul de deux d'entre eux a été effectué pour une sélection de 12 villes métropolitaines françaises : Indicateur Ville Service Récréatif : superficie (en ha) des espaces verts urbains et des espaces de loisirs pour 1000 habitants et Indicateur Ville Service Récréatif : pourcentage de la population résidant à moins de 300 m d'un espace vert.

Les collectivités gestionnaires pourraient utilement compléter l'évaluation des services écosystémiques par le calcul d'au moins deux autres indicateurs : Indicateur Ville Service Récréatif : superficie (en ha) des parcs comportant des zones naturelles ou des zones naturelles protégées ou sécurisées pour 1000 habitants à l'échelle de la collectivité Indicateur Espace de nature Service Récréatif : nombre de personnes fréquentant régulièrement l'espace de nature/an ou par mois, Indicateur Ville Service Education : nombre de visites éducatives par enfant de moins de 16 ans dans les parcs comportant des zones naturelles, protégées ou sécurisées par an.

Ces chiffres ne mesurent pas ni ne relatent la richesse et la diversité des interactions entre les citadins et la nature en ville. Le rapport intime ou pas qu'un habitant développe avec son "habitus", avec la partie verte de la cité ne peut se traduire ainsi. Il est donc nécessaire d'aller au-delà des données chiffrées en se tournant vers des méthodes interprétatives et délibératives. Notons le caractère très contextualisé des services culturels qui rend leur évaluation

à l'échelon de l'espace de nature plus significatif qu'à l'échelon territorial et national.

La production d'indicateurs quantitatifs de services culturels en milieu urbain (hormis la superficie par habitant) se confronte rapidement à un manque de retour d'expérience et de méthodologies éprouvées.

10.2 – Services écosystémiques culturels « récréatifs » : du besoin de nature à l'offre de nature

10.2.1 – Présentation des services écosystémiques récréatifs

Les parcs, les forêts, les lacs et les rivières apportent des possibilités diverses et variées de détente et de loisirs, en même temps qu'ils améliorent la santé et le bien être (Konijnendijk et al. 2013). Comme les environnements urbains sont souvent générateurs de stress, les aspects récréatifs des espaces de natures sont parmi les services auxquels les plus fortes valeurs sont attribuées (Elmqvist et al. 2013). La valeur récréative des espaces de nature urbaine est dépendante des fonctions écologiques en présence bien sûr, mais pas seulement : les cheminements, les infrastructures dédiées aux sports et loisirs, les jeux d'enfants et autres aménagements spécifiques peuvent également y contribuer de manière assez significative. Ainsi, un espace de nature peut présenter une faible « valeur » en termes de biodiversité (patrimoine naturel) tout en générant des services écosystémiques récréatifs très forts.

L'indicateur le plus couramment répandu pour rendre compte des services récréatifs est au niveau international la part d'espaces de nature par habitants, avec une certaine variabilité dans le mode de calcul (prise en compte ou pas des espaces privés, restriction à des espaces très naturels…). Cet indicateur rend compte de l'offre de nature. Il sera utilement complété par des indicateurs qui prennent en compte les déterminants qui régulent les usages comme l'accessibilité, la sécurité, l'ouverture et la propreté. Quant à la demande

de nature en ville, elle est relatée par de nombreuses enquêtes qui rapportent et détaillent le besoin de nature exprimé par les citadins. L'équilibre entre la demande et l'offre de nature disponible en ville est difficile à mettre en relation du fait de ces métriques très différenciées, surface/habitant pour l'offre, informations littérales et qualitatives pour la demande. Quelques chiffres de référence peuvent aider à positionner les villes françaises par rapport à l'offre de nature. Mais ils se taisent sur la satisfaction des besoins des usagers citadins. Au-delà des chiffres et des enquêtes, les pratiques des collectivités évoluent sur la question de la prise en considération des besoins et des demandes de leurs administrés. Des expériences innovantes avec une implication citoyenne dès la conception des espaces verts et recueil des besoins permettent de répondre au plus près des demandes locales. La maîtrise d'ouvrage s'ouvre à ce qu'il est courant d'appeler désormais la maîtrise d'usage.

10.2.2 – Des indicateurs qualitatifs pour estimer la demande de nature

Une enquête réalisée en 2012 à Lyon (Bourdeau-Lepage et Vidal 2014) a démontré que pour 65 % des individus interrogés de plus de 50 ans et en particulier les personnes âgées (plus de 70 ans), la fonction première d'un parc est de permettre les rencontres et les activités sociales. Les espaces de nature interviennent là comme vecteur de lien social. Au moment de la conception d'un espace vert public, ce sont autant la détente, le sport, les loisirs et les promenades qui sont mis en avant par les maîtres d'ouvrage que cette fonction de lien social.

Les services culturels récréatifs et esthétiques -sans qu'ils soient appelés ainsi, - sont les principaux leitmotiv des concepteurs d'espaces verts qui doivent y intégrer les usages divers. L'approche techniciste de la maîtrise d'ouvrage fait que dans la plupart des cas, elle décide pour les usagers ce que sont leurs besoins et prédisent ce que seront les usages. Pourtant, il semble décisif de donner une place à l'expression citoyenne de ce besoin de nature dès la conception d'un espace qui va lui être dédié.

Dans le cas du parc Blandan à Lyon, une enquête marketing territorial a été réalisée sur cet ancien site militaire. Familles, séniors, sportifs et jeunes ont croisés des demandes et besoins très contrastés. Pris ainsi très en amont, le recueil des avis de citoyens a été facilité tout au long du projet (depuis les plans et les propositions) et a demandé une concertation en continue (Cerema 2016).

Depuis une quinzaine d'année en France, certains délaissés urbains entretenus sommairement par quelques fauches sont devenus les centres d'intérêt de collectifs citoyens, qui ont su manifester leur besoin de jardinage et d'appropriation collective, et les ont transformés en jardins d'habitants, avec un rôle social fort.

L'implication citoyenne progresse peu à peu et la tendance est à donner plus de place à une maîtrise d'usage. Les enquêtes sociologiques sur les usages et les besoins deviennent alors un point de départ du projet. L'approche d'un projet de conception d'espace de nature par les services écosystémiques culturels légitime complètement ces démarches encore timides.

10.2.3 – Un indicateur quantitatif pour évaluer l'offre de nature : la surface d'espace vert par habitant

10.2.3.1 – Méthode

L'évaluation quantitative de l'offre en espaces récréatifs peut s'effectuer au moyen de :

Indicateur ville services culturels récréatifs = **Superficie en ha des espaces verts urbains et des espaces de loisir pour 1000 habitants.**

L'indicateur a été construit à partir des données de l'Atlas urbain Européen. L'évaluation quantitative des services récréatifs et de loisirs s'effectue à l'échelle de la ville. Il peut être converti en m^2/habitant. Cet indicateur est calculé pour 12 communes (limites administratives) et leurs intercommunalités respectives (EPCI).

L'indicateur « Part des Espaces verts urbains et de loisirs pour mille habitants » regroupe les quatre classes de l'Urban Atlas suivantes : 141 (green urban areas), 142 (sports and leisure facilities), 3 (forest natural and plantation), 5 (water). Les équipements sportifs et de loisirs sont le plus souvent associés à des espaces enherbés mais comprennent également des équipements bâtis. L'indicateur ne se restreint pas aux espaces verts au sens strict puisque qu'il inclut les espaces en eau et les forêts. Les surfaces par habitant cherchent à refléter les espaces de nature en ville disponibles par habitant, en considérant qu'une promenade le long des berges d'une rivière, ou dans une forêt périurbaine procure un service récréatif.

La méthode de calcul est inspirée de celle de l'indicateur 13 de l'index de Singapour pour évaluer des services culturels récréatifs : "superficie des parcs comportant des zones naturelles ou des zones naturelles protégées ou sécurisées / 1 000 habitants de la collectivité".

(figure 11). L'ouvrage Urbanisation, biodiversité et services écosystémiques préconise aussi un indicateur 'surface d'espaces verts public par habitant ou pour mille habitants (Elmqvist et al. 2013).

Tableau 10.4 :

Détails de l'indicateur 13 de l'Indice de biodiversité urbaine (Source : CDB, 2010)

INDICATEUR	CALCUL	SOURCE
13	Superficie des parcs comportant des zones naturelles ou des zones naturelles protégées ou sécurisées / 1000 habitants de la collectivité Remarque : « sécurisé » renvoie à la notion d'espaces verts accessibles	Conseils municipaux

Comme le précise le manuel d'utilisation de l'indice de biodiversité urbaine, certaines villes ont tout simplement assimilé ces zones naturelles à leurs espaces verts publics. En cohérence avec le niveau de détail des données disponibles, cette vision très extensive est retenue. Les parcs publics sont entendus comme des zones naturelles par opposition à des zones urbanisées, et non au regard d'un degré de naturalité. Ce sera une limite de l'indicateur pour tous les espaces

verts urbains où le degré d'intervention dans la gestion est très fort (fleurissement, arrosage, engrais…).

10.2.3.2 – Résultat et analyse

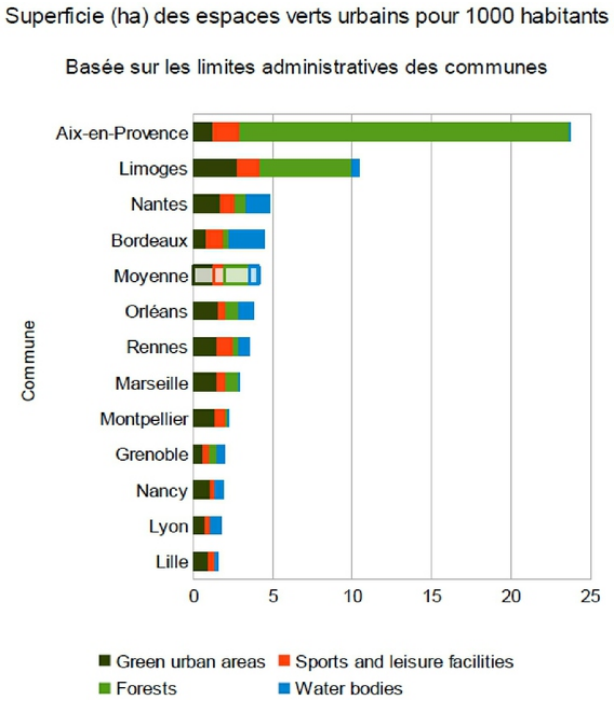
Les résultats de l'indicateur apparaissent dans les illustrations suivantes (Tableau 10.5, Figures 10.1 et 10.2) pour une sélection de 12 grandes villes de France métropolitaine et pour la région Île-de-France (Tableau 10.6).

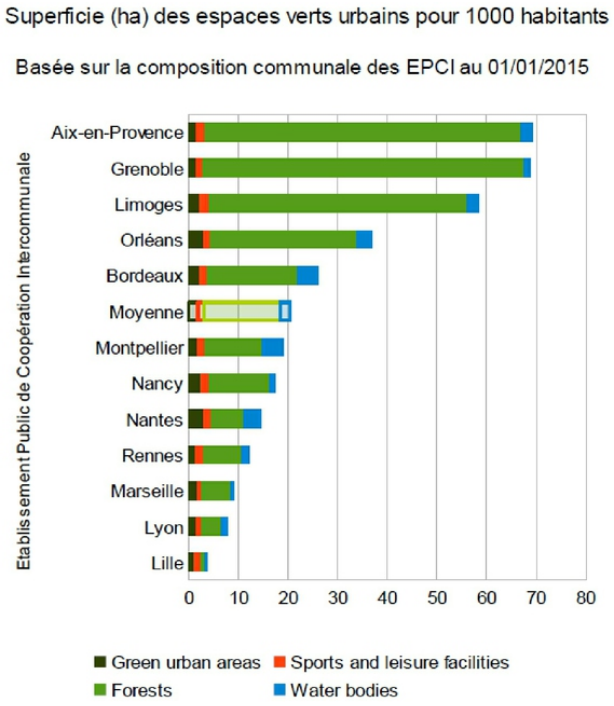
Illustration 58 : Résultats de l'indicateur Superficie des espaces de verts urbains pour 1000 habitants
Source, Cerema Méditerranée, 2016

Superficie des espaces verts urbains pour 1000 habitants (ha/1000hab)[1]			
Villes	Atlas urbain[2]	EPCI[3]	Commune
Aix-en-Provence	-	69,3	23,7
Bordeaux	-	26,0	4,4
Grenoble	-	68,8	1,9
Lille	-	3,6	1,6
Limoges	-	58,3	10,5
Lyon	-	7,8	1,7
Marseille	-	9,1	2,9
Montpellier	-	19,1	2,2
Nancy	-	17,4	1,9
Nantes	-	14,5	4,8
Orléans	-	37,0	3,8
Rennes	-	12,2	3,5
Moyenne pondérée[4]	-	20,4	4,1

1 En multipliant les résultats par 10 on obtient des m² par habitant
2 Territoire couvert par l'Atlas Urbain
3 Établissement public de coopération intercommunale
4 Moyenne des valeurs pondérées par la population des territoires

Illustration 59 : Illustration 60 : Superficies des espaces de loisirs et de nature urbaines pour mille habitants pour l'agglomération (63) et pour la commune centre de l'agglomération (64)
(source : Cerema Méditerranée, 2016)





Pour les intercommunalités, la moyenne des espaces de loisirs et de nature se chiffre à 20,4 ha d'espaces verts pour 1000 habitants, soit 204 m2 par habitant avec un écart type important. Les intercommunalités étudiées bénéficient d'une diversité d'écosystèmes terrestres et aquatiques (fleuve, rivière lac), voire maritime -les données de l'urban atlas n'incluent pas cet élément-.

De manière générale, si l'on regarde la composition moyenne des intercommunalités, la part des forêts est la plus déterminante (presque 150 m2/habitant), l'eau occupe une place plus réduite mais toujours présente (50m2/habitant hors surface maritime), quant aux espaces verts urbains -et c'est logique- ils sont moins représentés à cette échelle (30m2/habitant environ).

Parmi les douze intercommunalités étudiées, les plus forts taux d'espace de nature concernent Aix-en-Provence (693 m2/hab), Grenoble (688 m2/hab), et Limoges (583 m/ha). La proximité des forêts périurbaines et des massifs montagneux forestiers pour Grenoble (Belledonne, Chartreuse, Vercors) et Aix-en-Provence (Sainte-Victoire) en est le facteur déterminant principal. Cela traduit une capacité pour les citadins de ces territoires à s'extraire de la ville rapidement et pour changer d'ambiance et se retrouver dans la "nature". À l'inverse, la conurbation de l'agglomération lilloise restreint la disponibilité en espaces de nature, et les espaces verts au sein de l'agglomération deviennent alors essentiels.

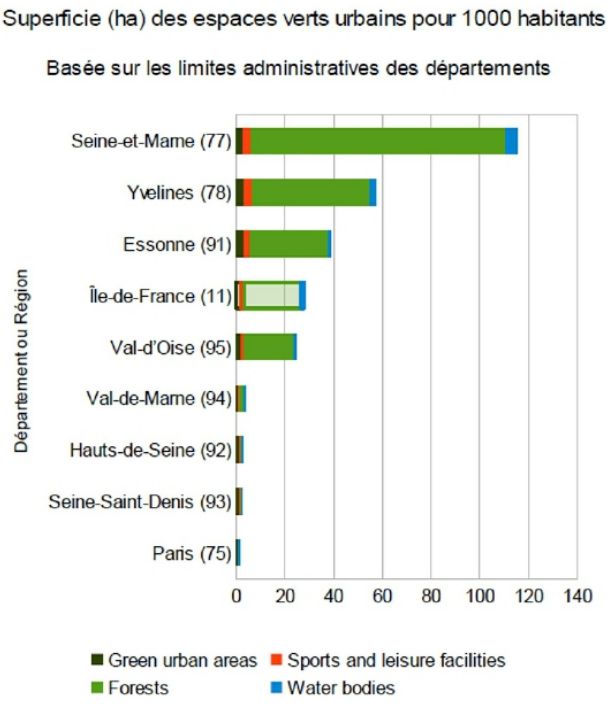
Pour les communes, 10 des 12 villes offrent moins de 50m2 d'espaces de loisirs et de nature par habitant et 4 moins de 20m2/habitant. Il est d'usage de comparer ces données à deux chiffres de référence en ce qui concerne les superficies d'espaces verts par habitant : le seuil minimal de 10 m2/habitant et celui standard de 40 m2/habitant (voir chapitre 2).

Les bons résultats d'Aix-en-Provence (237m2/habitant) et de Limoges (105 m2/hab) s'expliquent en partie par une superficie communale hors norme qui s'étend sur une vaste campagne périurbaine. Ainsi, la ville d'Aix-en-Provence totalise presque la moitié des espaces verts urbains par habitant de l'EPCI. Limoges possède ⅙ ème de la superficie en espaces verts par habitants

de sa métropole. D'autres villes ont pour atout la présence de l'eau en ville (exemple de Bordeaux et de Nantes).

La capitale française et sa petite couronne (départements 92, 93 et 94) présentent un taux d'espaces de loisirs et de nature particulièrement faible (taux caractéristique des villes très denses). Ce chiffre est plus comparable à celui de Chicago (11m2/hab) qu'à celui de Berlin (26m2/hab) ou de Rome. La disparité des départements est criante en matière d'espaces de nature par habitants. Sans surprise, plus l'on s'éloigne du coeur de Paris, plus le taux d'espaces de nature par habitant grandit. La Seine et Marne (118ha/hab) offre le territoire le plus étendu et le plus généreux en espace de nature car comprenant la forêt renommée de Fontainebleau.

Illustration 61 : Superficie des espaces de loisirs de nature pour mille habitants pour la région Île-de-France.



L'intérêt de ces résultats ne réside pas dans la comparaison en raison des différences structurelles de chaque territoire. L'intention est de donner un panorama du verdissement des grandes villes françaises aux deux échelles de la commune et

de l'intercommunalité. L'observation à plusieurs pas de temps pour chaque collectivité serait plus signifiante. Nous faisons l'hypothèse que la commune offre plutôt des espaces de détente quotidiens alors que les intercommunalités offrent des espaces plus étendus où le public peut se ressourcer en fin de semaine. De manière générale, la part des espaces verts urbains des villes françaises dans les communes centre reste plutôt faible. Jusqu'à une histoire récente, la nature et la campagne étaient recherchées aux abords de la ville… lesquels abords se sont progressivement éloignés durant la longue période de l'extension urbaine non encore révolue. Il sera montré par la suite que l'espace vert urbain tout comme l'élément aquatique est un lieu dédié en grande partie aux activités récréatives même si les services pédagogiques liés à la biodiversité progressent.

La carte ci-dessous reprise du chapitre 2 permet de visualiser les résultats à l'échelle nationale

Illustration 62 : Figure 10.3 Carte du pourcentage des espaces de nature et de leur densité (m^2/habitant d'espaces de nature urbaines) - Analyse des chiffres communaux des villes centres d'agglomération pour les 30 communes françaises répertoriées à l'urban atlas en 2013.

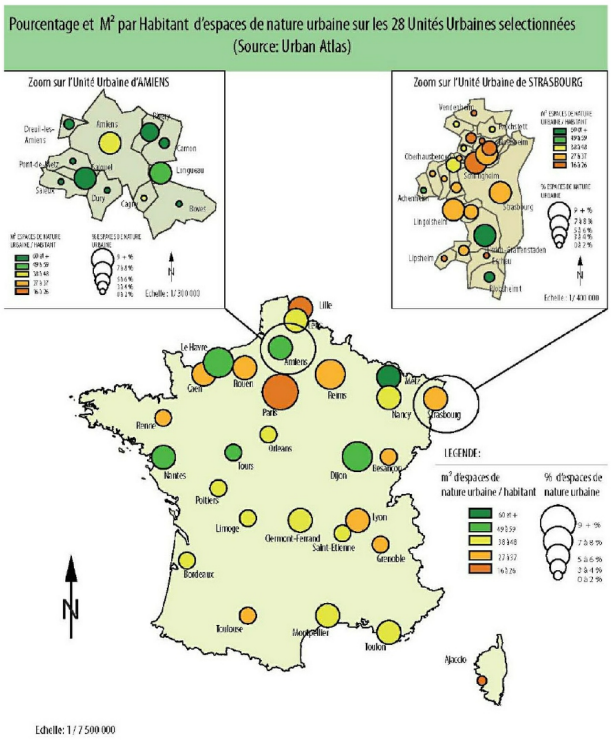


Figure n°2.10: Carte du pourcentage et de la densité (m²/habitant) d'espaces de nature urbaine par unité urbaine (Sources: Données Urban Atlas; Appartenance géographique des communes à l'unité urbaine au 1er janvier 2013 et Population légale de 2011 de l'INSEE)

Limites : L'analyse plus fine des disparités de répartitions des espaces de nature au sein des agglomérations serait, selon les cas, pertinente. Les grandes villes pourraient utilement décliner l'indicateur par arrondissement pour permettre une comparaison entre eux. A l'échelle des quartiers, cela pourrait être décliné aussi, notamment au moment de l'aménagement de nouveaux quartiers pour comparer le taux projeté d'espaces verts par habitant du quartier à construire par rapport à ceux qui existent déjà dans la ville. Il n'est pas fait de typologie d'usage des espaces verts alors que les enquêtes montrent que les usages quotidiens (sorties d'écoles, nounous,…) visent les espaces de proximité tandis que les usages de fin de semaine, visent des espaces plus vastes ou permettant la pratique de certains loisirs.

10.2.4 – Approche évaluative des services récréatifs par l'accessibilité potentielle aux espaces de nature

10.2.4.1 – Méthode

Un second indicateur de service récréatif Ville a été choisi et calculé ; il permet d'identifier la **part de la population résidant à moins de 300 mètres d'un espace vert public urbain ou d'une forêt.**

Les politiques publiques sous-jacentes visent à offrir à un maximum d'habitants l'accès à pied à des espaces verts publics.

L'indicateur est calculé par croisement entre une couche géographique délimitant la partie du territoire située à moins de 300 mètres (buffer) d'un espace vert urbain ou d'une forêt et la couche des données carroyées de population de l'INSEE. Les espaces concernés sont :

- les espaces verts urbains de minimum 0.25 ha et 10 m de largeur : espaces verts publics (jardins, zoos, parcs), espaces péri urbains, certaines forêts et espaces verts à proximité d'un espace urbain (si au moins deux côtés sont bordés par un espace urbain et si cet espace est utilisé pour des usages récréatifs). En sont exclus : les jardins privés avec des zones d'habitations, les cimetières, les bâtiments avec parcs tels que les châteaux ou musées, les parcelles de végétation naturelle ou les zones agricoles entourées par des zones bâties sans être gérées comme des espaces urbains,
- les forêts d'un hectare minimum- avec une couverture de canopée supérieure à 30 % et une hauteur d'arbres supérieure à 5 m, y compris les buissons et arbustes à la lisière de la forêt. Sont inclus les plantations telles que les peupliers et épineux, la régénération et la recolonisation de la forêt, les nouvelles plantations forestières. Ne sont pas incluses les forêts avec des zones urbaines et/ou soumises à d'importantes pressions anthropiques.

Le calcul de cet indicateur a été réalisé à trois échelles : la commune, l'intercommunalité et la région urbaine (selon l'urban atlas).

Une des limites de ce type d'indicateur réside dans le fait que l'accessibilité est théorique car non également répartie dans le parc. Des méthodes de calcul plus fines permettraient de localiser les entrées et l'accessibilité physique réelles et de distinguer les distances à parcourir.

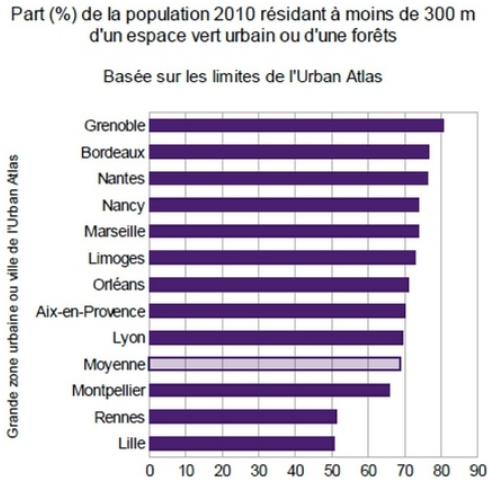
10.2.4.2 – Population résidant à moins de 300 mètres d'un espace vert public : Résultat et analyse

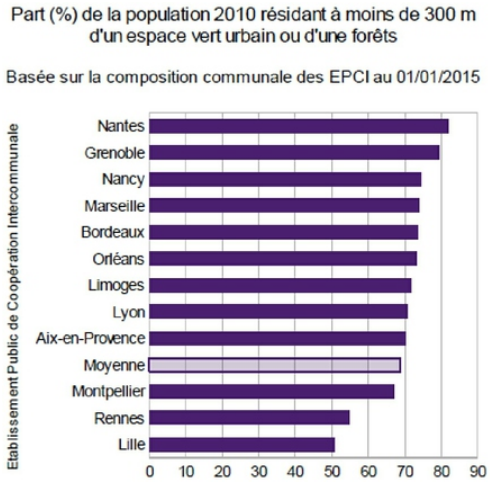
Les résultats de l'indicateur apparaissent dans les illustrations suivantes (Figures 67 et 68) pour une sélection de 12 grandes villes de France métropolitaine et pour la région Île-de-France (Tableau 69). L'illustration de la déclinaison de cet indicateur au niveau local faite en 2009 par la Ville de Toulouse permet d'affiner les données nationales et d'envisager un usage par les collectivités.

De manière générale à chaque échelle, la part de la population 2010 résidant à moins de 300 m d'un espace vert urbain ou d'une forêt se situe entre 52 et 81 %, avec une moyenne de 70 % pour les communes et 68,9 % pour les intercommunalités. Entre un quart et un tiers de la population des villes en moyenne n'a donc pas accès à un espace vert à moins de 300 mètres, soit approximativement 5 minutes à pied.

Au sein de la Région Île-de-France, la moyenne de chaque département fluctue de 58 à 73 %. Les moins favorisées sont les Hauts-de-Seine (59.5 %) et le Val-d'Oise (58.6 %). Paris se situe parmi les taux les plus élevés (73.2 %) ce qui s'explique par une forte densité d'espaces verts, mais de taille réduite.

Illustration 63 et Illustration 64 : Part de la population 2010 résidant à moins de 300 mètres d'un espace vert public ou d'une forêt pour une sélection de villes métropolitaines (10.6) et pour la région Île-de-France (10.7) (Cerema, 2016)





À Lille (EPCI ou commune) et Rennes, environ 50 % de la population seulement habite à moins de 300 mètres d'un espace vert. À Nantes, Grenoble et Nancy cela dépasse les 75 % de la population aux différentes échelles de territoires. Ces villes ont une politique ambitieuse en termes d'espaces verts : Nantes a mis en place une politique de reconquête de l'arbre, Grenoble encourage le développement de surfaces en espaces verts et Nancy ville de parcs et jardins cultive l'héritage botanique que son passé lui a légué. Certaines villes ont une structure particulière maillée de jardins privatifs de taille réduite ou d'anciennes propriétés arborées transformées en résidence, qui n'est pas

comptabilisée ici alors que le fait de disposer d'un jardin privatif en ville contribue nettement à l'amélioration du cadre de vie. Si en termes de gestion, les jardins privés n'ont pas lieu d'intéresser les collectivités, en termes d'accessibilité aux espaces de nature en ville pour les habitants et de services récréatifs, la pertinence de cette donnée paraît évidente.

Comme l'a fait la ville de Toulouse en 2009, ce calcul gagne en pertinence lorsque qu'on cumule les données à des distances croissantes (de 100 m à 500 m) ce qui permet de donner une image des parcs présents « dans ma rue », « dans une rue proche » et « dans mon quartier proche ». La cartographie permet de localiser ces données, et de mettre en avant de potentielles inégalités environnementales.

Illustration 65 : Chiffres de la population 2010 résidant à moins de 100 à 500 mètres d'un espace vert public à Toulouse (Mairie de Toulouse, Observatoire de l'environnement 2009)

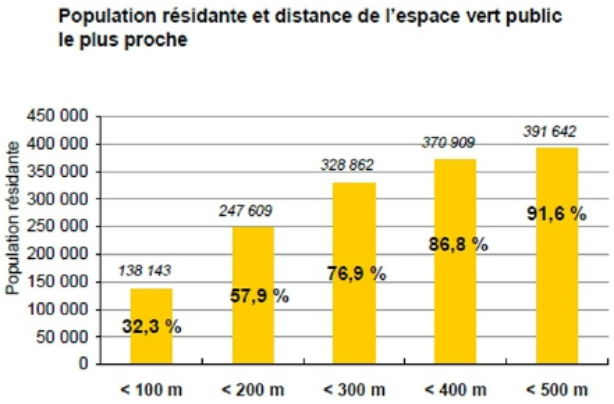
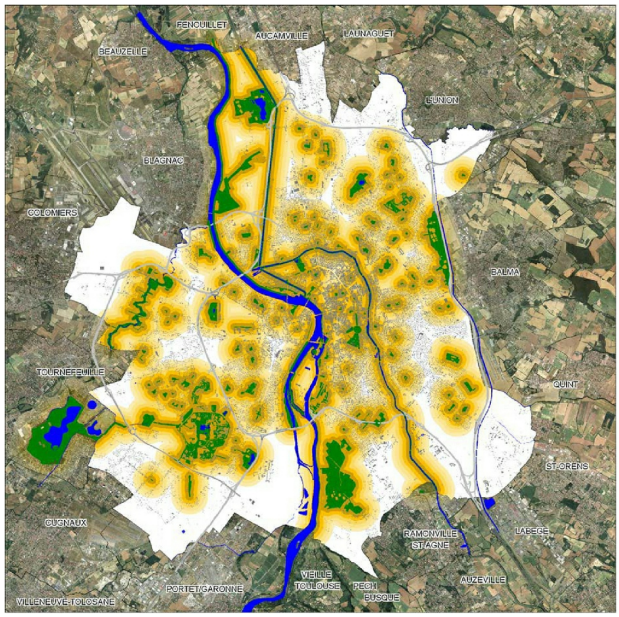


Illustration 66 : Répartition cartographique de la population 2010 résidant à moins de 100 à 500 mètres d'un espace vert public à Toulouse (Mairie de Toulouse, Observatoire de l'environnement 2009)



Cet indicateur a été utilisé par la ville d'Amsterdam qui s'est donné pour objectif d'atteindre le seuil de 90 % de sa population habitant à moins de 300 mètres d'un espace vert public. Aucune des villes françaises étudiées ne s'approche aujourd'hui de ce seuil. Les résultats des 12 villes métropolitaines françaises (données de 2013) pourraient s'interpréter au regard d'objectifs de politiques publiques que se fixerait elle-même chacune des collectivités, en fonction de son taux initial et des capacités de développement des espaces verts. Ce taux paraît très important dans un contexte de densification intelligente et durable des centres urbains, afin d'éviter que les politiques de densification ne rognent les derniers espaces de nature en ville.

10.2.5 – Le taux de fréquentation des espaces de nature ne serait -il pas un élément d'évaluation à développer par les gestionnaires des collectivités territoriales pour sensibiliser les décideurs publics ?

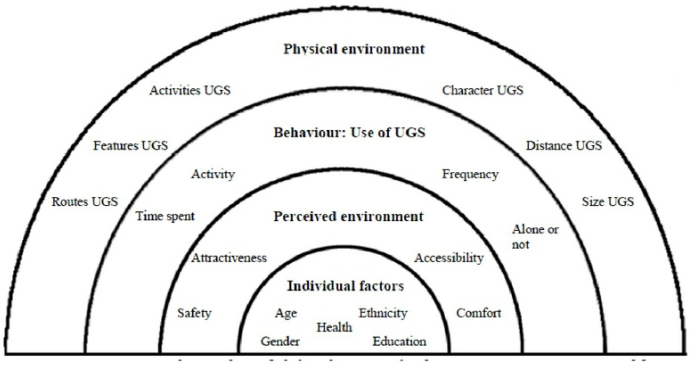
Un indicateur d'évaluation qualitative de la demande en services culturels pourrait être le taux de fréquentation d'espaces de nature. Les services des collectivités disposent parfois de ces données sur leurs parcs les plus emblématiques, mais ces comptages sont peu ou pas réalisés pour tous les espaces verts de proximité. Les pratiques de dénombrement, courantes dans le domaine routier, sont peu répandues en matière d'espaces publics de nature quoique croissante (dans les espaces verts comme dans les espaces de nature plus exceptionnels tels que des réserves naturelles par exemple). Or, les chiffres de fréquentation réelle paraissent particulièrement intéressants pour estimer l'adaptation de l'offre de nature à la demande.

La fréquentation peut s'entendre à la fois comme un service culturel mais aussi comme une pression subie par les espaces (chapitre 6.2).

Les budgets alloués à la gestion des espaces verts sont calculés proportionnellement aux surfaces gérées et aux classes de gestion. Le taux de fréquentation n'est que rarement pris en compte alors que cela pourrait expliciter l'importance de tel ou tel espace, et justifier de l'attribution de dotations spécifiques aux espaces les plus fréquentés, orienter des priorités d'aménagement, et participer concrètement à la sensibilisation des décideurs sur l'importance des espaces de nature pour leurs administrés.

Au-delà d'un nombre de visiteurs par an, le taux de fréquentation peut être décliné en de nombreuses questions dont le modèle théorique socio-écologique de (Giles-Corti 2005) et Sallis et al. (2006) (figure 71) propose une synthèse cohérente.

Illustration 67 : Modèle socio-économique pour l'utilisation des espaces vert urbain (Giles-Corti 2005), Sallis et al. (2006)



Les résultats du programme Serveur (services écosystémiques et espaces verts urbains) conduit par l'Université de Tours, sur des espaces verts de la région centre en offre une illustration, résultats d'enquête à l'appui.

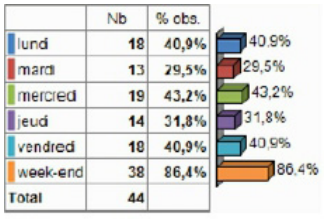
Un indicateur principal a été choisi : le **nombre de personnes fréquentant régulièrement l'espace vert de nature**. Puis, il a été corrélé à différents critères qualitatifs :

- la **durée d'utilisation** (moins de 5 min jusqu'à la journée entière) - ex : le temps consacré au Lac du Val d'Auron à Bourges est en moyenne d'environ 1h, le lac étant un lieu de passage plus agréable pour les usagers que le long de la route,
- la **fréquence de visite**
  - dans le temps (dans la semaine/ le mois) - ex : plus de la moitié de l'échantillon présent dans 5 espaces verts urbains de la région centre est constituée de publics fréquentant au moins une fois par semaine ces espaces / ex : on note une fréquence très régulière d'utilisation du lac du Val d'Auron de la part des usagers avec 91.6 % déclarant le fréquenter assez souvent à très souvent,
  - dans l'espace (zones fréquentées telles que le lac si existence, l'ensemble du parc, juste une partie, etc) – ex : le lac de la Pinçonnière intégré au parc de l'Arrou est la zone la plus fréquentée (pour 61 % des usagers)

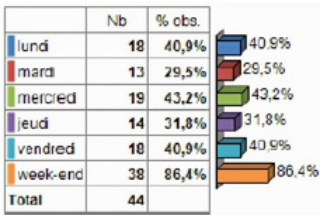
- le **moment de la visite** (de la journée ou de la semaine) – ex : le Lac du Val d'Auron à Bourges est plus visité le dimanche matin par exemple du fait de la proximité de commerces de restauration ouvert le midi,
- le **profil des usagers :** classe d'âge, type d'habitation (appartement, maison), lieu de résidence, niveau de diplôme, l'accompagnement,
- l'**usage** et les **activités pratiquées :** sport (course, marche, roller, vélo) et loisirs (jardinage, pêche, photographie, activités artistiques)
- la **perception de l'espace** (émotions ressenties)
- le **choix de la venue :**
  - proximité (en distance ou en temps) – ex : la moyenne du temps consacré pour venir aux jardins familiaux de Tours est de 10 min (pour 36.8 % des sondés),
  - attractivité (taille de l'espace, qualité environnementale, accessibilité, aménagements récréatifs, entretien et mode de gestion, nombre d'entrées, non enclavés et visibilité) – ex : ce qui rend attractif le parc d'Arrou est l'accessibilité (plus de

  60 %) et la taille (50 % des usagers). "La conception d'une nature propre et maîtrisée est aussi très forte pour les usagers",
- le **mode de transport utilisé** (à pied, à vélo, en voiture, en bus, en tramway, autre).

Illustration 68 : (à gauche) – fréquentation du parc dans la journée / (à droite) – fréquentation du parc dans la semaine (Hémon 2014)



	Nb	% obs.
lund	18	40,9%
mardi	13	29,5%
mercred	19	43,2%
jeudi	14	31,8%
vendred	18	40,9%
week-end	38	86,4%
Total	44	



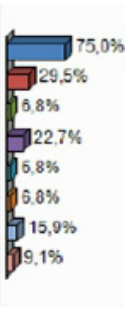
	Nb	% obs.
lund	18	40,9%
mardi	13	29,5%
mercred	19	43,2%
jeudi	14	31,8%
vendred	18	40,9%
week-end	38	86,4%
Total	44	

Illustration 69 : Partie du parc de l'Arrou à Blois fréquentée (Hémon 2014)

Zones de fréquentation des usagers	
Lac de la Pinçonnière	61%
Partie Est	9%
Ensemble du parc	30%
Total	100%

Illustration 70 : Activités pratiquées au sein du parc de l'Arrou (Hémon 2014)

	Nb	% obs.
promenade	33	75,0%
sport	13	29,5%
lecture	3	6,8%
contemplation du paysage	10	22,7%
pique-nique	3	6,8%
surveillance desenfants	3	6,8%
buvette	7	15,9%
autre:...	4	9,1%
Total	44	



Les résultats de cette enquête montrent que :

- **le taux de fréquentation est variable dans le temps, dans l'espace, et varie selon les individus,**
- **deux facteurs importants déterminent le taux de fréquentation : la proximité et l'accessibilité,**
- **le plaisir pris dans le cadre de l'activité est aussi étroitement lié à la gestion qui est faite du site notamment au travers de l'entretien du lieu,**
- **le type d'espace vert peut aussi jouer sur le taux de fréquentation. En effet, tous les types d'espaces verts sont utilisés pour des activités de loisirs. Mais la présence d'un milieu humide peut favoriser également des pratiques supplémentaires telles que les sports nautiques, la baignade, la pêche, etc,**
- **l'accessibilité est elle-même conditionnée par le type et le niveau d'aménagements. Ils permettent une meilleure appropriation et utilisation du lieu par des itinéraires de promenade.**

L'adoption de ce type d'enquête sociologique sur des espaces de nature urbaine de proximité (espaces verts classiques mais aussi milieux humides) pourrait constituer une démarche prometteuse. En effet, les gestionnaires exercent une influence notable sur les espaces de nature. Ils décident par exemple des horaires d'ouverture et de fermeture, des aménagements (pose de banc, tables, etc.). La prise en compte des usagers, comme bénéficiaires principaux des services récréatifs reste encore partielle et limité. Il s'agirait de viser une connaissance socio-écologique des espaces de nature afin d'en ajuster la gestion pour mieux répondre à la demande, tout en optimisant le respect de la biodiversité.

10.2.6 – Synthèse

La proportion de surface d'espaces de nature par habitant (m2/habitant) constitue une mesure fréquente du service récréatif rendu par la nature en ville. Les résultats sur douze villes françaises à l'échelle de la commune et de l'intercommunalité montrent une disparité forte, le plus souvent due aux structures différentes des villes et à la géographie environnante, mais aussi à l'histoire et aux politiques plus ou moins volontaristes en la matière. Plus que la comparaison de ces données entre les villes, ce serait une comparaison dans le temps qui pourrait être pertinente au sein d'un même territoire urbain.

Le taux de fréquentation des espaces de nature en ville est un indicateur qu'il serait vraiment opportun de développer. On constate que les villes n'ont pas l'habitude de le mesurer ou ne communiquent pas sur cette donnée. Les budgets « espaces verts » sont en effet surtout calculés par rapport aux éléments de surface et non par rapport aux éléments d'usage. Cela révèle une approche techniciste plus que sociologique de la plupart des services techniques des collectivités. Les gestionnaires gagneraient à considérer cette composante sociologique. Les indicateurs d'accès ou de fréquentation pourraient être avantageusement complétés par les questions de ségrégation sociale de l'accès permettant d'envisager des indicateurs d'inégalité entre types de population. Ainsi les collectivités locales qui chercheraient par leurs politiques à maintenir la cohésion sociale à l'échelle des territoires pourraient être particulièrement preneuses de ce type d'indicateurs en lien avec les CSP (ou les revenus des ménages), sur la base d'informations au niveau de l'îlot urbain par exemple.

Des enquêtes montrent le besoin d'une diversité d'espaces de nature pour des services récréatifs variés (Boutefeu 2007b). Pour un usage quotidien, les habitants restent à l'intérieur de la ville. Mais, ils peuvent aussi se déplacer à l'extérieur pour un usage hebdomadaire. Selon le type d'activité recherché, le temps de parcours peut être augmenté.

Le service écosystémique récréatif s'hybride la plupart du temps avec d'autres services écosystémiques surtout dans un milieu urbain où l'espace public est contraint et réduit. Il est associé aux aménités paysagères, et assez systématiquement à des services de régulation. En revanche, le fonctionnement écologique n'est pas corrélé directement aux services récréatifs, et peut même agir en opposition.

Les services récréatifs mettent en évidence deux types de bénéficiaires : la population au travers des usages et la structure gestionnaire. La conception et la gestion des espaces de nature confère aux gestionnaires un rôle très influent de décisionnaire sur les services récréatifs rendus. La forte demande de nature des citadins est connue de manière globale. Il serait important de l'affiner à chaque projet de conception, comme tente de la faire l'enquête UNEPIFOP. " Plus de 8 Français sur 10 veulent vivre près d'un espace vert, et

6 sur 10 estiment que créer des espaces verts devrait être la priorité n° 1 de leur ville "

http://www.lesentreprisesdupaysage.fr/espace-presse/2016-ville-en-vert-ville-en-vie-un-nouveau-mod %C3 %A8le-de-soci %C3 %A9t %C3 %A9.

10.3 – Les « aménités paysagères » ou services écosystémiques culturels d'ordre esthétique

En 2013, une enquête réalisée par l'Union nationale des entrepreneurs de paysage (UNEP) a révélé que 85 % des Français ont pris en compte la proximité des espaces verts pour choisir leur quartier d'habitation. Une étude de 2012 du CGDD, basée sur une enquête logement de l'INSEE de 2006, souligne aussi que la qualité du cadre de vie, en termes de proximité et d'état des espaces verts, est plus appréciée par les ménages que la proximité des commerces, ou l'accessibilité en transports en commun. Il est également montré que la perception du taux d'accessibilité des espaces verts dans les espaces urbains et ruraux est supérieure à la perception du taux d'urbanisation (Maas 2008) et Ståhle, 2009-28). Autrement dit, le nombre d'espaces verts dans un territoire est un critère d'appréciation davantage discriminant et perçu que la densité urbaine de ce même espace.

10.3.1 – Description du service

La définition de la notion d'aménité la plus couramment utilisée reste celle de l'OCDE, elle correspond à « des attributs naturels ou façonnés par l'Homme, liés à un espace ou à un territoire et qui le différencient des autres territoires qui en sont dépourvus » (1999).

Cette approche peut néanmoins varier avec deux visions (Mollard et al. 2014) :

- la vision latine propose une définition ne se référant pas à l'environnement mais "à un cadrage plus général sur l'agrément d'un lieu. Elle met l'accent sur la « perception » subjective du charme d'un lieu donné, ce qui va plutôt dans le sens du plaisir qu'il procure (ou non) aux usagers et de sa variabilité dans le temps et dans l'espace",

- “les définitions anglophones insistent plutôt sur les avantages ou les profits perçus par les propriétaires d’un « bien » charmant et agréable, et penchent plutôt vers une offre d’aménités liée à des droits de propriété”.

Dans le cadre du programme SERVEUR, on ne parle pas d’aménités paysagères, mais de services esthétiques qui renvoient à une mise en valeur d’une entité plutôt qu’à son usage.

10.3.2 – Peu d’indicateurs quantitatifs

Au niveau de la ville, l’objectif peut être d’estimer la quantité d’espaces naturels contribuant potentiellement au bien-être des citadins. Un facteur de distance entre habitations et espaces verts peut être pertinent pour évaluer l’accessibilité des espaces verts à la population urbaine. D’un point de vue quantitatif, cela nous renvoie aux deux indicateurs calculés précédemment pour les services récréatifs.

10.3.2.1 – Indicateurs issus du programme de recherche SERVEUR

La patrimonialité d’un espace de nature peut être liée à la valeur historique d’un lieu mais aussi à sa valeur naturelle. De manière plus large, les éléments intervenants dans la valeur patrimoniale sont : le patrimoine naturel et sa mise en valeur, la connaissance sur la biodiversité et la perception de la biodiversité de l’espace vert.

L’esthétisme est un autre élément intervenant dans l’attachement à un lieu. Deux principaux éléments y participent : “les éléments naturels (eau, végétation, arbres, faune) et les sens associés (bruits, odeurs, sensations) ainsi que les éléments liés à l’aménagement” (Cosquier 2014). L’entretien d’un espace joue également sur son esthétisme et peut donc influencer la pratique des usagers.

Dans le cadre du programme de recherche SERVEUR, les travaux sociologiques abordent la valeur patrimoniale des espaces verts à travers des enquêtes.

Les indicateurs proposés ne concernent que le service esthétique (Cosquier 2014) :

- **nombre d'éléments naturels présents sur le parc** au travers d'une liste non exhaustive : arbres, végétation, fleurs, pelouse, présence de l'eau, chants d'oiseaux et ambiance sonore, faune visible, diversité animale et végétale, variété des couleurs, odeurs agréables, aspect visuel du parc agréable, sentiment d'isolement par rapport à la ville, bâtiments et espaces urbains invisibles depuis le parc,
- **type d'ambiance** (sauvage, naturelle, ordonnée, ludique) au travers du type d'entretien, du choix paysager, du type de parc (grandes pelouses, prairies, jardin ornemental, etc), des activités pratiquées (repos, loisirs, sociale) et des catégories d'utilisateurs par classe d'âge,
- **nombre et type d'aménagements présents sur le parc** en termes d'aménagements de loisirs, d'aménagements pratiques (tables, bancs, etc), d'aménagement contribuant à l'accessibilité du parc et de nombre d'aménagements rapporté à la surface du parc et au type d'ambiance dominante.

On perçoit à quel point ces indicateurs sont contextualisés, leur pertinence s'applique à un espace donné et aux personnes enquêtées. Les auteurs notent en outre que ces données à elles seules ne suffisent pas à traduire une qualité de paysage et l'ambiance d'un lieu. Les points de vue sont un marqueur de l'attractivité par exemple. Cela tend à indiquer que pour évaluer les services culturels, il est préférable d'utiliser des valeurs subjectives et des enquêtes, des pratiques très situées, avec des démarches interprétatives. Pour l'évaluation française, il n'y a pas de sens à généraliser et à agréger ces valeurs et ce type de données, ni à l'échelle nationale ni même à l'échelle de la ville. Seuls des cas d'études et d'enquêtes, des exemples situés peuvent illustrer des services récréatifs d'ordre esthétique en milieu urbain sans possibilité d'attribuer de valeurs globales.

10.3.2.2 – Quantification socio-économique

Dans la vision anglophone de l'acception du terme aménités paysagères, rien ne s'oppose à évaluer puisqu'il s'agit du profit que tire une personne d'un bien. Dans le cas des parcs et divers espaces de nature, le bien est donc public, mais les personnes privées en tirent bénéfice au-delà de celui de l'usage pour lequel il est créé. Ainsi, l'évolution potentielle du prix de l'immobilier à proximité d'espaces verts peut également traduire la qualité de vie associé à de tels espaces, qui est particulièrement recherché en contexte urbain.

Une approche socio-économique a été éprouvée dans le programme Serveur, à partir des catégories de revenus des foyers vivant à proximité des espaces verts urbains. Les espaces verts urbains sont le plus souvent vus sous leur aspect positif : la biodiversité, l'effet sur la santé physique et psychologique, la régulation thermique et la valorisation du foncier à ses alentours. L'originalité de cette recherche est de chercher à détecter les espaces verts possiblement non attractifs. L'objectif secondaire était de tester 6 méthodes d'évaluation pour analyser la concordance des résultats et d'estimer l'intérêt des données socio-économiques de l'INSEE, méthode la plus rapide et reproductible à partir de données précises, disponibles sur la France entière et gratuites (Palomo, 2016).

La méthode consiste à pratiquer une analyse spatiale croisant les données socio-économiques de l'INSEE (nombre d'individus, pourcentage de ménages propriétaires, revenu fiscal) à une échelle fine (carrés de 200 mètres de côté). Deux des 6 parcs analysés présentent une attractivité faible et des revenus moyens aux alentours de l'espace vert plus faibles que ceux du quartier. Les compléments apportés par le terrain révèlent pour l'un des parcs des problèmes de sécurité ou du moins la perception d'espaces peu sécurisés, ainsi qu'un manque d'accessibilité. La proximité du parc n'était pas réelle dans les faits et les usages : barrières de franchissement liées à la voirie et des entrées du parc éloignées des habitations. L'intérêt de ces données à confirmer sur des échantillons plus représentatifs et des analyses de terrain est assez direct. Elle donne des pistes d'orientations en matière de gestion : désenclavement, éclairage…

La méthode de calcul de cet indicateur est pertinente et reproductible à l'échelle de plusieurs parcs voire de la ville entière. Même si les valeurs intrinsèques au logement comptent beaucoup, ces travaux sont rares en France, et l'intérêt de cette démarche se justifie grandement. Elle pourrait être à l'initiative de certaines collectivités, car elle pourrait avoir des conséquences immédiates en termes de décisions de gestion et d'aménagement d'espaces de nature existants.

10.3.2.3 – L'indicateur "Consentement à Payer"

La méthode de l'évaluation contingente ressemble à une d'enquête d'opinion dans laquelle sont interviewées des personnes afin de déterminer le prix qu'elles seraient prêtes à payer pour éviter une dégradation de l'environnement ou au contraire pour assurer une amélioration (ou tout simplement une conservation) de l'environnement. Ces prix exprimés sont ensuite agrégés pour calculer la valeur monétaire attribuée par le public à l'amélioration de l'environnement.

Une étude a été proposée en 2013 pour réaliser une évaluation contingente des services esthétiques et récréatifs rendus par un parc urbain d'Angers. Deux scénarios ont été proposés : la création d'un espace plus arboré « la Chênaie » (scénario de fermeture d'un site) et le fleurissement d'une zone du parc « les Dunes ». Le support de paiement envisagé a été la taxe d'habitation. Les personnes enquêtées ont toutes répondu aux deux scénarios avec pour objectif d'exprimer un consentement à payer (CAP) en faveur des deux sites.

Les résultats ont montré que les personnes les plus sensibles aux paysages proposent des CAP plus importants pour les aménagements proposés. "Les variables exprimant une valeur d'usage comme le pique-nique et la sortie avec les enfants, peuvent parfaitement être associés à une attente esthétique indirectement exprimée" (Oueslati, 2013).

L'évaluation contingente est utilisée pour estimer la valeur de tous types d'écosystèmes et des services rendus.

10.3.3 – Vers une nouvelle perception du paysage naturel de la ville, vers une esthétique environnementale

Les études réalisées portent sur la notion d'aménité, mais chacune s'attache à une définition différente. L'aménité renvoie ainsi à la fois à des thèmes (paysage, patrimonialité, valeur identitaire, naturalité) et des perceptions (telles que l'affectif (attachement à un lieu), l'esthétique).

10.3.3.1 – Paysage ordinaire et paysages symboliques

Une étude a été menée pour le Syndicat mixte Concors Sainte-Victoire et le réseau des Grands Sites de France de 2008 à 2009 par le bureau d'études Figesma sur le Grand Site Sainte-Victoire. Ce site naturel est unique puisqu'il inclut une partie de la ville d'Aix-en-Provence.

L'objectif a été de connaître l'impact du Grand Site sur l'économie locale c'est-à-dire de préciser les retombées économiques liées à son activité et attractivité tels que les agréments, les charmes, les attraits, les "aménités" du site.

Parmi les nombreuses questions posées se trouvent :

- quelle est la valeur du nom et de l'image "Sainte Victoire" ? Les résultats ont montré que la sauvegarde et le maintien de la qualité des paysages du Grand Site permettent de mettre en valeur l'image et l'attractivité du Pays d'Aix (pour 98 % des sondés),
- quel est l'impact du site protégé sur la valeur de l'immobilier de la proche région ? La vue sur le site a un impact notable que ce soit pour ses résidents ou les professionnels de la vente.

"L'étude montre que la préservation de la remarquable valeur paysagère et patrimoniale, qui demeure la raison primordiale de l'action publique sur les Grands Sites, a également une valeur économique incontestable".

La Sainte Victoire est un élément naturel d'attractivité dans la ville et autour de la ville. La notion d'esthétisme et d'aménité a une valeur très forte en milieu urbain.

10.3.3.2 – Les espaces de nature sauvages en milieu urbain

Tous les espaces de nature ainsi que leurs aménagements ne sont pas perçus de la même manière en milieu urbain. Les espaces délaissés notamment sont peu nombreux en ville. Mais en tant qu'espaces transitoires et à très faible gestion, ils sont à la fois supports de services mais aussi de contraintes.

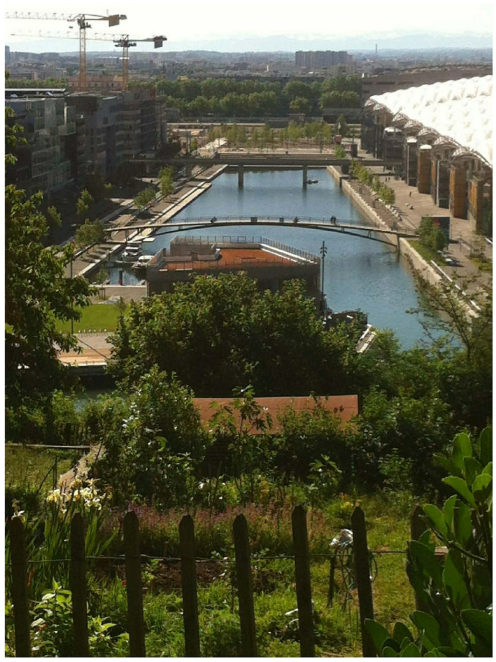
L'Université de Tours a étudié l'usage et la représentation des citoyens de délaissés urbains. Trois formes végétales ont été identifiées : primaire, intermédiaire et avancé-buissonnant. Elle démontre ainsi un seuil de tolérance des successions végétales : le stade intermédiaire à michemin entre le sauvage et le maîtrisé est le plus apprécié car jugé comme le plus naturel. Le stade primaire, où la végétation était d'origine anthropique, suscite une réelle demande en usage récréatif. Au contraire, la nature envahissante et sauvage du stade 3 provoque un sentiment d'inconfort, et est perçue comme inquiétante. **La temporalité est donc importante dans des espaces délaissés, elle en change l'appréciation, le regard porté par les habitants. Ces lieux pourraient ainsi être supports d'actions en éducation à l'environnement ou de mise en valeur artistique, car ce sont les nouveaux espaces alternatifs de la ville.**

10.3.3.3 – De l'eau à la vue de tous ?

La présence de l'eau dans la ville est désormais souvent associée à des espaces d'aménités lorsque la gestion paysagère a été pensée en amont.

De nombreuses collectivités choisissent de réintégrer ces espaces multifonctionnels dans la ville. Les bassins paysagers de gestion des crues de Dol-de-Bretagne en sont l'exemple. La commune s'est engagée dans la remise en valeur de son fleuve le Guyoult la traversant et totalement endigué. Pour cela, elle a créé des espaces de divagation conçus de façon paysagère et accessibles aux habitants. Les paysagistes du projet ont ainsi démarré leur réflexion avec l'observation de cartes postales anciennes du site afin de comprendre l'utilisation première du site.

Illustration 71 : Ouverture d'une darse à partir de la Saône lors de la requalification urbaine du projet Confluence



Le fleuve qui traversait la ville était devenu totalement invisible aux yeux des habitants car endigué, canalisé et, dans un sens, urbanisé. Les milieux humides ainsi remis à la vue représentent le lien entre paysage urbaine et paysage rural. La perception du paysage par les habitants passant par la végétation, un important travail dans le choix des espèces est aussi à réaliser.

10.3.3.4 – Rythme de vie et rythme de ville : l'arbre

Un certain nombre d'arbres de la révolution sont classés au titre des sites et « monuments naturels » dans les villes et villages, témoin d'un temps fort lointain et pourtant encore présent. Au-delà de cette reconnaissance historique, l'arbre a, du fait de sa longévité, le pouvoir de connecter le temps long et de rompre avec accélération des rythmes en milieu urbain. C'est ce que développe Ernst Zürcher, forestier suisse dans son ouvrage « Les Arbres, entre visible et invisible » : "L'arbre est un artiste de la lenteur". Son rythme biologique nous invite à repenser le temps et le rythme urbain, suscitant la patience. Il nous calmerait, car son cycle de vie est sur un temps long, à l'opposé du rythme de développement de la ville.

Certaines collectivités ont choisi une politique de préservation de l'arbre en lui redonnant toute sa place dans chaque projet d'aménagement. C'est le cas de Nantes qui compte 100 000 arbres (espaces publics et privés), de Lyon avec une Charte de l'arbre.

10.3.4 – Synthèse

Beaucoup de villes ont répondu à un argument hygiéniste d'embellissement très fort au début du XIXe siècle. Cela correspondait à des intentions d'assainissement et de propreté encore ancrées et non à une volonté de fonctionnement écologique et de renaturation."Chaotiques, sales et désordonnées, c'est ainsi que les zones humides apparaissent aux yeux du public" (Rolston 2000). Aujourd'hui, l'eau retrouve peu à peu sa place dans les projets urbains, comme une ressource notamment récréative.et non comme un nuisible. Enfin, l'animal, désiré ou non, ne renvoie encore que trop peu à l'idée de nature en ville. Il n'est perçu comme nature que par les écologues et spécialistes. Car les espèces vivantes introduites en ville qu'elles soient animales ou végétales ne gardent pas dans leur représentation par les habitants leur qualité de nature (Blanc 1995). Enfin, tous les espaces ne sont pas perçus de la même manière : la question des délaissés montre qu'en fonction du degré d'intervention de l'Homme, cet espace sera plus ou moins bien accepté. La valeur patrimoniale ou d'aménité accordée à un lieu sera sensiblement différente d'un individu à un autre, car elle découle à la fois d'une perception cognitive et de valeurs accordées à un lieu par un individu. "C'est l'expérience d'un lieu qui va influencer les significations et les valeurs portées sur ce lieu par un individu. La perception paysagère devient ainsi une entrée-clé pour mettre en lien les hommes et les processus écologiques" (Gobster et al. 2007). L'information et notamment l'éducation environnementales sont nécessaires pour parvenir à l'appréciation et l'acceptation d'une esthétique écologique.

10.4 – Service écosystémique culturel éducation et connaissance

10.4.1 – Caractérisation du service

Le service concerne toutes les formes de connaissances et de sensibilisation à la nature passant par deux outils principaux : l'éducation à l'environnement et les sciences participatives. Ils ont pour finalité de maintenir le lien entre habitants et nature et de changer le regard qu'ils peuvent porter sur leur environnement.

Cela permet aussi de recréer un lien social entre les habitants eux-mêmes. Ainsi, en favorisant la participation des citoyens, on observe une meilleure appropriation des enjeux écologiques.

Il existe différentes définition du service écosystémique d'éducation et de connaissance dans la littérature :

- le cadre conceptuel d'EFESE :
  - les SEC d'éducation apportent des avantages tels que les relations sociales,
  - les SEC d'expérimentation scientifique apportant des avantages tels que les progrès scientifiques.
- l'UICN : les SEC d'éducation et scientifiques permettent de maintenir un lien entre citadins et biodiversité grâce à l'éducation à l'environnement,
- l'Université de Tours :
  - les SEC pédagogiques "sont des services qui permettent l'acquisition de connaissances diverses et variées. Ces connaissances ne sont pas seulement d'ordre scientifique ou directement en lien avec les éléments naturels, mais peuvent également concerner une dimension patrimoniale, historique, ou pratique (apprendre à jardiner, prévoir la météo…)",
  - les SEC scientifiques touchent davantage les spécialistes mais peuvent aussi toucher le grand public par les sciences participatives. Cela peut être "l'étude de la faune et flore, transmission de connaissance, compréhension et observations de phénomènes" (Cosquer 2014).

10.4.2 – Évaluation quantitative

10.4.2.1 – Index de Singapour pour les actions pédagogiques

Certains indicateurs de l'Index de Singapour permettent d'évaluer les services culturels rendus par l'éducation à l'environnement avec l'attribution d'un nombre de points (la note finale étant sur 100 points) (figure 17) :

- l'indicateur 14 "nombre de visites éducatives par enfant de moins de 16 ans dans les parcs comportant des zones naturelles, protégées ou sécurisées par année",

- l'indicateur 23 "nombre d'événements de sensibilisation du public tenus dans la collectivité chaque année".

Illustration 72 :

Détails des indicateurs 22 et 23 de l'Index de Singapour (Cerema, 2016)

INDICATEUR	CALCUL	POINTAGE	SOURCE
14	Nombre de visites éducatives par enfant de moins de 16 ans dans les parcs comportant des zones naturelles, protégées ou sécurisées par année	0 point : 0 visite éducative par année 1 point : 1 visite éducative par année 2 points : 2 visites éducatives par année *3 points : 3 visites éducatives par année* 4 points : > 3 visites éducatives par année	Registres scolaires
23	Nombre d'événements de sensibilisation du public tenus dans la collectivité chaque année	0 point : 0 événement de sensibilisation/année 1 point : 1-59 2 points : 60-149 3 points : 150-300 4 points : > 300	Ministère de l'Éducation, conseils municipaux, organisations non gouvernementales

Au travers de son plan d'action pour la biodiversité et par l'Index de Singapour, la ville de Montpellier a pu développer des actions pédagogiques sur le thème de la biodiversité et les évaluer :

- sur l'aspect éducation :
  - événements de sciences participatives : fête de la biodiversité, journée sciences citoyennes et biodiversité,
  - réalisation de jardins secs méditerranéen avec plaquette d'information,
  - opération Main Verte : diffusion de messages de bonnes pratiques environnementales,
  - atlas de la biodiversité : avec les habitants (papillons, flore, oiseaux, autres),

- des espaces de nature dédiés à la sensibilisation à l'agriculture biologique : le Mas Nouguier, le centre DARWIN lieu pédagogique sur la faune sauvage en ville.

- sur l'aspect scientifique :
  - lieux de médiation scientifique pour le grand public : Agropolis international, sciences pour tous, l'Agora des sciences,
  - formations des agents de la Direction Paysage et Nature (250 agents) pour les sensibiliser à l'observation de la biodiversité,
  - partenariats nombreux avec institutions et associations : jardin de Noé, Ecologistes de l'Euzière, Tela Botanica, APIEU Montpellier, observatoire des saisons.

Il apparaît que l'indicateur 14 est le plus pertinent, car il évalue le nombre de visites éducatives dans des espaces de nature. L'indicateur 23 reste assez large puisqu'il se focalise sur les événements de sensibilisation à la biodiversité sans lien direct avec le lieu où ces actions se sont déroulées. Pourtant, il suffirait de rajouter le nombre de participants à chaque manifestation pour que l'indicateur gagne en pertinence.

10.4.2.2 – Indicateur d'état « espace de nature » issu du programme de recherche SERVEUR

L'Université de Tours a évalué les pratiques, les discours et les représentations des usagers dans six parcs de la région Centre.

Les résultats mettent en avant des différences dans la perception des services éducation :

- "seulement 5 % des usagers recherchent l'animation d'un espace vert. Pourtant, il apparaît que ces espaces sont fréquemment utilisés et appréciés pour se retrouver en groupe ou participer à des animations" (Cosquer 2014). Les usagers perçoivent donc plus ces espaces comme des lieux de socialisation que des lieux d'animations. L'espace naturel est considéré comme un lieu de quiétude par opposition à l'espace urbain (figure 18),

- les résultats du parc central de Chartres montrent également que ces espaces jouent un rôle dans le développement de la sensibilité écologique autant que les informations extérieures reçues tels que les débats ou l'actualité (Galet, 2014),
- la valeur pédagogique est plus perçue dans les jardins familiaux : pour l'ensemble des sites étudiés, 54 % des usagers interviewés estiment que cet espace vert est pédagogique et 39 % s'y instruisent (Launay, 2014), contrairement aux espaces verts ornementaux (Orléans et Blois) qui le sont beaucoup moins (figure 19),
- l'éducation à l'environnement est selon les usagers encore plus indispensable auprès des enfants. La dimension pédagogique "se mesure à l'importance accordée à ces espaces pour l'éducation des enfants et la transmission de valeurs et de connaissances, (…) mais aussi la valeur patrimoniale accordée au lieu",
- Enfin, dans les espaces verts étudiés (parcs et jardins), 87 % des personnes interviewées affirment que l'espace vert est important dans l'éducation qu'ils transmettent à enfants. La découverte de la nature est le principal rôle cité pour 42 % d'entre-eux (Launay 2014). Les jardins jouent un rôle important d'éducation car la connaissance de la nature se fait via l'activité de jardinage et à son entretien (figure 78).

Illustration 73 : Les éléments que recherchent les usagers en fréquentant un espace vert (Cosquer 2014)

Que recherchez-vous ici ? :
Le calme, la tranquillité (65%)
La proximité de la nature (35%)
Le chant des oiseaux (19%)
La liberté (13%)
La beauté du site (10%)
Le silence (5%)
L'animation (5%)

Illustration 75 : Aspect pédagogique des espaces verts (Launay 2014)

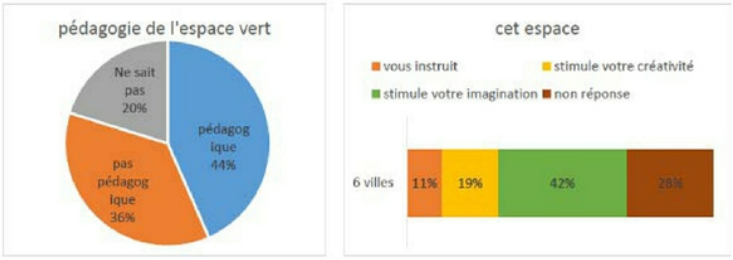
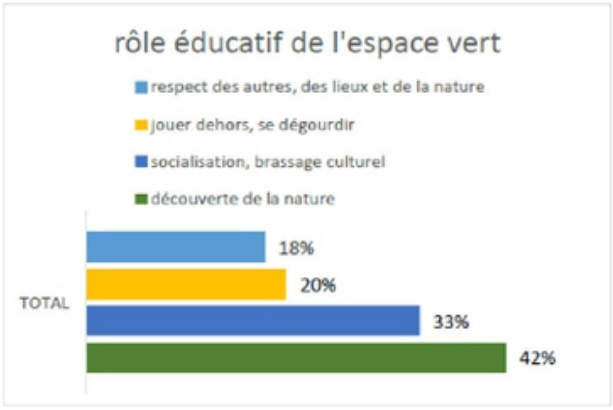


Illustration 76 : Rôles éducatifs des espaces verts (Launay 2014)



Un indicateur proposé dans le cadre de ces enquêtes est le **nombre de personne pratiquant avec leurs enfants une activité directe en lien avec la nature**. Cet indicateur est simple à mettre en œuvre, mais il doit être renseigné au moyen d'enquêtes sociologiques ou de données à récupérer directement auprès des collectivités.

La valeur pédagogique des espaces verts est généralement peu perçue, car le sens du mot "pédagogique" n'est pas bien connu de certains usagers. Mais lorsque la question est soulevée, il existe néanmoins une vraie demande sociale pour une éducation à l'environnement.

10.4.3 – Des initiatives éducatives et scientifiques variées et originales

10.4.3.1 – Les milieux humides, pour une meilleure acceptation

En milieu urbain, l'eau est progressivement remise à la vue des habitants après avoir été longtemps canalisée voire cachée. Les milieux humides sont souvent appréciés pour leur usage récréatif. Mais la connaissance acquise sur ces milieux reste généralement insuffisante ce qui peut renforcer l'image négative qu'ils renvoient.

Dans les projets d'aménagements, les villes possédant ce type de milieux ont compris l'intérêt des services qu'ils peuvent rendre en termes d'éducation. Qualifiée de "ville jardin", Evian-les-Bains est reconnue par sa richesse patrimoniale naturelle. Située en bordure du Lac Léman, c'est aussi un territoire marqué par la présence de l'eau. Dans ce contexte, un parc pédagogique, le "pré-curieux", a été créé en 2001 autour du thème de l'eau et des milieux humides sur un espace acquis par le Conservatoire du littoral.

L'objectif de ce projet a été de sensibiliser à la biodiversité (fonctionnement des milieux humides, leur faune et flore) et d'offrir un espace de détente à proximité du centre touristique d'Évian-les-Bains.

Le parc de 3.5 ha est constitué (figure 15) :

- d'un site pédagogique sur les zones humides avec une maison dédiée à la sensibilisation à l'environnement. Les expositions et expérimentations présentées s'adressent aux citadins en insistant sur la définition d'une zone humide, le fonctionnement du cycle de l'eau,
- d'une mosaïque de milieux humides naturels. La diversité des milieux proposée facilite la sensibilisation générale des visiteurs : c'est la compréhension du réseau du vivant dont font partie les milieux humides qui permet au public de prendre conscience de leur diversité,
- d'un lieu de promenade et de détente avec des jardins ornementaux. L'esthétique de ce lieu est mis en avant pour en faire un lieu d'aménité. La présence de ces jardins sert également de support de sensibilisation à différentes pratiques (gestion raisonnée de la ressource en eau, pratique de jardinage sans produits phytosanitaires).

Ce parc pédagogique permet, au-delà de l'aspect récréatif, d'alerter sur les menaces pesant sur ces milieux humides, milieux plus difficilement acceptés par les habitants en ville. C'est un exemple réussi puisque le site accueille 10 000 visiteurs par an, comprenant à la fois la population locale élargie à la France entière voire à l'étranger.

Illustration 77 : Plan du Pré-Curieux (Évian-les-Bains)



10.4.3.2 – La nature sauvage et liberté

"L'art choque, secoue, interroge. Il laisse rarement indifférente" (Prévot-Juliard 2009). De plus en plus d'initiatives artistiques intègrent l'éducation à l'environnement. Il a été en effet démontré que l'art pouvait créer un état émotionnel différent permettant d'augmenter le niveau d'attention. Citons l'exposition sur l'estuaire Nantes - Saint-Nazaire que l'on pouvait découvrir en prenant le bateau de Nantes jusqu'à Saint-Nazaire http://www.estuaire.info/fr/les-editions/

Le collectif SAFI (Du Sens, de l'Audace, de la Fantaisie et de l'Imagination) est un collectif d'artistes plasticiens fondé en 2001 qui s'attache à transmettre des messages à partir du végétal et d'un répertoire de gestes fondamentaux (marcher, sentir, écouter, manger, cuisiner, bricoler et jardiner) en travaillant sur la nature sauvage de la ville de Marseille.

Le collectif a mis en place plusieurs outils pédagogiques en mélangeant éducation à cette nature sauvage et développement des sens :

- "paysages gustatifs" – 11 chefs cuisiniers ont été invités en 2013 dans le cadre de Marseille Capitale Européenne de la Culture pour des temps de rencontres et de cueillettes. Des pique-niques sont organisés autour d'expériences, d'observation de la nature et de découvertes gustatives de plantes sauvages,
- "GR®2013" - sentier de randonnée (figure 20) créé par le collectif en péri-urbain de villes. Le tracé propose un parcours à l'échelle des Bouches-du-Rhône. Un topo guide est également disponible,
- "parc urbain des papillons" (PUP) - depuis 2012, le collectif participe à la création du premier parc urbain des papillons à Marseille. Le PUP est un dispositif expérimental de recherche et constitue un lieu de formation, médiation et d'échanges où étudiants, scolaires et grand public sont sensibilisés à la biodiversité urbaine.

Chacune de ces expériences invite à regarder le paysage différemment et à nourrir son rapport au monde. Le citoyen devient acteur et redécouvre une autre forme de nature dans la ville, d'une manière différente et en faisant jouer tous ses sens.

10.4.3.3 – Le sol, pour une nouvelle connaissance

Les expériences d'éducation à l'environnement commencent à émerger sur la thématique des sols. Il existe le kit pédagogique de la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature : "le sol m'a dit". Il propose ainsi des animations et de la sensibilisation à cet élément naturel et vivant. Même si la connaissance du sol en ville reste insuffisante, elle peut être amenée à se développer par d'autres moyens pédagogiques tels que la pratique du jardinage dans les jardins partagés par exemple.

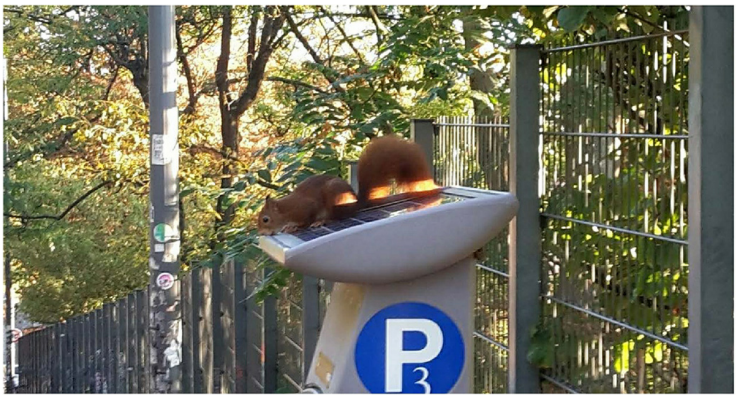
10.4.3.4 – La perception de l'animal

En dehors des animaux domestiques, l'animal a longtemps était perçu comme une contrainte en milieu urbain, au travers des seules contraintes qu'il était susceptible de véhiculer (chapitre 12). La symbolique est souvent négative pour

certains animaux sans pour autant que cette faune soit hostile. Le pigeon, souvent chargé d'une image négative et suscite généralement des sentiments de dégoûts et rejets, associé à la saleté d'une ville. Au contraire, la colombe bénéficie d'un autre statut, symbole de paix. Pourtant la colombe n'est pas une espèce à part, puisqu'elle fait partie des pigeons bisets ou des tourterelles blanches. Il occupe une place nécessaire pour maintenir une biodiversité fonctionnelle en ville. Il pourrait être un bon médiateur vers la nature de proximité comme l'est plus facilement l'écureuil roux présents dans les parcs (Natureparif 2011). Comme vu dans le chapitre 4, les trames vertes urbaines recréent des passages, des corridors, aussi, des espèces moins habituelles des cités comme les renards et les lapins (et sangliers) pourraient davantage s'inscrire dans les continuités écologiques rural / urbain, et modifier la perception de ce qu'est la faune urbaine.

Il est aussi important de souligner le rôle joué par les insectes et autres arthropodes colonisant parcs et jardins, qui approchent de près les jeunes enfants, afin que ces derniers fassent l'apprentissage d'une nature beaucoup plus éloignée de l'homme et potentiellement plus intrusive aussi. En regardant des insectes de près, l'enfant peut aiguiser sa capacité d'observation et le citoyen qu'il deviendra serait peut-être plus enclin à respecter le vivant et notamment les petites bêtes, qu'à les traiter automatiquement à coups d'aérosols insecticides.

Illustration 78 : Traversée risquée de la chaussée par un écureuil roux entre deux espaces boisés



Ces approches invitent à réfléchir aux représentations complexes et multiples d'un animal faisant partie de la nature en ville. Son acceptation passe par une nouvelle forme de pédagogie et de sensibilisation au-delà des mesures de gestion. L'éducation à l'environnement est un bon outil d'une part pour mieux connaître afin de favoriser la dynamique fonctionnelle des populations en milieu urbain et d'autre part pour mieux accepter cette faune afin de mieux la protéger. Les démarches de sciences participatives, comme "Couleurs de pigeons" du MNHN, jouent un rôle de vecteurs de connaissance et contribuent par là à leur acceptation.

10.4.4 – Synthèse - Services culturels éducatifs

L'éducation à l'environnement est un outil puissant d'acceptation et de connaissance de la nature en milieu urbain, et d'acceptation d'une esthétique écologique des espaces comme les herbes folles. Les nombreuses actions d'éducation à l'environnement ou de sciences participatives montrent que les villes souhaitent faire partager la connaissance sur la biodiversité. Ainsi de multiples expériences existent.

L'éducation à l'environnement est souvent considérée comme plus adaptée à l'enfant, car la nature fait de moins en moins partie de sa construction identitaire (Prévot-Juliard 2009). Avoir plus d'espaces verts et la présence d'une faune dans l'enceinte scolaire devient nécessaire. Des écoles de la biodiversité voient le jour pour permettre d'intégrer la nature et sa sensibilisation dans le milieu de vie des enfants.

D'un autre côté, l'adulte ne prend pas assez conscience de l'utilité de la sensibilisation pour lui-même.

Certains espaces de nature suscitent plus d'expériences pédagogiques et de transmission de savoirs que d'autres, notamment dans les jardins partagés.

Par ailleurs, l'éducation à l'environnement permet de travailler sur l'esthétique écologique pour une meilleure appropriation de la nature. L'objectif est de pouvoir accepter de nouveaux critères esthétiques tels que l'herbe jaunie par absence d'arrosage ou des zones de friches et d'aller vers une gestion écologique des espaces verts plutôt qu'horticole. Cela permet de changer les regards sur la nature urbaine et d'aller vers l'acceptation d'une nature spontanée, sauvage.

Néanmoins, d'autres formes d'éducation à l'environnement pourraient être utilisées, mêlant message artistique et message scientifique. Cela peut passer par l'utilisation de nos sens, la place du paysage, les formes d'expression artistique. « La médiation artistique des sciences pourrait permettre de prendre en compte ces différentes idées de nature dans la construction d'un savoir commun, d'une idée partagée de la nature de proximité » (Prévot-Juliard 2009).

Enfin, l'élément « sol » de la nature en ville, et la riche micro-faune qui s'y cache, est souvent délaissé dans la sensibilisation à l'environnement. Le sol devrait devenir un élément supplémentaire d'éducation à l'environnement.

10.5 – Synthèse

Les Services Écosystémiques Culturels sont complexes, s'hybrident nécessairement avec d'autres services. Les valeurs culturelles sont l'expression d'un collectif dont les méthodes économiques ne rendent pas compte. Ainsi, il semble préférable d'utiliser des méthodes non qualitatives, délibératives et participatives pour des valeurs qui sont non instrumentales. Ces méthodes permettent d'avoir une approche plus écologique et sociale de la nature en ville, tout en étant complexes et coûteuses.

Parmi les multiples expériences menées à différentes échelles de territoire, l'éducation à l'environnement et les sciences participatives restent les plus faciles à appréhender. Elles touchent le citoyen à chaque étape sa vie, maintenant un contact avec la nature et la biodiversité qui peut être rapidement perdu en milieu urbain.

L'évaluation qualitative des SEC reste une étape ultérieure incontournable et complexe de l'EFESE qui sera complémentaire des évaluations quantitatives.

A) Données et connaissances manquantes en matière d'évaluation des SEC

Les recherches faites sur la description et l'évaluation des SEC en milieu urbain s'attachent souvent aux espaces de nature végétalisés (parcs, jardins), mais moins souvent aux milieux humides et à la faune. Pourtant, les éléments les plus appréciés au-delà de l'aspect végétation, sont les plans d'eau par exemple (Launay 2014).

La plupart de ces indicateurs facilement mobilisables sont quantitatifs. Le plus reconnu à l'échelle internationale est l'Index de Singapour au travers de trois indicateurs clés. Pourtant, peu de collectivités françaises s'en sont emparées en grande partie lié à la difficulté d'interprétation et de mise en œuvre de ces indicateurs.

De plus, l'évaluation quantitative est limitante, car elle ne permet pas de balayer l'ensemble des SEC. Elle concerne davantage les services récréatifs et pédagogiques. Et elle n'aborde pas les services d'aménités paysagères qui sont plus de l'ordre du ressenti, de la perception et du subjectif. Elle ne permet pas non plus d'aller dans une évaluation plus fine. Par exemple pour l'évaluation de la fréquentation : le taux de fréquentation contribue à une analyse simplement quantitative qui pourrait être renforcée par la fréquence de visite, les classes d'âge des usagers et leur profil professionnel, l'apport pour les enfants d'être

dans ce lieu, etc. Les indicateurs d'accès à ou de fréquentation pourraient être avantageusement complétés par les questions de ségrégation sociale de l'accès permettant d'envisager des indicateurs d'inégalité entre types de population. Ainsi les collectivités locales qui cherchent par leurs politiques à maintenir la cohésion sociale à l'échelle des territoires pourraient être particulièrement preneuses de ce type d'indicateurs en lien avec les CSP (ou les revenus des ménages), sur la base d'informations au niveau de l'îlot urbain.

Chapitre 11

Patrimoine naturel au sein des écosystèmes urbains

"Faire avec la nature le moins possible contre", Paysagiste Gilles Clément concepteur du jardin du musée des Arts premiers quai Branly (Paris).

« La notion de patrimoine naturel est associée aux valeurs que les sociétés humaines attachent à certains éléments de biodiversité ou des écosystèmes qui peuvent se voir attribuer une dimension identitaire et un statut particulier : caractère remarquable, label, mesures de protection réglementaire, etc.

Cette valeur patrimoniale relève généralement du non-usage (valeur d'existence, de legs, ou altruiste) et ne saurait être approchée par évaluation des services écosystémiques qui se résume à la mesure de valeurs d'usage direct, indirect ou optionnel. Le patrimoine naturel n'existe en tant que tel qu'à l'issue d'un processus de reconnaissance : reconnaissance sociale spirituelle associant une dimension sacrée à un élément naturel, reconnaissance sociale laïque associant un label ou une mesure de protection à un objet naturel. Le patrimoine naturel est donc positionné dans le cadre conceptuel à l'interface entre écosystème et sociétés humaines, et son évaluation est étroitement liée à son statut. Les grandes divisions et grands groupes de patrimoine naturel figurent à la table »

Illustration 79 : Table 2.1. Patrimoine naturel
Source : Extrait de l'EFESE, Volume 1 Objectifs, cadre conceptuel et glossaire analytique

Divisions	Groupes	Patrimoine naturel
Interactions spirituelles, identitaires et symboliques avec les écosystèmes et les paysages terrestres et marins et autres interactions	Interactions spirituelles et emblématiques	- Patrimoine spirituel et identitaire
	Héritage naturel, sites et paysages protégés, espèces protégées	- Espèces protégées - Sites et paysages labellisés

Il ressort de ce qui précède que le cadre conceptuel de l'EFESE accorde un statut particulier au patrimoine naturel. Elle ne le considère pas comme un service culturel au même titre que les autres, et en quelque sorte le retire du champ de l'évaluation. Cela constitue un point de différenciation notable par rapport à d'autres évaluations du même type. Ce chapitre « Patrimoine naturel en milieu urbain » s'articule en complémentarité du chapitre 10 portant sur « l'évaluation des services culturels ». Alors que l'on cherche des méthodes d'évaluation les plus appropriées dans le chapitre 10, ce chapitre constitue une ouverture qui permet de s'interroger sur les relations des urbains à la nature sur ce qui fait ou pas le "patrimoine naturel urbain" sous l'angle de la perception des citadins.

Le patrimoine naturel fait appel à deux notions :

- **la notion de « nature » : qui correspond à la fois à une représentation sociale de la nature en opposition au « construit » par l'homme et à une représentation scientifique : en référence à l'écologie, au vivant ou encore au paysage ;**
- **la notion de patrimoine : qui correspond à une représentation sociale – patrimoine à léguer aux générations futures. Cette notion fait référence à une valeur intrinsèque à préserver.**

La notion de préservation induit celle de protection. L'écosystème urbain présente beaucoup moins d'espaces réglementés et protégés que les autres écosystèmes (forestiers, marins…). Ils ne suffisent peut-être donc à eux seuls à identifier patrimoine naturel urbain. À ces espaces auxquels on attribue une dimension identitaire et un statut particulier de protection pourraient être associés des espaces relevant du non-usage qui s'ils ne sont écologiquement pas exceptionnels peuvent le devenir en milieu urbain. Situés à l'interface entre l'écosystème et la société ils relèvent parfois d'une labellisation.

Au même titre que les espaces qui les abritent, les espèces (faune et flore) font partie du patrimoine naturel et sont également présentes en milieu urbain, car on y trouve une diversité d'habitats offrant de multiples lieux de vie et de reproduction.

Ce patrimoine vivant non protégé est souvent méconnu des gestionnaires mais surtout des citoyens. Il existe un réel enjeu de sensibilisation et de communication. Véritable action citoyenne en faveur de la biodiversité « quotidienne », les inventaires participatifs sont une opportunité pour apprendre à connaître, à reconnaître la faune et la flore du milieu urbain. Ils permettent également de renforcer un lien entre les naturalistes amateurs et les scientifiques professionnels.

Les zones urbaines occupent une superficie de plus en plus importante. Or une part non négligeable des villes a été construite à proximité de zones humides, de forets ou plus généralement de milieux à forte diversité spécifique et/ou forte valeur patrimoniale.

Ces espaces en périphérie sont mis en péril par l'expansion des zones urbaines. Un juste équilibre doit être trouvé entre les besoins de conservation de ces espaces naturels et besoins des populations humaines. Une préservation de ce patrimoine naturel sous pression pour l'extension de l'urbanisation est-elle réaliste ?

Ce chapitre 11 tentera de répondre aux questions suivantes :

- *Comment identifier les lieux et/ou les espèces à considérer comme patrimoine naturel en zone urbaine. Quels sont les indicateurs quantitatifs les plus pertinents ?*
- *Ces espaces et espèces considérés comme patrimoine naturel urbain sont-ils menacés ? Comment leur assurer une protection optimale ?*

11.1 – Le patrimoine naturel urbain et les réglementations ou labellisations

L'identification du patrimoine naturel amène prioritairement à identifier les espaces et /ou les espèces protégées, réglementés du milieu urbain. Quels sont ces dispositifs réglementaires qui permettent de les identifier ? Quelle est leur représentativité en milieu urbain ?

Cette approche institutionnelle suffit-elle pour caractériser le patrimoine naturel en milieu urbain ? D'autres espaces/espèces, non protégés peuvent-ils être considérés comme appartenant également au patrimoine naturel de la ville ?

11.1.1 – Les espaces

Cette partie est consacrée à la réglementation des espaces naturels qualifiés d'espaces naturels situés en ville et protégés pour leur caractère exceptionnel.

Différents textes législatifs et réglementaires français existent permettant de protéger des espaces présentant un intérêt particulier. On peut citer principalement les réglementations telles que :

- arrêtés de protection de biosphère (APB),
- les sites du conservatoire des rivages et des espaces lacustres
- les plans d'action en faveur d'espèces menacées (PNA),
- le classement en parc naturel (national ou régional), réserve naturelle (régionale et nationale), réserve de faune et de chasse sauvage, espace naturel sensible (ENS), Natura 2000, zone humide, réserve de biosphère, patrimoine mondial de l'UNESCO, Espaces boisés classés (EBC),

À cette liste, il convient d'ajouter les Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) qui ne constituent pas une mesure de protection à proprement parlé mais d'identification. Pour autant, ces zonages peuvent être pris en considération.

Le tableau ci-dessous présente le type et le nombre des protections rencontrées parmi 12 grandes villes françaises : Aix-en-Provence, Bordeaux, Grenoble, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Rennes, Nantes, Orléans, Rennes.

Illustration 80 :

Type et le nombre des protections rencontrées parmi 12 grandes villes françaises : Aix-en-Provence, Bordeaux, Grenoble, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Rennes, Nantes, Orléans, Rennes.
Source Cerema, 2016

Niveau de protection	Zonages et type de protection	Illustration en milieu urbain
PF	Zone cœur de Parc nationaux	**Marseille :** parc national des Calanques (cœur terrestre : 8 497 ha et cœur marin : 43 499 ha) **Nice Côte d'Azur Métropole :** parc national du Mercantour
PF	Parc naturel marin	Pas d'espaces marins répertoriés en 2016 en zone urbaine en France
PF	Réserves naturelles régionales et nationales	**Bordeaux (Métropole**) : Marais de Bruges (262 ha)
PF	Réserve naturelle de Corse	6 réserves
PF	Réserves biologiques dirigées ou intégrales	**Marseille** : falaises rocheuses de la Gardiole et vallon d'En Vau (DES) 97 ha
PF	Sites classés contenant des espaces de nature	**Marseille :** 1 site, le massif des Calanques. **Aix-en-Provence :** 4 sites : Jas du Bouffan (12 ha), Château de la Gaude, sa chapelle, son parc et ses abords (8 ha), Massif du Concors, Montagne Sainte-Victoire (6 000 ha, en majorité hors de la commune). **Montpellier :** 9 sites dont le plus important en surface : Site des berges du Lez (129 ha). **Lyon :** 2 sites classés pour des raisons autre qu'espaces naturels. **Orléans :** 1 site : site de Combleux (pas d'infos). **Lille :** 2 sites dont le Jardin Vauban du jardin d'arboriculture et du square Daubenton (6 ha)
PM	Réserve nationale de chasse et faune sauvage	Pas de réserve nationale de chasse et de faune sauvage répertoriée en 2016 en zone urbaine en France
PM	APB	**Marseille** 2 apb : « La muraille de chine » FR3800380 (48 ha) et le « Vallon de Toulouse » FR3800629 (32 ha). **Nancy :** 1 apb : Mares de Saulxures-lès-Nancy et Tomblaine (5 ha)
PM	Sites inscrits au Patrimonial Mondial de l'Unesco (non culturels ou avec espaces de nature)	**Orléans :** 1site : Val de Loire entre Sully-s-Loire et Chalonnes
PM	Réserve de biosphère	Pas de réserve de biosphère répertoriée en 2016 en zone urbaine en France

Niveau de protection	Zonages et type de protection	Illustration en milieu urbain
PM	Site inscrit	**Marseille :** 1 site : ensemble formé par les Calanques et leurs abords, à Cassis et Marseille (4 880 ha). **Aix-en-Provence :** 15 sites inscrits, dont les plus importants en superficie : Vallée des Pinchinats (671 ha) et Les Granettes (213 ha). **Montpellie**r : 5 sites dont le bois de la Valette (zoo de Lunaret) 78 ha. **Grenoble :** 8 sites dont le plus important en suface : quartiers de la Manutention et abords (71 ha). **Limoges :** 4 sites dont les 2 plus importants : vallée de la Mazelle 685 ha et vallée de l'Aurence 1100 ha. **Orléans** : 2 sites : Château du clos St-Loup et son parc (? ha), Rivière du Loiret et ses rives (? ha). **Nancy :** 4 parcs dont le parc de la Pépinière (22 ha). **Lille :** 3 sites inscrits (pas d'infos Carmen)
PM	Sites du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres (CELRL)	**Marseille :** 3 sites : Chalabran, Îles du Frioul et Muraille de Chine
PM	Zone d'adhésion des Parcs Nationaux	**Marseille :** Parc national des Calanques **Nice Côte d'Azur Métropole :** Mercantour
PM	Zones humides d'importance internationale (RAMSAR)	Pas de zone humide d'importance internationale (RAMSAR)
OG/IB	Parc Naturel Régional	**Nice Côte d'Azur Métropole :** Projet du parc naturel régional des Préalpes d'Azur

Niveau de protection	Zonages et type de protection	Illustration en milieu urbain
	ZNIEFF I*	**Bordeaux :** 3 zones : Marais de Bruges (262 ha), station botanique du Barrail Long (6 ha), Lac de Bordeaux (196 ha) **Marseille :** 5 zones (Le Marinier 172 ha, Plateau de la Mure 215 ha, Archipel de Riou 167 ha, Sablière d'Anjarre 67 ha, Mont Rose 104 ha. **Aix-en-Provence :** 1 zone : Réservoir du Realtor (68 ha) **Montpellier :** 2 zones en limite de commune : vallée de la Mosson (24 ha) et Rivières du Lirou et du Lez (25 ha) **Grenoble :** 1 zone Mont Jalla, Mont Rachais 633 ha (en majorité hors commune) **Nantes** : 4 zones dont les zones plus importantes en surface : Prairie de Mauves, Île Haron et Vasaires de Loire (357 ha) et Prairies de St-Jean-de-Boiseau (597 ha) **Rennes :** 1 zone : gravière du sud de Rennes (833 ha) **Orléans :** 1 zone : Grèves de Loire à l'amont et aval du pont Thinat (56 ha). **Nancy :** 4 zones, dont les 2 plus importantes en surface : Plateau de Malzéville et butte de Geneviève à Essey-lès-Nancy (557 ha) et le Bois des Fourasses et Plateau de Villers (341 ha)
	Réserve de chasse et faune sauvage	Pas de réserve de chasse et de faune sauvage répertoriée en 2016 en zone urbaine en France
	Natura 2000	**Bordeaux :** 2 sites : Marais de Bruges - Blanquefort-Parampuyre, la Garonne **Marseille :** 2 sites Falaises de Vaufrèges et Calanques et Îles Marseillaises (Cap Canaille et massif du Grand Caunet). **Aix-en-Provence** 2 sites : Plateau de l'Arbois et Montagne Ste-Victoire **Montpellie**r : le Lez (144 ha) et au sud de Montpellier (Lattes) Étangs palavasiens et étang de l'Estagno **Nantes :** 2 zones : la Loire et la Sèvre Nantaise, la Petite Amazonie **Orléans :** Vallée de la Loire de Tavers à Belleville-sur-Loire (7120 ha) **Nancy :** 1 zone : Plateau de Malzéville (439 ha)
	Espaces naturels sensibles	Pas d'espaces naturels sensibles répertoriés en 2016 en zone urbaine en France
	Zones humides inventoriées (RAMSAR)	Pas de zones humides inventoriées répertoriée en 2016 en zone urbaine en France
	TVB / SRCE	**Marseille :** Secteur des Côtiers (4 zones SRCE 2014 **Aix-en-Provence :** 7 réservoirs biologiques, 3 corridors écologiques
	Classement des cours d'eau SDAGE (liste 1 et 2)	**Aix-en-Provence :** l'Arc (L1 et L2) et la Cause (L1) **Montpellier :** le Lez et la Mosson (L1). **Grenoble :** le Drac (limite de commune) (L2) **Lyon :** le Rhône (L2) en limite de commune
	Espace boisé classé	**Bordeaux :** 234 EBC (Bordeaux Métropole : 3792) **Montpellier :** 900 EBC

Légende :
PF : Protection forte
PM : Protection moyenne
OG/IB : Outil de Gestion ou d'Inventaire de la Biodiversité
** : les ZNIEFF de type II correspondent à des grands ensembles naturels, à l'échelle d'un massif forestier, d'une vallée, d'un estuaire.*

Ce recensement ne prend pas en considération d'autres espaces de nature que les citoyens s'approprient et qui peuvent être identifiés comme patrimoine naturel urbain. Aussi, d'autres caractéristiques complémentaires doivent être prises en considération.

Les tableaux ci-dessous illustrent la part(%) des espaces protégés et la part des espaces réglementés(%) calculées en rapportant la superficie de ces espaces à la superficie totale du territoire. L'indicateur a été calculé pour les 12 villes précitées sur différents périmètres : atlas urbain (zone urbaine large de l'urban atlas), EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale), commune.

Tableau 30 :

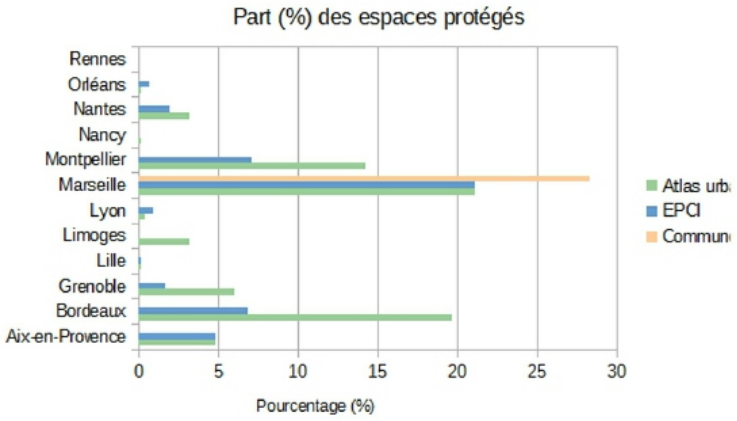
Part(%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine
Source Cerema, 2016

Part(%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine			
Territoire	**Atlas urbain[1]**	**EPCI[2]**	**Commune**
Aix-en-Provence	4.8	4.8	-
Bordeaux	19.7	6.9	-
Grenoble	6.0	1.7	-
Lille	0.2	0.2	-
Limoges	3.2	0.0	-
Lyon	0.4	0.9	-
Marseille	21.1	21.1	28.3
Montpellier	14.2	7.1	-
Nancy	0.2	0.0	-
Nantes	3.2	2.0	-
Orléans	0.2	0.7	-
Rennes	0.0	0.0	-
Moyenne pondérée		**4.2**	**-**

La superficie des espaces protégés a été calculée par intersection entre les couches géographiques disponible à l'INPN pour les différents périmètres de territoires et les espaces protégés listés :

- *Arrêtés de protection de biotopes ;*
- *Bien naturel ou mixte du patrimoine mondial de l'UNESCO ;*
- *Parcs nationaux (cœur de parc) ;*
- *Parcs naturels marins ;*
- *Réserves de biosphère ;*
- *Réserves intégrales de parc national ;*
- *Réserves naturelles de Corse ;*
- *Réserves naturelles nationales ;*
- *Réserves nationales de chasse et de faune sauvage ;*
- *Sites acquis ou « assimilés » des CEN ;*
- *Sites du Conservatoire du littoral ;*
- *Sites Ramsar.*

Illustration 81 : Part(%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine
Source Cerema, 2016



La part des espaces protégés – caractérisés par une forte protection réglementaire - est nulle en milieu urbain à l'échelle de la commune à l'exception de la ville de Marseille (Parc Naturel National). Cette part augmente à l'échelle de l'EPCI et de

la “zone urbaine large de l’urban atlas” mais reste inférieure à 22 %. Sept villes (sur les 12 de l’échantillon d’études) présentent une part inférieure à 5 %.

Tableau 31 :

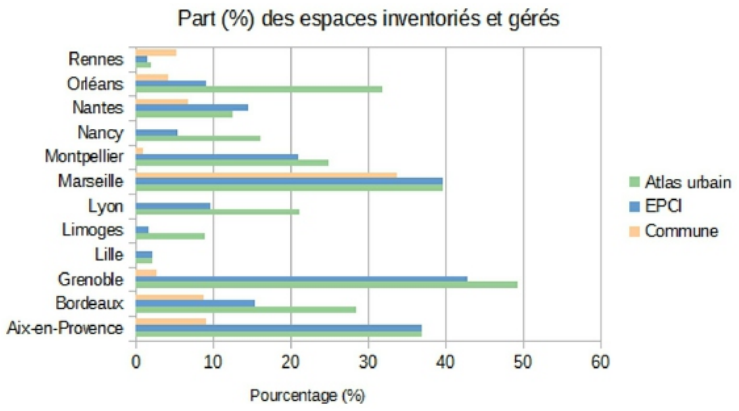
Part(%) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine
Source Cerema, 2016

Part(%) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine			
Territoire	**Atlas urbain[1]**	**EPCI[2]**	**Commune**
Aix-en-Provence	37.0	37.0	9.1
Bordeaux	28.5	15.4	8.9
Grenoble	49.3	42.8	2.7
Lille	2.3	2.3	-
Limoges	9.0	1.7	-
Lyon	21.2	9.6	-
Marseille	39.7	39.7	33.8
Montpellier	25.0	21.1	1.0
Nancy	16.2	5.4	0.0
Nantes	12.6	14.6	6.8
Orléans	31.9	9.1	4.3
Rennes	2.0	1.5	5.3

La superficie des espaces inventoriés et gérés a été calculée par intersection entre les couches géographiques disponible à l’INPN pour les différents périmètres de territoires et les espaces inventoriés et gérés listés ci-dessous :

- *Parcs nationaux (aire d’adhésion) ;*
- *Parcs naturels régionaux ;*
- *Natura 2000 : ZPS et SIC ;*
- *Znieff continentales de type I*

Illustration 82 : Part des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine source Cerema, 2016



La part des espaces inventoriés et gérés est comprise entre 0 et 33 % en milieu urbain à l'échelle de la commune, avec une forte hétérogénéité entre les villes. Cette part augmente significativement (à l'exception des villes de Rennes et de Marseille) à l'échelle de l'EPCI et de la "zone urbaine large de l'urban atlas" toute restant supérieure à 40 %.

Au regard de ces recensements établis parmi 12 grandes villes françaises, on note que les sites réglementés et inventoriés sont peu représentés en milieu urbain, en nombre comme en superficie, que se soit à l'échelle de la commune ou à l'échelle d'une zone urbaine élargie.

11.1.2 – Les espèces

La stratégie française de préservation de la biodiversité repose pour la partie législative sur le code de l'environnement (art. L. 411-1 et suivants) et pour la partie réglementaire sur le code rural (art. R. 211-1 et suivants). Cette réglementation intègre la réglementation communautaire (directives et règlements) et internationale (conventions).

Des arrêtés ministériels définissent les listes d'espèces protégées sur l'ensemble du territoire national ainsi que les modalités de leur protection (des arrêtés ministériels complètent ces listes pour la protection d'espèces en régions).

Certaines espèces qui ne bénéficient pas d'une protection intégrale au niveau national peuvent faire l'objet d'une protection intégrale ou partielle au niveau départemental par réglementation préfectorale. La liste de ces espèces est fixée par arrêtés.

Il est difficile de hiérarchiser entre eux les différents dispositifs de protection : une espèce menacée au niveau national, voir mondial peut être très représentée au niveau local (Pipistrelle commune). Certaines espèces sont endémiques et ne figurent pas sur la liste rouge mondiale de l'IUCN (Mélilot de Sicile observé uniquement sur l'archipel du Frioul au large de Marseille), d'autres (essentiellement les espèces végétales) ne bénéficient d'aucun statut de protection et sont pourtant considérées comme patrimoniales pour des raisons symboliques ou culturelles (Pulsatille des montagnes, fleur patrimoniale des Alpes).

Le niveau de patrimonialité d'une espèce constituerait un élément plus pertinent que le degré de protection / réglementation.

Le caractère patrimonial d'une espèce repose sur deux critères :

- *le statut réglementaire : classement en annexe I de la Directive Oiseaux, en annexe II de la directive Habitat, la protection au niveau national (spécifique faune et flore) et la protection au niveau régional (flore). Il est important de préciser que le classement en tant qu'espèces protégées au niveau national pour les oiseaux, mammifères, amphibiens et reptiles n'est pas défini par rapport à un degré de rareté mais seulement vis-à-vis d'un principe interdisant leur destruction.*
- *le statut de rareté qui tient compte de l'état des populations dans un secteur géographique, au niveau de l''Europe, le territoire national, la région ou le département ("en danger", "vulnérable", "en déclin").*

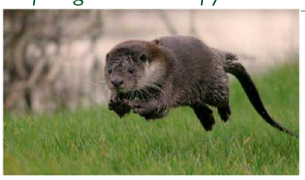
Une espèce présentant un statut réglementaire et un statut de rareté fort (en danger) au niveau local revêt un intérêt patrimonial très fort.

Il n'est pas rare de rencontrer des espèces protégées ou réglementées en ville. Le tableau ci-dessous illustre différents dispositifs mis en place pour les 12 villes citées précédemment (liste des espèces présentes et identifiées non exhaustive).

Tableau 32 :

Différents dispositifs mis en place pour des villes citées précédemment (liste des espèces présentes et identifiées non exhaustive)

Réglementation	Illustration en milieu urbain
Liste rouge mondiale (UICN)	Nantes : Angélique des estuaires *Source : © CBSA /FB Libourne (33) Juillet 2007* 
Liste rouge européenne (UICN)	Bordeaux : Fadet des laîches *Source : INPN* 
Liste rouge UICN nationale (UICN France et MNHN)	Rennes : la Linotte mélodieuse et le Bouvreuil pivoine *Source : LPO / France DUMA* 

Réglementation	Illustration en milieu urbain
CITES	Grenoble : Épipactis à petites feuilles *Source INPN* 
Convention de Berne	Bordeaux : loutre d'Europe *Source : http://garonne-midi-pyrenees.n2000.fr/* 
Directive 92/43/CEE (Annexe II et IV)	Orléans : Barbastelle d'Europe, Murin à oreilles échancrées, Murin de Bechstein et Grand Murin *Source : INPN* Rennes : le Martin pécheur et Alouette lulu 
Liste des espèces protégés au niveau national	Marseille : Myosotis exigü, Phyllodactyle d'Europe Source *INPN* 

Réglementation	Illustration en milieu urbain
Liste des espèces protégés au niveau régional	Marseille : Gaillet nain *Source : http://www.florealpes.com* 

En milieu urbain, même si des associations naturalistes les détiennent comme la Ligue de Protections des Oiseaux, il existe encore parfois peu d'informations directement accessibles concernant les espèces.

Pour combler ces lacunes, se développent des sciences participatives (programmes de recherche dont la collecte de données est assurée par des personnes étrangères au monde scientifique professionnel). Plus de 200 initiatives existent aujourd'hui en France (source : http://www.biodiville.org). Il est à noter que ces initiatives présentent l'avantage d'enrichir la connaissance sur la flore et la faune en milieu urbain, tout en favorisant le lien social et stimulant l'implication de chacun dans la reconnaissance et la préservation d'un patrimoine.

À titre d'exemples, différents projets mis en place par certaines collectivités peuvent être cités :

- le projet « Sauvages de ma rue » : observatoire participatif du programme Vigie-Nature, à la fois projet pédagogique animé par l'association Tela Botanica et projet scientifique du laboratoire CERSP du Museum National d'Histoire Naturelle. Il a pour but de permettre aux citadins de reconnaître les espèces végétales qu'ils croisent quotidiennement dans leur rue et d'envoyer les données grâce à un site Internet dédié. Après avoir démarré en Île-de-France en 2011, ce projet s'est étendu à toutes les villes de France avec des adaptations régionales ;
- la ville de Montpellier incite les citoyens à participer à l'élaboration de son Atlas de la biodiversité en intégrant l'un des réseaux d'observations (en lien avec les observatoires nationaux) afin de rendre rende compte des observations sur la flore, les papillons, les oiseaux, les pollinisateurs, les escargots,…
- le volet « Science participative » du projet Life + Biodiversité « Urbanbees », lancé en 2010 sur le territoire du Grand Lyon. Celui-ci, est basé sur l'observation, la capture et l'identification des abeilles sauvages en ville. Un des objectifs vise

notamment à étudier les relations fleurs-abeilles ;

- le projet « Ma ville - Mes chauves-souris » consiste à installer des réseaux de capteurs ultrasonores à l'échelle de l'agglomération grenobloise pour étudier les populations de chauve-souris en cohabitation avec les urbains. Tous les habitants de l'agglomération peuvent participer. Leur contribution permettra aux chercheurs d'identifier les espèces présentes, l'évolution et l'état des populations, de vérifier comment l'environnement urbain modifie leurs comportements et leur mode de vie, de localiser les zones qui sont à protéger en priorité ou encore si les parcs et les infrastructures dites écologiques jouent bien leur rôle de réservoir pour la biodiversité.

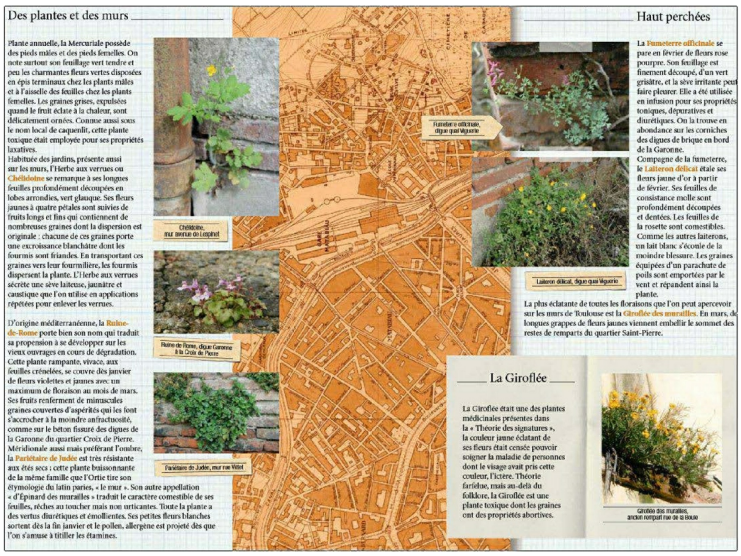
De grandes villes françaises, ou des communautés d'agglomération, ont déjà réalisé des inventaires faune et flore sur l'ensemble de leur territoire ou en partie.

C'est le cas de Bordeaux Métropole qui s'est lancée en 2012 dans le recensement de la faune et de la flore locales, sachant que la moitié du territoire - environ 38 000 ha - est constituée d'espaces naturels ou agricoles. Il s'agissait notamment de procéder au recensement des espèces présentes sur l'agglomération, mais aussi d'identifier les zones sensibles et les espèces à protéger. Près de trois années ont été nécessaires pour réaliser cet inventaire, qui vient compléter le travail effectué à l'échelle de l'Observatoire aquitain de la faune sauvage, de l'Observatoire de la Flore Sud-Atlantique et du portail Faune Aquitaine.

Dans le cadre de sa démarche de préservation et valorisation de la biodiversité, le Grand Lyon a établi, en 2010, un partenariat avec le Conservatoire botanique national du Massif central (CBNMC) et le Jardin botanique de Lyon pour réaliser un inventaire floristique sur son territoire : espaces naturels ou milieux plus ou moins artificialisés (rues, vieux murs, friches, espaces verts). La Communauté urbaine de Lyon détient désormais des connaissances floristiques lui permettant notamment de dresser un état de référence de la flore vasculaire sur le territoire, de définir des espaces à fort enjeux floristiques, de nourrir les études d'impact et d'incidences, d'enrichir les actions d'éducation relative à l'environnement et d'informer un large public. Trois années (2010 à 2012) ont été nécessaires pour inventorier la flore sur les 58 communes qui composent l'agglomération.

L'ouvrage « *Toulouse, la nature au coin de ma rue* » est la partie pédagogique d'un travail d'inventaire scientifique réalisé sur la commune en 2009 à destination des Toulousains.

Illustration 83 : Exemple d'une page de l'ouvrage "Toulouse, la nature au coin de ma rue" (Truptil 2012)



L'ouvrage présente la faune et de la flore sauvage rencontrées majoritairement sur la commune. Des mousses aux plantes à fleurs et des mollusques aux mammifères, richement illustré de photos, cartes et de dessins, ce livre présente les modes de vie, les adaptations et la cohabitation avec les activités urbaines de toutes ces espèces. Il amène également le lecteur à comprendre que la valeur de la biodiversité n'est pas qu'esthétique : chaque espèce fait partie d'un cycle et doit avoir sa place.

11.1.3 – Les labellisations d'espaces et d'espèces en milieux urbains

Il existe de nombreux labels "espaces" et espèces, à caractère associatif, national, international qui permettent d'identifier des sites au caractère exceptionnel du point de vue des paysages ou de leur biodiversité. Ces labels sont présents dans plusieurs villes de France.

11.1.3.1 – La labellisation des espaces

Le label Grand site de France, porté par une association soutenue par le Ministère en charge de l'écologie, est la reconnaissance d'une gestion conforme aux principes du développement durable, conciliant préservation de "l'esprit des lieux", qualité de l'accueil du public, participation des habitants et des partenaires à la vie du Grand

Site. Parmi la quinzaine de sites labellisés (une vingtaine de sites sont en cours de démarche), la montagne Sainte-Victoire, labellisée en 2004 et en 2011 (renouvellement en cours) est située au coeur d'une région urbaine de 1.3 millions d'habitants. Les activités forestières, agricoles ou pastorales ont façonné un paysage typiquement provençal dominé par ce remarquable monument minéral. Une étude réalisée en 2011 sur les avantages économiques liés au Grand Site Sainte-Victoire montre que 92 % des résidents et des visiteurs interrogés adhèrent à cette démarche. 98 % considèrent que la sauvegarde et le maintien de la qualité des paysages contribuent à la valorisation et l'attraction du Pays d'Aix. Ce label constitue un outil de reconnaissance d'un patrimoine exceptionnel.

Le label jardin remarquable est accordé aux parcs et jardins ouverts au public qui présentent un grand intérêt sur le plan de l'histoire, de l'esthétique ou encore de la botanique. Cet intérêt doit se doubler d'un entretien exemplaire, respectueux de l'environnement, ainsi que d'un accueil attentif du visiteur. Un grand nombre de parcs ou jardins, privés ou publics ont reçu ce label. C'est le cas du parc de la Tête d'Or (110 ha) à Lyon qui offre la particularité de présenter trois roseraies (5 hectares, 16 000 rosiers, 450 variétés retraçant l'histoire de la rose à travers une collection sauvage et historique), un jardin botanique (15 000 plantes répertoriées) et un parc zoologique de 2,5 ha (130 animaux différents, certains appartenant à des espèces rares et protégées).

Le label Ecojardin est un outil de communication et de reconnaissance à destination du public, des équipes d'entretien et des élus. Les principes de base du label sont les suivants : un label par site, des audits réalisés par des organismes externes compétents, indépendants et basés sur des grilles d'évaluation communes, l'engagement dans une démarche d'amélioration continue. Le référentiel EcoJardin se veut un véritable outil méthodologique, un guide de bonnes pratiques à destination des jardiniers et des gestionnaires d'espaces verts. Libre d'utilisation dans un objectif d'amélioration des pratiques, il est compatible avec les différentes échelles de territoires et adapté à l'ensemble des typologies d'espaces verts pouvant exister sur le territoire d'une collectivité (http://www.label-ecojardin.fr/referentiel-ecojardin).

Le label « Jardins de Noé » initié en 2009, a pour but de créer un réseau national de jardins dédiés à la biodiversité. Plus de 4091 jardins sont ainsi labellisés en France.

Adhérer aux Jardins de Noé impose d'aménager son jardin en faveur de la biodiversité, d'économiser l'eau, de faire un compost, de limiter l'éclairage de nuit, de planter des espèces locales, d'améliorer le sol naturellement, de choisir des produits phytosanitaires respectueux de la nature. Le Jardin Passager de la Villette (2000m^2) à Paris s'est engagé dans la démarche Jardins de Noé et ce dès le lancement du programme, en 2009. L'idée de mettre en place de manière progressive des gestes écologiques correspondait avec la philosophie d'aménagement de cet espace.

Au travers du label "Arbres d'Avenir". Gestion écologique du patrimoine arboré"®, l'association nationale de protection et de défense des arbres d'ornement (Rêv.E.Patri. Arbo) propose une offre assez large pour accompagner les gestionnaires ou propriétaires d'arbres dans la mise en œuvre d'une gestion écologique et durable. La ville de Pantin a été la première ville de France à obtenir ce label (5000 arbres labellisés).

Concernant les milieux aquatiques en milieu urbain il existe deux labels relativement proches : le label « rivières sauvages » et le label « rivières en bon état ».

Une rivière sauvage est une rivière proche de son état naturel qui, par son caractère, façonne un territoire. Les critères permettant de préciser l'état de la rivière ont été définis par un conseil scientifique ; seules les rivières en excellent état peuvent être labellisées. Ce processus est très récent et de fait une telle labellisation n'existe pas encore en milieu urbain ; il s'avérera rarissime de part les critères exigés.

Le label « Rivière en bon état » a été initié par l'agence de l'eau en association avec les départements, pour rendre visible les progrès obtenus dans la reconquête de la qualité des eaux (Directive cadre sur l'eau de 2000 définissant le principe d'atteinte du bon état des rivières d'ici 2027). En 2015 une cinquantaine de rivières ont été labellisées « Rivières en bon état ». Cette labellisation s'adresse aux structures gestionnaires de rivières : syndicats de rivières, syndicat mixte, établissement public territorial de bassin et dépasse de fait l'échelle de la ville. Ainsi, en Provence Alpes Côte d'Azur, Métropole Nice Côte d'Azur (46 communes adhérentes, 550 000 habitants) a obtenu le label pour la rivière Vésubie.

L'UNESCO catalogue, nomme et conserve les biens d'une grande valeur culturelle ou naturelle pour l'héritage commun de l'humanité. Sur les 41 sites français inscrits au Patrimoine mondial de l'UNESCO, trois le sont uniquement pour leur caractère naturel : le Golf de Porto (11 800 ha), les lagons de Nouvelle-Calédonie et les pitons (1 574 300 ha), cirques et remparts de l'Ile de la Réunion (105 838 ha). Cette

labellisation “naturelle” reste donc très marginale en milieu urbain au niveau national alors que le caractère “patrimonial culturel” est présent dans les cœurs de villes française à l’exemple du Vieux Lyon.

11.1.3.2 – La labellisation “espèces”

Le label « Refuge LPO » offre la possibilité aux collectivités territoriales de mettre en place une démarche exemplaire et reconnue à travers des méthodes de gestion d’espaces verts respectueuses des équilibres écologiques (le Refuge LPO n’a pas de statut juridique reconnu). Au sein de la ville de Bordeaux, dix sites gérés de façon écologique et ayant fait l’objet de diagnostic et de recommandations de gestion par la LPO, ont reçu cette labellisation en décembre 2012 : le Parc Bordelais, le Jardin Public, le Parc Rivière, du Jardin de la Béchade, le square Brascassat, le jardin de la Visitation, le jardin des Dames de la Foi, le Parc Monséjour, le parc des Berges, le parc du Nord et le Parc aux Angéliques.

Le label « refuge à chauve-souris » permet de mettre en avant les actions des particuliers et des collectivités pour les chauves-souris. Qu’il s’agisse d’une propriété publique ou privée, le propriétaire s’engage moralement à respecter des préconisations visant à garantir la conservation d’espaces occupés ou disponibles pour les Chiroptères.

11.1.4 – Les zones humides

11.1.4.1 – Les sites RAMSAR

Signataire de la Convention de Ramsar en 1971, la France a ratifié ce traité en 1986 et s’est alors engagée à préserver les zones humides de son territoire. Aujourd’hui, ce sont quelque 3 554 000 ha qui sont ainsi classés en métropole et en outre-mer (soit une trentaine de sites). La très grande majorité des sites Ramsar français ont été créés sur des aires déjà protégées, en totalité ou en partie, par d’autres statuts (Parc naturel régional, réserve de chasse, sites du Conservatoire du littoral, sites Natura 2000, etc.) ou disposant d’une gestion intégrée. C’est le cas notamment des de St Omer, Vannes, Arles, Saint Dizier.

11.1.4.2 – Grand prix : « zones humides en milieu urbanisé »

L'objectif général de ce Grand Prix lancé en 2011 par le ministère du Développement durable, est ainsi de valoriser des opérations exemplaires de prise en compte des zones humides dans des opérations d'aménagement, dans les politiques urbaines ou d'aménagement et dans des démarches et document de planification (PLU, SCOT).

Le comité de sélection a attribué un Grand Prix et sept prix thématiques. Outre ces lauréats, sept autres projets (nominés) ont été sélectionnés pour faire l'objet d'une valorisation à côté des projets primés. Saint-Jacques-de-la-Lande (Ille-et-Vilaine, 10 309 habitants) a reçu le Grand prix pour son engagement dans l'aménagement d'un parc urbain, d'une superficie de 14 ha. Ce parc est conçu autour d'éléments naturels existants (nombreuses mares, ruisseaux, milieu bocager) et de zones humides artificielles. Ces espaces « zones humides en milieu urbanisé », même s'ils sont très marginaux sur le territoire, sont reconnus par un comité d'experts.

Les labels, portant sur les sites ou sur les espèces, permettent d'identifier des éléments de qualité patrimoniale. Ils sont multiples d'initiative locale à mondiale, et sont décernés de manière très hétérogène sur l'ensemble du territoire français.

11.2 – Le patrimoine naturel urbain perçu par les collectivités et les citoyens

« Le patrimoine et l'environnement ne sont pas des valeurs partageables d'une seule voix par tous » (Gravari-Barbas Maria et Veschambre 2000).

11.2.1 – Le patrimoine naturel : un concept attractif quelquefois transformé en un outil de communication

La notion de « patrimoine naturel » varie comme le démontre la consultation des sites internet de différentes villes de France qui fait apparaître une vision « multiforme » du patrimoine naturel : parcs, jardins, jardinets, forêt, squares, bermes centrales des avenues, allées arborées, potagers, plan d'eau, cours d'eau et berges, sites naturels, espèces protégées, nature « ordinaire ». La notion de patrimoine naturel est associée au paysage, la géographie urbaine et correspond d'une manière générale à ce qui n'est pas bâti et qui est "vert". Il peut ne pas y avoir de distinction entre

patrimoine naturel et nature en ville. L'encart ci-dessous illustre cette vision du patrimoine naturel urbain pour quelques villes françaises.

Zoom

Le patrimoine naturel des villes tel que présenté sur leur site internet

Marseille : « Le patrimoine naturel de la ville de Marseille est unique » De Callelongue, aux allures de bout du monde, aux collines qui entourent la grande ville, en passant par la Corniche dominant la mer et les îles, aucune autre grande ville de France n'offre autant de contrastes. Près de 15 000 hectares du territoire communal sont urbanisés alors que 9 000 hectares demeurent des espaces naturels, souvent totalement inhabités. Ces zones de collines et de garrigues ceinturent la ville du nord-ouest au sud. Le massif des calanques est un territoire riche par la flore et la faune qu'il abrite (900 espèces de plantes).
(Source : http://environnement.marseille.fr/espaces-naturels/espaces-naturels-presentation)

Bordeaux métropole : « Un patrimoine naturel exceptionnel » Coteaux, forêts, vallées, marais, plaines, prairies humides : multiples sont les paysages naturels qui dessinent le territoire de la métropole. Intégrés dans le tissu urbain ou étendus aux abords des villes, ils sont le poumon vert de l'agglomération bordelaise.
(Source : http://www.bordeaux-metropole.fr)

Nantes : « Omniprésence frappante d'un patrimoine naturel d'exception » Les continuités fluviales (…) placent historiquement l'eau comme un élément identitaire du paysage urbain. (…) Nantes Métropole est également verte : plus de vingt parcs et jardins publics ainsi que des jardins ouvriers totalisent près de 3000 hectares d'espaces verts.
(Source : http://www.nantes-developpement.com)

Meaux : Le patrimoine naturel La ville possède des espaces verts en milieu urbain : Parc Chenonceau, jardin Bossuet, jardin des Trinitaires, … En outre, le Conseil National des Villes et Villages fleuris a attribué la distinction 4 fleurs à la Ville de Meaux qui œuvre en faveur d'un patrimoine végétal naturel propice à l'amélioration de la qualité de vie. La boucle de Meaux - Beauval fait partie d'une Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique de type I. 5.6 % du territoire est classé en Zone de Protection Spéciale (Boucles de la Marne) et fait partie du réseau Natura 2000 du même nom (2 641 ha). Le patrimoine naturel de la Ville présente une grande richesse au niveau de la biodiversité, notamment grâce à la Marne.
(Source : http://www.ville-mux.fear/uploads/docs/3.1-Evaluation_environnementale_strategique.pdf)

11.2.2 – *Patrimoine naturel et perceptions sociales des citadins*

11.2.2.1 – La perception de la faune par les citadins

Une enquête sur la connaissance du vivant en milieu urbain (Cormier, Joliet, et Carcaud 2012) fait ressortir que les citoyens perçoivent les espaces publics de nature, principalement comme des espaces d'accueil pour la faune, en particulier pour les oiseaux.

L'étude de (Cormier, Joliet, et Carcaud 2012) montre que lorsqu'on demande aux citadins de citer des espèces présentes en milieux urbains, les insectes, les arachnides ou les reptiles sont rarement mentionnés. Il ne faut pas pour autant réduire le rejet de certaines espèces à ces catégories, le papillon étant mieux perçu que le rat par exemple. **Le rejet d'une espèce est généralement liée à sa représentation sociale plus qu'aux méfaits réels qu'elle engendre.** Une enquête réalisée auprès de 608 montréalais (Décarie 1994) montre que 83 % des personnes interrogées apprécient la présence d'oiseaux et de mammifères sauvages. Parmi les animaux préférés sont cités le moineau domestique (89 %) et l'écureuil gris (79 %). Une personne sur quatre évoquent les dégâts causés par des espèces en ville à proximité de leur résidence. Les deux animaux les plus cités à cet égard sont l'écureuil (27 %) et les moufettes (14 %). L'étude montre également que les personnes qui mentionnent des problèmes avec les animaux sont aussi ceux qui perçoivent plus négativement la faune urbaine dans son ensemble. Nathalie Blanc remarque que « *la perception négative des espèces animales peut être souvent reliées à la prolifération de ces dernières, à leur caractère invasif et ou nocif* » (Blanc 2000).

Parmi les facteurs qui influencent également la perception et la relation des Montréalais à la faune de leur milieu, (Décarie 1993) note « *une corrélation du degré de perception positive avec le degré de scolarité, de connaissances fauniques et de pratiques d'activités de plein air* ».

Certaines espèces, bien que protégées peuvent être mal perçues. C'est le cas à Lorient où le goéland argenté occasionne des nuisances (cris, déjections). Seule la limitation des naissances étant autorisée, une campagne annuelle de stérilisation des œufs (stoppant le développement de l'œuf et empêchant son éclosion) est menée tous les ans depuis 2002. Dès 1993, Brest a été la première ville de France à organiser des opérations de stérilisation des œufs de goélands argentés limitant la population de la ville en deçà du millier de couples. Mais le déplacement permanent des colonies suite à leur incapacité à se reproduire a eu pour effet d'étendre géographiquement l'invasion.

Mais l'analyse ne serait pas complète si l'on oubliait la dimension fonctionnelle de la biodiversité et celle associé à la faune, rarement perçu des citadins. De nombreuses espèces peuvent rendre des services écosystémiques précieux, comme :

- les pollinisateurs des plantes à fleurs (dont il s'agit donc de préserver/restaurer "le gîte et le couvert") et parmi eux l'abeille domestique dont l'élevage (apiculture) peut créer du lien social entre employés d'une société hébergeant 1 ou quelques ruches entretenues par un professionnel,
- les prédateurs et parasitoïdes des phytophages de plantes d'ornement, permettant de ne pas employer d'insecticides,
- les prédateurs de moustiques comme les chiroptères, qui aident à tolérer la présence de zones humides en milieu urbain
- éventuellement des prédateurs de plus grosse taille (faucons) aidant à l'élimination des moineaux et pigeons malades, concourant par là même à la salubrité publique.

11.2.2.2 – La perception de la flore par les citadins

L'étude de (Cormier, Joliet, et Carcaud 2012) démontre que les citoyens interrogés ont peu de connaissance et évoquent peu la richesse floristique. La biodiversité, lorsqu'elle est évoquée, est reliée à la diversité des plantes horticoles dans les espaces verts. **La référence à la flore endémique est rare.**

De manière générale « *les citadins ont des représentations positives* » du végétal en ville (Blanc 2013). Même si son omniprésence dans le paysage urbain le relègue souvent à un simple objet du décor, il n'en est pas moins familier puisque sa disparition ne laisse jamais indifférente et peut même être vécue parfois comme un « traumatisme ». Les citoyens ont une relation affective voir sentimentale avec leur environnement vert, l'attachement peut être très fort notamment vis-à-vis des arbres.

Le constat est nuancé dans le cas des arbres. Une étude réalisée à Grenoble (Tollis 2013) montre que les arbres en ville « *ne font pas consensus* » : ils occupent une place variable (« taille monstrueuse »), peuvent avoir des effets négatifs (assombrissement en hiver, feuilles mortes),… L'enquête réalisée montre également que la mise en valeur des arbres concerne plus « *l'ensemble des arbres compris comme une sorte de stock, dans lequel les éléments sont interchangeables et remplaçables* ». Les citadins s'appropriant peu les arbres, les considérant rarement comme irremplaçables. Leur patrimonialisation semble compromise. Pour C. Tollis,

il conviendrait de reconstruire l'image de l'arbre au regard d'enjeux comme la lutte contre le changement climatique. « *La patrimonialisation apparaît davantage comme un outil qu'une fin en soi* ».

Si la flore est très peu connue de la majorité des citoyens sa présence est appréciée, qu'elle soit protégée ou pas, contrairement aux espèces animales.

En somme, les citadins réagissent différemment à la présence des diverses espèces, animales ou végétales selon les dommages causés : dégradations physiques (toiture), dégradation sensorielle, visuelle/esthétique/olfactive (vue d'un rat, odeur d'une mouffette), les risques sanitaires posés pour la santé (piqûre d'une guêpe, transmission de maladie…). **Améliorer la perception de la notion de patrimoine naturel en milieu urbain passe donc par la sensibilisation, l'information du public qui apparaissent donc indispensables.**

Plusieurs villes ont déjà engagé des démarches en ce sens :

- Bordeaux a développé deux applications sur mobiles. La première, « Bordeaux nos arbres » permet de géolocaliser chacun des 26 000 arbres de l'espace public, d'identifier l'essence, la hauteur, l'âge ou d'accéder à des fiches d'identité de divers sujets remarquables.

Illustration 84 : Photo aérienne des arbres de Bordeaux



Illustration 85 : Zoom sur les arbres du Parc Bordelais



La deuxième application, les QR codes « verts » est destinée aux visiteurs de certains parcs ou espaces verts (le Jardin public, le Jardin des lumières, le Parc Bordelais, le Parc Rivière). Ils peuvent disposer d'informations botaniques directement sur leur mobile et écouter des chants d'oiseaux en photographiant les QR codes.

Illustration 86 : QR Codes à Bordeaux



- La ville de Strasbourg a installé sur deux sites une exposition permanente extérieure « Les oiseaux dans la ville » qui permet d'interpeller et de renseigner le promeneur sur les espèces présentes dans son environnement urbain.

Illustration 87 : Exposition permanente à Strasbourg : "Les oiseaux dans la ville"



II.2.3. La perception sociale des zones humides

Une enquête réalisée auprès d'un échantillon aléatoire d'individus résidant dans la région parisienne (Saïd 2012) montre que l'expression « zone humide » ne fait pas partie du « vocabulaire » des personnes interrogées. Concernant la faune associée à ces espaces, sont évoqués les crapauds, les serpents, les moustiques. Vision en somme relativement répulsive.

Pour les populations résidant dans un site classé zone humide (Brenne, Camargue et Somme), l'expression « zone humide » ne fait pas non plus intuitivement partie du « vocabulaire » des personnes interrogées. Toutefois à la question « *est-ce que le lieu de résidence fait partie des zones humides ?* », la réponse est massivement positive avec comme premier argumentaire (critère décisif), la présence de l'eau. En moyenne, pour plus des deux tiers des personnes enquêtées, les zones humides sont « utiles » mais le nombre d'indécis reste élevé (30 %).

Pour plus de la moitié des personnes interrogées (population d'île de France et population résidant dans un site classé zone humide), les zones humides sont menacées et ne représentent pas une menace : « *ces éléments du patrimoine existent depuis longtemps* ». Près de 80 % des enquêtés sont contre l'assèchement de ces zones, 73 % pour une préservation. Les arguments en faveur de cette préservation sont en premier lieu écologiques (préservation des espèces), puis économiques (favorisent le développement de l'agriculture, du tourisme). Parmi les autres arguments cités en faveur de leur préservation, les zones humides sont

reconnues comme faisant partie des « *traditions et du patrimoine* » des terroirs et plus largement de « *l'authenticité du pays* », ses « *racines* ».

Cette étude tendrait à démontrer – même si elle ne porte pas sur la perception des zones humides présentes en milieu urbain – que ces zones sont peu connues pour leur fonctionnalité, leur utilité, leur faune et leur flore spécifique mais sont reconnues pour leur intérêt écologique, économique, patrimonial ludique et esthétique. Compte tenu de l'intérêt écologique des zones humides en milieu urbain, des efforts sur la sensibilisation et les engagements citoyens sont à développer, car il n'y a pas consensus sur leur perception. Générer l'engagement citoyen semble le meilleur moyen de préserver ces espaces d'intérêt écologique en contexte urbain.

11.3 – Vers une caractérisation du patrimoine naturel

Au regard de la vision et de son appropriation par les collectivités, les citoyens, le patrimoine naturel ne peut être considéré uniquement qu'au travers des dispositifs de protection (que se soit pour les espaces ou pour les espèces) car deux notions définissant le patrimoine naturel - bien commun et appropriation - ne sont pas considérées au travers de ces dispositifs et parce que ces espaces sont peu représentés en milieu urbain. Pour les espèces, la non connaissance de leur répartition en ville constituerait le facteur limitant, les inventaires faune et flore en milieu urbain et les sciences participatives ne se développant que depuis peu.

11.3.1 – Les espaces

Entre valeur patrimoniale et notion de rareté, comment caractériser ce patrimoine naturel en zone urbaine ?

Une étude sur la perception des usagers et des valeurs attribuées aux espaces urbains a introduit la notion de rareté (Launay 2014). Une enquête a été réalisée auprès des usagers dans les espaces verts de plusieurs villes de la région Centre. L'objectif étant de cerner la perception des espaces verts, classés en plusieurs catégories : parc historique, parc de quartier, grand espace vert, bois et espaces semi-naturels, jardins familiaux.

56,2 % des personnes interrogées définissent la nature par la flore, 32 % par la faune. Les éléments qui composent la flore sont principalement les arbres (27 %), ou bien « la végétation » de manière générale (26 %).

L'étude montre également que si la nature a une valeur intrinsèque pour son existence, toutes les espèces n'ont pas la même valeur. Certaines ont une valeur patrimoniale du fait de leur appartenance à un territoire ou de leur rareté. La présence de ce type d'espèces dans un espace vert, lorsque les usagers ont conscience de cette rareté, augmente la valeur patrimoniale de l'espace vert. Cette valeur a été observée principalement dans deux types d'espaces verts : le parc historique d'Orléans et dans les jardins familiaux où les fruits, légumes et fleurs ont d'autant plus de valeur si ce sont des variétés anciennes et/ou rares dans le commerce ou s'ils viennent d'un autre pays.

La valeur patrimoniale serait liée à la notion de rareté : comment alors évaluer cette rareté ? Deux tiers des personnes interrogées affirment que l'espace vert considéré participe à l'identité de la ville et de ses habitants. Il participe en plusieurs points à l'identité collective : par sa localisation en ville (62 %), son histoire (29 %), ses caractéristiques propres (18 %).

Valeur patrimoniale et valeur d'appartenance : un espace vert, identifié par les citoyens comme faisant partie du patrimoine de la ville, renforce le sentiment d'appartenance à cette ville. Les sites et parc emblématiques des villes seraient donc des éléments constitutifs du patrimoine naturel urbain.

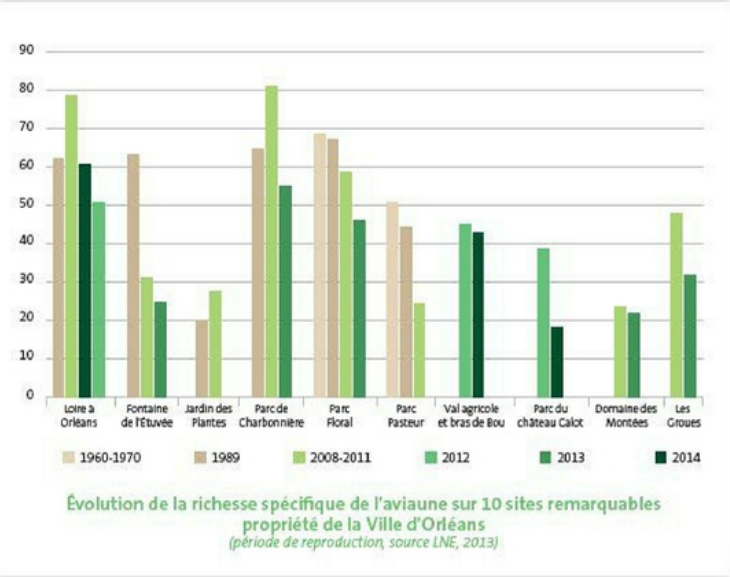
En somme, la notion de patrimoine naturel pour les habitants semble très extensive. Pour sa composante espace, elle inclurait :

- les espaces verts urbains, ouverts au public, peu étendus (1000 m^2 à 20 000 m^2), agrémentés d'arbres et de pelouses, clos par une grille ou une haie (square) ;
- les espaces verts urbains ou périurbains, ouverts au public, clos ou non, de grande dimension (2 ha à 3000 ha), comprenant des pelouses, des arbres d'ornement, des massifs boisés. Entrent dans cette catégorie les parcs avec leur mobilier ;
- les jardins familiaux ;
- les espaces labellisés, protégés lorsqu'ils sont présents sur le territoire considéré.
- l'espace vert urbain, enclos libre d'accès, conçu et géré comme un équipement public en serait exclu (stade, « pied d'immeuble »).

11.3.2 – Les espèces

Compte tenu de la régression actuelle de la biodiversité, de l'expansion d'espèces invasives, la notion d'espèce commune, ordinaire devient importante et doit être prise en compte dans l'évaluation du patrimoine naturel. Certaines villes ont ainsi considéré ces espèces ordinaires comme des éléments de référence. c'est le cas de la ville d'Orléans, qui a choisi de considérer l'évolution des populations des oiseaux communs comme indicateur de biodiversité.

Illustration 88 : Evolution de la richesse spécifique de l'avifaune sur 10 sites remarquables propriété de la ville d'Orléans
Source (Ville d'Orléans 2014)



À Nantes, dans le Jardin des plantes (labellisé Jardin Remarquable), les oiseaux protégés et communs ont été recensés, semaine après semaine de 1993 à 2002. Soixante-neuf espèces nicheuses, migratrices, hivernantes ont été ainsi observées, soit visuellement, soit par l'écoute. « *Ce travail représente un témoignage de ce qui s'est passé pendant dix ans dans l'enceinte du jardin des plantes. (…) Dans cet espace de verdure apparemment fixe, tout participe d'un mouvement parfois imperceptible à nos oreilles et pour nos yeux d'êtres humains mais sachons apprécier cette diversité pour pouvoir la transmettre aux générations futures* ».

La spécificité du milieu urbain peut amener à considérer quatre catégories d'espèces afin de ne pas se limiter aux seules espèces protégées / réglementées et ainsi s'astreindre de tous dispositifs de protection :

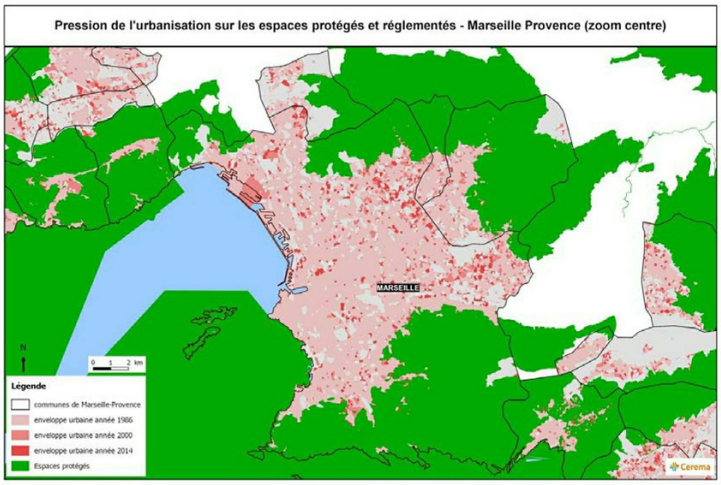
- (a) des espèces opportunistes (pigeons, rat) qui s'adaptent, qui sont capables d'utiliser les ressources offertes par le milieu urbain mais dont la pullulation pose des problèmes de santé et nécessite d'être régulée ;
- (b) des espèces invasives (Jussie, coccinelle asiatique, frelon asiatique) qui se développent sur la niche écologique d'une autre espèce en la supprimant ;
- (c) des espèces résiduelles (pétunias, lichens) pouvant difficilement se maintenir ou s'installer car sensibles à la pollution ambiante notamment ;
- (d) des espèces tolérantes (la mésange charbonnière), familières des espaces verts et des jardins.

Le suivi d'un écosystème peut être limité au suivi du nombre d'individus d'une seule espèce représentative (espèce « parapluie »). C'est le cas du hérisson pour l'agglomération nantaise. Ainsi pourrait-on proposer à chaque collectivité, en concertation avec les citoyens, les écologues, de déterminer les espèces les plus symboliques, emblématiques sur son territoire.

11.4 – Les espaces patrimoniaux urbains et périurbains sont-ils menacés face à la pression de l'urbanisation ?

Afin d'illustrer si les espaces réglementés et inventoriés, gérés, présents en milieu urbain et péri-urbain sont menacés par l'extension de l'urbanisation, les cartes ci-dessous représentent l'évolution de l'enveloppe urbaine au regard des différents espaces de nature réglementés et protégés. Trois pas de temps (en rose clair 1986, en rose 2000 et en rouge 2014) ont été considérées pour la métropole de Marseille Provence. L'enveloppe urbaine est définie comme l'aire délimitant l'ensemble de parcelles construites à une date donnée. Cette enveloppe urbaine constitue une référence spatiale permettant de localiser une limite des constructions selon différents critères de conception. L'enveloppe urbaine sert de référentiel pour contribuer à l'évaluation de la consommation de l'espace dans les documents d'urbanisme.

Illustration 89 : Marseille Provence - zoom centre



Malgré un forte expansion de l'urbanisation, les espaces réglementés et protégés, de cet exemple sont préservés de la pression urbaine car non consommés par l'urbanisation entre 2000 et 2014. L'exercice n'ayant pas été conduit sur l'ensemble des villes, l'on se gardera de généraliser. Cela tendrait à montrer ici que l'indicateur de l'évolution des surfaces des espaces protégés ou réglementées n'est pas suffisant et pertinent pour suivre le patrimoine naturel urbain. Le récent parc national des Calanques, espace protégé marseillais, oppose une protection forte à l'extension urbaine. En France, c'est un cas relativement isolé d'émergence d'espaces protégés aux abords des villes pour se prémunir des risques d'extension urbaines sur des espaces à enjeux patrimoniaux, et y réguler la fréquentation.

11.5 – La préservation du patrimoine naturel : réalité ou utopie ?

Les espaces de nature constituant le patrimoine naturel sont le plus souvent des espaces de petites dimensions en cœur de ville. Ils sont fragilisés par la rupture de l'équilibre naturel sous la pression urbaine. L'action humaine peut intervenir pour compenser, aider, voir réguler cette nature par la création d'une nature différente de l'originale mais reconnue pour sa qualité (biodiversité artificielle). En périphérie des villes, ce sont des espaces naturels ou forestiers de plus grande taille qui pourraient mériter une préservation au titre de la biodiversité compte tenu de pressions subies ou potentielles. Des villes étrangères comme Le Cap, et des villes

du nord de l'Europe présentent des espaces sous protection institutionnelle à leurs abords, ceux-ci contribuent à protéger, c'est leur rôle premier mais aussi à incarner les valeurs de la biodiversité et à sensibiliser le public urbain et périurbain.

Les espaces de nature en ville sont des espaces multi-fonctionnels aux qualités diverses : préservation de la diversité biologique, structuration des espaces, définition d'un paysage urbain et embellissement, support d'activités récréatives (promenade, lecture, jogging, etc), amélioration de la santé et du bien-être, espaces patrimoniaux naturels et culturels. Ces fonctions ne doivent pas pour autant masquer certains éléments moins qualitatifs.

Une vision simpliste de la nature consiste à considérer sa composante « verte » comme un objet, verdoyant. Cependant cet objet a sa dynamique propre qu'il convient de prendre en considération. Ainsi par exemple, la puissance des racines des arbres peut déstabiliser des revêtements de sols. La végétation, en particulier les arbres, en captant l'eau des sols, participe à la dessiccation des sols. La chute de branches peut représenter un danger pour les citadins. Les composants du monde vivant (arbres, végétaux) ne doivent donc pas être considérés comme des objets à la disposition de l'être humain, et observés uniquement pour leur esthétique. Leur évolution comme tout individu vivant est à prendre en considération.

Si l'effet bénéfique et apaisant des jardins est généralement reconnu, le manque d'entretien des espaces verts ou une gestion différenciée peut parfois amener un sentiment d'insécurité. Plusieurs espèces évoluant en milieu urbain peuvent nuire à la santé humaine : le virus de la grippe aviaire transmis par des oiseaux, celui du chikungunya véhiculé par des moustiques, les puces de certains rongeurs transmettent parfois le typhus murin. Du côté des végétaux, le pollen (ambroisie, diverses graminées, cyprès, bouleau) entraîne parfois des manifestations allergiques (rhinite, conjonctivite, asthme). La pollution augmente la sensibilité de l'homme aux allergies et le stress des plantes qui, en réaction, produisent davantage de pollen. Ce sont ces aspects appelés contraintes dans le cadre conceptuel de l'EFESE qui seront développés au chapitre 12.

11.6 – Synthèse

Le patrimoine naturel est légué aux « générations futures » ; les citoyens actuels ne sont pas propriétaires de ces ressources et de ce patrimoine, ils n'en ont que l'usufruit. Une gestion relevant des collectivités est indispensable afin de conserver qualités de vie et possibilités de développement à ces générations futures. Avec l'urbanisation toujours très active, la préservation des espaces aux alentours de la ville est un enjeu pertinent.

La préservation du patrimoine naturel en zone urbaine n'est pas une utopie. Comme le souligne P. Clergeau (Clergeau 2008), « *les services rendus par ces espaces peuvent justifier presque à eux seuls de façon très concrète l'intérêt de préserver la nature en ville* ».

La sensibilisation environnementale de la population est indispensable pour agir sur le long terme en complément des actions de conservation et de protection du patrimoine naturel urbain. L'engagement environnemental des citoyens via les inventaires participatifs est également important.

CHAPITRE 12

Contraintes

Les bénéfices de la présence de la nature en ville sont nombreux et touchent notamment les différentes dimensions de la notion de « santé » : physique, mentale et sociale. Cependant, la présence – ou la prolifération – d'espèces animales ou végétales peut également occasionner des **contraintes** et engendrer des risques pour les populations humaines (Nicolas Maughan 2010). Le phénomène est lié à **l'augmentation des contacts entre citadins et faune et flore sauvages** au niveau des espaces plus naturels urbains et périurbains (*Ibid.*). Les contraintes peuvent être :

- **sanitaires** avec des atteintes plus ou moins sévères à la santé humaine.
- À l'origine de **dégradations** sur les matériaux, bâtiments, revêtements, biens publics ou privés…
- de **confort** pouvant nuire au bien-être des citadins

Par extension, ces différentes contraintes ont un **impact économique :** arrêts maladies, baisse de productivité, dépenses de santé, coûts supplémentaires d'entretien, de gestion et/ou de réparation.

Les contraintes ne sont pas inhérentes à l'écosystème urbain mais **leur prévalence est plus importante qu'en milieu rural**. En effet les spécificités de l'écosystème urbain augmentent la prééminence de ces contraintes du fait de **facteurs multiplicateurs** qui peuvent être regroupés en trois grands ensembles :

- **Les caractéristiques de l'écosystème urbain :** forte densité, imperméabilisation des sols, déséquilibre trophique, pollution, disponibilité alimentaire, îlot de chaleur… favorisent la présence et le développement d'espèces spécifiques et/ou augmente leur pouvoir potentiel de nuisance,
- **L'écologie des espèces à l'origine de ces contraintes :** envahissantes, allergènes, avec souvent un taux d'accroissement élevé et une forte capacité d'adaptation,

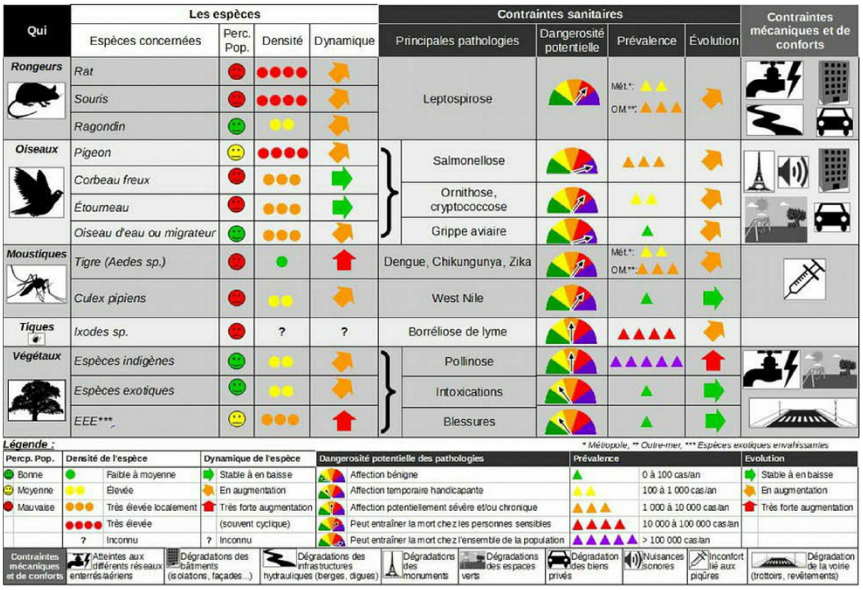
- Enfin **certaines pratiques publiques ou privées** tendent à favoriser le développement de ces contraintes : essences plantées dans les projets urbains, choix architecturaux, modalités de gestion des espaces verts, nourrissage volontaire et involontaire des espèces sauvages, défaut d'entretien, baignade dans les espaces en eau urbain…

La plupart de ces contraintes sont aujourd'hui bien identifiées et leurs origines connues.

12.1 – Principales contraintes

Le tableau des principales contraintes liées à la présence d'espèces animales et végétales en ville est présentée page suivante. Il vise à regrouper les principales contraintes liées à la présence d'**espèces animales et végétales en milieu urbain.** Les données sur les contraintes sanitaires concernent l'ensemble du territoire métropolitain ainsi que les collectivités d'Outre-mer (lorsque cela est pertinent), alors que les éléments sur les espèces sont indicatifs et s'appliquent aux villes. De plus la liste des différentes pathologies présentées dans le tableau n'est pas exhaustive, elle présente celles dont la prévalence et/ou la dangerosité pour la santé est la plus importante (les ordres de grandeur concernant la prévalence des différentes pathologies sont issues de l'INVS et de l'Institut Pasteur).

Illustration 90 : Principales contraintes liées à la présence d'espèces animales et végétales



12.2 – Contraintes sanitaires

Ne sont présentées ci-dessous que les contraintes sanitaires dont la dynamique est en augmentation (flèche orange ou rouge du tableau des contraintes).

12.2.1 – La pollinose contrainte sanitaire majeure d'origine végétale

Certaines espèces, indigènes ou exotiques, plantées à des fin ornementales sont productrices **de pollens a fort pouvoir allergisant**. Il s'agit d'espèces appréciées des paysagistes et des gestionnaires d'espaces verts du fait de leur rapidité de développement, de la facilité d'entretien et/ou de leur qualité esthétique ou culturelle : Bouleau, Platane, Cyprès.

Le cas de l'Ambroisie (*Ambrosia artemisiifolia*) est à souligner. Cette espèce exotique envahissante est la seule produisant un pollen à **fort potentiel allergisant** dont la concentration dans l'atmosphère pourraient **quadrupler en Europe d'ici 2050** (*CNRS, 2015 :* http://www2.cnrs.fr/presse/communique/4057.htm). Elle s'installe préférentiellement **dans les zones perturbées et/ou remaniées** (travaux de voiries, constructions diverses, etc). Elle est ainsi bien adaptée aux milieux anthropisés et l'écosystème

urbain constitue un milieu privilégié pour de nouvelles colonisations. Ce type d'allergie, appelée **pollinose**, constitue une contrainte sanitaire due aux végétaux dont la prévalence est la plus élevée dans la population et dont la dynamique est en constante augmentation.

Zoom

La pollinose

C'est quoi ?

L'allergie est une réaction anormale de l'organisme face à des allergènes qui pénètrent dans le corps par voie respiratoire, alimentaire ou cutanée. Le pollen pénètre par les voies respiratoires et on parle alors **de pollinose**, avec différents types de manifestation : rhinites, conjonctivites, trachéites, urticaires et des crises d'asthme parfois graves et invalidantes. C'est une maladie chronique de nature à induire une dégradation de la qualité de vie.

Prévalence dans la population française

Les diverses pathologies liées aux allergies touchent 10 à 20 % de la population (RNSA 2014) et sont en augmentation depuis quelques décennies notamment **la pollinose** (ANSES 2014). L'OMS prévoit qu'une personne sur deux dans le monde sera allergique en 2050 et classe l'allergie comme 4ème maladie mondiale. Les allergies respiratoires sont au premier rang des maladies chroniques de l'enfant. Les estimations sont complexes mais il est fait mention, en France, d'un **triplement de la prévalence des allergies au pollen en 25 ans** (*Le quotidien du médecin.fr, 2015*).

Pollinose et écosystème urbain

La pollution atmosphérique, très présente en ville, tend à augmenter le pouvoir allergisant des grains de pollens (ANSES 2014) et le réchauffement climatique semble participer à l'allongement de la durée de la saison pollinique (ANSES 2014). Ainsi les personnes allergiques habitant en milieu urbain, voient augmenter le potentiel allergisant des différents pollens ainsi que la période durant laquelle ils y sont exposés.

Origines des pollens

Les pollens concernés appartiennent à **certaines essences d'arbres, arbustes et de plantes herbacées bien identifiées** (bouleau, cyprès, noisetier, ambroisie, graminées…) présentes, notamment, dans les parcs et jardins urbains.

La nature des grains de pollens croisée à la quantité de pollen émise dans l'air est déterminante pour définir le potentiel allergisant d'une espèce végétale. Les espèces anémophiles (celles dont le pollen est transporté par le vent) produisent beaucoup plus de grains de pollen que les autres.

Origine de la présence de ces espèces dans l'écosystème urbain

Indigènes ou exotiques, spontanées ou plantées, l'origine de leur implantation dans l'écosystème urbain est donc parfois inhérent aux choix des aménagements paysagers et aux modalités et/ou à l'absence de gestion des espaces publics ou privés.

L'ambroisie et les coûts de santé

Le cas de l'ambroisie (EEE) est à souligner, les coûts de santé, en région Rhône-Alpes, liés à l'ambroisie, sont passés de 8,6 millions d' € en 2008 à plus de **20 millions d' € en 2011** et, sur la même période, le nombre de personnes allergiques a augmenté de près de **60 %** (*ARS Rhône-Alpes, 2012*).

En dehors des pollinoses, les espèces végétales peuvent être à l'origine d'intoxications (baies), de blessures plus ou moins légères ou d'allergie.

Ces cas peuvent être graves mais restent. Elles sont dues à des plantes toxiques, coupantes, piquantes ou photosensibles plantées volontairement à des fins ornementales ou arrivées de manière spontanées comme le Laurier rose (*Nerium oleander*), le Ricin (*Ricinus communis*), Les accidents sont dus à une consommation fortuite (notamment par les enfants) ou volontaire dans un but narcotique ou d'automédication (datura, If…) aux effets toxicologiques potentiellement graves.

12.2.2 – Contraintes sanitaires d'origine animale

Les maladies infectieuses tuent 14 millions de personnes par an et 90 % des agents pathogènes actuellement recensés étaient inconnus dans la décennie 1980. Selon l'Organisation mondiale de la santé animale (*OIE*), 60 % des 1400 agents pathogènes humains sont d'origine animale et 75 % des maladies animales émergentes peuvent contaminer l'homme. Les **« zoonoses »** sont des maladies qui se transmettent naturellement des animaux vertébrés à l'homme et vice-versa (définition de l'OMS en 1959).

En France, parmi les animaux susceptibles de poser des problèmes sanitaires en milieu urbain citons les pigeons, les rats, les ragondins, les tiques, les moustiques, les renards, les animaux domestiques errants, etc.

12.2.2.1 – La leptospirose véhiculée par les rongeurs

Par leurs urines ou par des morsures, les rongeurs et notamment les **rats** mais également les **souris** et les **ragondins** peuvent transmettre à l'homme la leptospirose, maladie infectieuse d'origine bactérienne. Les animaux errants (chiens…) sont également des vecteurs de cette maladie. Les personnes au contact d'animaux susceptibles d'être porteurs du germe, ou qui sont en contact avec de l'eau ou des lieux humides, pouvant être souillés par les déjections de ces animaux sont des populations à risque. On a recensé 628 cas en 2014 (*INVS, 2015 :* http://invs.santepubliquefrance.fr/Publications-et-outils/Bulletin-de-veille-sanitaire).

Les cas mortels représentent 5 à 20 % des contaminations (*Institut Pasteur, 2013 :* https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/leptospirose). Cette affection d'origine tropicale a une incidence de 10 à 50 fois plus élevée dans les collectivités ultramarines et reste marginale

en France métropolitaine malgré une augmentation récente (Bourhy 2017).

Les ragondins et les rats musqués sont des espèces exotiques envahissantes, porteuses de la bactérie et qui sont exclusivement inféodées aux milieux humides. Ils peuvent coloniser rapidement les espaces en eau urbain. La réhabilitation des cours d'eau en ville, notamment dans le cadre de la Trame Verte et Bleue (TVB), peut potentiellement offrir un habitat très propice à ces espèces vectrices de la leptospirose (Morand, Moutou, et Richomme 2014).

Zoom

Coût de gestion du rat à Paris

En 2017 la mairie de Paris consacre 1,5 millions d'euros à l'élimination des rats et 22 millions d'euros à l'achat de nouveaux engins de nettoyages (JDD 2017). Cependant si la dératisation est dans certains espaces indispensables (écoles, cuisines…), elle reste temporaire et souvent peu efficace. Les capacités d'adaptation exceptionnelle de cette espèce rendent les dispositifs d'éradication rapidement obsolètes. La densité de population de rat est corrélée à la capacité du milieu, en d'autre termes il faut rendre moins accueillant l'écosystème urbain pour le rat, ce qui nécessite des investissements à long terme et une meilleure connaissance de l'espèce, éliminerait à Paris entre 30 et 34 000 tonnes de déchets organiques par ans

(Le Figaro 2016) contribuant grandement à éviter aux canalisations de se boucher.

12.2.2.2 – Les oiseaux

Ils peuvent transmettre certains germes à l'homme, à l'origine de diverses pathologies : salmonellose, chlamydiose, toxoplasmose, ornithose (quelque 10^{aines} cas/an) ou bien encore des mycoses profondes comme la cryptococcose (100^{aine} cas/an) via contact avec leurs déjections. Le risque de contraction de ces maladies reste modéré et les conséquences souvent bénignes mis à part pour les personnes sensibles ou immunodéprimées. Les espèces les plus présentes en ville, et donc susceptible de véhiculer ces maladies, sont les pigeons, les corbeaux freux ainsi que les étourneaux en période d'hivernage.

La grippe aviaire est une infection provoquée par des virus grippaux de type A et touche les oiseaux domestiques et sauvages. La présence d'oiseaux d'eaux, comme les différentes espèces de canards nicheurs et les oiseaux d'eaux migrateurs dans les pièces d'eau de l'écosystème urbain ajoute un risque de diffusion de la grippe

aviaire. Leur présence, appréciée des riverains, qui viennent les nourrir régulièrement, fixe les populations sur le site et favorise leur développement augmentant le risque de contamination via les espèces migratrices de passages et la potentielle transmission d'une souche du virus transmissible à l'homme.

Illustration 91 : Ragondins et canards colvert sur le bassin Jacques Cœur en plein centre de Montpellier (Cécile TETREL, Cerema).



12.2.2.3 – Les moustiques et les tiques

Le chapitre 10 de la partie 3 des *« Biens et services écosystémiques produits par les milieux humides »* précise les contraintes liées aux moustiques et les différentes modalités de gestion de cette contrainte. On peut ajouter que les caractéristiques de l'écosystème urbain et l'écologie du **Moustique Tigre** (*Aedes albopictus et aegypti*) notamment, font de l'espace urbain un milieu favorable au développement de l'espèce, vecteur d'**arbovirus** (Dengue, chikungunya, Zika) aux conséquences sanitaires potentiellement graves. En effet, ses gîtes de reproduction sont majoritairement anthropiques et nécessitent un très faible volume d'eau pour la ponte et le développement des larves (dessous de pots de fleur, dépression dans une bâche…), le plus souvent en milieu urbain ou périurbain, au sein des domiciles privés (cours, jardins, balcons…). En 2017 se sont 4 cas de chikungunya, 132 cas de dengue et 15 cas d'infection à virus Zika qui ont été confirmés en France métropolitaine (*INVS, 2017* : http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-transmission-vectorielle/Chikungunya/Donnees-epidemiologiques/France-metropolitaine/Chikungunya-dengue-et-zika-Donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-France-metropolitaine-en-2017).

Si ces chiffres restent faibles, la prévalence de ces maladies infectieuses, dans

les départements et régions d'outre-mer, est beaucoup plus importante avec, par exemple, 117 000 cas de Chikungunya lors de l'épidémie de 2014 (INVS 2014).

Les **tiques** du genre *Ixodes* peuvent transmettre à l'homme la maladie de Lyme, due à des bactéries (*Borrelia burgdorferi*). En France, la borréliose de Lyme n'est pas une maladie à déclaration obligatoire. Il est donc difficile de connaître sa fréquence réelle. Elle toucherait, chaque année, environ 30 000 personnes (*Réseau sentinelles*). **Les forêts urbaines et périurbaines sont les milieux les plus propices à cette infection**. Les tiques sont véhiculées par un grand nombre de mammifères et d'oiseaux sauvages ou domestiques. Leur présence dans l'écosystème urbain est donc dépendante de la présence de zones boisées dans et en périphérie des villes et des échanges ou séjours qu'effectue la faune urbaine, sauvage ou domestique dans ces milieux. L'Écureuil de Corée (*Tamias sibiricus*), très présent dans les forêts péri-urbaines et les parcs du bassin parisien et de Picardie (populations de plusieurs dizaines de millier d'individus), est un excellent réservoir de la bactérie responsable de la Maladie de Lyme. Il pourrait être responsable de l'augmentation du taux d'infection des tiques et, par extension, du risque de transmission à l'homme dans les zones urbaines ou péri-urbaine (Quéré et Le Louarn 2011).

12.3 – Contraintes de confort

Ces contraintes sont potentiellement à l'origine d'une baisse du bien-être des citadins : insomnies, stress, inconfort physique. Elles sont principalement dues, dans l'écosystème urbain, aux oiseaux et aux moustiques, à des périodes données.

En plus de la potentielle transmission des germes précédemment cités mais avec un risque moindre du fait de la moins grande promiscuité de cette espèce avec l'homme, les corbeaux freux peuvent être à l'origine de nuisances sonores du fait de leur regroupement en période de nidification en colonie. La concentration des individus en un même lieu provoque dispute et communication pouvant occasionner une gêne pour les citadins.

En période d'hivernage les étourneaux se regroupent parfois en groupe de plusieurs milliers d'individus. Ils se nourrissent en zones agricoles périurbaines et passent la nuit en colonie sur les arbres des villes où ils trouvent des espaces à l'abri des intempéries et du vent. Les nuisances sonores peuvent dès lors être importantes, couplées aux nombreuses déjections produites sur la voirie, les voitures ou le mobilier urbain.

Les espèces de moustique du genre Aedes (Tigre) et Culex pipiens (« domestique »), bien adaptées à l'écosystème urbain, sont à l'origine de piqûres provoquant parfois une réaction inflammatoire et de fortes démangeaisons. Leur prolifération en milieu urbain est inhérente à la présence de gîte larvaire. Ces contraintes sont potentiellement à l'origine d'une baisse du bien-être des citadins : insomnies, stress, inconfort physique. Elles sont principalement dues, dans l'écosystème urbain, aux oiseaux et aux moustiques, à des périodes données.

En plus de la potentielle transmission des germes précédemment cités mais avec un risque moindre du fait de la moins grande promiscuité de cette espèce avec l'homme, les corbeaux freux peuvent être à l'origine de nuisances sonores du fait de leur regroupement en période de nidification en colonie. La concentration des individus en un même lieu provoque dispute et communication pouvant occasionner une gêne pour les citadins.

En période d'hivernage les étourneaux se regroupent parfois en groupe de plusieurs milliers d'individus. Ils se nourrissent en zones agricoles périurbaines et passent la nuit en colonie sur les arbres des villes où ils trouvent des espaces à l'abri des intempéries et du vent. Les nuisances sonores peuvent dès lors être importantes, couplées aux nombreuses déjections produites sur la voirie, les voitures ou le mobilier urbain.

Les espèces de moustique du genre Aedes (Tigre) et Culex pipiens (« domestique »), bien adaptées à l'écosystème urbain, sont à l'origine de piqûres provoquant parfois une réaction inflammatoire et de fortes démangeaisons. Leur prolifération en milieu urbain est inhérente à la présence de gîte larvaire.

12.3.1 – Contraintes mécaniques sur les biens matériels publics ou privés

La faune et la flore peuvent être à l'origine de la détérioration de bâtiments, d'aménagements ou de biens publics ou privés. Le tableau page suivante présente les principales contraintes de dégradation des biens matériels par espèces ou groupes d'espèces. Les coûts ont été estimés sur la base des coûts de réparation et/ou de restauration du type d'infrastructure ou de biens détériorés. En l'absence de chiffre, la fréquence des détériorations est estimée sur la base de la présence plus ou moins forte des espèces considérées en milieu urbain.

Illustration 92 : Origines et localisation des contraintes mécaniques



*Légende : « **- fondations** » : Localisation des dégradations*

12.3.2 – Contraintes mécaniques les plus fréquentes

Ne seront présentés que les contraintes apparaissant les plus fréquentes et celles dont le coût de gestion, de réparation sont les plus élevés.

12.3.2.1 – Dégradations des bâtiments

La détérioration des façades des bâtiments par les oiseaux est fréquente en milieu urbain. Acides, les déjections, notamment celles des pigeons (espèce la plus présente en ville), peuvent attaquer les pierres calcaires des bâtiments. Même si c**et effet peut paraître marginal face aux effets de la pollution atmosphérique sur les édifices** (*Broussois, 2005*)**,** l'aspect inesthétique engendré et les risques sanitaires nécessitent un nettoyage fréquent aux coûts élevés.

Zoom

La gestion du pigeon

Pourquoi

Les fientes de pigeon sont à l'origine de souillure des façades des bâtiments, combles, carrosseries de voiture, mobilier urbain. Avec une production annuelle de fiente d'environ 12kg/pigeon, Paris, par exemple, avec ces 80 000 pigeons (estimation basse) recevrait, annuellement, 960 tonnes de fientes de pigeon. Le pigeon ayant un statut juridique flou (il n'est ni un animal domestique ni un animal sauvage) et les colombophiles nombreux, la gestion des populations de pigeon est plus délicate que celle mise en place contre les espèces dites « nuisibles » comme le rat (*Sorel, 2009*). La lutte consiste ici à éloigner les pigeons des espaces où leur présence est problématique.

Comment

Pour empêcher l'accumulation des fientes de pigeon plusieurs techniques existent :

- **Prévention :** rendre inaccessible les différents espaces situés sur et à l'intérieur des bâtiments pour éviter que les pigeons nichent ou se perche (filets, pics, systèmes électriques…)
- **Fixer les pigeons dans des endroits définis** pour limiter les naissances et concentrer une partie des contraintes dans un espace prédéfinis.
- **Favoriser et/ou utiliser ses prédateurs naturels** pour disperser les populations et éviter les concentrations de population en réinstallant une pression de prédation avec des effets sur la dynamique de la population

Les coûts des dispositifs de prévention

Les coûts des dispositifs préventifs anti-pigeon comme les produits répulsifs, dispositif d'effarouchement, les systèmes électriques ou à ultrasons varient de 10 € le mètre linéaire à plus de 15 000 € l'installation pour les grands édifices ou les monuments.

Coût de nettoyage

Le nettoyage a posteriori des façades des bâtiments a un coût situé entre 5 et 50 €/m^2 selon la localisation du bâtiment, la hauteur, l'accessibilité, la technique employée et le type de revêtement (www.travaux.com). Ces opérations de nettoyage peuvent être récurrentes dans certaines grandes villes

Fixer les pigeons dans des espaces dédiés : les pigeonniers

La mise en place de pigeonnier contraceptif, qui peut attirer entre 10 et 300 pigeons, pour concentrer les pigeons dans des espaces définis afin de contrôler les naissances est une des expérimentations mise en place dont les résultats semblent encourageant (*Naturparif, 2011*). Ce type de pigeonnier coûte 25 000 € auxquels s'ajoute 5000 € d'entretien.

Favoriser son prédateur naturel,

Le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), avec la mise en place de nichoirs adaptés, et sous réserve de son installation, semble disperser les populations diminuant ainsi leur concentration sur certains édifices. À défaut de l'installation naturelle de Faucon, l'appel à un fauconnier peut être envisagé mais avec un coût beaucoup plus élevé. Il est à noter que ces actions provoquent une levée de bouclier des colombophiles ainsi que de certaines associations.

Les rongeurs peuvent être à l'origine de dégradation des réseaux électriques et provoquer des court-circuits, en rongeant les câbles, potentiellement à l'origine d'incendie. Ils peuvent également détériorer l'isolation des bâtiments par leur galerie. Ce phénomène est cependant difficile à estimer (fréquence et coût associé).

Les termites, certains insectes xylophages ainsi que les champignons lignivores comme la mérule peuvent fragiliser jusqu'à l'effondrement les charpentes et autres structures en bois des bâtiments (parquets, escaliers…). Les coûts inhérents à cette contrainte sont très élevés qu'ils soient préventifs ou curatifs et le risque est élevé dans les régions infestées. Ces deux espèces font l'objet de lois qui mettent en place des mesures réglementaire pour lutter contre ces contraintes (loi n° 99-471 du 8 juin 1999, dite « loi termite » et art. 76 de la loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 dite loi Alur).

12.3.2.2 – Dégradation des véhicules

Les fientes d'oiseaux sont à l'origine de souillures et de corrosion de la peinture des carrosseries de véhicules. Cette contrainte est importante en période d'hivernage des étourneaux qui se regroupent souvent par millier dans les arbres des villes.

Avec, sur l'ensemble du territoire métropolitain, 1,5 millions de chevreuils, entre 150 000 et 200 000 cerfs élaphes et sans doute 1,5 millions de sangliers (*ONCFS : http://www.oncfs.gouv.fr/La-repartition-des-ongules-en-France-ru524/La-repartition-des-ongules-en-France-ar1374*) les populations de grands ongulés sont en constante augmentation depuis 25 ans. Les zones potentielles de contact avec les citoyens augmentent mathématiquement et sont de plus en plus proches des villes notamment concernant le sanglier qui n'est pas territoriale. Les intrusions dans les villes sont de plus en plus fréquentes, et les risques de collision plus élevés.

Sans distinguo entre milieu urbain ou inter-urbain, 13 personnes ont trouvé la mort en 2016 suite à une collision avec un animal sauvage (ONISR 2016, *http://www.securite-routiere.gouv.fr/la-securite-routiere/l-observatoire-national-interministeriel-de-la-securite-routiere2016*) et on compte environ 70 000 collisions par an entre véhicules et animaux sauvages pour un coût oscillant entre 115 et 180 millions d' € (ONCFS, 2008 *http://www.oncfs.gouv.fr/*).

12.3.2.3 – Dégradations engendrées par les végétaux

La plus fréquente et visible des dégradations liées aux végétaux est celle relative à la dégradation des trottoirs et de la voirie via leur système racinaire.

Illustration 93 : Trottoir détérioré par les racines à Vaison-la-Romaine (Cécile TETREL, Cerema).



Ces problématiques peuvent avoir des coûts de réfection élevés qui s'ils ne sont pas réalisés, peuvent poser des problèmes d'entrave à la circulation, notamment pour les personnes à mobilité réduite. Ces contraintes sont souvent dues à un défaut dans la conception des infrastructures urbaines qui ne prend pas en compte le volume futur et les caractéristiques écologiques des espèces ligneuses plantées en ville.

Illustration 94 : Revêtement dégradé par les racines d'un arbre (Cécile TETREL, Cerema).



On peut citer également l'obstruction des réseaux d'assainissement et des canalisations d'eau par les feuilles ou les racines et la dégradation des fondations des bâtiments.

12.4 – Limiter les contraintes

Avant d'aborder les solutions pour limiter les contraintes liées à la présence de la nature en ville il faut en analyser les causes.

12.4.1 – Les causes

Les espèces animales ou végétales s'installent dans un milieu donné et prolifèrent lorsque leur environnement peut répondre à l'ensemble de leurs besoins à savoir : la ***disponibilité alimentaire***, la ***possibilité d'effectuer l'ensemble de leur cycle reproductif*** (gîte larvaire pour les moustiques, espèces hôtes pour les parasites comme les tiques, espaces à l'abri des prédateurs pour l'élevage des petits pour les vertébrés) et l'***absence de pression de prédation*** pour les animaux ***ou l'absence de concurrence*** pour les végétaux.

Certains choix, mode de gestion ou absence de gestion **d'origine humaine** peuvent également **accentuer les contraintes liées à la présence de la biodiversité urbaine :** plantation d'essences au pollen allergisant, d'espèces exotiques envahissantes, réaménagement de friche industrielle sans prise en compte des populations d'espèces indésirables.

12.4.2 – Les principes de lutte

12.4.2.1 – La lutte curative

Le **contrôle des ravageurs** en milieu urbain permet de préserver les conditions de vie des citadins et d'éviter la prolifération des maladies associées. Les populations sont essentiellement régulées par l'homme à travers la mise en place de mesures curatives : destruction, piégeage, stérilisation, dont les effets à long termes sont réduits du fait des capacités d'adaptation de ces espèces et des conditions optimales que leur offre l'écosystème urbain.

Concernant l'Ambroisie, principale espèce exotique envahissante source de contrainte sanitaire, les campagnes d'arrachages, la fauche avant la pollinisation et la fructification sont les seules méthodes curatives possibles dans l'espace urbain. Si la densité d'Ambroisie est faible ces actions peuvent être efficaces, mais des actions préventives sont nécessaires pour éviter le retour de cette espèce indésirable (voir ci-dessous).

La démoustication est, en cas de risque sanitaire, le plus souvent effectuée à l'aide de produits larvicides d'origines biologiques sélectifs. Cependant de récentes études en Camargue démontrent l'impact négatif de ces larvicides sur les réseaux trophiques notamment sur la raréfaction des proies pour les hirondelles des fenêtres (*Delichon urbicum*) et la baisse du succès reproductif de ces dernières. Une nouvelle expérimentation prometteuse, également en Camargue, semble avoir des effets significatifs sur les populations de moustiques (toutes espèces confondues). Elle consiste à la mise en place de pièges, à des points stratégiques, qui imitent la respiration humaine en émettant une faible quantité de CO_2 de manière régulière pour attirer les moustiques et les piéger (Poulin 2017).

12.4.2.2 – Contraintes animales et lutte préventive

Cette lutte est basée sur le principe de **faire baisser ou de supprimer la capacité d'accueil du milieu**, idéalement pensée et réalisée lors de la construction des aménagements (mise en place à posteriori complexe et onéreuse) :

- ***réduire la disponibilité alimentaire*** : ramassage des déchets, utilisation de conteneurs hermétiques, élimination de tout amoncellement d'encombrants dans les cours et autres espaces (caves, jardins, etc.), verbalisation accrue des comportements générateurs de déchets (nourrissages sauvages des pigeons, canard, ragondins ; abondons de déchets sur la voie publique…). L'impact de ces actions est largement démontré scientifiquement (Stock et Haag-Wackernagel 2016) et a l'avantage de ne pas heurter la sensibilité des personnes opposées à la lutte curative source de souffrance pour les animaux.
- ***rendre inaccessibles les zones propices à la nidification*** :
  - Pour les rongeurs : interdire l'accès à l'intérieur des bâtiments en utilisant des matériaux durs (grillage, ciment…) pour colmater les fissures des fondations, supprimer les espaces autour des différents réseaux, supprimer la présence d'encombrant dans les cours, sur la voirie, réfection des égouts…

- Pour les pigeons : éviter, en amont, de créer des espaces propices à la nidification sur les nouvelles constructions. A défaut, de nombreux dispositifs existent pour empêcher la nidification : pics, filets, répulsifs qui peuvent être mis en place à posteriori sur les bâtiments.
- Pour les autres oiseaux qui se perchent ou nidifient dans les arbres urbains en forte densité (étourneau, corbeau freux) les arbres doivent faire l'objet d'une taille dite « douce » qui réduit considérablement les possibilités de perchage et/ou de nidification.

- ***Augmenter la pression de prédation*** : en favorisant les prédateurs naturels de ces espèces (faucon pèlerin, fouine, renard, hibou grand duc…)
- ***Supprimer les gîtes larvaires potentiels du moustique tigre*** : supprimer ou à défaut vider au moins une fois par semaine les petits volumes d'eau stagnants susceptibles d'être des gîtes larvaires (gouttières mal entretenues, coupelle de pot de fleur, bâches) des espaces publics ou privés. Ces actions nécessitent une sensibilisation de l'ensemble de la population.
- ***Préserver et/ou recréer des zones favorables à certaines espèces indésirables en périphérie des villes,*** pour fixer ces espèces, notamment les oiseaux, dans des espaces où les contraintes et les enjeux sont moins importants. Ces espaces doivent cependant faire l'objet d'une concertation et/ou de mesure d'accompagnements auprès des agriculteurs et des riverains s'ils sont proches de ces milieux dédiés.

12.4.2.3 – Contraintes végétales et lutte préventive

A) Choix des végétaux dans l'espace public

La prévention passe par **le choix des espèces à planter** dans l'espace urbain en **évitant autant que possible les espèces exotiques** dont la connaissance de l'écologie souvent parcellaire et leur capacité d'adaptation aux écosystèmes locaux souvent inconnues peuvent les rendre potentiellement problématiques.

Sont également à proscrire ou à planter en faible concentration **les espèces dont le pollen est connu pour son potentiel allergisant** (Bouleau, Cyprès, Platanes…).

Concernant les atteintes aux aménagements urbains, réseaux ou à la voirie, il est nécessaire de respecter les règles de construction inhérente à l'implantation de végétaux dans l'espace urbain, ainsi que d'évaluer le développement futur des essences pour adapter les aménagements situés à proximité immédiate de l'implantation des végétaux.

B) Le cas de l'Ambroisie

Il s'agit ici de développer la concurrence en **favorisant la végétation existante** avec **une gestion différenciée** et **d'éviter de réaliser une fauche trop précoce**.

Sur les zones très infestées, une végétalisation par semis est préconisée. Il existe des mélanges spécifiques qui permettent une végétalisation rapide des zones en attente d'aménagement définitif (voies de communication, zones pavillonnaires, terrains en friche, chantiers de travaux publics) (FREDON Auvergne, ARS Aura 2017).

Zoom

Les espèces exotiques envahissantes

Comme évoqué plus haut, les espèces exotiques envahissantes s'observent préférentiellement **dans les zones perturbées et/ou remaniées** (destruction des ripisylves, enrochement sur les cours d'eau, pollution des eaux par des produits chimiques…). L'écosystème urbain est donc propice à leur installation.

En plus des contraintes sanitaires liées notamment à l'Ambroisie, rappelons que les espèces exotiques envahissantes peuvent aussi être à l'origine **d'impacts écologiques** (perte de biodiversité) et peuvent provoquer des **pertes économiques** (pertes de productions agricoles, tourisme, loisirs) et l'**augmentation des coûts d'entretien**

La nature peut également contribuer à la régulation de ces espèces.

L'homme souvent responsable de la prolifération des espèces exotiques envahissantes peut aussi, a contrario, mettre en œuvre un certain nombre d'actions préventives ou curatives pour réguler ces populations. Différents axes complémentaires peuvent être mis en œuvre :

- acquisition de connaissances sur les espèces introduites et leurs impacts ; surveillance des invasions biologiques, afin de détecter aussi rapidement que possible tout spécimen exotique introduit, et de prendre les décisions qu'il convient en matière de lutte ou de contrôle ;
- sensibilisation du public, potentiellement accélérateur de la prolifération des espèces et également potentiellement acteur de la régulation de ces espèces ;
- mise en place de stratégies de lutte adaptées en fonction des enjeux ;
- développement de la réglementation. A titre d'exemple, dans plusieurs départements de la région Rhône-Alpes, l'ambroisie fait l'objet d'arrêtés préfectoraux (avec obligation de destruction).

12.5 – Synthèse

Les contraintes d'ordre mécanique comme la dégradation de bâtiments et de la voirie sont le plus souvent liées à un défaut de conception et/ou d'adaptation à la présence de végétaux et/ou d'animaux. Les cas des souillures sur les bâtiments, le mobilier urbain et les voitures, qui peuvent entraîner des coûts d'entretien et de nettoyage conséquents sont quant à eux dus au caractère accueillant de l'écosystème urbain pour les espèces incriminées.

Les pathologies transmises par les animaux sauvages ou domestiques présents en ville, ou zoonoses, peuvent être grave mais leur prévalence reste faible. Le cas des arbovirus transmis par différentes espèces de moustiques et notamment le moustique tigre, est la contrainte la plus importante au vu des perspectives d'augmentation des cas de maladies et de la répartition de l'espèce, et doit donc faire l'objet d'une attention particulière.

La contrainte sanitaire la plus préoccupante reste la pollinose due aux pollens de certaines espèces végétales. Elles touchent 10 à 20 % de la population, chiffre en constante augmentation, et les coûts pour la société (dépenses de santé, arrêts maladies, hospitalisation…) ne cesse également de grimper (estimés à 800 millions € annuel hors absentéisme et baisse de productivité (Sénat 2015). **Les espèces végétales responsables, volontairement plantées ou envahissantes, sont connues et doivent faire l'objet d'une sensibilisation des différents acteurs de la biodiversité urbaine ainsi que des citoyens pour en limiter le développement.**

Dans tous les cas, ces contraintes ont pour origine un déséquilibre trophique ou un défaut dans la conception et/ou la gestion des ouvrages, des bâtiments ou des aménagements urbains. Les espèces animales ou végétales ne s'installent et ne se développent au point de porter atteinte à l'être humain que dans un milieu qui leur apporte nourriture en abondance, espaces pour se reproduire et absence de pression de prédation ou de concurrence. Quelle que soit l'espèce à l'origine de contraintes, végétales ou animales, c'est sur ces trois axes que doivent se concentrer les efforts pour limiter les impacts de ces contraintes.

Synthèse générale de la partie 3

Il est finalement difficile de conclure sur une sélection de « bons » indicateurs qui serait proposée pour témoigner des services écosystémiques urbains retenus et les évaluer à l'échelle de la France. Les indicateurs et données sont dépendants du service, de l'échelle (espace de nature, quartier, ville dense, ville et franges périurbaines), et surtout de l'intention qui préside à l'évaluation.

L'étude est basée sur de nombreux exemples, elle mobilise et synthétise de nombreuses données et de nombreux rapports existants. Malgré l'abondance de la littérature pour les services de régulation, il semble prématuré, à ce stade, de monter en généralité, ou d'avoir les données pour faire une compilation sur beaucoup de villes ou à l'échelle de la France.

Partant du constat que l'évaluation biophysique, socio-économique ou monétaire des biens et SE d'approvisionnement, culturels, et du patrimoine naturel, est délicate, l'étude ne néglige pour autant pas ces aspects. Le travail sur la question de la demande (souvent à travers les perceptions des acteurs) est nécessaire pour ces catégories de SE. Il fait apparaître ce qui est suffisant pour émettre des recommandations pour l'aide à la décision ou pour identifier des grands enjeux sociétaux et pistes de recherche future.

Les moyens à mettre en œuvre pour procéder à une évaluation des SE sont conséquents tant sur le plan méthodologique, que financier, c'est la raison pour laquelle la plupart des exemples mobilisés proviennent du monde académique. Ainsi, il semble essentiel, dans les milieux urbains, que l'évaluation réponde à un enjeu de politique publique, ou à la mise en évidence d'une demande sociale implicite, qui précèdent la volonté d'évaluer et en questionne le sens : le pour quoi et pour qui on évalue (et pour combien), le sens profond de l'évaluation ?

De nombreux enjeux d'interfaces (e.g. urbain/agriculture, urbain/forêts…) sont identifiés, ce qui met en exergue la limite du travail par milieu, et l'intérêt qu'il y aurait dans une phase ultérieure de l'EFESE, à considérer les SE au sein d'un territoire.

* * *



INTERACTIONS ENTRE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Partie 4

Introduction générale de la partie 4

De l'intérêt d'évaluer plusieurs services et de la difficulté méthodologique accrue

Évaluer les écosystèmes signifie évaluer des interactions entre leurs éléments constitutifs mais aussi entre les services qu'ils génèrent. Le « bouquet de services » correspond à la réalité scientifique qu'il convient d'évaluer nous dit Luc Abbadie. Le défi de l'évaluation est ainsi augmenté : il faut se garder de se satisfaire d'évaluer les services un par un, même si cela constitue déjà en soi un exercice complexe. Prenons un exemple poursuit-il. « *La forêt a une forte capacité de séquestration du carbone. Elle garantit donc un service de régulation en améliorant la qualité de l'air. Bien entendu, cette même forêt assure d'autres services : habitat, formation du sol… Même si l'on attend d'un espace forestier l'amélioration de la qualité de l'air, cette interaction intime entre services fait que l'on observe également des effets secondaires sur les autres fonctions ou les autres services.* » (Abbadie, communication orale Gt urbain, 2014)

Rappel du cadre conceptuel de l'EFESE :

- **Bouquet de services écosystémiques** (Bundle of ecosystem services) : Ensemble de services écosystémiques qui sont régulièrement observés ensemble dans le temps et/ou dans l'espace (Raudsepp-Hearne et al. 2010). Ceci implique que ces services co-varient dans l'espace et dans le temps.
- Les **services écosystémiques seront considérés par bouquets**, car ils sont le plus souvent interdépendants. (…). L'étude de ces interdépendances, synergies et compromis **pourra être poursuivie également afin d'illustrer et d'expliciter certaines relations entre fonctions écologiques et services écosystémiques**.
- **L'amélioration des connaissances sur les articulations entre biodiversité, fonctions écologiques et services écosystémiques a pour objectif d'éclairer les conséquences des choix relatifs à l'exploitation d'un service donné ou à la mise en œuvre de politiques de restauration**. Ces interrelations sont complexes, et bien que la biodiversité soit favorable au maintien et à la résilience des écosystèmes sur le long terme, sa conservation peut entrer en conflit avec la volonté de développer certains services écosystémiques.

CHAPITRE 13

Interactions de services écosystémiques à l'échelle territoriale

À l'échelle territoriale, il s'agit dans un premier temps d'identifier les services écosystémiques régulièrement observés ensemble puis de caractériser le type d'interactions entre eux : positive (synergie), négative (antagonisme) ou neutre.

13.1 – Identification de bouquets de services écosystémiques en milieu urbain.

Cette partie vise à mettre en avant les groupes de services qui sont régulièrement observés ensemble dans le temps ou l'espace, à l'échelle territoriale. Ces groupes, nommés "bouquets de services", portent sur des "couples de services", des "services multiples" mais également sur des regroupements "services" et biodiversité. En effet, il est apparu important d'analyser les relations entre les services retenus et la biodiversité, dans la mesure où ce dernier critère présente des spécificités également essentielles à considérer lors de l'aménagement du territoire.

La terminologie de l'EFESE ne considère pas la biodiversité comme un service support, ce postulat l'exclut de fait des bouquets de services. Nous avons pris le parti de considérer les interactions entre des bouquets

Services et la Biodiversité. Cela nous a semblé être le parti pris le plus proche de l'esprit du cadre conceptuel "Les services écosystémiques seront considérés par bouquets, car ils sont le plus souvent interdépendants (…). L'étude de ces interdépendances, synergies et compromis pourra être poursuivie également afin d'illustrer et d'expliciter certaines relations entre fonctions écologiques et services écosystémiques."

13.1.1 – Méthode

L'approche des bouquets de services clairement portée par l'EFESE est novatrice. Cette approche conceptuelle complexe ouvre des champs de recherches méthodologiques (*Cf.* chapitre 21). Les groupes de travail de l'EFESE par écosystème expérimente différentes façons d'identifier et de qualifier les interactions entre services. Un spectre très large de méthodes d'évaluation des services écosystémiques a été révélé dans les chapitres précédents de la mesure à l'enquête sociale. Le groupe de travail de l'EFESE urbain s'en est tenu à des méthodes participatives. Un atelier de travail de l'équipe Efese Urbain, basé sur des méthodes d'intelligence collective, s'est déroulé en trois phases.

1 - Approche matricielle service par service

Cette phase correspond à une **analyse des services par couple** selon le modèle de matrice mise en place par le groupe de travail EFESE Forêt. La matrice est adaptée à la sélection des sept services écosystémiques en milieu urbain. Il s'agit de déterminer, dans chaque case, si les **2 services étudiés se retrouvent ou pas régulièrement ensemble** et de **qualifier le type de relations** (synergie (+), antagonisme (-), neutre (0)). Les résultats sont mentionnés dans la matrice ci-après. Dans le cadre de l'aménagement du territoire, il est important de connaître ces synergies et antagonismes.

2 - Analyse du vécu d'un espace de nature exprimé par les différents participants

Cette phase complémentaire a consisté pour chaque participant à identifier un espace de nature bien connu dans lequel il se rend plus ou moins régulièrement, puis à préciser la manière dont il perçoit ce lieu. Il s'agit de récolter un savoir "chaud" de récits d'expérience. Le focus est mis sur le **ressenti de la personne et** les principales motivations qui justifient le déplacement sur ce lieu. À partir du verbatim, ces différents éléments sont qualifiés en services écosystémiques ou pas si la motivation n'est pas liée à l'écosystème. Bien évidemment, une traduction est nécessaire en services écosystémiques, puisque personne n'est motivé pour aller dans un lieu de "régulation de la qualité de l'air" ou "d'auto-épuration de l'eau", mais plutôt parce que « cela sent bon au printemps », ou parce « l'air est meilleur », ou que l'on « entend les oiseaux ».

3 - Phase d'analyse collective

La phase d'analyse a consisté à combiner les résultats des deux phases précédentes. L'intérêt de la matrice est de croiser 2 à 2 tous les services écosystémiques retenus de manière systématique, mais la limite est de ne le faire que sur les sept services écosystémiques retenus par le Gt urbain. L'intérêt du recueil de récits de l'expérience vécu est de faire apparaître des services écosystémiques hors du champ de ceux retenus (la régulation des nuisances sonores), la limite est que certains services écosystémiques qui ne se traduisent pas en expérience directe sont passés sous silence (auto-épuration). Cela a contribué à mettre en évidence le bouquet " Qualité de l'air, climat local, activités récréatives et de loisirs, aménités paysagères, zones de calme".

Des recherches bibliographiques ont également alimenté les réflexions sur le sujet. Au cours de cette analyse des bouquets, la biodiversité a été ré-introduite. En effet, comme mentionné précédemment et comme le suggère

le cadre conceptuel de l'Efese, il est important d'étudier les articulations entre services-fonctions-biodiversité.

À partir de ces différents éléments, il a été possible d'identifier des relations fortes entre certains services et entre services et biodiversité, qui ont été alors regroupés en "bouquets".

• La matrice des couples de services et les bouquets identifiés

La matrice ci-dessous est le résultat des phases 1 à 3 décrites ci-dessus.

La matrice sans les couleurs correspond à la phase 1.

La matrice avec les couleurs est issue de l'analyse effectuée en phase 3. Il en ressort les 5 principaux bouquets de services :

- **Régulation Climat global / Régulation Climat local / Régulation Qualité de l'air + Aménités paysagères**
- **Autoépuration /Régulation des inondations + Services culturels (Education, services récréatifs, aménités paysagères)**
- **Autoépuration / Climat local / Climat global + Services culturels (Education, services récréatifs, aménités paysagères)**
- **Autoépuration / Climat local / Climat global + Services culturels (Education, services récréatifs, aménités paysagères)**
- **Biodiversité / Aménités paysagères / Education**

Notons que le bouquet représenté en jaune est principalement basé sur la phase 2, qui met en avant les éléments justifiant un déplacement dans un espace de nature.

Au sein des bouquets identifiés, il est important de souligner que tous les services n'ont pas le même niveau de relations. À titre d'illustration, certains bouquets sont caractérisés par des services principaux

de régulation, liés au fonctionnement des écosystèmes, auxquels peuvent se superposer des services culturels.

Tableau 33 :

Matrice des couples de services

	Serv Climat global	Serv Climat local	Serv Qualité air	Serv Risque Inondat°	Serv Auto épurat°	Serv Nuisances sonores olfactives	Serv Activités récréatives	Serv Education	Serv Aménités
Serv Climat global		+	+	0	var selon échelle	0	0	0	+
Serv Climat local			+	+	+	0	+	0	+
Serv Qualité air				0	0	+	+	0	+
Serv Risque Inondat°					+	olf -	+	+	+
Serv Auto épurat°						0	0	+	-/+
Serv Nuisances sonores							+	0	+
Serv Activités récréatives								+	+
Serv Education									+
Serv Aménités									

13.1.2 – Description des bouquets identifiés

13.1.2.1 – Régulation Climat global / Régulation Climat local / Régulation Qualité de l'air + Aménités paysagères

Ce premier groupe de services est particulièrement **lié à la présence des arbres**. Favoriser le développement du **couvert arboré** favorisent généralement l'expression des trois services de régulation "Régulation du climat global / Régulation du climat local / Régulation de la qualité de l'air", d'où l'intérêt de les regrouper :

- augmentation de l'ombrage et de l'évapotranspiration (Régulation du climat local)
- augmentation de la capture des gaz à effet de serre (Régulation du climat global)
- augmentation de la capture des polluants (Régulation de la qualité de l'air).

Parallèlement, l'augmentation du couvert arboré contribue à l'amélioration des aménités paysagères.

Soulignons au sein de ce bouquet, la **synergie entre la régulation du climat global et la régulation du climat local.** Dans le chapitre 8, il a été mis en évidence que la présence de végétation, principalement arborée, contribue à limiter l'effet d'îlot de chaleur (régulation du climat local). Cette diminution de températures urbaines induites par la végétation peut aussi engendrer une diminution de l'utilisation de la climatisation, avec des effets directs et indirects sur les émissions de gaz à effet de serre, et donc sur la régulation du climat global. En effet, la moindre utilisation de la climatisation entraîne, de fait, une baisse directe des émissions de fluides frigorigènes, qui présentent un fort pouvoir de réchauffement global. Elle s'accompagne aussi d'impacts indirects : moindre consommation d'électricité pouvant engendrer des gaz à effet de serre, moindre surconsommation potentielle de carburants pour les véhicules, etc.

La justesse de l'évaluation de ce bouquet de services tient à considérer une double échelle spatiale : services locaux, régionaux. Lors des pics de chaleur, l'ombrage procuré les arbres d'alignement et la chaleur atténuée dans les parcs urbains, sont les premiers services identifiés. Ce sont les services locaux, directement perceptibles par les citadins. Or la température des masses d'air dépend plus significativement des surfaces des plans d'eau et de la couverture forestière régionales. Un regard à plusieurs échelles, qui combinera les services locaux et régionaux, la végétation de proximité et celle plus éloignée, est réellement pertinent.

La nature urbaine s'orienterait vers les services de proximité. Si on ne mâtine pas de considérations globales les services de proximité, l'évaluation risque d'être pour le moins partielle.

La présence d'espaces de nature et plus particulièrement de végétation arborée est ainsi un levier majeur dans la politique énergétique des villes dans la mesure où elle contribue au confort thermique (régulation du climat local) et permet parallèlement une réduction des gaz à effet de serre (régulation du climat global).

13.1.2.2 – Auto-épuration /Régulation des inondations + Services culturels (Éducation, services récréatifs, aménités paysagères)

Ce bouquet concerne plus spécifiquement **le domaine de l'eau**. Il est **lié à la présence de surfaces en eau et des surfaces non imperméabilisées et végétalisées,** qui permettent de ne pas perturber le cycle naturel de l'eau. Ainsi, les sols non imperméabilisés, zones humides, plans d'eau, cours d'eau peuvent jouer un **rôle de régulation des eaux tant sur le plan quantitatif que qualitatif** (infiltration, stockage, filtration des eaux). Favoriser de telles surfaces participe à la limitation de la pollution des eaux et à la réduction des inondations, notamment lors des pluies fréquentes, pas toujours considérées.

Le couple de services Autoépuration/Régulation des inondations joue un rôle majeur dans ce bouquet. Il peut être renforcé par différents choix de conception et de gestion propices à ces deux services : choix de plantes épuratrices, conception qui prend en compte les deux services, filtration par le sol, vitesse d'écoulement, rugosité, etc.

L**e couple de services Autoépuration /Régulation des inondations s'associe particulièrement bien avec les services culturels**. En ce qui concerne le **service éducation**, les dispositifs en faveur de l'autoépuration sont souvent l'occasion de sensibiliser

les usagers sur le rôle des plantes spécifiques aux milieux humides et sur l'épuration des eaux. Cela s'explique aussi par le fait qu'il est souvent nécessaire d'expliquer aux habitants et usagers l'intérêt de ces espaces végétalisés pour qu'ils soient respectés et continuent d'être fonctionnels dans la durée. En ce qui concerne le service de régulation des inondations, le besoin d'explications est parallèlement lié aux risques d'inondabilité de certaines surfaces, que les usagers doivent connaître (mise en eau de terrain de sport, par exemple). De nombreux espaces naturels et/ou aménagés jouant un rôle de régulation de l'eau en ville sont déjà le support d'actions d'éducation en ville notamment via des panneaux et des visites commentées ou parcours au sein de zones humides. **Les activités récréatives** peuvent naturellement être favorisées par les dispositifs d'autoépuration et de régulation des inondations : aspects ludiques pour les enfants des modelés en creux et les bosses des zones de stockage, zones inondables aménagées en zones de loisir, Enfin, le couple de service Autoépuration /Régulation des inondations **est aussi propice au développement des aménités paysagères** en raison des milieux végétalisés et des milieux humides qui sont nécessaires à l'expression du couple de services considéré.

13.1.2.3 – Auto-épuration / Climat local / Climat global + Services culturels (Éducation, services récréatifs, aménités paysagères)

Ce bouquet de services est particulièrement **lié à la présence de zones humides en milieu urbain**. Il s'exprime par l'intermédiaire de la couverture des sols et des processus contrôlés biologiquement au sein de ces milieux humides.

Pour les mêmes raisons que le bouquet précédent, les services culturels sont particulièrement favorisés lorsque ce bouquet peut s'exprimer.

13.1.2.4 – - Biodiversité / Aménités paysagères / Éducation

Les discussions engagées dans l'atelier de travail ont également mis en évidence des liens forts entre la biodiversité et les services "aménités paysagères" et "éducation". En effet, les **aménagements favorisant la biodiversité s'accompagnent souvent d'une diversité de milieux participant pleinement à la qualité paysagère de l'espace**. La multiplication des strates de végétation, la mise en place de mosaïques de milieux sont autant d'actions qui confèrent une richesse au paysage. A noter que les habitants recherchent de plus en plus ces espaces ayant un aspect "plus naturel", plus diversifié, ce qui concourt à développer des tels espaces propices à la biodiversité en ville.

De plus, ces **espaces diversifiés sont particulièrement adaptés pour servir de support à des activités éducatives**. A titre d'exemple, la mise en place de zones humides au sein d'un espace de nature participe généralement pleinement à la qualité paysagère du site et d'autre part contribue à la mise en place de diverses actions éducatives : installation de panneaux explicatifs, observation de la faune et de la flore, etc.

NB : Á l'inverse, il est important de souligner que **les activités de loisirs au sein des espaces de nature en ville ne sont pas favorables à l'expression de la diversité des espèces** (piétinement, nécessité de surfaces engazonnées, bruit provoquant une gêne pour la faune, etc.). De ce fait, il est important, au sein d'un territoire, de bien réfléchir aux usages associés aux espaces de nature. Afin de permettre l'expression de ces deux services, il est possible de délimiter des secteurs plutôt orientés vers les activités de loisirs et d'autres secteurs réservés pour le développement de la biodiversité où la fréquentation peut, par exemple, être réduite voire interdite.

13.1.2.5 – Qualité de l'air, climat local, activités récréatives et de loisirs, aménités paysagères, régulation des nuisances sonores

Si les bouquets précédents sont plutôt liés à des caractéristiques du milieu, ce bouquet de services est **basé sur les principales attentes des populations urbaines**, vis-à-vis des espaces de nature en ville. Cette approche est complémentaire de la précédente et présente l'intérêt de cerner les demandes de nature pour pouvoir mieux y répondre lors de futurs aménagements urbains (Long et al. (2012). Les attentes mentionnées ici sont à considérer comme des attentes générales en matière d'espaces de nature en ville. En effet, le type d'espace vert conditionne ensuite fortement les pratiques et usages qui en sont faits (CERTU 2002).

Martin-Lopez et al. (2012) ont mis en évidence des bouquets de services basés sur les préférences sociales obtenues par le biais de sondages. Cette étude montre que les services écosystémiques préférés par les populations urbaines interviewées sont : **la plupart des services culturels, la purification de l'air, la régulation des microclimats.** Au sein des services culturels, nous ne retenons dans le bouquet de services que les "**activités récréatives et de loisirs**" ainsi que "les **aménités paysagères**", qui sont prépondérantes. En effet, la chasse et la pêche sont pratiquées par une faible proportion de la population urbaine. Par ailleurs, « l'expérimentation et l'éducation » sont généralement un objectif secondaire par rapport aux services culturels retenus.

A ce groupe de services, il a été décidé d'ajouter le service de **régulation des nuisances (zones de calme)** dans la mesure où il répond également à une forte demande des habitants. Long et al. (2012) ont notamment mis en évidence, à travers une étude sur le ressenti de visiteurs de quatres espaces végétalisés, une forte volonté des usagers de faire une coupure avec la ville et se retrouver dans un endroit calme ou de pratiquer une activité. Par ailleurs, l'atelier de travail réalisé, dans le cadre de l'Efese, sur le ressenti d'un espace de nature (*Cf.* : méthode ci-dessus) a également permis de montrer la recherche quasi systématique de la sensation de calme au sein des espaces de nature : la plupart des participants ont

évoqué cette notion. Les espaces de nature sont ainsi vécus comme des lieux permettant de s'échapper des nuisances de la ville (sonores, visuelles, olfactives) au sein desquels il est possible de se ressourcer. La quantification du service de régulation sonore est encore peu développée dans la bibliographie et les mesures effectuées relativisent souvent fortement son importance. Cela met en évidence que le ressenti des personnes est essentiel dans les analyses des services sur un territoire. Ici, ce sont des éléments de perception, plus ou moins subjectifs, qui contribuent à créer des « zones de calme » : présence de végétation, bruit du feuillage, chant des oiseaux, aménités paysagères.

13.2 – Modélisation des services rendus par les arbres urbains à Strasbourg avec I-tree

13.2.1 – Identification des services évalués (intérêts et limites)

Comme mentionné précédemment, une modélisation des services rendus par les arbres urbains a été effectuée avec l'outil I-Tree (Selmi 2016).

Intérêts de la démarche :

La particularité d'I-Tree réside dans son **approche ascendante**. L'outil est basé sur l'association de données climatologiques et atmosphériques, caractéristiques de la végétation arborée locale (nombre d'arbres, espèces, diamètre, hauteur, état sanitaire, etc.). Le modèle fait le lien entre la structure de la végétation, son fonctionnement et les services qu'elle procure.

13.2.2 – Difficultés et Limites

L'évaluation montre que :

- Les espaces végétalisés gérés par la ville de Strasbourg comportent 588 000 arbres avec une densité de 271 arbres/ha ;
- les arbres gérés par la ville de Strasbourg **stockent environ 128 000 tonnes de carbone** et **séquestrent (entre juillet 2012 et juin 2013) environ 4 060 tonnes de carbone par an** ;
- Les arbres **éliminent 88 t/an de polluants**.

Les effets positifs du végétal en ville dépendent bien sûr du type d'espace et, pour un même type, de sa composition. Ceci rend particulièrement complexe les possibilités de transfert ou de généralisation en matière d'évaluation, qu'elle soit économique ou biophysique.

13.3 – Prospective territoriale à l'horizon 2030 pour Bordeaux Métropole avec Invest, outil d'évaluation des services écosystémiques à l'échelle du SCoT

La démarche menée sur le territoire bordelais constitue une approche explicite et participative spatiale pour évaluer de manière intégrée plusieurs services écosystémiques. Les objectifs sont les suivants : décrire l'évolution des services écosystémiques sur le territoire de la Métropole en utilisant une série de pas de temps d'occupation du sol (entre 1990 et 2006) et d'anticiper des scénarios plausibles pour l'année 2030 pour comprendre comment l'occupation du sol impacte les services écosystémiques (Cabral et al. En révision)**.**

Les résultats de l'analyse permettent de mettre en évidence les questions relatives à l'évaluation des indicateurs des services écosystémiques à une échelle locale et de contribuer à la définition d'outils à la planification urbaine de la métropole.

13.3.1 – L'outil technique : le logiciel InVEST (Investing in Ecosystem Services and Trade-offs)

Le logiciel (gratuit) utilisé est développé par Natural Capital Project (Stanford University, University of Minnesota, Conservation Internationnal, WWF) ; il s'agit d'une suite d'outils de modélisation qui permet de cartographier et de mesurer la valeur des biens et services (*http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html*).

Il existe à l'heure actuelle 15 modèles InVEST (biodiversité, stockage et séquestration du carbone, protection du littoral, récréation,…) répartis dans deux familles (océans et côtes, terre et eau). Ils sont basés sur les fonctions de production et calculent le potentiel des écosystèmes à fournir des prestations en fonction de conditions écologiques différentes. Les informations biophysiques sont combinées avec des informations portant sur les activités humaines et leur localisation afin de déterminer la valeur des services écosystémiques. Trois types de résultats sont produits : quantitatifs (biophysique), des présentations cartographiques et dans certains cas, des estimations de la valeur économique des services écosystémiques.

Cet outil est simple à appréhender - par rapport à d'autres outils d'évaluation économique -, fondé sur « l'open source », adapté à la planification territoriale (spatialement explicite et s'appuyant sur des scénarios de gestion et d'usage du sol), il permet de lier les enjeux de conservation avec les enjeux socio-économiques. Cet outil est utilisé

dans plusieurs pays, il fait l'objet de discussion scientifique, est en constante évolution et de nouveaux modèles sont régulièrement produits.

La particularité de l'approche de modélisation développée par Natural Capital Project est de fournir une évaluation intégrée et conjointe de plusieurs services écosystémiques.

Une construction collective

L'objectif étant de découvrir de façon collective ce que l'outil InVEST pouvait apporter en termes de diagnostic pour la planification, ce travail a nécessité la présence d'acteurs de tous horizons (région Aquitaine, Lyonnaise des Eaux, associations environnement, différentes directions de Bordeaux Métropole, chambre d'agriculture) concernés par des usages diversifiés des milieux naturels présents sur le territoire étudié.

Pendant deux ans, une démarche itérative de production de connaissances et d'échanges a eu lieu entre l'équipe de recherche et le groupe de travail, l'objectif étant d'étudier la variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006.

Le territoire testé

Le territoire de Bordeaux Métropole (28 communes, 57 632 ha) est marqué par une occupation du sol variée comprenant des zones densément urbanisées, des zones agricoles et viticoles, des zones de forêt et d'importantes zones humides le long de la Garonne. Cet environnement affiche une richesse en biodiversité et présente une série de questions d'ordre pratique dans la planification de l'occupation des sols.

Bordeaux Métropole a lancé en 2009 une approche prospective qui a abouti à l'élaboration d'un document proposant une vision de la métropole à l'horizon 2030. Parmi différentes initiatives, celle baptisée « 55 000 ha pour la nature » vise à rendre compatible la croissance démographique avec le "respect et la valorisation des espaces naturels dans

la ville, le bien-être et le respect pour les besoins biologiques des espèces végétales et animales ». Bordeaux Métropole souhaitait ainsi mieux prendre en compte la nature dans son projet métropolitain et retranscrire cette volonté au travers des documents de planification (SCoT, PLU). L'évaluation spatiale quantitative des écosystèmes du territoire s'est avérée pertinente pour aider à qualifier et quantifier l'évolution proposée.

Le déroulement

Le choix du périmètre de l'étude et des services écosystémiques à étudier a été fait sur la base des problématiques et des enjeux du territoire identifiés lors d'entretiens.

Une collecte des données des activités et une vaste revue de la littérature sur les valeurs de paramètres nécessaires pour faire fonctionner les modèles ont été réalisées. Des experts scientifiques locaux ont été consultés dans le cas où les valeurs n'étaient pas disponibles ou appropriées dans la littérature.

Une première modélisation des services écosystémiques entre 1990 et 2006 a été réalisée (cartes de référence) et présentée en atelier au groupe de travail à la fin de la première année. Lors de l'atelier final, à l'issue de la deuxième année, les résultats des scénarios ont été partagés et ont fait l'objet de discussions sur leurs utilisations possibles pour influencer les décisions de planification.

Les données et les services évalués sur le territoire de Bordeaux Métropole

La base de données spatiale d'occupation du sol nationale utilisée est Corine Land Cover (CLC) décomposée en 44 postes (résolution spatiale de 100 m, unité minimale : 25 ha).

Les services écosystémiques sélectionnés ont été évalués en utilisant les modèles InVEST ainsi que des indicateurs propres. Il s'agit de modèles déterministes qui utilisent des données spatiales (CLC) et des données biophysiques sous la forme de tables de coefficients. Ils sont basés sur les fonctions de production écologiques. En particulier, est prise en considération la façon dont l'étendue spatiale, la structure et le fonctionnement des écosystèmes, l'occupation du sol et l'intensité des activités humaines et des usages des milieux naturels déterminent la production locale des services écosystémiques.

Les services écosystémiques étudiés sont les suivants : l'agriculture (approvisionnement alimentaire), la régulation du climat (estimations de la quantité de carbone stocké par le sol pour chaque type d'occupation du sol), la régulation des inondations (écoulement de l'eau et rétention des sédiments), la qualité de l'eau (rétention des nutriments), la régulation de l'érosion et lessivage des sols (rétention des sédiments), l'accès aux aires vertes et bleues, la biodiversité traitée comme un service culturel (surface d'habitats propices).

La construction de scénarios pour 2030

Quatre grands scénarios ont été construits en atelier à l'horizon 2030 pour identifier l'évolution des services écosystémiques sur chacun d'eux :

- scénario tendanciel : utilisation de la tendance 1990-2000 ;
- scénario conservation des services de régulation et culturel : protection prioritaire de ces services (transitions possibles : forêt vers végétation arbustive et urbain, prairies vers urbain et zones industrialisés, persistance zones humides et forêts) ;
- scénario « conservation des services d'approvisionnement » : protection prioritaire de ce service ;

- scénario « planification » : sur la base des programmes de planification urbaine en cours (PLU), prenant en considération les aménagements envisagés (emplacements réservés de voirie, emplacements réservés superstructures, espaces boisés, parcs).

13.3.2 – Les résultats obtenus sur le territoire de Bordeaux Métropole

– Variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006

Quel que soit le scénario, tous les services écosystémiques - sauf la lutte contre l'érosion - ont subi une diminution entre 1990 et 2006. La plupart du temps cette perte de service est liée à l'urbanisation. La figure ci-dessous représente les résultats des 8 services analysés sur le territoire de Bordeaux Métropole entre 1990 et 2006.

Illustration 95 : Variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006 par commune sur l'ensemble de l'agglomération bordelaise

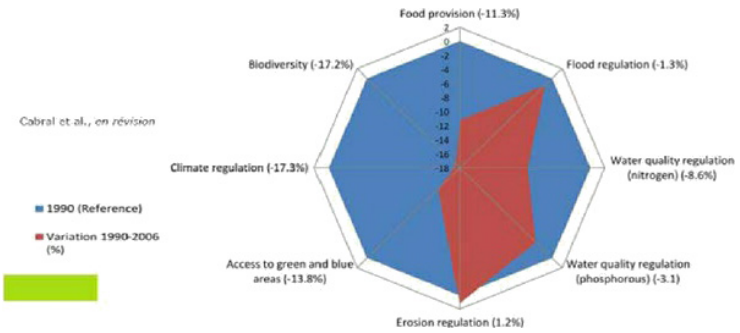
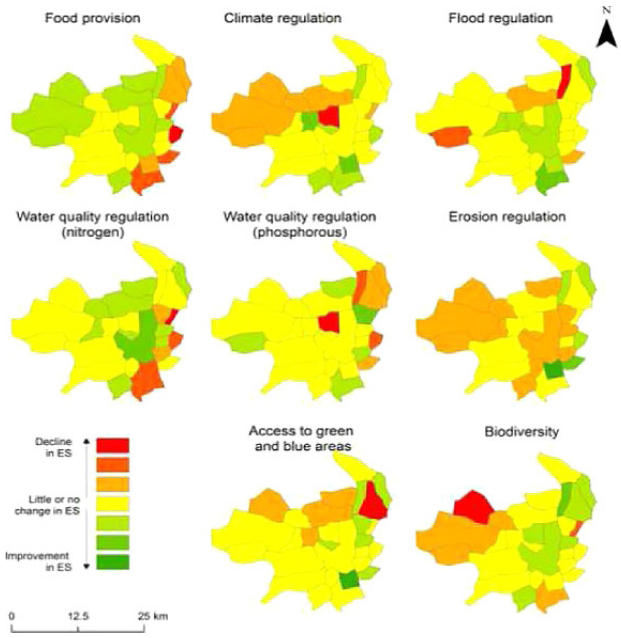


Illustration 96 : Variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006 par commune sur l'ensemble de la métropole bordelaise
Légende : Orange au rouge : baisse des services
Couleur vert clair au vert foncé : amélioration croissante des services



Cette analyse permet de constater entre autres :

- une diminution importante du service « régulation du climat (stockage du carbone) » pour les communes situées au nord-ouest de la métropole bordelaise où est implantée la forêt des landes. Ceci traduit l'impact fort de la tempête de 1999. Cet effet a également impacté l'indicateur « accès à des espaces verts et bleus de la biodiversité » ;
- une baisse de l'approvisionnement alimentaire plus marquée côté est du territoire bordelais, le long de la rivière Garonne. Ceci peut s'expliquer par la consommation d'espaces agricoles dû à une urbanisation croissante depuis 1999 dans ce secteur.

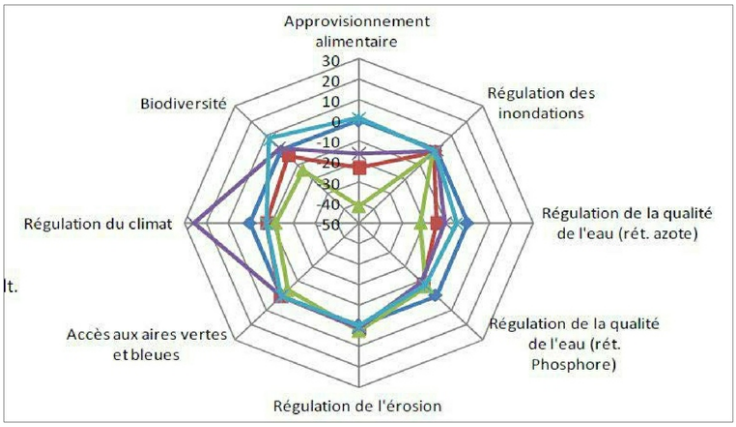
– *Scénarios pour 2030*

Le scénario planification s'est révélé être celui qui provoque les effets les plus délétères pour le territoire. Plus impactant encore que le scénario tendanciel (« on laisse faire »).

En effet, si l'augmentation démographique est identique pour les deux scénarios, la logique d'ouverture à l'urbanisation n'est pas la même. Le scénario « conservation des services de régulation et culturel » comme le scénario « conservation des services d'approvisionnement » présentent tout deux une situation plus équilibrée compte tenu du choix opéré de services à préserver.

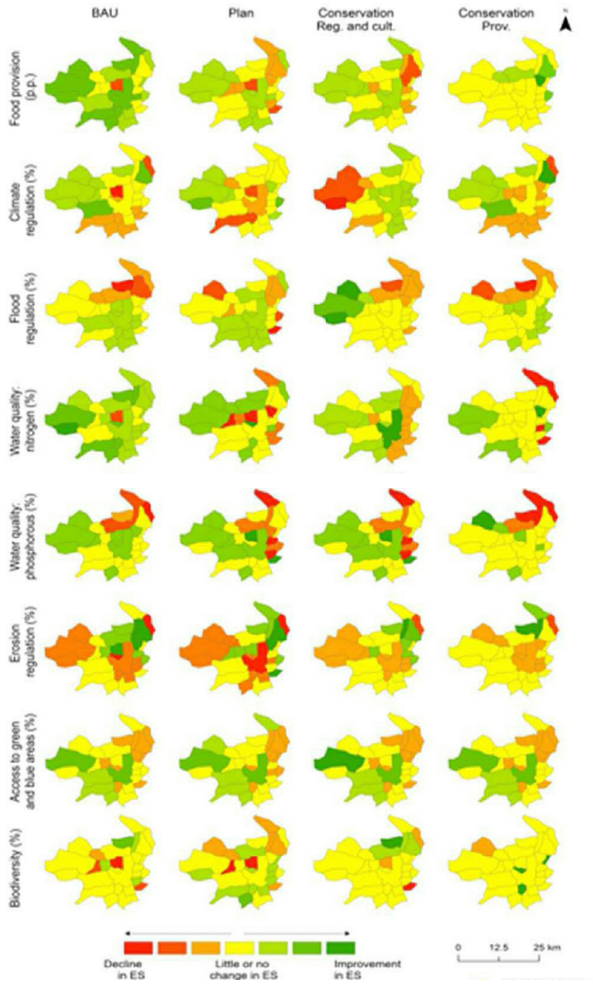
Le graphe ci-dessous présente les résultats de chacun des scénarios pour les 8 services, sur l'ensemble du territoire étudié.

Illustration 97 : Variation conjointe des services écosystémiques pour tous les scénarios en utilisant 2006 comme référence



Les figures ci-dessous illustrent la variation des services écosystémiques par commune pour tous les scénarios (CLC 2006).

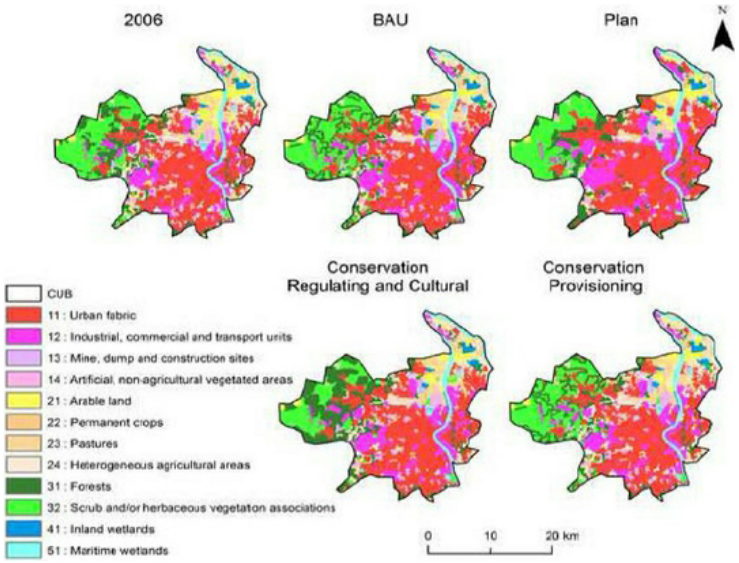
Illustration 98 : Variation conjointe par commune des services écosystémiques pour tous les scénarios en utilisant 2006 comme référence



Ce mode de représentation des scénarios par commune et par service est un outil de représentation, de discussion, d'exploration. Il permet de comparer les communes entre elles, de voir « qui fait mieux » et quels services sont les plus performants. Il permet également de visualiser les effets de projets envisagés sur les services. À titre d'exemple, constater comment un projet de plantation de bandes enherbées peut contribuer à la préservation ou à l'amélioration des services écosystémiques.

Les cartes ci-dessous illustrent l'évolution de l'occupation du sol pour chaque scénario définis par rapport à 2006 à l'échelle de l'agglomération :

Illustration 99 : Évolution de l'occupation du sol pour chaque scénario à l'échelle de l'agglomération



Le retour de Bordeaux Métropole sur la démarche

La notion de service écosystémique était connue mais non traitée, évaluée, développée en soi ; cet aspect étant plutôt abordé au travers d'action de communication, l'objectif étant d'informer, sensibiliser les élus et le public.

Cette analyse a été considéré comme une démarche permettant de valoriser la place de la nature sur le territoire, en appréhendant aussi bien les fonctions sociales (loisir, cadre de vie), qu'économiques (agriculture urbaine, tourisme vert) ou environnementales (biodiversité). Les résultats n'ont pas fait l'objet d'une traduction concrète au sein de la politique métropolitaine.

L'implication de la Métropole bordelaise s'est limitée au rôle de contributeur et fournisseur des données entrantes nécessaires. Les supports présentés lors des ateliers ont été perçus comme assez difficiles à appréhender sans explication, sans commentaire.

Ils servaient à ouvrir le débat, la discussion, l'idée étant de réagir sur les scénarios proposés. L'évaluation des services écosystémiques s'est révélé être un sujet complexe à aborder. La construction des modèles, si elle est très scientifique, reste appropriable. La difficulté est d'arriver à expliciter, traduire ce processus aux élus.

Les services sont une illustration, un argument pour rendre plus concret le volet nature auprès des élus. La notion de service écosystémique est parlante pour évaluer un projet ou une thématique en particulier. Il faut être réaliste sur la mobilisation que l'on peut engager en interne en politique. Il convient également d'être modeste quant à l'exploitation politique d'une telle démarche : sur le territoire bordelais, les sujets cruciaux portent plutôt sur les problèmes d'inondation et de destruction d'espaces naturels au profit de projets urbains.

En conclusion, la démarche est jugée intéressante dans la mesure où elle constitue un outil d'aide à la décision. Les résultats peuvent être utilisés dans le cadre d'une politique prospective, permettant de s'interroger sur l'impact de projets de territoire.

13.3.3 – Discussion

– La notion d'échelle

Le territoire bordelais représente l'échelle minimale pour laquelle cette méthodologie peut s'appliquer. Sur un territoire plus restreint certaines données perdent de leur sens ou ne sont plus exploitables. Ceci est lié à l'utilisation de la base de données CLC qui constitue la seule base

de données pour laquelle des points temporels (de 1990 à aujourd'hui) sont disponibles.

À l'échelle de Bordeaux métropole, il est tout à fait probable de ne pas évaluer certains services, notamment les services linéaires comme l'accès à des espaces verts. Inversement, à échelle plus fine, plus précise (10 m de définition par exemple), les services qui dépendent des bassins versants perdent de leur sens. Il faut donc trouver un compromis entre des niveaux de définition très larges (utiles pour les bassins versants) et des niveaux très précis (utiles dans le cadre de la gestion politique des espaces ou pour du linéaire urbain).

– *Objectivité des indicateurs*

Il est pertinent de se poser la question de l'objectivité du modèle du fait de la sélection de certains indicateurs qui pourraient orienter les résultats obtenus.

Il faut garder la transparence sur la manière dont les conventions sont adoptées. Les indicateurs doivent être simples à expliquer. Tous les indicateurs ayant leur part de partialité, il convient également de garder une vision objective vis-à-vis des acteurs (décideurs, élus) en présence. Le paramétrage des modèles est basé sur des publications scientifiques (filtration, carbone). Pour l'accès aux espaces verts, les données utilisées sont issues de publications. Il y a cependant une part intuitive : les limites de cet indicateur sont connues. Pour les services récréatifs, la présence d'espaces verts du fait du mitage peut être perçu comme un indicateur pertinent, mais il peut être perçu également de façon négative. Le choix d'un autre indicateur, la perte d'accès aux espaces naturels depuis 1990, s'est révélée être ainsi plus fédérateur dans le cadre de l'évaluation sur le territoire bordelais.

Les indicateurs ne servent pas à prendre une décision rationnelle visant à optimiser l'existant. Ils permettent d'observer le territoire avec une certaine perspective. Les résultats obtenus avec ce modèle constituent un outil pour engager les discussions. Ils permettent de sortir des impasses habituelles opposant les questions de développement et celles de protection. Ce modèle permet par exemple de mettre en évidence le fait qu'en investissant dans la protection de la nature on produit simultanément des bénéfices divers, évaluables en termes biophysiques et monétaires.

– *La synergie et les interactions des services*

Les interactions entre les services sont souvent complexes et imprévisibles : les services écosystémiques peuvent avoir des relations négatives ou positives. Des synergies existent lorsque les services interagissent. Un échange se produit lorsque la production d'un service est réduite suite à l'augmentation de la production d'un autre. Par exemple, la plantation d'une forêt mono-spécifique, stocke un maximum de carbone tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère mais peut également affecter fortement la préservation de la diversité biologique et la régulation de l'apport en eau.

Concernant la synergie, l'observation de l'évolution de services proches (quelle soit négative ou positive), illustre une corrélation entre ces services. Si l'évolution est positive pour un service et négative pour un autre sur une même zone, c'est qu'il n'y a pas de synergie entre ces deux services. Il est donc possible de faire des analyses de covariation avec les résultats obtenus grâce à ce modèle (à titre d'illustration, une forêt de pins va stocker énormément de carbone mais parallèlement filtrera très peu d'eau).

– *Les bouquets de services*

La notion de bouquet de services n'a pas été abordée lors de l'évaluation des services écosystémiques du territoire bordelais pour éviter de complexifier le dialogue. La notion même de service devant être appréhendée par les acteurs au préalable.

Le principe d'une telle évaluation est techniquement envisageable. La question essentielle est de savoir si elle s'avère pertinente pour les acteurs (Bordeaux métropole n'a pas souhaité développer cette notion). L'organisation même des collectivités qui fonctionnent avec des directions thématiques peut constituer un frein pour raisonner en termes de bouquets de service. À l'inverse, présenter un raisonnement portant sur les bouquets de service peut favoriser le décloisonnement des services entre eux et améliorer le dialogue entre services pour une gestion politique « transversale » et une plus grande efficacité pour les citoyens.

– *Transportabilité de la démarche*

L'évaluation des services écosystémiques présenté ici peut être transposée sur un autre territoire à condition que soient respectés les points suivants :

- une volonté politique de la collectivité qui souhaite s'approprier la démarche ;
- une personne compétente mobilisée pour produire la modélisation (temps estimé à un ETP pendant 1 an) ;
- l'organisation d'ateliers (a minima 2) réunissant les acteurs locaux d'horizons différents, la diversité des opinions et des perceptions devant s'exprimer, notamment pour le choix des indicateurs (prise en compte des spécificités du territoire considéré) ;
- l'échelle minimale d'évaluation est la communauté de communes, l'échelle idéale étant celle du SCoT.

L'évaluation qui pourrait être produite à l'aide de cette méthode n'est pas pertinente à l'échelle d'une commune. Dans le cas présenté ci avant, l'exercice a été effectué par commune à titre comparatif et à la demande

des acteurs. Cette représentation est intéressante pour amorcer le dialogue : chaque commune peut percevoir des déséquilibres dans l'aménagement de son territoire (au titre de certains services négligés). La présentation du diagnostic a suscité des discussions intéressantes, chaque acteur trouvant des éléments valorisant leur stratégie bien qu'ayant chacun, des objectifs différents. Pour autant, proposer un diagnostic à l'échelle de la commune reste très discutable.

13.3.4 – Conclusion

Ce modèle d'évaluation intégrée des services écosystémiques est intéressant pour plusieurs raisons :

- il est innovant : ce modèle offre des perspectives novatrices mettant en avant les fonctions et usages des milieux naturels de la communauté de communes en utilisant des données géospatiales ouvertes à disposition de chacun. Si l'outil apparaît très scientifique et complexe, les résultats peuvent être présentés de façon très concrète permettant de faire des bilans quantitatifs, d'identifier et cartographier des services perdus, d'illustrer des services parfois difficiles à représenter pour des élus (pour ex : la capacité de filtration de nitrates)
- il permet également d'évaluer assez facilement l'impact d'une dépense « environnement » engagée par la collectivité. Pour exemple, un élu peut « visualiser » le résultat d'une dépense pour l'environnement effectuée dans le cadre de la construction d'une station d'épuration. Il est à noter que la perte des espaces de nature liée à cette construction entraînera un coût supplémentaire de perte de la capacité de filtration par le milieu naturel ;
- il constitue un outil d'aide à la décision. Est-ce que l'on préfère mettre l'accent sur les services récréatifs pour la population, ou maintenir une bonne qualité de l'eau et mettre l'accent sur les services de régulations parce que les enjeux d'inondation sont très présents sur

territoire ? Ou maintenir un tissu agricole très fort avec pour conséquence une augmentation des services de prélèvements ? L'outil permet de rendre explicite tous ces choix à partir d'une unité d'évaluation commune.

Enfin, les résultats permettent d'ouvrir un débat, un dialogue, sur une base conceptuelle et scientifique commune avec, autour de la table, des parties prenantes d'origines diverses, ayant chacune des perspectives et des activités de gestion différentes.

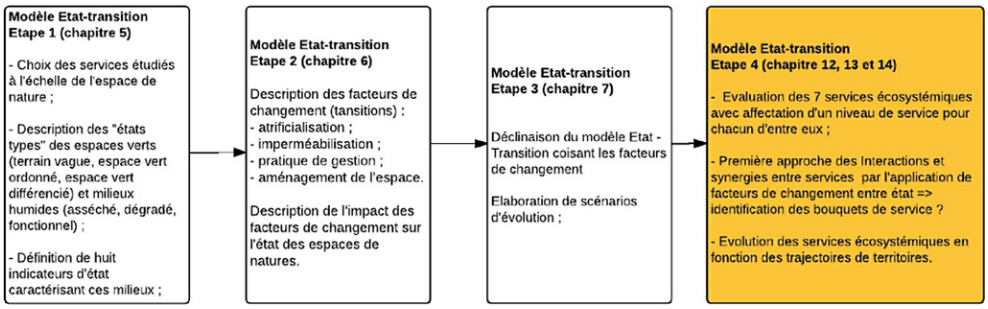
* * *

Chapitre 14

Interactions entre services écosystémiques à l'échelle des espaces de nature : approche avec le modèle états transitions

Cette partie 14 a pour objet de poursuivre l'élaboration du modèle Etats-Transitions développé aux chapitres 5, 6 et 7 pour approcher les interactions entre services écosystémiques à l'échelle des espaces de nature. Elle constitue la dernière des 4 étapes du modèle Etats-Transitions (Illustration 100).

Illustration 100 : Description des étapes d'élaboration du modèle Etats-Transitions



Pour mémoire, l'objectif premier de ce modèle est d'étudier l'articulation entre les pressions (ou transition) et l'état d'un espace de nature, dans un contexte historique (Lavorel 2015), (McIntyre et Lavorel 2007), (Zweig et Kitchens 2009) et non pas d'identifier des bouquets de services, ni d'explorer les interactions entre les services écosystémiques. Il fournit des éléments de compréhension sur les changements de composition et de fonctionnement des écosystèmes en réponse aux pressions, et permet de faire ressortir leurs tendances d'évolution.

Toutefois, la quantification/évaluation des 7 services pré-identifiés et l'analyse de leurs évolutions lors de l'application des transitions pourrait permettre de répondre au cadre conceptuel de l'Efese : "Identification des bouquets de services et des interactions/synergies entre services".

Cette partie 14 s'attache donc à **tester le modèle Etats-Transitions pour identifier des bouquets de services et pour approcher les interactions entre services écosystémiques à l'échelle des espaces de nature.**

L'étape 4 (illustration 6 du modèle états et transitions permet bien d'identifier des bouquets de services corrélés et antagonistes au sein de chaque état. Elle permet par ailleurs d'identifier les synergies et les compromis entre services tels qu'illustrés dans le 14.2.

Elle permet, de plus, d'évaluer l'impact sur les services écosystémiques des tendances d'évolution des territoires et enfin ouvre sur les conditions d'arbitrages possibles.

Cette partie 14 se décline donc en 4 sous-parties présentées ci-dessous.

La première **sous-partie 14.1** "Évaluation des services écosystémiques dans le modèle état-transition : Méthodologie" permet de **présenter et décliner la méthode** employée pour quantifier les services écosystémiques et ses limites.

La deuxième **sous-partie 14.2** « Évaluation des services écosystémiques dans le modèle état-transition : Résultats » permet de **quantifier les services retirés des 10 « états types »** (5 espaces verts et 5 milieux humides) déterminés au chapitre 5, en attribuant des niveaux de services par état. Les résultats permettent d'identifier par état, **à un instant donné (statique), une signature globale des niveaux de services.**

La troisième **sous-partie 14.3** « Identification des bouquets et interactions/synergies entre services par l'observation des transitions du modèle » va **tenter**, en appliquant les facteurs de changements sélectionnés au chapitre 7, **d'identifier des bouquets de services écosystémiques ainsi que les services qui évoluent ensemble en synergie et/ou antagonisme**. Des exemples de schémas État-transition complet y sont présentés pour faire ressortir les bouquets de service observés en milieu urbain.

La quatrième **sous-partie 14.4** « Impact sur les services écosystémiques des tendances d'évolution des territoires » va **illustrer l'évolution des services en fonction de deux grands scénarios contrastés de projets d'aménagement locaux.**

Les deux premières sous-parties, non prévues dans le cadre conceptuel de l'Efese à ce stade, **permettent d'évaluer les services écosystémiques retirés de chacun des états types**. Elles sont un préalable nécessaire et indispensable à la construction du modèle États-Transitions, à l'identification des bouquets et synergies/antagonismes entre services.

L'ensemble des résultats ne sera pas commenté mais plutôt illustré sur quelques cas.

Illustration 101 : Rappel des chapitres précédents pour la construction du modèle état et transition

Pour mémoire, rappel des chapitres précédant :
A partir des typologies/données disponibles, des enjeux des territoires et des services retirés des espaces de natures urbain, le chapitre 5 permis de sélectionner :

- **sept services** prépondérants en milieu urbain (tableau 5.3 du chapitre 5) rappelés ici.
- **deux types d'espaces spécifiques au milieu urbain** rendant de manière différencié ces services : espaces verts et milieux humides. Bien que parfois faisant parti intégrante des espaces verts, le parti est pris de traiter les milieux humides comme un espace de nature indépendant au regard des services retirés spécifiques à ces milieux (régulation des inondations, auto-épuration des eaux notamment).

Services écosystémiques identifiés	Espaces verts	Milieux humides
Régulation des inondations	++	+++
Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)	+	+++
Qualité de l'air	++(+)	+++
Régulation du climat local	++(+)	+++
Activité récréative et de loisirs	++	++
Expérimentation et éducation	++	++
Aménités paysagères	++	++
Nombre de Services Ecosystèmiques concernés	**7**	**7**

Tableau 5.3 : Présentation des services retirés des espaces verts et des milieux humides urbain, (+) proportionnel au nombre de fois où le service est cité, identifiés à l'aide d'une revue bibliographique et des travaux du GT urbain

La construction du modèle Etat-transition a permis **pour chacun de ces deux espaces de caractériser cinq "états types"** témoignant d'une différence de gestion et/ou de conception et de pressions anthropiques à des niveaux plus ou moins élevés dus à l'artificialisation des sols, à la fréquentation et aux usages de ces milieux. Ces états ne présagent toutefois en rien d'un état ou d'une gestion "idéale". Il va de soi que d'autres états intermédiaires peuvent être définis dans le cadre de son utilisation par des collectivités. Les gestionnaires doivent alors pouvoir situer leurs espaces verts par rapport à ces "états types".

14.1 – Méthodologie

Fort de ce rappel, la méthode utilisée pour évaluer qualitativement la capacité des espaces de nature à rendre les services, en fonction de son état, est basée sur « dire d'expert ». Pour chaque état, le niveau de service est noté de 1 à 4. Il est défini pour être en cohérence avec les classes déterminées pour les indicateurs d'états : 4 correspondant à un niveau très bon à bon, 3 moyen, 2 faible et 1 mauvais.

Les notes attribuées sont relatives et permettent de comparer le niveau de service rendu entre les états pour chaque type d'espace (Espaces verts et Milieux Humides) mais **ne permettent pas de comparer les Milieux Humides aux Espaces Verts.**

Chacun des "états types", bien qu'étant caractéristique de la typologie définie dans le chapitre 5, peut rendre le même service de manière variable. Comme pour l'élaboration des indicateurs d'état (*Cf.* chapitre 5), **les niveaux de services font donc l'objet de fourchettes par état**.

Par exemple, le service « expérimentation et éducation » d'un espace vert ordonné ou horticole pourra être mieux noté si l'espace en question fait l'objet d'actions de sensibilisation à la botanique (conservation de la végétation horticole ou gestion des espèces exotiques,…). Toutefois, ces espaces n'ont souvent pas été conçus spécifiquement pour mettre en oeuvre ces actions d'éducations et ont pour objectif principal la détente et le loisir. Une fourchette de mauvais à faible est proposée et permet d'intégrer des actions qui seraient menées.

Chaque note est assortie d'un argumentaire.

Quelques limites de la méthode :

- La biodiversité est considérée dans le cadre conceptuel de l'Efese comme une fonction écologique et est évaluée à travers la pluralité des services qu'elle rend. Elle ne paraît donc pas directement dans cette partie. Il aurait donc pu être intéressant de l'introduire afin d'observer les interactions entre l'état, les services retirés des espaces de nature et leur biodiversité.
- La valeur des indicateurs d'états (identifiés au chapitre 5) a été prise en compte dans la construction de la note attribuée aux services. Par exemple, pour le service "autoépuration de l'eau", un espace vert "Naturel" présente une plus forte diversité d'espèces et la présence d'une strate herbacée ou arbustive plus haute que celle présente dans un espace "horticole", la rugosité (indicateur d'état défini dans le chapitre 5) est donc plus importante, ce qui augmente le niveau de service rendu. Ce type de raisonnement est appliqué pour l'attribution des niveaux de service par état. Toutefois, pour limiter les incertitudes, ce travail devrait être amélioré par une recherche bibliographique approfondie sur les liens entre état et services (méthodologie est adaptée des propositions de (Burkhard, Kroll, et Muller 2012) et du modèle "États-Transitions" décrit par (McIntyre et Lavorel 2007).

- Le contexte environnemental et les enjeux des territoires ne sont pas pris en compte par cette méthode. La localisation spatiale de l'espace de nature sur le territoire ou dans le bassin versant peuvent en effet influencer le niveau du service rendu. Par exemple, un parc en centre-ville contribue moins à la régulation des inondations qu'en zone péri-urbaine du fait de sa superficie, de sa connexion à d'autres espaces verts (J Maréchal 2014). Le service de régulation des inondations sera maximal lorsque une zone humide est connectée au réseau hydrographique (lit mineur, forêt alluviale et ripisylve, marais fluviaux et prairies humides ou des annexes fluviales) [étude interagence n° 89]. De même, sur les territoires les plus vulnérables, en zone de captage par exemple, l'enjeu d'auto-épuration de l'eau par les milieux humides sera renforcé. La méthode ne prend par ailleurs pas en compte les interdépendances spatiales entre services.
- **les niveaux de services** sont déterminés à un instant donné et **ne sont pas représentatifs de la dynamique d'évolution des différents milieux**. Par exemple, le couvert ombragé d'un espace vert va augmenter en fonction de l'âge des espèces arborés, un éco-parc jeune aura un niveau de service moindre qu'un espace vert ordonné historique. **Le modèle pourrait être amélioré en ajoutant une transition liée à la temporalité des espaces.**

Les résultats sont compilés dans les deux tableaux présentés en annexes 1 et 2.

Afin de servir d'aide à la décision ou d'outil pour appuyer un plan de gestion ou de conception, les représentations des niveaux de services par état doivent être couplées à une réflexion plus large prenant en compte les enjeux du territoire, des questions de continuité écologique et des fonctions écologiques (la biodiversité).

14.2 – Résultats

Cette sous-partie présente pour tous les états des Espaces Verts et des Milieux Humides urbains le niveau de service associé. Les notes sont attribuées selon la méthode décrite ci-dessus. À titre d'exemple, l'exercice d'évaluation est mené sur le parc de la Seille à Metz et la ZAC des Jonchets à Montbéliard.

14.2.1 – Niveaux de services associés à 5 « états » d'espaces verts

L'exercice a consisté à **visualiser le niveau de chacun des 7 sept services écosystémiques** pour les 5 états d'espaces verts déterminés au chapitre 5 (Terrain vague, Espace horticole, Ecoparc avec et sans gestion des eaux pluviales, espaces naturels). **Cinq diagrammes radars sont ainsi construits à partir de la matrice « quantification de la capacité des espaces verts urbains à fournir des services écosystémiques »** (annexe 1).

Dans un premier temps, le Parc de la Seille à Metz (ou Jardins de Jean-Marie Pelt) permet d'illustrer l'état "Eco-parc avec gestion alternative des eaux pluviales" et les niveaux de services associés. Les diagrammes radars seront décrits dans un second temps.

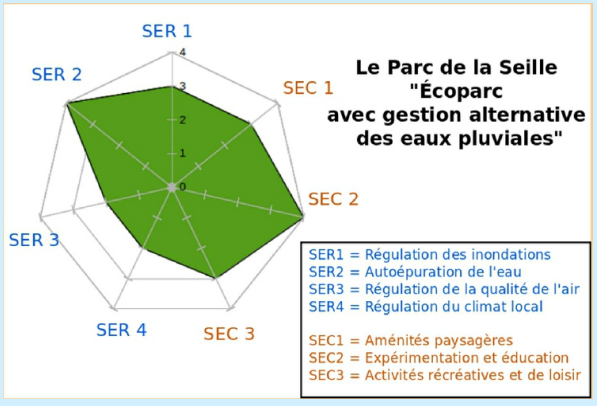
Zoom 1

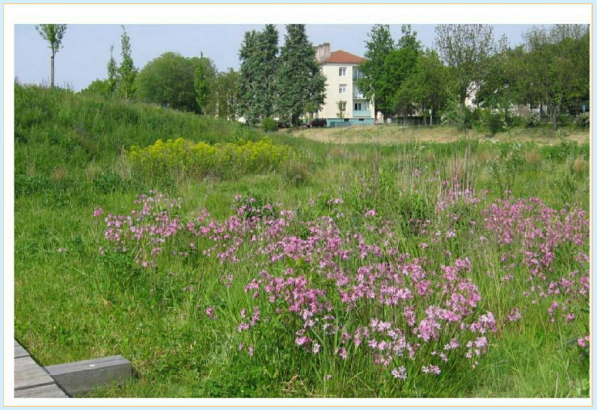
Le Parc de la Seille à Metz (ou Jardins de Jean-Marie Pelt) un éco-parc avec gestion alternative des eaux pluviales

Lien fort entre les quartiers, le parc de la Seille est un grand parc urbain situé à quelques pas du centre-ville et de la gare. Le site longe la rivière de la Seille sur 1 km, et toute la conception s'est axée sur la prise en compte des enjeux hydrologiques et l'inclusion de morceaux de nature dans la ville, qui devaient être compatibles avec une forte fréquentation. Sur la surface totale du parc certaines zones (non décrite ici) peuvent être considérée comme correspondant à l'état "Parc horticole".

Les services rendus par la zone du parc sont décrits ci après.

Illustration 102 : Niveaux de services retirés du Parc de la Seille





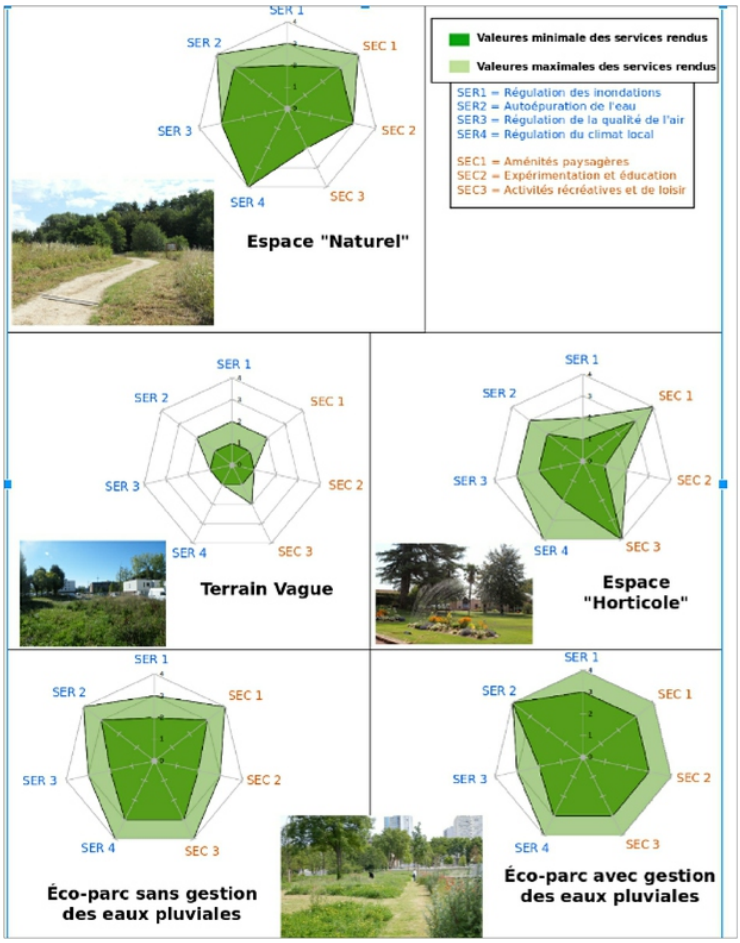
Source : Ville de Metz

- **Régulation des inondations - bon : Au-delà des travaux de renaturation du cours d'eau (et notamment de diversification des hauteurs et vitesses et du reméandrage qui ralentit les flux), les berges au-delà de la zone humide rivulaire ont été redessinées pour permettre une meilleure expansion des crues.**

- **Autoépuration de l'eau - très bon :** Le système de traitement alternatif mis en oeuvre dans le parc collecte les eaux pluviales du quartier attenant. Ce système complet et diversifié a été pensé pour gérer les aspects quantitatifs (avec notamment un bassin d'orage végétalisé) et qualitatifs (filtre planté et zone de rejet).
- **Régulation de la qualité de l'air - moyen :** Le parc a été inauguré en 2002 seulement et la faible densité d'espèces arborées (les arbres présents étant encore relativement jeunes, la plupart ayant donc été plantés entre 2002 et 2010) ne permet pas une régulation optimale de la qualité de l'air. Les zones en gestion différenciée et le très faible taux d'imperméabilisation permettent tout de même le développement d'une végétation permettant une régulation de la qualité de l'air moyenne.
- **Régulation du climat local - moyen :** le cours d'eau renaturé et le système de gestion des eaux pluviales jouent un rôle certain dans la régulation du climat local (mais peuvent être considérés séparément du fait de leur caractère "humide") mais une nouvelle fois la relative faiblesse de la strate arborée limite le rôle joué sur la régulation du climat local.
- **Activité récréative et de loisirs - bon :** des espaces réservés pour la fréquentation forte sont aménagés dans le parc bien que la proportion de la surface totale en gestion différenciée (et donc peu accessibles au moins une partie de l'année) soit significative.
- **Expérimentation et éducation - très bon :** Pour les élus, et services de la ville ce parc est un vitrine de l'action en terme de gestion écologique de la ville. Le parc a été labellisé "Eco-jardin" et des panneaux éducatifs ont été installés pour valoriser les fonctions du parc en terme de traitement des eaux pluviales et d'accueil de la biodiversité. Des événement ponctuel et l'installation de panneaux temporaires (campagne pour le retour de la nature en ville portée par la ville) sont égalements observés dans le parc.
- **Aménités paysagères - bon :** Des éléments forts et diversifiés ont été conçus avec une approche paysagère intégrée pour créer une mosaïque large mais cohérente d'espaces (et d'habitats) : une lagune, une roselière, une prairie humide et un bassin sec où l'on peut observer une faune et une flore spécifiques de la vallée de la Seille, ainsi que plusieurs espaces occupé par des cultures représentatives de la région (vignes, houblonnières, vergers de mirabelliers, …).

Fort de cet exemple d'application, les fourchettes de l'ensemble des niveaux de services, des cinq états types d'espaces verts, sont représentés ci-dessous graphiquement à l'aide de diagrammes radars. Ils permettent de visualiser les 7 services retirés des espaces ainsi que de leurs niveaux, sans préjuger de leurs éventuelles interactions (Figure 9).

Illustration 103 : Représentation des fourchettes des niveaux de service retirés des cinq états d'espaces verts.



Plusieurs messages peuvent être tirés de l'exercice de construction des diagrammes radars représentant les fourchettes des niveaux de services retirés des espaces verts :

- Une variabilité des niveaux de services est observée entre les différents états. **Les espaces les plus favorables à une expression optimale de tous les services considérés ici correspondent aux « éco-parcs »**. Ce sont des espaces conçus dans un objectif de multifonctionnalité. Ils font l'objet, dès leur conception, de réflexions intégratrices autour de la création de nouveaux éco-paysages (support d'actions d'éducations), des services culturels et de la gestion des eaux. Même si les questions de la qualité de l'air ou du climat local sont, *a priori*, moins prégnantes lors de la conception de ces espaces, ils contribuent toutefois à leur régulation de part la présence de couverts arborés. Le fait de ménager des zones refuges, non fauchées/tondues va certes limiter l'accès

pour les usagers et de fait le niveau de service récréatif, mais va permettre l'implantation d'une biodiversité plus riche. Des équilibres sont recherchés dans les projets.

- **Les espaces naturels** et les terrains vagues dans une moindre mesure**,** bien qu'étant support de biodiversité **ne fournissent pas** tous les services, notamment **récréatifs de loisir**. En effet, leur accès est limité permettant ainsi le développement et/ou la préservation écologique des milieux. Ils sont donc moins bien notés que les "éco-parcs" sur cet aspect.
- **Les espaces verts de type horticole sont des lieux ou les niveaux de services sont importants. Leur histoire et temporalité en font des lieux de loisirs où la régulation du climat et de la qualité de l'air peut être élevée** (notamment de part la densité des houppiers anciens). Bien que dans le cadre général ils ne soient pas des lieux d'éducation, certains de ces parcs protègent des espèces botaniques précieuses et proposent des actions d'éducation associées. Par contre, ils ont souvent été conçus à l'époque de la gestion "tout tuyau" des eaux urbaines et n'intègrent donc pas directement des ouvrages de gestion végétalisés des eaux pluviales.
- Le « Terrain Vague » est l'espace rendant le moins de services, celui-ci étant issu d'anciennes zones aménagées ou polluées est en effet un espace certes sans gestion, mais d'une qualité écologique fortement dégradée.
- Le service aménité paysagère est rendu par tous les types d'espaces qui contribuent chacun à la diversité des paysages urbains.

En terme de **signature globale des niveaux de services par état**, plusieurs tendances apparaissent à l'observation des diagrammes :

- **L'éco-parc représente un compromis entre l'espace "Naturel"** (peu accessible et ne permettant pas de maximiser les services récréatifs), et un espace à la nature plus maîtrisée, **l'espace "Horticole"**, ou les fonctions écologiques et donc les services de régulation dont elles sont le support sont limités au profit d'une offre culturelle potentiellement plus large.

- **Les états issus d'anciennes zones aménagées et laissées à l'abandon ou résultants d'usages déviants** ("Terrains Vagues" pour les espaces verts, milieux humides "Asséchés" ou "Dégradés") sont toujours les moins favorables à l'expression des services, et **peuvent être vus comme des espaces transitoires sources d'opportunité pour le développement de la nature en ville.**

- De manière générale **les services de régulation sont maximisés dans les espaces plus naturels,** ou une gestion équilibrée ou différenciée est appliquée. **Les services culturels** en revanche **peuvent être favorisés dans des espaces de nature en ville à la nature maîtrisée,** ou la place des services récréatifs est gagnée sur celle de la biodiversité en général et des services de régulation associés.

Il est peu probable qu'un seul type d'espace puisse rendre l'ensemble des services à un niveau maximum, **une mosaïque d'espaces est donc souhaitable** (et à mettre en cohérence avec les enjeux locaux) **pour favoriser une offre complète de services culturels, paysagers et de régulation.**

- **La gestion équilibrée ou différenciée est un levier pour agir sur les services de régulation** et permet un forte augmentation du niveau de service rendu pour l'autoépuration de l'eau ou la régulation des inondations par exemple.

14.2.2 – Niveaux de services associés à 5 « états » de milieux humides

L'exercice a consisté à visualiser le niveau de chacun des 7 sept services écosystémiques pour les 5 états de milieux humides déterminés au chapitre 5 (Milieux humides asséchés, dégradés, préservés ou artificiels en gestion équilibrée ou base de loisir, naturels). Cinq diagrammes radars sont ainsi construits à partir de la matrice "quantification de la capacité des milieux humides urbains à fournir des services écosystémiques" (annexe 2).

Dans un premier temps, la ZAC des Jonchets à Montbéliard permet d'illustrer l'état "milieux humides en gestion équilibrée" et les niveaux de services associés. Les diagrammes radars seront décrits dans un second temps.

Zoom 2

La zone humide réhabilitée de la ZAC des Jonchets, un milieu humide en gestion équilibré.

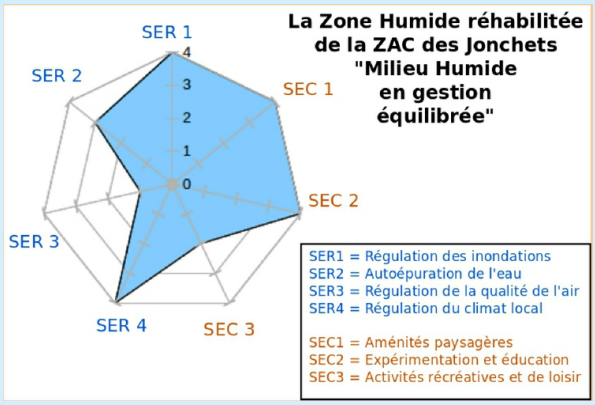
Le projet de restauration de la zone humide et au-delà du parc du Jonchet, réalisé dans le cadre d'une ZAC, est détaillé dans l'ouvrage "Milieux humides et aménagement urbain, dix expériences innovantes", Cerema 2015. Il se situe dans la communauté d'agglomération de Montbeliard (25) sur le territoire de Grand-Charmont (5 200 habitants). Cette zone, à proximité d'un lotissement et d'une zone commerciale a été soumise à une progression de l'urbanisation dans les années 1960 et a subi un assèchement suite à la mise en place d' un assainissement "tout tuyau" dans les quartiers environnants.

L'objectif affiché dans le cadre du projet de ZAC est de rendre à cet espace asséché sa fonctionnalité de milieu humide, à l'aide de deux principaux leviers : 1/ la mise en place d'une gestion alternative des eaux pluviales en amont permettant de réalimenter en eau la zone et en faire un zone de stockage pour les forte pluies et 2/ la création d'une diversité de milieux physiques. Leviers qui ont permis, en intégrant les enjeux du territoire dès l'amont du projet, de favoriser d'autres services tels que l'éducation, la régulation du climat local ainsi que les aménités paysagères.

Sont décrit ci-après et représentés sur l'illustration10 les niveaux "espérés" des différents services retirés du milieu humide. Ils ont été estimés à partir d'une adaptation de la matrice "quantification de la capacité des milieux humides urbains à fournir des services écosystémiques" (annexe 2) et de la connaissance du contexte du territoire local.

Mis à part pour le service régulation de la qualité de l'air (non assuré par le milieu humide lui-même), la zone humide du Jonchet dispose d'un large potentiel pour rendre de bons niveaux de services de régulation. Pour préserver ces derniers, la zone est protégée de la fréquentation humaine limitant ainsi le service de loisirs/récréatif.

Illustration 104 : Estimation des niveaux de services retirés de la ZH réhabilité des Jonchets - Grand Charmont (25)



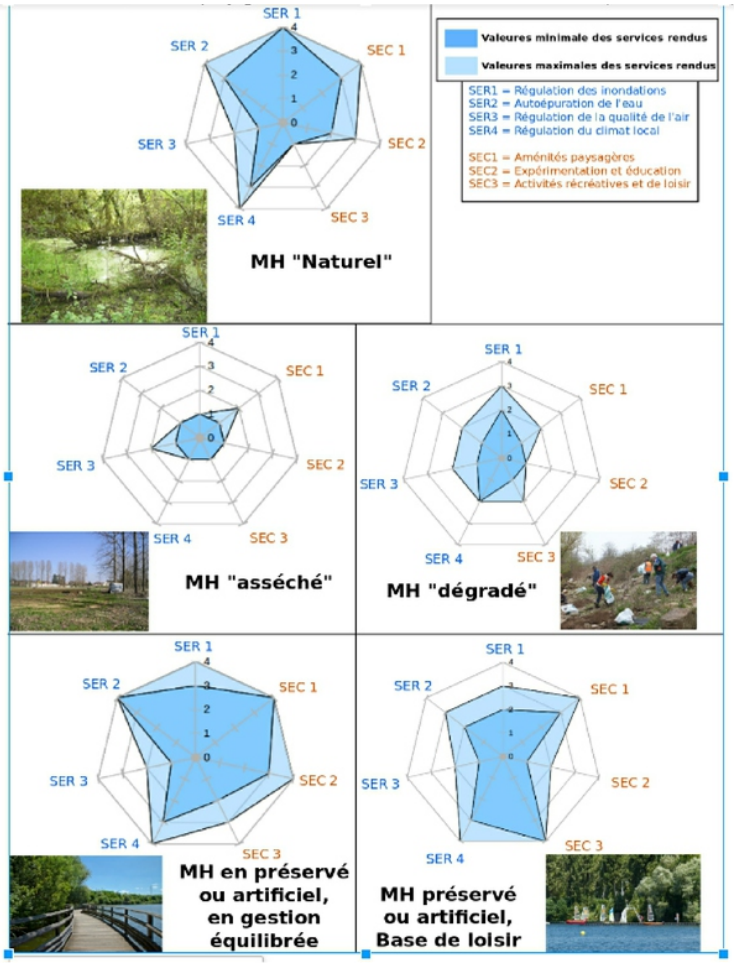


conception : Infra Service

- **Régulation des inondations - très bon :** vocation première du projet qui permet de tamponner les pluies et de les restituer superficiellement et progressivement au milieu humide. Le milieu humide, permet de stocker 17.000m3 d'eaux pluviales (pluie d'occurrence décennale). En cas de pluie importante, le parc est rendu inondable ;
- **Autoépuration de l'eau - bon à très bon :** un bassin de rétention des pollutions a été aménagé sous la forme d'une mare, des noues en tête du bassin (servant de réseau d'amenée en lieu et place des drains utilisés avant la rénovation) permettent le piégeage des matières en suspensions et la dégradation des hydrocarbures et une zone de rejet végétalisée (sous la forme d'une noue) sont en place. L'étang est également végétalisé avec des plantes aux capacités épuratoires. Cette mosaïque de milieux, dimensionnée pour les eaux reçues, doivent permettre une épuration que l'on pourrait estimer bonne à très bonne.
- **Régulation de la qualité de l'air - mauvais :** le milieu humide, peu végétalisé ne rend pas ce service. A noter que a contrario, ce service est plus important, mais relatif sur le reste du parc. Même si quelques grands arbres ont été coupés, une recherche de préservation des végétaux existants a été mené lors de la conception du parc : sont présents un verger, un bois de frênes et un arboretum de saule.
- **Régulation du climat local - bon :** la présence d'eau permanente et/ou temporaire favorise un alternance d'évapotranspiration et de périodes d'assèchement favorable à la régulation du climat local. La végétation préservée de berges arborées apporte ombrage, rugosité et maximise l'évapotranspiration.
- **Activité récréative et de loisirs - faible :** l'espace naturel humide central, autour de l'étang a été préservé de la fréquentation. Le visiteur est incité à demeurer en périphérie. La préservation du milieu s'exprime par une gradation de l'entretien rendant quelques endroits totalement inaccessibles limitant ainsi fortement le service. A noter que à contrario, ce service est important sur le reste du parc.
- **Expérimentation et éducation - bon :** Le niveau de service est considéré comme bon car les élus l'ont conçu pour être un endroit propice pour expliquer à la population les fonctions des espaces naturels. Une mare pédagogique est présente et des opérations de sensibilisation sont régulièrement menées dans le cadre du programme "1, 2, 3, Nature" notamment.
- **Aménités paysagères - bon :** L'attractivité de l'espace a été aménagé pour favoriser une diversité des ambiances et une mosaïque riche en milieu. L'aménagement a été conçu pour faire oublier sa vocation première de traitement des eaux pluviales. Il a privilégié la création de milieux variés de type éco-paysage qui sont autant de micro-corridors favorables à la biodiversité. Le service est bien rendu par la zone.

Fort de cet exemple d'application, les fourchettes de l'ensemble des niveaux de services, des cinq états types de milieux humides, sont représentés ci-dessous graphiquement à l'aide de diagrammes radars. Ils permettent de visualiser les 7 services retirés des espaces ainsi que de leurs niveaux, sans préjuger de leurs éventuelles interactions (Illustration 111).

Illustration 105 : Représentation des fourchettes des niveaux de service retirés des cinq types de milieux humides



Plusieurs messages peuvent être tirés de l'exercice de construction des diagrammes radars représentant les fourchettes de niveaux de services retirés des espaces verts :

- Une forte variabilité de niveau de service rendu est observée entre les différents états, ceux-ci étant représentatifs des pertes de fonctionnalités des milieux humides dues aux impacts anthropiques (notamment pour les états "asséché" et "dégradé"). **En milieu urbain, le milieu humide le plus favorable à une expression optimale de tous les services considérés ici est**

le milieu "préservé en gestion équilibrée". Il convient toutefois de signaler que les connaissances actuelles concernant les fonctions écologiques des milieux humides artificiels et/ou gérés laissent apparaître une relative inefficacité des méthodes actuelles du génie écologique pour créer ou restaurer à court terme un milieu humide fonctionnel.

- **Le type de dégradation subie par un MH va générer une différence sur le niveau de service rendu**. Ainsi un MH qui subit une dégradation superficielle pourra toujours jouer un rôle dans la régulation de flux hydrique (auto-épuration et régulation des inondations) contrairement à un MH dont les fonctionnalités hydriques ne sont plus permises suite à un assèchement par exemple. De plus, ce dernier ne sera pas, a priori, à même de rendre des services culturels du type récréatif ou éducation/expérimentation.
- Les espaces "**naturels"** et "**préservés et en gestion équilibrée"** ont un **niveau de service particulièrement élevé pour la régulation des flux hydriques, et la régulation du climat local mais aussi le service "d'expérimentation et éducation"**. Ces services sont favorisés par une gestion équilibrée voire "écologique".
- **Les milieux humides naturels,** bien qu'étant souvent support de biodiversité importante et fonctionnels, **ne fournissent pas** tous les services, **notamment ceux liés au récréatif et au loisir**. En effet, dans un souci de développement et/ou de préservation écologique des milieux, leur accès est limité. Ils sont donc moins bien notés que les MH préservés ou artificiel sur cet aspect. La petite Amazonie à Nantes en est un bon exemple d'illustration. **L'espace "artificiel ou base de loisir"** va quant à lui, du fait de ses usages et de la fréquentation élevée, **être plus à même de rendre des services récréatifs mais sera moins performant pour les services de régulation des flux hydriques** notamment (le piétinement ou une gestion non adaptée des hydropériodes pouvant avoir un effet négatif sur l'auto-épuration et la régulation des inondations).

En terme de **signature globale des niveaux de services**, plusieurs tendances apparaissent à l'observation des diagrammes :

- **Les milieux humides fonctionnels contribuent à l'ensemble des services de régulations** traités ici, **mis à part la régulation de la qualité de l'air** qui dépend principalement du couvert végétal et non de la présence d'eau. Ils forment un bouquet de service "inondation/autoépuration/climat local". **Ces espaces sont souvent support d'actions d'expérimentation et d'éducation ;**

- Les **niveaux de service dépendent généralement de l'état de dégradation du milieu** mais aussi, pour les services récréatifs et de loisirs, des mesures de préservation du site. **La préservation des services de régulation et de la biodiversité se fait parfois au détriment du service de loisir/récréatif.** Par contre, les espaces fonctionnels sont souvent support d'actions d'expérimentation et d'éducation ;

L'évolution dans le temps des fonctions écologiques pourra être significative pour un milieu humide éco-conçu, et le niveau de service rendu sera donc dépendant de l'âge de l'écosystème.

14.3 – Identification des bouquets et interactions entre services par l'observation des transitions du modèle

Les milieux urbains se caractérisent par des dynamiques d'évolution nombreuses et rapides, parfois brutales pour les milieux humides ou les espaces verts urbains et périurbains. Un projet de requalification urbaine va mettre à mal tel alignement de vieux platanes ou un délaissé, ou tout au contraire, un parking imperméabilisé laisse la place et l'on voit ressurgir des berges, un ancien ruisseau. Le modèle États et Transitions intègre ces dynamiques artificielles des milieux. Il les nomme "transitions" et procède à leur description qualitative. Pour mémoire, (chapitre 6) ce sont :

- la gestion des milieux ;
- la conception de l'aménagement ;
- les pressions venant des bassins versants amont.

Ces facteurs de changement impactent les "états types" des milieux (voir analyse des impacts de ces transitions sur les indicateurs d'état du chapitre 6), et ce faisant ils impactent aussi le niveau des services écosystémiques. Dans la continuité de la démarche, **la présente sous-partie va donc** s'attacher **à appliquer ces "transitions" aux différents "états types", à analyser pour chaque état** l'évolution **des niveaux de services retirés**.

Une **description qualitative des synergies ou antagonismes entre services, sur la base de l'**observation de l'évolution des niveaux de services, est effectuée dans un premier temps.

À l'appui de diagrammes radar par état et des **transitions entre états**, le modèle États- Transitions permet ensuite une **identification/illustration de bouquet de services** retirés des différents type d'espaces. Un croisement des bouquets mis en évidence avec cette méthode et avec la méthode d'intelligence collective du 4.1 permettra de saisir des complémentarités. Les qualités olfactive et auditive des espaces de nature sont systématiquement cités dans les récits d'expérience alors qu'elles sont absentes du modèle Etats- Transtions car difficilement mesurables.

Avec une approche, non plus en niveau de service, mais en tendance générale d'évolution des services, l'analyse confirme les dynamiques vues ci-avant. Les graphiques ci-dessous tentent d'illustrer les synergies et antagonismes entre services. Sont représentés en abscisse les différents types d'espaces vert (illustrations 106 et 107) puis humides (illustration 108) et en ordonné les niveaux de services. Les points représentant donc le niveau de chaque service en fonction de l'état. Il est alors possible d'observer les synergies et antagonismes entre services écosystémiques à travers l'illustration par les courbes reliant ces points.

Illustration 106 : Synergies et antagonismes entre services entre les différents états d'espaces verts : cas des services « qualité de l'air et climat »

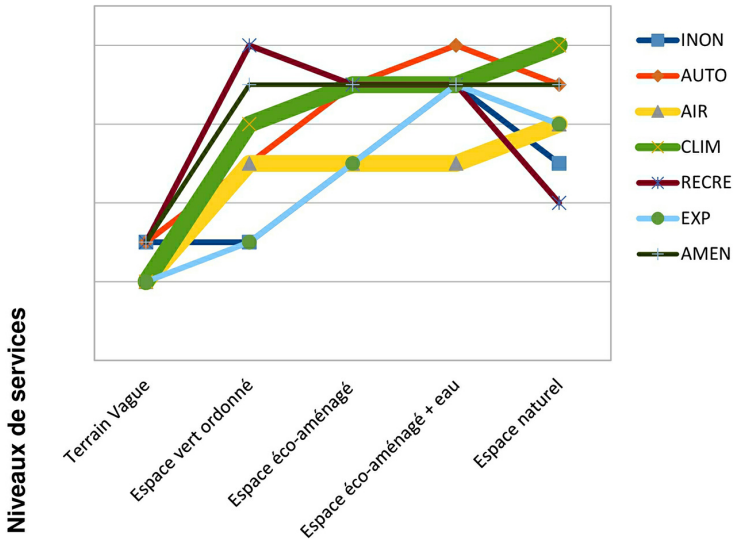


Illustration 107 : Synergies et antagonismes entre services entre les différents états d'espaces verts : cas des services « qualité de l'air et climat »

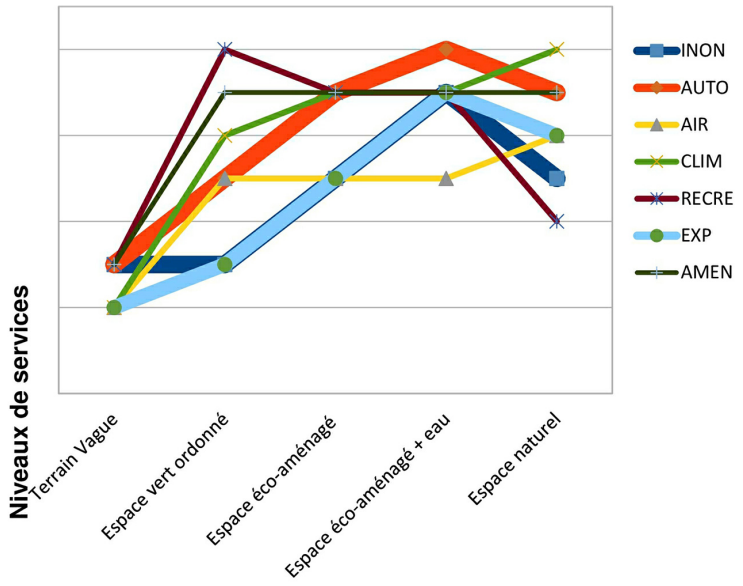
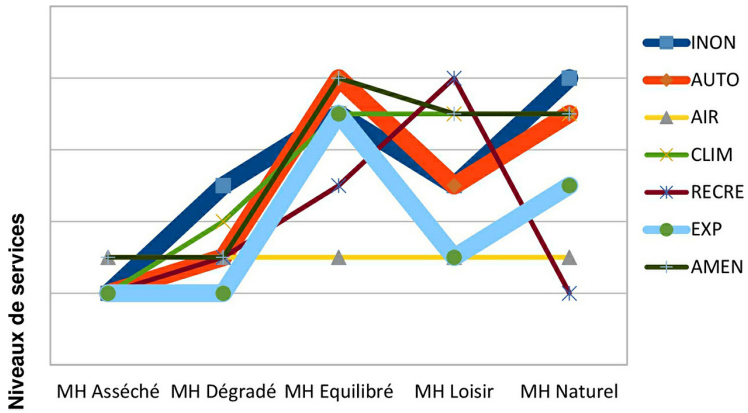


Illustration 108 : Synergies et antagonismes entre services dans les différents états de milieux humides



Le modèle États-Transitions mets en avant que le couple de services, "régulation des inondations" et "récréatif" évoluent ensemble sur les espaces verts qui sont conçus dans un objectif de gestion des eaux pluviales : les pelouses de jeu sont rendues inondables lors d'événements pluvieux. A contrario, au sein de ce même couple, les services sont en antagonismes sur

- les milieux humides « base de loisir » : espaces qui ont une fonction quasi-unique et souvent en contradiction avec la régulation des inondations et la préservation des milieux, la gestion de la ligne d'eau étant souvent source de conflit ;

- les milieux humides naturels : espaces préservés sur lesquels les loisirs sont quasi-inexistant.

L'application d'une transition sur un état donné va faire varier les niveaux des différents services retirés des espaces. L'observation de cette évolution, d'un ensemble de services sur un même espace, peut revenir à identifier des bouquets de services et peut permettre d'approcher quelques synergies et antagonismes. **Trois principaux bouquets ressortent de l'analyse et sont présentés ci-après.** Ils sont identifiés à partir des trois transitions 1/ gestion différenciée d'un espace vert, 2/ conception horticole d'un espace vert et enfin 3/ gestion équilibrée des milieux humides.

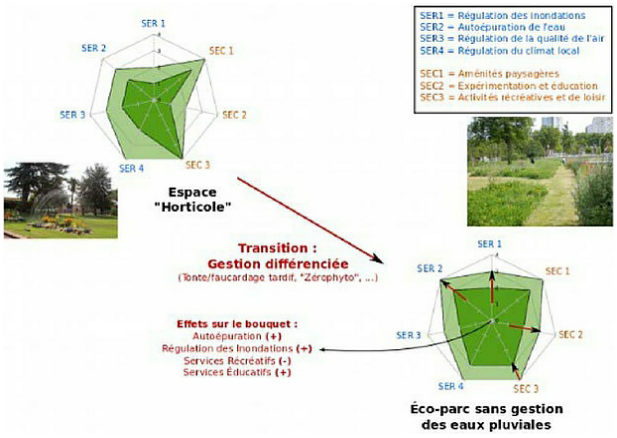
14.3.1 – Premier bouquet (tout espace) : "Autoépuration, Inondation, Expérimentation/éducation"

Les modifications des pratiques de gestion d'un espace vont impacter les services qui en sont retirés. Par exemple, ici (illustration 109), le passage d'une gestion qualifiée d'horticole à une gestion de type différenciée, sur un espace ne gérant pas alternativement les eaux pluviales, va permettre d'augmenter les niveaux des services de régulation d'inondation (SER1), d'autoépuration (SER2) (en augmentant notamment la densité du couvert végétal, la rugosité des espaces refuges non fauchés/tondus…) ainsi que du service culturel d'expérimentation (SEC2). A contrario, le service culturel récréatif (SEC3) peut légèrement diminuer du fait de la création d'espaces dédiés à la biodiversité et de la diminution en conséquence des surfaces dédiées aux activités récréatives. Les autres services liés à la qualité de l'air ou aux aménités paysagères ne sont semblent pas impactés par cette transition. La question de la régulation du climat local fait encore débat dans la communauté scientifique à ce niveau (le rôle des surfaces enherbées et des arbres urbains étant rarement rapporté comme étant lié à leur entretien) (De Munck 2013).

Ce premier bouquet est identifié et décrit dans la partie 4.1 (Auto-épuration /Régulation des inondations et Services Culturels) ou il parait lié plus spécifiquement aux milieux humides. Toutefois, le modèle permet d'apporter des éléments complémentaires : 1/ ce bouquet se réalise bien dans les espaces humides mais peut aussi se trouver dans les espaces vert et 2/ précise la non-appartenance systématique du service culturel récréatif (SEC3) à ce bouquet (les action de gestion pouvant favoriser les services d'auto-épuration et de régulation des inondations n'étant pas

systématiquement associés à une augmentation du niveau de service récréatif comme le montre l'exemple suivant).

Illustration 109 : Mise en évidence du bouquet « Auto-épuration, Inondation, Expérimentation/éducation »

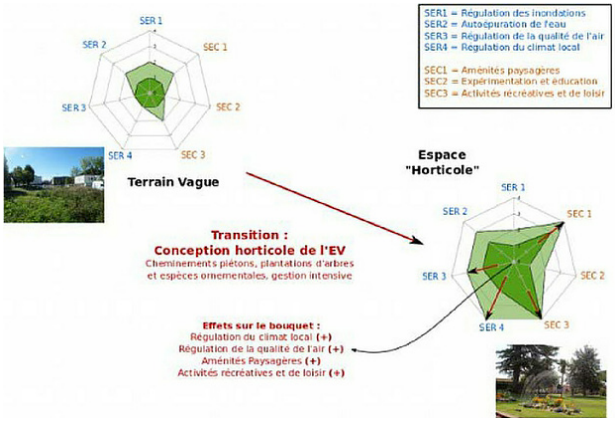


14.3.2 – Deuxième bouquet (spécifique espace vert) : "Qualité de l'air, Climat local et Aménité paysagère + récréatif"

Un projet de requalification d'un espace vacant en espace horticole de loisir va permettre de faire évoluer les niveaux de services qui en sont retirés. L'illustration 16 illustre ce cas. Elle met en avant une forte augmentation des niveaux de services de régulation qualité de l'air (SER3) et climat local (SER4) couplé aux services culturels d'aménités paysagères (SEC1) mais aussi récréatifs (SEC3). Services qui peuvent donc être considérés comme fonctionnant en synergie et représentatif d'un bouquet de services spécifique aux espaces verts.

Ce bouquet, présent dans les espaces verts uniquement, est décrit dans la partie 4.1 (Régulation Climat global et local, Régulation Qualité de l'air, Aménités paysagères). Le modèle apporte toutefois une nuance concernant le service culturel récréatif qui se voit ici rajouté au bouquet identifié au 4.1. En effet, le contexte local et la volonté même de créer un espace à vocation de loisir en augmente d'autant le niveau de ce service. Ce dernier est totalement dépendant du projet d'aménagement et non pas de la biodiversité présente sur le site.

Illustration 110 : Mise en évidence du bouquet "climat global, local, qualité de l'air et aménité paysagère"

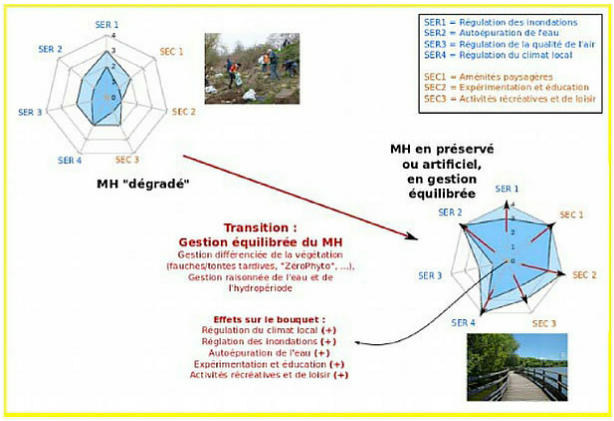


14.3.3 – Troisième bouquet (spécifique milieux humides) : « Climat local, Auto-épuration, Inondation, expérimentation/ éducation, activités récréatives/loisirs + aménité »

Les modifications de pratiques d'entretien et de gestion d'un milieu humide vont permettre de faire évoluer les services qui sont retirés de ces espaces. L'exemple ci-dessous illustre les variations des services observées suite à la mise en œuvre d'une gestion équilibrée d'un milieu humide fortement dégradé (piétinement, déchet, contamination par le ruissellement urbain…). Cette modification de pratique a un effet positif notable sur six des sept services étudiés. Trois des quatre services de régulation sont impactés : inondation (SER1), autoépuration (SER2) et climat local (SER4) ainsi que l'ensemble des services culturels (SEC1, SEC2 et SEC3). Le service de régulation de la qualité de l'air, lié à la présence d'arbres et non pas à l'eau, n'est pas impacté par cette transition.

Ce bouquet est spécifique aux milieux humides. Au bouquet 1 (inondation, auto-épuration) qui est observé dans tous les types d'espaces, s'ajoute dans ce cas le service de régulation du climat local, fortement lié à la présence de l'eau (rafraîchissement, évaporation…).

Illustration 111 : Mise en évidence du bouquet "climat local, auto-épuration, inondation, expérimentation/éducation, activités récréatives/loisirs"



Synthèse

Les bouquets peuvent être variable en fonction du contexte et des pressions sur les différents types d'espaces mais il ressort tout de même quelques tendances :

Concernant les liens entre les services de régulation des tendances fortes de couple et synergies sont mise en avant :

- **inondation et autoépuration :** fonctionnent ensemble quel que soit le type d'espace
- **qualité de l'air et climat local** fonctionnent ensemble sur les espaces verts uniquement et augmente conjointement lors de la plantation d'arbre / pas vrai pour les milieux humides ;
- sur les milieux humides, le bouquet **inondation et autoépuration est complété par le service de régulation du climat local ;**
  En revanche concernant les services écosystémiques culturels et leur interactions avec les services de régulation, il est difficile de donner des tendances : les bouquets, synergies et antagonismes sont variables et semblent plutôt liés aux différents types d'espaces, aux projets de territoires et politiques locales qu'a l'état écologique des espaces et à la biodiversité – les services récréatifs et d'aménités paysagères semblent être indépendants des autres services et ne suivent pas les mêmes trajectoires.
  Peut-être ressort-il toutefois des synergies entre le bouquet **« inondation et autoépuration » et le service expérimentation/éducation pour les milieux humides** ?
- Dans les espaces naturels : un antagonisme entre les SE liés à l'air et au climat qui vont avoir tendance à être exacerbés, ceux liés à l'eau et aux services culturels vont être limités.

14.4 – Tendances/trajectoires d'évolution des territoires et services écosystémiques

Une première estimation qualitative de l'impact de différents types de scénarios d'évolution et d'usage des sols des territoires sur les services. Le modèle permet d'illustrer l'impact de différents types d'aménagement d'un espace sur les services qui en sont retirés. Une réflexion plus poussée et globale sur les trajectoires de territoires pourraient être élaborées à partir des travaux de (Rounsevell, Reginster, et Araujo 2006) qui présente des scénarios d'aménagement du territoire contrastés.

Deux scénarios tranchés et s'opposant sont élaborés en cumulant, pour chacun d'eux, les transitions les plus favorables (« environnementalist ») et les moins favorables (« matérialist ») à la réalisation des services. Ils sont décrits ci-après :

Scénario « matérialist »

- pression physique : imperméabilisation-fragmentation du bassin versant / gestion tout tuyau des eaux pluviales/déconnexion du réseau hydrographique ou drainage
- excessif ;
- pollution et nuisance : assainissement tout tuyau/ gestion intensive des espaces ;
- perturbation des milieux : surfréquentation et gestion intensive des espaces ;

Scénario « environmentalist »

- pression physique : augmentation des surfaces de pleine-terre, imperméabilisation limitée du bassin versant / gestion alternative des eaux pluviales ;
- pollution et nuisance : gestion alternative des eaux pluviales / gestion différenciée de la végétation ;
- perturbation des milieux : limitation/canalisation de la fréquentation et gestion différenciée de la végétation ;

La mise en œuvre de ces scénarios sur des espaces devant être aménagés, par exemple sur un terrain vague ou à proximité immédiate d'un milieu humide permet d'identifier l'impact des choix d'aménagement sur les niveaux de services qui sont retirés de ces espaces.

Illustration 112 : Schéma de synthèse : déclinaison du modèle Etats-tansitions sur les milieux humides pour deux scénarios prospectifs

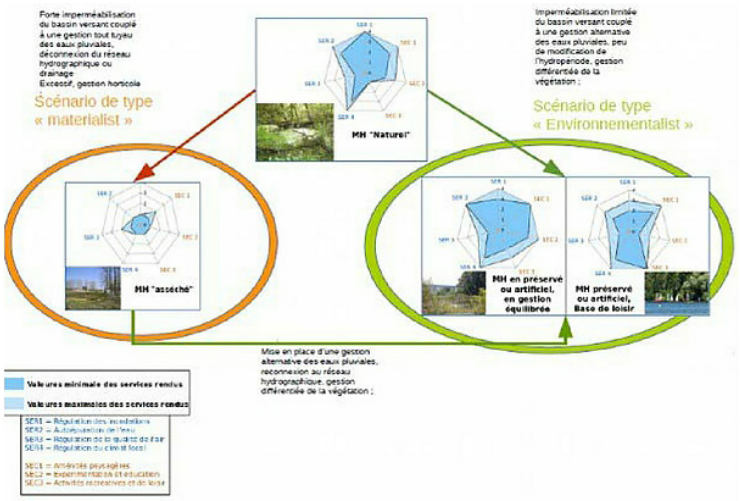
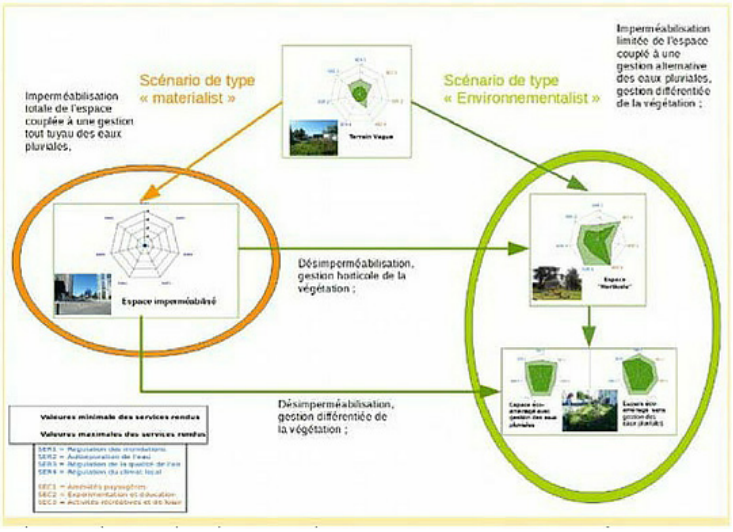


Illustration 113 : Déclinaison du modèle États-Transitions sur les espaces verts pour deux scénarios prospectifs



Il apparaît clairement que, bien que pouvant être support de biodiversité, le réaménagement écologique et la limitation de l'imperméabilisation d'un terrain vague « jeune » va permettre d'augmenter les niveaux de services retirés des espaces. Son imperméabilisation totale va a contrario annuler l'ensemble des services écosystémiques.

- Le **scénario « environementalist » permet de maximiser le service « aménité paysagère »** qui est **souvent couplé avec le service expérimentation/éducation sur les espaces « éco-conçus » et les milieux humides équilibrés**. Cela peut s'expliquer (comme cela a été mis en avant dans les parties ci-dessus) par le fait que la création d'éco-paysage par le réaménagement d'un terrain vague engendre le mise en œuvre d'action de sensibilisation auprès des riverains, ne serait ce que pour expliciter et faire accepter ces nouveaux milieux. Milieux qui peuvent dans certains cas faire l'objet de rejet par les usagers ("on laisse pousser les mauvaises herbes", "ça fait sale"…). La présence d'eau et de milieux humides va renforcer ces actions de sensibilisation et d'éducation, le niveau de service en sera d'autant plus important.

Liens enjeux de territoire – services à favoriser : Concernant spécifiquement le cas de la conception ou le réaménagement des espaces, les services retirés de l'espace sont sélectionnés en amont de l'élaboration du plan masse en fonction du diagnostic et des enjeux du territoire. Les services seront favorisés en fonction des enjeux et du contexte local. Par exemple :

- en centre-ville ancien ou bâti dense lorsque l'enjeu principal concerne la problématique des îlots de chaleur la réponse sera à axer sur la conception bioclimatique : favoriser une végétation haute, avec ombre portée, surface foliaire importante ainsi qu'une intégration de la collecte de l'eau par les espaces de nature.
- en aval d'une ville, les enjeux peuvent être liés à la pression polluante (zone où les stations d'épuration sont installées) et aux inondations par ruissellement. La réponse devra peut-être axer sur la désimperméabilisaiton des espaces perméables, avec volume de stockage important, connectés et végétalisés > bouquet « Eau » auto-épuration inondation.
- dans une zone résidentielle peu dense où la pollution, le ruissellement, le climat local ne correspondent pas à un enjeu majeur, le projet d'aménagement peut jouer sur la perméabilité des espaces mais aussi sur l'accueil du public et les services récréatifs

ENJEUX SOCIO-ÉCONOMIQUES

Partie 5

Chapitre 15

Enjeux de santé et bien-être

Les aspects évoqués ici dépassent la simple définition du terme santé appréhendé comme « *un état complet de bien-être* ***physique, mental et social*** *et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* » et portent plus précisément sur **la santé dite environnementale** qui permet l'intégration des enjeux environnementaux dans la promotion de la santé.

Selon la définition proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 1994 lors de la conférence d'Helsinki, « *la santé environnementale (environmental health) comprend les aspects de la santé humaine, y compris la* ***qualité de la vie****, qui sont déterminés par les* ***facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement.*** *Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures ».*

Cette même organisation a déclaré lors de la Conférence ministérielle Santé et environnement de juin 1999 que « *L'environnement est la clé d'une meilleure santé* », incluant dans ce terme des paramètres liés à la qualité des milieux (pollution de l'atmosphère, de l'eau, des sols, déchets mais aussi nuisances sonores, insalubrité, etc.) et à l'ensemble des activités humaines (air ambiant, accidents domestiques, violences urbaines, etc.).

D'après l'OMS, également, « *bonne santé et bien-être exigent un environnement propre et harmonieux dans lequel tous les facteurs physiques, psychologiques, sociaux et esthétiques tiennent leur juste place.* ***L'environnement devrait être traité comme une ressource aux fins de l'amélioration des conditions de vie et du bien-être*** ».

La santé environnementale est aujourd'hui une des 5 préoccupations majeures de santé publique au même titre que le cancer, la violence, les comportements à risques ou les conduites addictives. L'existence d'un lien entre la qualité de l'environnement et la santé des populations est aujourd'hui démontrée.

14 % des maladies dans les pays de l'OCDE à revenus élevés sont causées par l'environnement (source : OMS) et 20 % des cancers auraient pour origine des facteurs environnementaux.

Suite aux conférences interministérielles de Londres en 1999 et de Budapest en 2004, la France a adopté son premier Plan National Santé Environnement (PNSE1) pour une période de 4 ans (2004-2008). Après un second plan sur la période 2009-2014, c'est dorénavant le troisième (PNSE3) qui est actuellement en cours de mise en œuvre (2015-2019).

Ce dernier s'affiche comme étant non autonome en se plaçant « au croisement des politiques publiques en matière de santé et d'environnement ». Il a été établi en lien avec les autres démarches structurantes du domaine et en particulier avec la stratégie nationale pour la biodiversité et les programmes associés (plan nature en ville, plan zones humides, etc).

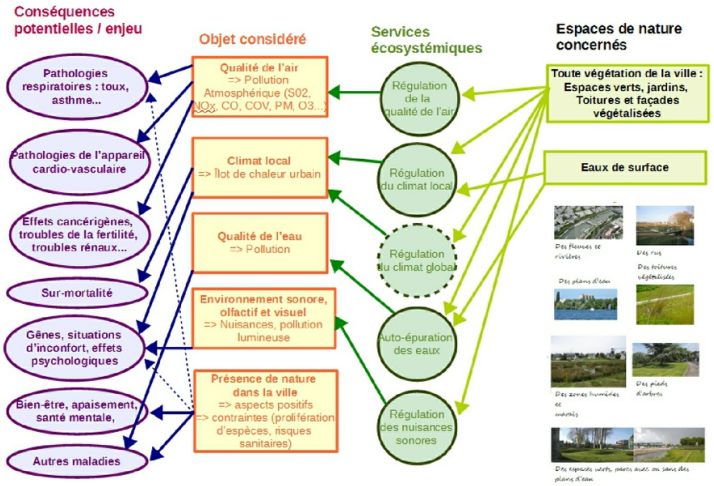
A la différence d'un écosystème classique au fonctionnement cyclique, l'écosystème urbain présente un fonctionnement linéaire, avec des flux entrants et des flux sortants (*Cf.* Chapitre 3) ; parmi ces derniers, on note la **pollution atmosphérique**, la **production de chaleur artificielle**, la **pollution des eaux** et la production de **déchets**. De plus il présente en son sein un certain nombre de dysfonctionnements (ex : modification

du cycle de l'eau). Ces caractéristiques sont de nature à **induire des effets sur la santé des citadins.**

C'est essentiellement en raison de la **densité de population exposée** que les risques sanitaires constituent un enjeu très important en milieu urbain.

Les liens existants entre certaines thématiques environnementales / objet d'études susceptibles d'agir sur notre santé et les services écosystémiques qui peuvent être impliqués sont représentés schématiquement par l'illustration 119.

Illustration 114 : Représentation schématique des liens pouvant exister entre espaces de nature fournissant des services écosystémiques, thématiques environnementales et conséquences potentielles sur la santé humaine.



Les conséquences sur la santé de la pollution de l'air, des îlots de chaleur urbain, de la pollution des eaux, des nuisances sonores, olfactives et visuelles et de la présence de la nature dans la ville sont présentées dans les paragraphes suivants. Les objectifs du PNSE3 associés aux thématiques décrites sont ensuite listés.

15.1 – La qualité de l'air (pollution atmosphérique)

Le service de régulation de la qualité de l'air détaillé au chapitre 8.3 est de nature à agir sur la pollution atmosphérique selon divers processus précédemment détaillés.

En filtrant les particules atmosphériques et en absorbant les polluants, la végétation présente au sein des écosystèmes urbains (espaces verts, jardins, toitures et façades végétalisées), et plus particulièrement les arbres, peut contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air au niveau local et fournir ainsi de meilleures conditions de vie aux citadins.

Elle permet ainsi de limiter l'exposition des citadins aux polluants atmosphériques et vient en complément d'actions préventives visant à réduire les émissions polluantes dans différents secteurs : le transport (réduction des véhicules polluants, restriction de la circulation, réduction de la vitesse, développement des mobilités douces, etc.), le résidentiel-tertiaire (réduction des émissions liés au chauffage, réglementation du brûlage des déchets, sensibilisation du public, etc.) et l'industrie (ex : réduction des valeurs limites d'émissions).

En France, la pollution atmosphérique concerne directement 60 % de la population et est responsable de près de 40 000 décès prématurés chaque année. Les effets directs des polluants atmosphériques sur la santé, en particulier des particules fines, sont avérés.

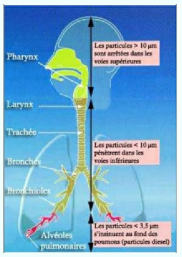
L'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) considère (Air Quality in Europe : https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017) que la qualité de l'air est une question très importante pour la santé publique, l'économie et l'environnement et que les effets de cette dernière sont **particulièrement ressentis dans les zones urbaines**, lieux de vie de la majorité des populations européennes.

En milieu urbain, l'air inhalé contient de nombreux aérocontaminants émis principalement par les activités humaines : production industrielle, chauffage et circulation automobile. La qualité de l'air résulte d'un équilibre complexe entre les apports de polluants et les phénomènes de dispersion et de transformation dans l'environnement. Les effets sur la santé des principaux polluants sont précisés dans le tableau I. Notons que l'air respiré est formé d'un mélange complexe de polluants et que l'individualisation des effets de chacun est parfois très difficile voire impossible.

Tableau I :

les principaux polluants chroniques affectant la qualité de l'air

Polluant	Source(s)	Impact(s) potentiel(s) sur la santé
Dioxyde de Soufre (SO_2)	Combustions d'origine fossile (fuel, charbon) : activités tertiaires, industries, véhicules	Irritant associé à de nombreuses pathologies respiratoires : inflammations bronchiques, toux, asthme.
Oxydes d'azote (NOx)	Circulation automobile (59 %)	Irritant des voies respiratoires, ils augmentent les troubles asthmatiques en augmentant la fréquence et la gravité des crises. Favorise les infections pulmonaires chez les enfants
Monoxyde de Carbone (CO)	Circulation automobile (59 %), chauffage urbain (21 %)	Le CO se fixe sur l'hémoglobine du sang, ce qui provoque une réduction du transport de l'oxygène aux organes. Il peut être responsable de maux de tête et de vertiges, mais également d'effets à long terme sur l'appareil cardiovasculaire et, à de fortes concentrations, engendrer une intoxication mortelle. Les populations en relation avec la circulation routière (employés de péage, piétons, riverains des voiries et personnes circulant en deux roues) sont particulièrement exposées.
Composés Organiques Volatils – COVs (dont hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAPs) (hydrocarbures, benzène, aldéhydes…)	Combustion, solvants, carburant,	Effets très divers allant de la simple nuisance olfactive à des effets plus graves (troubles du système nerveux ; certains sont cancérigènes). Les concentrations élevées en COV entraînent une augmentation des risques d'asthme et de rhinite.

Polluant	Source(s)	Impact(s) potentiel(s) sur la santé	
Particules en suspension. On distingue les particules de diamètres inférieur à 10 microns (ou PM10) et les particules fines de diamètre inférieur à 2,5 microns (ou PM2,5)	Véhicules (en particulier diesel) et combustion de certaines industries	Effets sur l'appareil respiratoire et sur l'appareil cardiovasculaire. Les particules PM10 sont retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures alors que les PM2,5, plus fines ont la capacité de pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire, jusqu'aux alvéoles pulmonaires et, donc, atteindre le système cardiovasculaire (*Cf.* Schéma ci-contre). Toutes ces particules peuvent être à l'origine d'irritations, d'allergie, d'asthme, d'insuffisance respiratoire grave, d'accidents vasculaires cérébraux ou de cancers. Une exposition à ces particules réduirait de plusieurs mois l'espérance de vie (7,5 mois à Marseille, 6 à Paris, etc.) et serait à l'origine de décès prématurés.	 Capacité de pénétration des particules dans l'appareil respiratoire de l'homme
Ozone (O_3)	Polluant secondaire résultant des réactions chimiques entre NOx et COV en présence de rayonnement solaire	Oxydant, qui provoque une inflammation des muqueuses oculaires et pulmonaires. L'ozone et les particules fines ont un effet significatif sur le déclenchement de crises d'asthme chez les asthmatiques.	
Autres polluants dont métaux lourds (Arsenic, Cadmium, Plomb, Mercure, Nickel, etc.)	Combustion du charbon, du pétrole ou des ordures ménagères	Différents effets suivant les éléments considérés : - effets cancérigènes (poumons, peau, vessie etc.), - troubles de la fertilité, - troubles rénaux, - effets sur le système nerveux, etc. Les risques sont particulièrement élevés lorsque l'exposition se produit avant la naissance et chez les enfants.	

L'AEE fait le constat que **l'Europe** a significativement réduit les émissions de plusieurs polluants aériens dans des décennies récentes, réduisant grandement des émissions et l'exposition aux substances comme le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone (CO), le benzène (C_6H_6) ou le plomb (Pb).

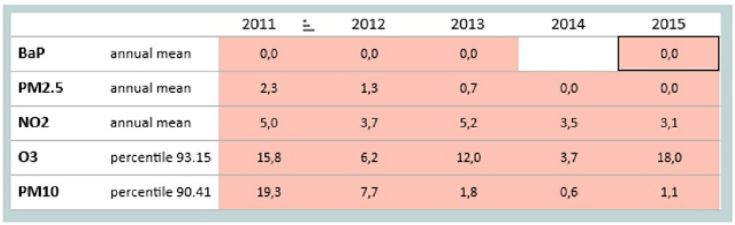
Cependant et malgré les améliorations conséquentes sur les dernières décennies, la pollution atmosphérique continue pourtant à endommager la santé humaine et l'environnement. **Les particules (PM), l'ozone (O_3), les substances d'azote réactives et quelques COV** constituent toujours une menace significative avec des impacts sur la santé et des morts prématurées.

Des fiches d'informations récapitulant des données clés sur la pollution atmosphérique sont publiées par cette même agence pour chacun des pays membres. Les indicateurs sur des tendances d'émission passées et futures sont présentés, de même qu'un résumé de la situation de qualité de l'air au sein de chaque pays. **Pour la France**, les données sont accessibles via le lien internet suivant :

https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/france

L'illustration 120 mentionne le pourcentage de la population urbaine française exposée aux concentrations de polluant d'air au-dessus des objectifs de qualité de l'air de l'Union européenne sur la période 2011-2015.

Illustration 115 : Pourcentage de la population urbaine exposée aux concentrations de polluant d'air au-dessus des objectifs de qualité de l'air de l'Union européenne (2009-2011)
Source : European Environment Agency



		2011	2012	2013	2014	2015
BaP	annual mean	0,0	0,0	0,0		0,0
PM2.5	annual mean	2,3	1,3	0,7	0,0	0,0
NO2	annual mean	5,0	3,7	5,2	3,5	3,1
O3	percentile 93.15	15,8	6,2	12,0	3,7	18,0
PM10	percentile 90.41	19,3	7,7	1,8	0,6	1,1

À une échelle plus locale, différentes études traitent également de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé des citadins. Parmi elles, citons l'étude de l'INVS (Yvon et Huchet-Kervella 2014) relative à l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Saint-Étienne sur la période 2009-2011. Il est notamment démontré que les bénéfices d'une diminution des niveaux des particules les plus fines (PM2,5) à la valeur guide de l'OMS sur cette zone d'étude (10 µg/m^3 au lieu de 19,4 µg/m^3) permettraient d'éviter près de 200 décès chaque année, correspondant à un gain économique attendu d'environ 330 millions d'euros par an.

15.2 – Climat local (îlots de chaleur urbain)

Le service de régulation du climat local détaillé au chapitre 8.2 est de nature à agir sur les îlots de chaleur urbain selon divers processus précédemment détaillés.

Par l'apport d'ombrage, l'évapotranspiration et/ou un albédo élevé, la végétation en ville (arbres, murs et toitures végétalisées, etc.) peut entraîner un abaissement des températures locales. Elle peut ainsi jouer un rôle significatif dans l'atténuation du phénomène d'îlot de chaleur, propre à l'écosystème ici étudié.

Les impacts pour l'homme sont importants puisque cela permet de réduire les situations d'inconfort lors des fortes chaleurs. Au-delà de cet apport en termes de bien-être, la végétation peut aussi contribuer à limiter les conséquences sanitaires associées aux épisodes de canicules.

Le développement de l'eau de surface (bassins, fontaines, jets d'eau, etc.) participe à réduire les sensations de chaleur et améliore également les conditions de vie des citadins.

Il a été déjà mentionné (chapitre 3) que la ville se caractérise par des sortes de microclimats artificiels (différences de température entre la ville et la campagne voisine) appelés **îlots de chaleur urbain (ICU)**. L'ICU est dépendant du moment de la journée (il est surtout marqué la nuit lors des minima de températures – *Cf.* Albédo) et des vents (un vent faible entraîne une stagnation des masses d'air qui ont alors le temps de réchauffer le bâti). Comme les villes ne cessent de s'étendre en surface, l'effet d'îlot de chaleur ne peut donc que grandir, en taille comme en intensité, et ainsi, même en dehors des pics caniculaires, détériorer le confort urbain en faisant de la ville, voire de l'agglomération, un environnement de moins en moins supportable.

Si les ICU constituent bien **une gêne pour les citadins et des situations d'inconfort lors des fortes chaleurs estivales**, ils peuvent être à l'origine de **réelles conséquences sanitaires lors des épisodes de canicules**.

L'épisode de canicule peut entraîner une **sur-mortalité** comme ce fut le cas en France lors de la canicule exceptionnelle survenue entre le 1er et le 20 août 2003 (14 800 décès supplémentaires, soit une sur-mortalité de 60 %). En milieu urbain, les impacts de la canicule ont été accentués avec une surmortalité de 134 % en île de France, soit plus du double de la moyenne nationale. Notons qu'en Île-de-France, cet épisode de canicule s'est cumulé à une importante pollution à l'ozone entre le 1er et le 14 août

(qui serait responsable de 7 % de la surmortalité survenue entre le 3 et le 17 août 2003 à Paris et en proche couronne).

La France n'avait jamais été confrontée à de telles conséquences sanitaires engendrées par une canicule. Cet événement a révélé la nécessité d'adapter le dispositif national de prévention et de soins à la survenue de ce type de phénomène climatique. Il existe dorénavant depuis 2004 un Plan National Canicule (PNC) actualisé chaque année.

15.3 – Qualité de l'eau (pollution des eaux)

Le service d'auto-épuration du milieu aquatique détaillé au chapitre 8.5 est de nature à agir sur la pollution des eaux selon divers processus précédemment détaillés.

Compte tenu de la forte concentration de population au sein du milieu urbain, la pollution des eaux constitue un enjeu fort en termes de santé publique. Des aspects complémentaires sur ce sujet sont développés au sein du chapitre 16.

NB. Les polluants retrouvés dans l'eau en ville ne sont pas uniquement issus du milieu urbain ; ils peuvent notamment provenir des agro-écosystèmes également étudiés par ailleurs dans le cadre du projet Efese.

Deux points particuliers sont soulevés ici :

La réduction dans l'eau des **produits phytosanitaires** fait partie des enjeux majeurs.

La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte du 18/08/2015 a prévu que l'État, les collectivités territoriales et leurs groupements, ainsi que les établissements publics ne puissent plus utiliser ou faire utiliser des produits phytopharmaceutiques pour l'entretien des espaces verts, des forêts, des voiries ou des promenades accessibles ou ouverts au public à compter du 1er janvier 2017 (en dehors de certaines

exceptions). Notons qu'avant cette date, près de 5000 communes étaient déjà engagées dans une démarche « Zéro-Phyto » (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/10-_Guide_zero_pesticides.pdf).

Les résidus médicamenteux dans l'eau constituent également une problématique importante en termes de santé publique. Des molécules issues des médicaments humains et vétérinaires (antibiotiques, antidépresseurs, bêtabloquants, contraceptifs…) peuvent atteindre les milieux aquatiques par le biais des urines et des déjections. Une étude réalisée par l'ANSES, l'Agence nationale de sécurité sanitaire, en janvier 2011, montre qu'un quart des échantillons d'eau testés contient des traces de médicaments (antiépileptiques et anxiolytiques sont les plus représentés). Les effets sur la santé de ces résidus médicamenteux ne sont pas toujours bien connus (phase d'accumulation de connaissances). En France, un plan national sur les résidus de médicaments dans les eaux (PNRM) 2010-2015 a été mis en place. Il est articulé autour de trois grands axes : évaluer les risques, définir des mesures de gestion, développer les connaissances.

15.4 – Environnements sonore, olfactif et visuel

Le service de régulation des nuisances sonores détaillé au chapitre 8.4 est de nature à agir sur l'environnement sonore selon divers processus précédemment détaillés.

La végétation arbustive ainsi que les façades végétalisées permettent « d'étouffer » des bruits, notamment ceux liés à la circulation. A cela, s'ajoute la sensation d'atténuation des nuisances sonores associée aux bruissements des feuilles, aux chants des oiseaux et à l'impression de protection liée à la végétation arbustive. Aussi, que ce soit à travers une réelle réduction du bruit ou par une simple impression de moindre

niveau sonore, la végétation peut contribuer à améliorer les conditions de vie et le bien-être des citadins.

Les services de régulation des nuisances olfactives et visuelles n'a pas été détaillé au sein des chapitres précédents. Il est simplement souligné que :

- les éléments naturels peuvent masquer les nuisances olfactives et ainsi réduire les désagréments pour les citadins. L'emploi d'espèces odoriférantes en ville permet de diminuer la perception des mauvaises odeurs (ex : giroflée sauvage, jasmin, seringat, lis, lilas, fleur d'oranger, lavande, menthe, romarin).
- l'intégration d'éléments naturels dans l'organisation générale de l'espace urbain (alignements d'arbres, espaces verts, arbres isolés, valorisation de l'eau en surface, etc.) permet de limiter le sentiment d'oppression et/ou d'artificialité propre à certains milieux urbains.

Les environnements sonore, olfactif et visuel peuvent fortement affecter la qualité de vie des citadins. La gêne ressentie pouvant même induire des effets psychologiques et physiologiques à plus ou moins long terme : stress, fatigue, agressivité, etc.

15.4.1 – Environnement sonore

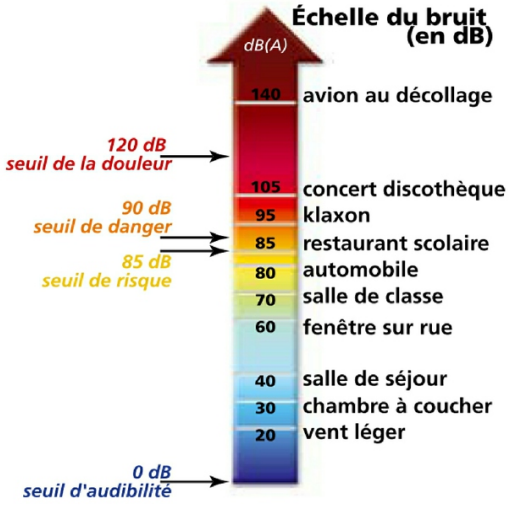
Si les niveaux sonores, les fréquences et la durée des sons peuvent être aisément mesurés de façon objective, leur caractère désagréable est par contre beaucoup plus difficile à objectiver car il dépend surtout de perceptions individuelles.

Le bruit est caractérisé par une émission suivie d'une propagation (intensité en dB + fréquence en Hertz (nb de vibrations / secondes) + durée). C'est l'émergence du bruit qui est à l'origine de la gêne.

En Europe, près de 10 millions de personnes seraient exposées par leur environnement à des niveaux sonores susceptibles de les rendre sourdes ; en France, 54 % des ménages vivant dans des agglomérations

de plus de 50 000 habitants se déclarent gênés par le bruit (Baromètre Santé-Environnement 2007).

Illustration 116 : Échelle du bruit (ADEME 2008)



Selon le sondage IFOP « Les français et les nuisances sonores » réalisé en septembre 2014 pour le Ministère en charge de l'environnement, 86 % des Français (âgés de 18 ans et plus) se déclarent gênés par le bruit. Parmi eux, 53 % considèrent que les nuisances sonores affectent leur santé ou celle de leur entourage (56 % en agglomération parisienne et 48 % en milieu rural (<2 000 habitants)). Toujours selon ce même sondage, 79 % des Français impactés par le bruit estiment qu'il est déjà arrivé que la gêne provoquée par le bruit induise chez eux un état de stress ou de fatigue. 30 % estiment que cet état de stress arrive souvent.

En milieu urbain la circulation routière fournit 80 % du fond sonore. Les autres sources de bruit concernent les autres modes de transport (trafic aérien, circulation ferroviaire), les bruits de voisinage, les bruits intérieurs et les bruits liés à l'utilisation des machines diverses.

Le bruit induit deux types d'effets sur la santé : **des effets physiologiques et des effets psychologiques**.

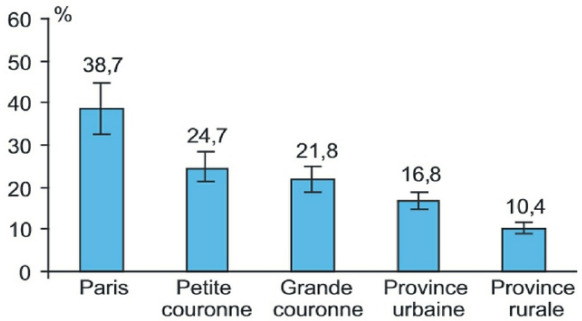
Parmi les effets physiologiques des nuisances sonores, peuvent survenir des problèmes de surdité partielle et/ou totale et être à l'origine d'effets divers comme la perturbation du sommeil (endormissement difficile, éveils nocturnes, diminution du sommeil paradoxal) ou une détérioration des capacités cognitives de mémorisation et d'apprentissage ou des effets cardio-vasculaires.

La fatigue excessive due au bruit est source d'agressivité et d'agitation.

Si l'exposition au bruit est chronique, un individu peut subir des changements métaboliques qui « *peuvent accroître le risque de maladies cardio-vasculaires et contribuer à l'altération de la fonction immunitaire, au diabète, à des symptômes dépressifs ou encore à des troubles cognitifs*. »

D'après une enquête menée par l'ORS d'île-de-France, la population gênée par le bruit à son domicile paraît très liée au degré d'urbanisation. La gêne ressentie au domicile est significativement plus importante en Ile-de-France qu'en province urbaine, mais aussi à Paris qu'en grande couronne, ce qui montre clairement l'effet du degré d'urbanisation (*Cf.* Illustration 121). Dans ce sens, les personnes les plus gênées sont celles qui habitent dans des immeubles collectifs, situés à proximité d'infrastructures bruyantes telles qu'une voie à grande circulation.

Illustration 117 : Proportions de personnes se déclarant souvent ou en permanence gênées par le bruit à leur domicile selon leur lieu de résidence
(Source : ORS)



Au sein de l'écosystème urbain, certaines zones offrent ainsi l'intérêt de présenter un faible niveau de bruit et contribuent, en cela, au bien-être, à la santé mentale et à la qualité de vie des citadins : espaces naturels, espaces végétalisés, jardins publics, zones éloignées des voies de circulation, etc. Conformément à la directive européenne (2002/49/CE) sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement, la France a développé la notion de « **zone calme »,** qu'il est nécessaire de préserver ou mettre en place. Les zones calmes sont définies dans l'article L. 572-6 du Code de l'Environnement comme des « espaces extérieurs remarquables par leur faible exposition au bruit, dans lesquels l'autorité qui établit le plan souhaite maîtriser l'évolution de cette exposition compte-tenu des activités humaines pratiquées ou prévues ». Notons que si le critère acoustique est à l'origine de la définition d'une « zone calme », ce critère à lui seul ne saurait être suffisant. Outre **l'environnement acoustique, ces endroits sont également caractérisés par un cadre agréable, ce qui peut être évalué à travers d'autres facteurs perceptifs : végétation, paysage, esthétique, propreté, luminosité, sécurité, usage**…
(Bruitparif, Observatoire du bruit en Ile-de-France : https://www.bruitparif.fr/).

15.4.2 – Environnement olfactif

Les nuisances olfactives apparaissent comme le deuxième motif de plainte après le bruit et sont ressenties comme une vraie pollution de l'air. Si elles constituent bien un désagrément, les nuisances olfactives ne présentent pas forcément de nocivité (des quantités infimes de substances peuvent être à la source d'émanations très désagréables). Il est possible de noter des irritations des yeux ou des muqueuses nasales. Maux de tête et crises d'asthme peuvent apparaître lors de l'exposition à certaines odeurs mais sont causés par un mélange de substance.

15.4.3 – Environnement visuel

Le milieu urbain peut être source de nuisances visuelles importantes, d'inconfort, de désagréments, voire d'oppression.

Les pollutions lumineuses (éclairage urbain) peuvent, par exemple, être ressenties comme intrusives.

Elles altèrent les cycles de lumière naturelle en perturbant l'alternance jour/nuit et représentent par conséquent un risque pour la santé publique : elles participent à la genèse des troubles du sommeil, des dépressions, des désordres métaboliques, des maladies cardio-vasculaires et des cancers (Le Tallec 2018).

15.5 – Présence de nature dans la ville

Le service culturel « récréatif » est détaillé au niveau du chapitre 10.2.

La présence d'éléments naturels au sein de la ville (arbres, jardins, parcs, eau, etc) génère des bienfaits sur la qualité de vie des citadins qui sont particulièrement reconnus notamment dans un contexte fortement urbanisé. En effet, de nombreuses études traitent spécifiquement des bienfaits du végétal dans les parcs mais les mêmes effets bénéfiques sur l'état de santé général et psychologique ont été démontrés sur les accompagnements de voirie (Van Dillen, Sjerp de Vries, et Spreeuwenberg 2012).

NB. Il existe aussi des contraintes d'ordre sanitaire liées à la présence de la nature dans la ville. Elles peuvent avoir pour origine les végétaux présents avec le développement de pollinoses ou les espèces animales avec le développement de maladies infectieuses (zoonoses). Il a été choisi de développer ces contraintes et leurs conséquences potentielles sur la santé au sein du chapitre 12 « contraintes ».

La nature en ville est source **d'agrément**, **de plaisirs esthétiques, d'apaisement**. Elle augmente également le sentiment de sécurité et **atténue la fatigue mentale pouvant engendrer irritabilité, comportements violents et agressivité**. La nature en ville constitue en ce sens un élément essentiel du **bien-être psychologique et de la santé mentale** des citadins. Il est montré que la présence de végétal induit une baisse du niveau d'angoisse et une augmentation du niveau de bien-être par la régulation de la fatigue mentale et l'augmentation de la capacité de récupération au stress (Manusset 2012). S'appuyant sur l'exploitation de bases de données de santé publique, (Maas 2008) a démontré que les taux de dépressions sont 1,33 fois supérieurs dans les zones avec peu d'espaces naturels. Selon la même étude, les habitants en présence d'espaces naturels dans un rayon d'un kilomètre autour de leur habitation se sentent plus en forme et ont moins d'épisodes morbides (Barton et al. 2011). La végétation améliorerait aussi la santé mentale chez les enfants atteints de troubles de l'hyperactivité. Il a été observé qu'ils seraient plus attentifs et concentrés après des activités en plein air dans des espaces urbains végétalisés (Ulrich 1984), (Kuo et Taylor 2004), (D. Cuny et Cuny 2013). En ce qui concerne la nature dans le lieu de travail, cette dernière est associée à des niveaux inférieurs de stress perçu et à une plus grande satisfaction au travail (Kaplan et Kaplan 1989), (Maller et al. 2006).

Selon (Fuller et al. 2007), les bénéfices psychologiques tirés de la fréquentation des espaces verts publics en ville augmenteraient avec la diversité des espèces, particulièrement végétales.

Enfin, les études démontrent également le maintien de l'effet bénéfique des espaces verts sur la santé au cours du temps. Une étude (Alcock et al. 2014) réalisée au Royaume-Uni a ainsi exploré comment le déménagement vers une zone urbaine verte pouvait affecter la santé mentale d'un individu au cours du temps. Les résultats montrent que les individus qui déménagent vers des zones urbaines moins vertes manifestent une moins bonne santé

mentale l'année précédant le déménagement. Mais par la suite, ces individus s'adaptent relativement rapidement à vivre en zone moins verte. À l'inverse, la santé mentale des individus qui déménagent vers une zone plus verte reste stable avant le déménagement et s'améliore les années suivantes. Les auteurs terminent en indiquant qu'un déménagement vers une zone plus verte a des effets positifs durables sur la santé mentale, suggérant ainsi que les politiques environnementales allant dans le sens d'une augmentation des espaces verts pourraient avoir un effet bénéfique global sur la santé mentale publique (source : forêt Walonne).

Certaines études mettent également en évidence **les utilisations thérapeutiques** de la nature. Il est démontré une **relation positive entre l'amélioration de l'état de santé d'une personne et la proximité d'éléments naturels** tels qu'une voie d'eau, un parc ou un jardin, nommés « paysages thérapeutiques » (Gesler 1992). L'observation de la nature par une fenêtre peut aider à augmenter le rétablissement de la fatigue mentale et améliorer bien-être mental (Kaplan 1992 ; (Maller et al. 2006)). Des vues naturelles au sein des hôpitaux aident à augmenter le rétablissement de malades (Diette et al. 2003). (Ulrich 1984) démontre également comment le fait d'avoir une chambre donnant sur un parc accélère la convalescence des patients hospitalisés après une intervention chirurgicale. Il met en évidence l'effet relaxant du végétal sur les patients, qui à la fois supportent mieux les traitements et présentent un état mental plus favorable, conduisant à cette accélération de la convalescence.

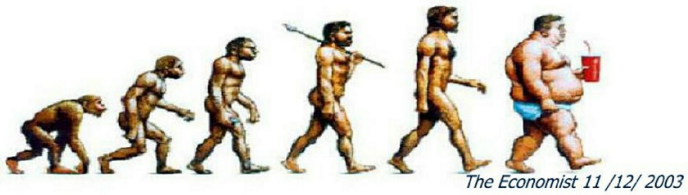
En France, l'association "jardins et santé", fait également le lien entre santé et proximité des jardins. Elle œuvre notamment pour le développement de jardins à but thérapeutique à proximité des hôpitaux, des EHPAD et des maisons de soins. Les maladies ciblées sont ici d'origine cérébrales : autisme, maladie d'Alzheimer, dépressions profondes, etc. D'autres pathologies moins lourdes peuvent également bénéficier de l'apport

de jardins à but thérapeutique (ex : rééducation). Dans leur livre, (Cooper Marcus et Sachs 2014) Clare Cooper Marcus et Naomi Sachs font la distinction entre d'une part, les « *healing, therapeutic or restorative gardens* » jardins où les participants peuvent « s'asseoir, marcher, regarder, écouter, méditer, faire une sieste, explorer » et d'autre part, les « *enabling gardens* » qui proposent des activités « dirigées par un hortithérapeute professionnel, un ergothérapeute, un kinésithérapeute ou d'autres professionnels apparentés en collaboration avec les autres membres du personnel soignant. ».

Les espaces verts en ville ont des **effets bénéfiques sur la santé physique globale** des citadins et auraient des effets sur les pathologies liées à l'obésité. Le lien entre l'accès à un parc et une activité physique accrue est établi dans de nombreuses études (Kaczynski et Henderson 2007). En Suède, l'étude de l'équipe (Sterp de Vries 2003) montre une corrélation positive entre le degré d'espaces verts et le niveau de **santé globale,** la présence d'espaces verts induisant une modification des activités et des comportements, bénéfiques pour la santé : davantage d'activités physiques extérieures telles que le vélo et la marche et une moindre exposition aux pollutions de l'air (Manusset 2012). Par ailleurs, il est montré qu'il existe un bénéfice synergique sur la santé d'exercer une activité physique dans un espace contenant des éléments naturels en comparaison avec des activités dans des zones urbaines dépourvues de nature ou dans un environnement intérieur (Pretty et al. 2005) (*Cf.* Illustration 123).

Critère	Réduction du risque
Mortalité	30 %
Morbidité CV	20-35 %
Diabète T2	60 % (sujets à risque)
Cancers	20 – 30 % (sein, colon)
Santé mentale	

Illustration 118 : Lien entre activité physique et santé.
Source : INSERM – 2008, Physical activity recommandations for Americans



15.6 – Lien avec le Plan national Santé environnement 2015-2019

Actions du PNSE3 (2015-2019) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_v_finale.pdf	État d'avancement (sur la base du rapport de suivi de l'année 2016) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_rapport_suivi_2016.pdf
Qualité de l'air (pollution atmosphérique)	
Action n° 50 : élaborer un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques nocifs pour la santé et ayant un impact sur le climat.	- Plan de réduction des émissions des polluants atmosphériques (PREPA)
Action n° 52 : améliorer les connaissances liées à la qualité de l'air à différentes échelles et mieux caractériser les sources	- Dispositif national de surveillance de la qualité de l'air
Qualité de l'eau (pollution des eaux)	
Action n° 46 : travailler sur la disponibilité et le partage de données permettant de connaître le danger et l'exposition pour les résidus de médicaments humains et vétérinaires dans les eaux	- Élaboration d'une première liste de molécules pharmaceutiques pertinentes à suivre
Action n° 53 : élaborer un nouveau plan	- Plan micropolluants 2016-2021
« micropolluants »	
Environnements sonores, olfactifs et visuels (nuisances)	
Action n° 62 : mieux lutter contre les nuisances sonores générées par les deux-roues motorisées.	- Renforcement des contrôles - Actions de recherche sur les radars sonores
Action n° 63 : résorber les points noirs du bruit	
Présence de la nature dans la ville (aspects corrélations positives avec la santé)	
Action n° 88 : réaliser une expertise collective sur les effets bénéfiques de la biodiversité pour la prévention et la lutte contre les maladies	- Identification de questions de recherche caractérisant le lien entre biodiversité et émergence de maladies - AFB pressentie pour réaliser un travail portant sur l'identification de solutions efficaces fondées sur la nature pour lutter contre les populations de moustiques et les maladies qu'ils peuvent transmettre à l'homme

Actions du PNSE3 (2015-2019) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_v_finale.pdf	État d'avancement (sur la base du rapport de suivi de l'année 2016) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_rapport_suivi_2016.pdf
Action n° 89 : réaliser une étude collective sur les effets positifs des espaces verts et des espaces de nature urbains sur la santé	- Réalisation d'une revue systématique (état des lieux des connaissances sur les effets des espaces verts et de nature sur le bien-être, en l'étendant à la santé mentale) - Lien avec la feuille de route de la transition énergétique 2015 dont l'un des objectifs est la rédaction d'un fascicule de sensibilisation sur les bienfaits de la nature sur la santé (AFB pressentie pour réaliser ce travail)
Présence de la nature dans la ville (aspects contraintes)	
Action n° 8 : renforcer la surveillance, les prévisions et l'information sur les concentrations de pollens et de moisissures allergisantes dans l'air extérieur	- Arrêté du 05/08/2016 portant désignation des organismes chargés de coordonner la surveillance des pollens et des moisissures de l'air ambiant - Réseau de surveillance de 70 capteurs (+12 pendant la saison de l'ambroisie) - Publication hebdomadaire des bulletins allergo-pollinique par le RNSA. Travaux engagés avec allergologues et avec un réseau de jardins botaniques
Action n° 9 : réaliser un travail de hiérarchisation des pollens, surveiller le déve-	- Hiérarchisation mise à jour sur le site internet du RNSA
loppement de nouvelles espèces végétales dont le pollen pourrait d'avérer nocif pour la santé, élaborer des recommandations pour limiter leur expansion	- En cours : - analyse des risques relative au houblon du Japon - efficacité du coléoptère *Orphraella communa* en tant qu'agent de lutte contre les ambroisies et évaluation des éventuels risques associés

Actions du PNSE3 (2015-2019) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_v_finale.pdf	État d'avancement (sur la base du rapport de suivi de l'année 2016) http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_rapport_suivi_2016.pdf
Action n° 10 : inciter les collectivités à réduire la présence et le développement de végétaux émetteurs de pollens allergisants et inciter à la diffusion d'une information sur le risque allergique et ou toxique lors de la vente des végétaux concernés	- Mise en ligne par le RNSA du site « végétation en ville » afin d'aider les collectivités, les professionnels des espaces verts et les particuliers à planter des végétaux ornementaux peu ou pas allergisants
Action n° 11 : mieux évaluer l'exposition à l'ambroisie et surveiller son expansion géographique	- Mise en place d'un observatoire de l'Ambroisie - Cartographies confiées au réseau des CBN - Mise en place d'une plate-forme interactive de signalement de l'ambroisie - Décret définissant les mesures à mettre en œuvre pour lutter contre la prolifération ou prévenir l'apparition de 3 espèces d'ambroisie
Action n° 12 : améliorer la gestion des risques sanitaires impliquant la faune et la flore sauvages	- Analyse de risque relative à la Berce du Caucase - Dispositifs de surveillance de certaines zoonoses - Retours d'expériences sur 4 « crises »
Action n° 27 : élaborer et mettre en œuvre des stratégies intersectorielles locales de lutte contre les vecteurs de maladies transmissibles	- Plan de santé publique sur les maladies transmises par les moustiques vecteurs - Plan national de lutte contre la maladie de Lyme - Dispositifs de surveillance : Chikungunya et dengue, borréliose de Lyme

Le PNSE3 vise à être décliné en plans régionaux santé-environnement afin de répondre aux préoccupations locales et d'aborder des problématiques propres aux territoires.

15.7 – Synthèse

Les bienfaits de la nature en ville sur le bien-être des citadins et sur leur santé sont pour la plupart d'ores et déjà bien démontrés dans la bibliographie.

Différents facteurs expliquent ces effets bénéfiques sur les citadins : amélioration du cadre de vie (aspect esthétique, effet apaisant, activités physiques favorisées), amélioration de la qualité de l'air, régulation des nuisances (sonores, olfactives, visuelles), etc.

Les impacts de la présence d'éléments naturels en ville sur les citadins se traduisent à différents niveaux :

- niveau physiologique (asthme, allergies, maladies cardio-vasculaires…),
- niveau psychologique somatique (dépression, hyperactivité),
- niveau psychologique non somatique (notion de bien-être, stress).

La quantification de ces services fournis par la nature reste très imprécise et la plupart du temps les données chiffrées ni généralisables, ni transférables. De plus, contrairement à ce qui se passe dans les autres pays européens (Angleterre, Norvège, Allemagne…), il est également constaté, en France, un manque de travaux croisant les regards des urbanistes et des médecins (Manusset 2012). En raison des forts enjeux de santé publique, la quantification des services fournis par les végétaux sur cette thématique de santé ainsi que des précisions de l'apport des végétaux sur la santé mentale méritent donc de devenir de nouveaux axes forts de recherche. Cette quantification est primordiale car elle permettrait de constituer des arguments de poids en faveur du développement de la nature en ville dans les politiques de santé publique, sujet dont le troisième Plan National Santé Environnement s'est déjà emparé. Dans ce cadre, des programmes de recherches aux interfaces entre les écosystèmes et la santé sont soutenus.

Plusieurs villes (Zurich, Jinan en Chine, Shieffield au Royaume-Uni, Copenhague…) ont déjà fait de la densité en espaces naturels dans l'espace urbain, un enjeu majeur de leur politique de santé publique. Par exemple, Copenhague a adopté comme objectif d'ici 2015 que 90 % de la population soit à moins de 400 m d'un espace naturel (Schipperijn et al. 2010), (Manusset 2012).

Retenons particulièrement, qu'il est possible d'améliorer les services écosystémiques et que certaines collectivités se sont déjà largement investies sur le sujet.

Chapitre 16

Enjeu « protection des populations en milieu urbain »

De nombreuses collectivités territoriales ont été affectées de façon très forte ces dernières années par des événements catastrophiques majeurs : inondations, tempêtes. Les milieux urbains montrent une vulnérabilité accrue aux risques, dont une des causes majeures est l'imperméabilisation des sols.

« Les questions environnementales ont donné un nouveau relief à la problématique des risques, puisque toutes les inquiétudes environnementales portent finalement sur l'existence de risques, leurs conséquences et la façon d'y faire face : risques sur la biodiversité, sur la santé humaine, sur la préservation d'espaces, sur les ressources en eau, sur la qualité de l'air, l'épuisement des sols, les risques que présentent les nouvelles technologies, les risques de changement climatique, etc. Il y a donc une parenté directe qui reste à expliciter et à formaliser entre la problématique des risques et la problématique environnementale » (Metzger et D'Ercole 2011a).

Ce chapitre permettra d'identifier les enjeux « prépondérants » en milieu urbain : accès sécurisé à l'eau potable, régulation des inondations. Il mettra en évidence de services tirés des écosystémiques qui sont les plus susceptibles d'être sources d'opportunités pour les collectivités locales.

Ce chapitre synthétise ainsi les résultats des chapitres précédents et montre en quoi les écosystèmes naturels urbains et les services associés contribuent à répondre aux enjeux de protection des populations.

16.1 – Définition de l'enjeu « protection des populations en milieu urbain »

La notion de protection des populations comprend les questions de risque ou de sécurité. D'après le (« MEA » 2005), elle fait partie des composantes du bien-être humain et se décline en trois volets :

- **sécurité personnelle ;**
- **accès sécurisé aux ressources ;**
- **protection contre les catastrophes.**

Cette notion de protection des populations en milieu urbain est perçue ou traitée différemment selon que l'on se place du point de vue de la population elle-même ou du technicien.

Dans le premier cas, sont mis en avant les risques/inquiétudes liées à la délinquance urbaine, aux problèmes sociaux, ou aux accidents de la route. Il y a risque à chaque fois qu'il y a possibilité de « perdre quelque chose », pour un individu, une ville, un territoire, une entreprise, une société, un pays, qu'il y a quelque chose en jeu (Metzger et D'Ercole 2011a). Le risque peut aussi se caractériser comme une situation ou un événement dont l'évolution est certes incertaine, mais surtout crainte (November 1994).

Le technicien va approcher le risque, qu'il soit naturel, technologique ou sociétal par son origine : l'aléa et le définir comme le croisement de cet aléa avec un enjeu. Il n'y a risque que si l'homme ou un enjeu est impliqué (Metzger et D'Ercole 2011b) (Giret 2004). À titre d'exemple une inondation, quelle qu'elle soit, d'une partie d'un territoire communal sur lequel est situé une infrastructure majeure peut affecter l'approvisionnement d'un autre quartier stratégique non inondé. La notion de vulnérabilité des territoires prend en compte « l'effet domino » des conséquences de l'aléa sur un point d'impact précis qui peut se répercuter sur des territoires voisins (Veyret et Reghezza 2006),

(D'Ercole et Metzger 2009). Les réflexions sur la vulnérabilité sont récentes (D'Ercole et Metzger 2009) et renvoient à la notion de résilience des territoires. Les écosystèmes naturels, ou semi-naturels en milieu urbain, peuvent de par leur fonctionnement écologique contribuer, à leur échelle, à l'amélioration de la résilience de la ville face aux différents risques encours.

Le Tableau 34 récapitule les différentes catégories de risques pouvant se réaliser en milieu urbain. Les auteurs [Gleyze, 2002] et (Metzger 1994) précisent que les **risques naturels et technologiques y sont prépondérants**.

Tableau 34 :

Classification des risques en milieu urbain selon Gleyze, 2002 ; (Metzger 1994) et (« MEA » 2005).
En orange, risques étudiés au travers de l'analyse des SE en milieu urbain.

Catégorie de risques [MEA, 2005]	Catégorie de risques		[Gleyze, 2002]	[Metzger, 1994]
Risques de catastrophes	Risques naturels		Inondations	Risques morpho-climatiques liés à la croissance urbaine, à l'occupation du sol à la gestion du site urbain : inondation, glissement de terrain ; Risques naturels : séismes, éruption volcaniques et leurs implication sociales ;
			Feux de forets	
			Mouvement de terrain	
			Avalanches	
			Séismes	
			Volcans	
			Cyclones, tempêtes	
	Risques technologiques		Risques industriels	Risques technologiques : pollution industrielle
			Risques de ruptures de barrage	
			Risques de transports de matières dangereuses	
			Risques nucléaires	
Sécurité personnelle		Risques liés aux bâtiments	Menaces de ruines	/
			• Risques diffus (chantiers, matériaux…)	

<table>
<tr><th rowspan="2">Catégorie de risques [MEA, 2005]</th><th colspan="3">Catégorie de risques</th></tr>
<tr><th colspan="2"></th><th>[Gleyze, 2002]</th><th>[Metzger, 1994]</th></tr>
<tr><td rowspan="5"></td><td rowspan="8">Risques urbains [a]</td><td rowspan="4">Risques de société</td><td>Menace pour la sécurité publique, la sécurité des personnes</td><td rowspan="4">Violence et sécurité en ville : la ville comme producteurs de violence, de délinquance et autres types de déviances sociales ;</td></tr>
<tr><td>Menaces pour la sécurité des biens</td></tr>
<tr><td>Risques diffus (manifestations, fêtes, grèves…)</td></tr>
<tr><td>Conflits, attentats</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Accès sécurisé aux ressources</td><td rowspan="3">Risques de réseaux</td><td>Transports</td><td rowspan="3">Risques technologiques : défaillances techniques, vulnérabilité des réseaux, dépendance du fonctionnement urbain par rapport aux réseaux complexes ;</td></tr>
<tr><td>Communication</td></tr>
<tr><td>Énergie (gaz, électricité, eau…)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Risques sanitaires</td><td>Toxicité, pollutions</td><td rowspan="3">La santé des populations humaines en ville :
- risques de type biologiques, prolifération des bactéries, maladies ;
Risques physico-chimiques : pollution de l’air, de l’eau et leurs conséquences sur la santé humaine ou les activités humaines.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Insalubrité, épidémies, maladies</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Risques alimentaires</td></tr>
</table>

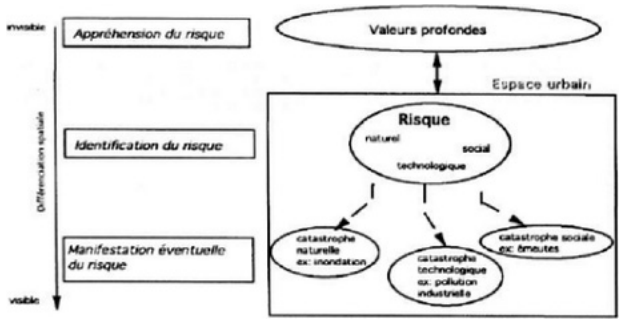
a. Risque relevant exclusivement du domaine de la ville et dont l’origine est urbaine (ex. les friches urbaines à l’abandon qui peuvent être source de menaces, les risques de société et d’insécurité sont liés à la société elle même).

Au-delà de ces classifications, (November 1994) constate que les différents types de risque (naturel, sociaux, environnementaux…) sont catégorisés selon la nature « de ce qui fait peur » mais qu'en définitive :

- ils cohabitent en milieu urbain et sont intimement liés à la croissance de la ville ;
- ils ne peuvent être dissociés les uns des autres, ni cloisonnés par discipline. Les risques naturels n'ont pas a être dissociés des autres risques et s'insèrent dans une dynamique urbaine.
- ils doivent être considérés comme un phénomène que la société désigne elle-même ;
- ils ne se répartissent pas de manière homogène dans la ville, les quartiers les plus pauvres avec le plus de risques sociaux sont souvent les plus vulnérables aux risques naturels ou environnementaux.

Blanchet dans (November 1994) propose une approche unitaire « du » risque urbain (risque engendré par le fonctionnement de la ville) plutôt que « des » risques dans la ville.

Illustration 119 : Insertion du risque dans la dynamique urbaine (November 1994)



Les chapitres précédents nous ont permis de mettre en avant que les espaces de nature en ville (parc, pieds d'arbres, plan d'eau, berges, noues, toitures végétalisées…) contribuent, à leur échelle, à l'amélioration de la résilience de la ville face à cinq types de risques. Les deux premiers

ont été étudiés aux travers de l'évaluation des services écosystémiques urbains et sont présentés ci-après de manière détaillée, les trois autres étant aux interfaces avec les autres écosystèmes pourraient faire l'objet de travaux complémentaires.

- **risque lié à l'accès sécurisé aux ressources au travers de l'alimentation en eau potable :** les espaces de nature en ville diminuent les coûts de traitement et d'épuration des eaux (potabilisation et dépollution) mais aussi et surtout les risques de maladies liés à la mauvaise qualité des eaux permettent au travers principalement du service **« d'auto-épuration des milieux aquatiques urbains »**. Ces espaces participent ainsi au bien-être humain en ce qu'il permettent de disposer d'une eau propre et utilisable, ou nécessitant un moindre traitement, pour la consommation d'eau douce ainsi que pour les autres activités nécessitant des milieux aquatiques sains telles que la pêche ou un certain nombre de services culturels. Par exemple, les milieux aquatiques ou humides peuvent assurer une partie de l'épuration des eaux usées.
- **risque lié aux inondations par ruissellement et débordement de réseau :** L'atténuation de ce risque grâce aux espaces verts et bleus des collectivités est mise en avant au travers notamment du service de « régulation des inondations ». Par exemple certaines parties de parcs urbains peuvent jouer le rôle de stockage du ruissellement. Parmi les articles traitant spécifiquement des services écosystémiques en milieu urbain, les services de « traitement des eaux usées, drainage des eaux de pluie, régulation des débits/flux et atténuation du ruissellement » sont particulièrement mis en avant (Bolund et Hunhammar 1999), (Niemela et al. 2010), (TEEB 2011), (Gómez-Baggethun et Barton 2013). Ces services sont intrinsèques à la ville et peuvent contribuer à l'atténuation de certains risques urbains et notamment les risques hydrologiques.

- **risque lié aux inondations par débordement de cours d'eau :** Concernant la diminution des inondations dues au débordement des cours d'eau traversant les villes, elle relève que d'action à l'échelle des écosystèmes naturels urbains mais aussi des bassins versants. Les écosystèmes ont la capacité de compenser en partie les précipitations et les variations du niveau des eaux et donc à faciliter une certaine absorption des crues, limitant ainsi l'importance des inondations et leur impact potentiel sur les installations humaines (CREDOC 2009a). **À l'interface de plusieurs groupes de travail,** ce type d'inondation n'a pas été analysé dans le cadre de l'Efese urbain, toutefois ce qui est vrai pour le ruissellement et les débordements de réseaux l'est aussi pour les débordements de rivières.
- **risque lié aux étiages ; À l'interface de plusieurs GT Efese**
- **risque lié à l'accès sécurisé aux ressources alimentaires :** (TEEB 2011) rappelle également que la ville peut-être le lieu d'une certaine production en eau potable, en ressource alimentaire ou en biomasse utiles pour subvenir à ses besoins. Ces services font partie des services dits « d'approvisionnement » qui viennent en réponse à l'enjeu « d'accès sécurisé aux ressources » et qui nécessite un bon état des sols et de l'eau (voir Tableau 34). **À interfaces de plusieurs groupes de travail Efese**

Au-delà des services principaux d'auto-épuration et de régulation des inondations **d'autres services rendus par les espaces de nature urbains peuvent** aussi, dans une moindre mesure, **contribuer à protéger les populations**.

Par exemple il ressort des travaux que :

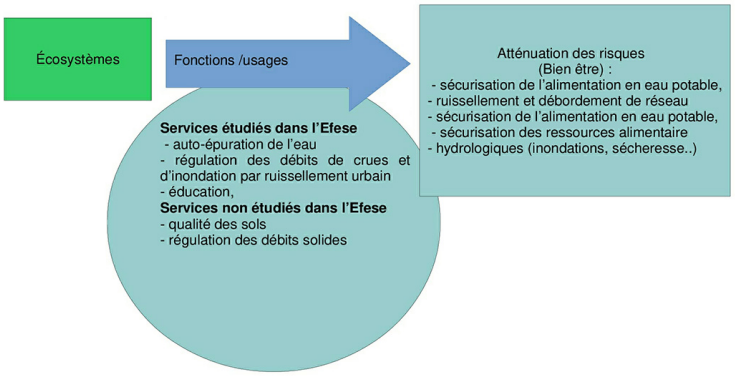
- le sol joue un rôle prépondérant dans la réalisation des services : il permet l'infiltration, le stockage des eaux, la dégradation des polluants… La présence de sol de qualité, fertile et vivant est primordial pour limiter ces risques. Bien que le service de régulation de

la qualité des sols n'ait pas été développé dans ces travaux, son rôle, indispensable, est mis en avant.

- Les services culturels jouent aussi un rôle important dans la prévention des risques et notamment le service culturel d'éducation autour de ces espaces qui permet une meilleure compréhension des phénomènes et préparation des riverains en cas de crise.

Ainsi seront donc traités dans ce chapitre les risques liés à la régulation des flux liquides ainsi qu'à la sécurité dans le sens de l'accès sécurisé aux ressources (Illustration 120) [1].

Illustration 120 : Des écosystèmes à l'atténuation des risques / au bien être – schéma adapté Cerema (MNHN 2010)



Les enjeux traités étant centrés majoritairement autour de la question de l'eau en ville, il parait nécessaire de dresser un rapide historique de la gestion de l'eau en France (CERTU 2003a).

Après la Seconde Guerre mondiale, dans la période de la reconstruction, les réseaux séparatifs connaissent un développement très important : les eaux usées sont collectées dans un réseau spécifique (souvent de petit diamètre) qui les transporte à la station d'épuration puis rejeté dans le milieu naturel, tandis que les eaux pluviales sont collectées et transportées au plus court jusqu'à leur rejet au milieu naturel (Illustration 121). Cela correspond aux contraintes et besoins de l'époque :

économe et rapidité. Ce réseau séparatif se développe souvent à l'amont, en extension du réseau unitaire, lequel est conservé en centre-ville, à l'aval.

Illustration 121 : SGEU d'après ANR OMEGA (Cherqui et al. 2013)



On a ainsi souvent « enterré » l'écoulement des eaux de ruissellement dans le tissu urbain, notamment lors des grandes extensions urbaines. De ce fait, les axes majeurs de ces écoulements ont été perdus de vue par la plupart des acteurs de l'urbanisme. Les cours d'eau ont parfois été couverts au bénéfice de la circulation automobile, certains bras morts ont été asséchés, des cuvettes naturelles ont été fermées par le bâti sans que subsiste aucun autre exutoire que le collecteur.

Nous allons montrer pour chacun de ces enjeux en quoi les espaces verts et bleus urbains jouent un rôle important et dresser des pistes d'actions en termes de politiques publiques.

16.2 – Un accès sécurisé aux ressources

La Déclaration Universelle des droits de l'homme de1948 traite du droit de tout individu « à un niveau de vie suffisant […] notamment pour l'alimentation »[2] et a introduit pour la première fois un droit large dans lequel l'alimentation était comprise. C'est le premier document garantissant les droits de tous devant l'alimentation. Par ailleurs et depuis 2010, l'ONU a reconnu que **l'accès à une eau potable, salubre et propre ainsi**

qu'à l'assainissement est un droit fondamental, essentiel au plein exercice du droit à la vie et de tous les droits de l'homme.

Une démographique croissante, se concentrant dans les villes… en besoin croissant d'aliments et d'eau

Region	Urban population (millions)			Proportion of total population living in urban areas (%)			Urban population rate of change (%change per year)	
	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010–2020	2020–2030
World total	3486	4176	4900	50,5	54,4	59,0	1,81	1,60
Developed countries	930	988	1037	75,2	77,9	80,9	0,61	0,48
North America	289	324	355	82.1	84,6	86.7	1.16	0,92
Europe	533	552	567	72,8	75,4	78,4	0.35	0.27
Other developed countries	108	111	114	70,5	73,3	76,8	0,33	0,20
Developing countries	2556	3188	3863	45,1	49,8	55,0	2,21	1,92
Africa	413	569	761	40,0	44,6	49,9	3,21	2,91
Sub-Saharan Africa	321	457	627	37,2	42,2	47,9	3,51	3,17
Rest of Africa	92	113	135	54,0	57,6	62,2	2,06	1,79
Asia/Pacific	1675	2086	2517	41,4	46,5	52,3	2,20	1,88
China	636	787	905	47,0	55,0	61,9	2,13	1,41
India	364	463	590	30,0	33,9	39,7	2,40	2,42
Rest of Asia/Pacific	674	836	1021	45,5	49,6	54,7	2,14	2,00
Latin America and the Caribbean	469	533	585	79,6	82,6	84,9	1,29	0,94
Least developed countries	249	366	520	29,2	34,5	40,8	3,84	3,50
Other developing countries	2307	2822	3344	47,9	52,8	58,1	2,01	1,70

Source: UN, 2010; see also Statistical Annex, Tables A.1, A.2, A.3, B.1, B.2, B.3

Au niveau mondial, alors que, en 1950, on ne comptait que quatre villes de plus de 5 millions d'habitants (New-York, Tokyo, Londres et Paris), depuis 2010, il y a maintenant dans le monde 30 villes de plus de 5 millions d'habitants, dont 13 ont déjà une population supérieure à celle de New-York en 1950 (12 millions). Le monde compte actuellement 19 villes de plus de 10 millions d'habitants. Il en comptera 27 en 2025. Le tableau 35 ci-dessous reprends l'évolution de la population totale et urbaine dans le monde et par région (2010-2030).

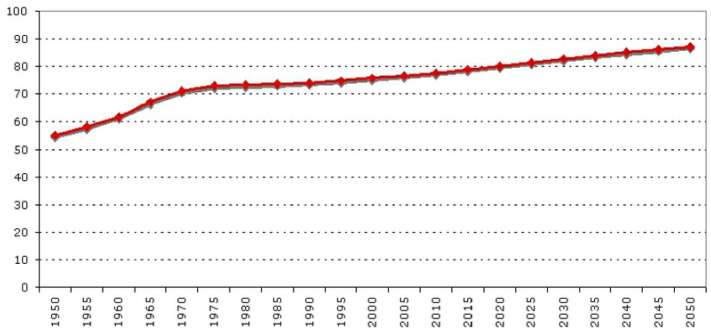
Cette croissance démographique ainsi que la concentration de la population en milieu urbain va accroître la demande en aliments et va provoquer une augmentation significative de la demande en eau. Cette augmentation de la demande en eau est estimée, par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), à 55 % entre les années 2000 et 2050 (3 500 km3 environ en 2000 à près de 5 500 km3 en 2050). Sont principalement en cause les activités manufacturières (+400 %, environ 1000 km3), la production d'électricité (+140 %, environ 600 km3)

et les usages domestiques (+130 %, environ 300 km3). Toutefois, la demande n'est pas automatiquement transposable en termes de consommation, puisqu'une part importante de la ressource utilisée retourne ensuite dans les masses d'eau, en restant ainsi utilisable en aval, si la qualité le permet (OCDE 2012).

Tableau 35 : évolution de la population urbaine dans le monde et par région (2010-2030) (Sénat 2011)

En France, le (Sénat 2011) prévoit une augmentation régulière de la population urbaine (*Cf.* illustration 122) et prévoit que 78 % de la population vivra en ville à l'horizon 2030.

Illustration 122 : Part de la population urbaine en France – Rétrospective et projections (en %) (Sénat 2011)



Au regard des enjeux fort d'évolution des populations d'ici 2015 et de pressions en résultant sur la production alimentaire et la disponibilité de la ressource en eau, nous traiterons ici de cet enjeu fondamental d'accès sécurisé à ces ressources. À noter toutefois que la ville est, sur cette thématique, très dépendante d'écosystèmes dépassant son propre territoire.

Un lien étroit entre la sécurité alimentaire et l'eau (en quantité et qualité) ?

Le rôle de l'eau dans la sécurité alimentaire est multiforme par ses implications et ses effets à la fois sur la santé et la nutrition, sur la production agricole, aquacole et agroalimentaire, sur l'accès à l'alimentation et sur la stabilité (CGAAE 2012). Un lien fort existe donc **entre le monde agricole, producteur de ressources alimentaires et le monde urbain consommateur des ressources transformées.** Concernant l'accès à l'eau il énonce que « *Si l'agriculture a besoin d'eau et de terres pour produire, les villes ont besoin d'eau pour boire et d'aliments pour se nourrir : elles dépendent donc doublement de la bonne gestion de l'eau des champs*. ».

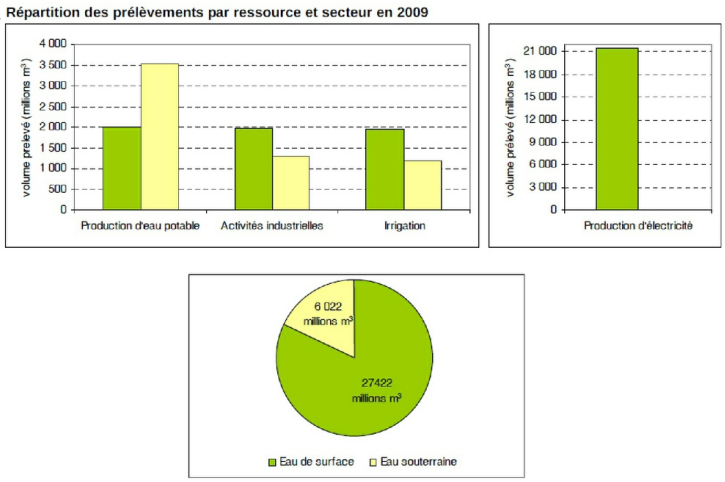
16.2.1 – Contribuer à la sécurisation de l'accès à l'eau potable avec des espaces naturels en ville ?

16.2.1.1 – Rappel des enjeux

L'accès à une eau salubre et à l'assainissement en milieu urbain est un droit et une question de santé publique. Elle est essentielle au développement de la vie (une consommation quotidienne minimale de 1,5 litre d'eau par personne est nécessaire), est soumise en France à la réglementation précisée par le Code de la Santé Publique.

En 2012, le (CGDD 2012) a fait un point sur les prélèvements d'eau en France en 2009 et leurs évolutions dix ans auparavant. En 2009, 33,4 milliards de m3 d'eau ont été prélevés en France métropolitaine, dont 17 % pour la consommation d'eau potable. Les prélèvements sont à la baisse depuis 1999 mais restent dépendant des conditions climatiques et des pratiques de productions agricoles notamment. Ils sont effectués dans les eaux de surface (en vert sur l'illustration 123) ou dans les eaux souterraines (en jaune sur l'illustration 123) selon les secteurs d'activités et la disponibilité de la ressource.

Illustration 123 : Répartition des prélèvements par ressource et secteur d'activités en 2009 - (CGDD 2012)



Plus de la moitié (64 %) de l'eau potable consommée en France provient des eaux souterraines « qui ne se voit pas ». Ces eaux sont en général moins polluées et nécessitent donc moins de traitement. Chaque année, les Français font creuser plusieurs milliers de forages afin de prélever l'eau des nappes souterraines dont 20 % sont des forages d'eau potable (à l'initiative des collectivités, des campings, des particuliers…) (Sénat 2003). Toutefois il semblerait que **dans les zones urbaines, où la quantité nécessaire est très élevée, on prélève plutôt de l'eau de surface que les grandes collectivités ont les moyens de traiter efficacement** (CERTU 2003a). L'eau est alors prélevée à partir de points de captage protégés, pour éviter toute pollution accidentelle. Toutefois la ville génère des pollutions qui dégradent ces milieux souterrains et superficiels.

– *Le risque de pollution des masses d'eau : la problématique de la gestion qualitative des eaux en ville*

La plupart des grandes villes sont situées près des rivières et des fleuves, qui ont été à la fois la première source d'alimentation en eau potable et la première infrastructure de transport. Les rejets d'eaux domestiques, dites « eaux usées », et les rejets d'eau pluviales urbaines ont depuis toujours altéré la qualité des cours d'eau, par l'entraînement de matières organiques pour les premières et complétée par divers autres polluants (métalliques, hydrocarbures, phytosanitaires…) pour les secondes [Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 2003]. Cette dégradation de la qualité des milieux récepteurs par les rejets des eaux collectées s'est accentuée jusqu'à la fin des années soixante, en se généralisant à tous les cours d'eau, du fait de l'accroissement démographique, du développement des agglomérations et de la croissance économique. Face à cette situation de plus en plus alarmante des mesures ont été prises grâce à une dynamique introduite par la loi relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution de 1964. Cette loi a ensuite été renforcée par la loi sur l'eau 1992 et ses textes d'application, qui transposent en droit français la directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines qui impose le traitement des eaux polluées (même pendant les périodes pluvieuses). Enfin, cet objectif de maîtrise de la qualité du milieu récepteur est s'est vu conforté au niveau européen par la directive cadre (Directive Cadre sur l'Eau - DCE) du 23 octobre 2000 qui crée une obligation de résultat visant à rétablir le bon état des milieux aquatiques à l'horizon 2015 et la protection à long terme des ressources en eau disponibles (CGDD, Service de l'Observation et des statistiques 2010) (CERTU 2003a)

Ainsi, la **collectivité**, responsable de l'assainissement, doit prévoir le traitement des **eaux usées domestiques**. Ce traitement peut être assuré par des systèmes non collectifs, qu'il s'agisse de systèmes individuels ou regroupés, ou par un système d'assainissement collectif.

Elle doit aussi **protéger les milieux récepteurs de la pollution que peuvent entraîner les eaux de pluviales lors des événements courants, spécialement lorsqu'elles se trouvent mélangées aux eaux usées et rejetées au milieu naturel** (Battaglia et al. 2003).

Les eaux usées :

Le volume des eaux usées, traitées à des degrés divers est considérable. En France, chaque seconde, 130 mètres cubes d'eaux usées sont acheminés vers les Stations de Traitement des Eaux Usées (STEU), soit plus de 5 milliards de m3 par an (environ la moitié du débit de la Seine). Aujourd'hui, approximativement 55 millions de Français sont raccordés à un système d'assainissement collectif (Fontaine 2011). Pour l'agglomération parisienne, en 2003, les eaux usées produites par les 10 millions d'habitants représentaient 30 m3/seconde, soit l'équivalent du débit moyen d'une rivière moyenne (l'Orne, l'Aude, l'Isère, la Drôme ont des débits moyens de l'ordre de 20 à 25 m3/seconde) [Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 2003]. Les petites stations d'épuration peuvent même devenir à certaines périodes la principale source d'alimentation des cours d'eau, mettant ainsi en évidence l'impact et la responsabilité de la ville vis-à-vis de la qualité de ses rejets.

Les eaux pluviales :

En tant que propriétaires de leur patrimoine pluvial, les collectivités ont des obligations d'entretien du réseau pluvial. D'autre part, l'article L2224-10 du CGCT oblige les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale à délimiter des zones d'assainissement collectif et non collectif ainsi que le zonage relatif aux eaux pluviales qui a vocation a être intégré dans le Plan Local d'Urbanisme des communes. Ce zonage eaux pluviales détermine les zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales, ainsi que les zones où il est

nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, en tant que de besoins, **le traitement des eaux pluviales et de ruissellement lorsque la pollution qu'elles apportent au milieu aquatique risque de nuire gravement à l'efficacité des dispositifs d'assainissement** (Carré et al. 2010).

– *Le risque de pollution des masses d'eau : la problématique des pesticides en France et dans les villes*

La France est confrontée à une dégradation de la qualité de ses ressources en eau en raison notamment de pollutions par les pesticides. Une synthèse réalisée en 2010 à partir des données produites sur la qualité de l'eau en France par les services de l'État, les établissements publics et certaines collectivités locales dans le cadre de leurs actions de contrôle et de surveillance sous la responsabilité des agences de l'Eau, a montré que des pesticides ont été détectés dans 91 % des points de suivi de la qualité des cours d'eau, traduisant une dispersion importante de ces produits, et une présence généralisée dans les milieux aquatiques, même si les doses mesurées sont parfois très faibles. 11 % des points de mesure ne respectent pas les normes européennes et françaises de qualité de l'eau au regard de la concentration en pesticides, pour au moins une des 18 substances ou groupe de substances définies par ces normes (CGDD, Service de l'Observation et des statistiques 2010.

Il est vrai que l'utilisation des pesticides pour l'entretien des espaces verts et des voiries représente une faible part des usages en comparaison avec l'agriculture. Pour autant, leur impact sur la qualité des cours d'eau est important : jusqu'à 40 % de la quantité d'herbicides utilisée en ville sur des surfaces le plus souvent imperméables, donc sensibles au ruissellement, peuvent être lessivées vers les cours d'eau… contre 1 % environ sur terres cultivées ou pelouses. Le fort impact de l'usage de pesticides en ville s'explique également par le fait que ces traitements sont appliqués sur

des espaces directement connectés à l'eau : avaloirs, caniveaux, bords de canal, de cours d'eau, de fossés…

La suppression de l'usage de pesticide permet, outre d'inscrire la commune dans une stratégie de développement durable, de préserver la santé des habitants et celle des agents techniques d'entretien des espaces verts et des voiries, de préserver la qualité des rivières et des nappes, et notamment la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et donc de réduire les coûts de traitement des eaux destinées à l'alimentation en eau potable (' Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, https://www.eaurmc.fr/).

16.2.1.2 – Quels rôles, types et localisations des espaces de nature en ville pour protéger la ressource en eau potable ?

En milieu urbain, nous avons montré que certains espaces de natures rendent des services permettant de limiter l'impact de la ville sur les milieux aquatiques et ainsi contribuent à sécuriser l'alimentation en eau potable.

Les services identifiés et étudiés dans les chapitres précédents sont représentés sur l'Illustration 124 suivant, il s'agit de :

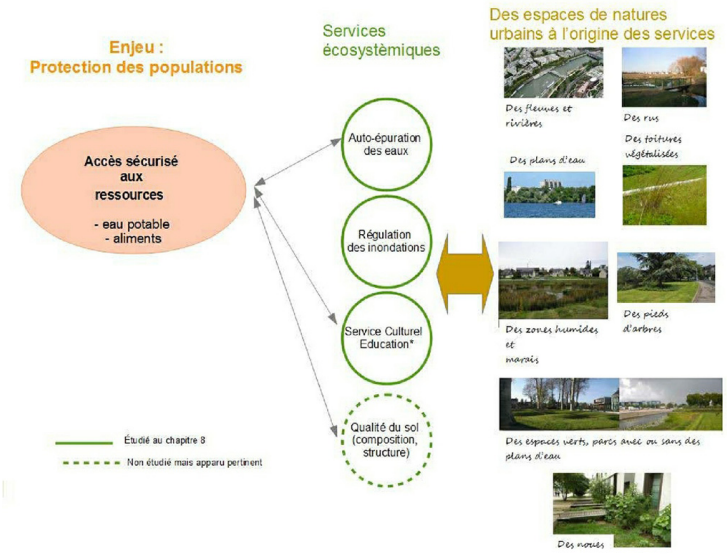
- **auto-épuration des eaux :** le service retiré des écosystèmes est la possibilité de disposer d'une eau propre et utilisable, ou nécessitant un moindre traitement, notamment pour la consommation d'eau douce nécessaire à la vie, mais aussi pour toutes les autres activités nécessitant des milieux aquatiques sains (services d'approvisionnement ou services à caractère socio-culturel) (CREDOC 2009a) et description du service au chapitre 8.
- **SEC « education »** décrit au chapitre 9

mais aussi des services qui n'ont pas fait l'objet d'analyse approfondie dans le cadre des travaux :

- **qualité du sol :** la « qualité d'un sol » est sa capacité à accomplir les différentes fonctions pour satisfaire les besoins de l'humain. La qualité est donc définie par des propriétés physiques, chimiques et

biologiques qui sont favorables à la production de végétaux et à d'autres services bénéfiques à l'humain (régulation des débits hydriques, purification de l'eau, accumulation de l'eau en réserve, purification de l'air, séquestration du carbone…). Dans l'absolu un sol n'est ni bon, ni mauvais il a des caractéristiques qui le rendent plus ou moins propice à des usages (CREDOC 2009a).

Illustration 124 : Services et écosystèmes urbains permettant de répondre à l'enjeu d'accès sécurité aux ressources



L'auto-épuration des milieux aquatiques : une fonction indispensable à la maîtrise des apports polluants issus de la ville. L'autoépuration concerne l'ensemble des processus biologiques (dégradation, consommation de la matière organique, photosynthèse, respiration animale et végétale…), chimiques (oxydoréduction…) et physiques (dilution, dispersion, adsorption…) permettant à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances (essentiellement organiques) qui lui sont apportées (apports naturels et pollution). Les organismes vivants (bactéries, champignons, algues…) jouent un rôle essentiel dans ce processus : ils retiennent, recyclent ou

détruisent les substances nocives ou en excès, dans une certaine limite et contribue ainsi à la purification et au maintien de la qualité de l'eau. L'efficacité du processus augmente avec la température et le temps de séjour. La capacité d'autoépuration d'un écosystème est limitée et peut être inhibée (par des toxiques notamment). Cette capacité d'autoépuration est toujours fortement corrélée avec la capacité d'oxygénation du système (http://www.eau-adourgaronne.fr/fr/informations-et-donnees/glossaire.html).

Pour les eaux usées, l'eau traitée par les stations d'épurations est rejetée dans le milieu naturel. Les bactéries et les plantes aquatiques de la rivière épurent le résidu de la pollution : c'est l'autoépuration des milieux aquatiques. Par contre, les stations d'épurations ne sont pas toujours adaptées pour le traitement des polluants émérgeants, la Lyonnaise des eaux a développé dans l'optique de compléter le traitement une Zone "innovante" de liberté biologique et de lutte contre les polluants émergents encore appelée "Zone libellule" (Lyonnaise des Eaux 2013).

Les eaux pluviales issues du ruissellement sur les surfaces imperméabilisées, sont aussi chargées en polluant, comme il a été montré précédemment. Des projets de recherche appliquée sont en cours pour évaluer et tester des systèmes d'ingénierie écologique pour traiter les rejets urbains par temps de pluie à l'aide de filtres plantés principalement (projets Roulepur et Adepte *Cf.* Illustration 126).

L'importance du continuum Eau-Sol-Plante-Micro-organismes et les interactions entre ces différents compartiments sont les principaux déterminants du service d'auto-épuration. Le devenir des pollutions est assez complexe et résulte d'une **multifonctionnalité exercée par l'action combinée du sol, des végétaux et des micro-organismes** explicité au chapitre 8.

Le sol n'est pas un composant inerte et les micropolluants présents sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement, peuvent être retenus dans les sols par des processus de sorption à la surface des constituants du sol

(Blecken et al., 2009 ; Citeau, 2006 ; Souiller et al., 2002). Les caractéristiques du sol influencent cette capacité. Les sols argileux, comparés aux sols sableux présentent par exemple une très bonne fixation de la matière organique et des polluants. D'autre part, certains facteurs comme le pH influencent la capacité de fixation des polluants. De même il a été montré que les performances épuratoires des systèmes végétalisés de traitement des eaux étaient dépendantes de ces trois paramètres.

Le réseau racinaire peut réduire considérablement la teneur en sels nutritifs tels que les nitrates et les phosphates. L'action conjuguée de l'absorption racinaire par les végétaux et la dénitri-fication par les micro-organismes du sol peut dans certaines conditions éliminer plus de 99 % des nitrates (Onema, 2012a).

La qualité des eaux souterraines et des eaux de surface ne dépend pas seulement des écosystèmes fournisseurs du service, mais des capacités d'épuration et de stockage d'autres écosystèmes annexes qui permettent de filtrer et faire de la rétention des substances polluantes. De part leur fonctionnement écologique (auto-épuration de l'eau, filtration des sols) quatre principaux types de surface peuvent contribuer à épurer les eaux en ville :

- les surfaces perméables de toutes sortes : espaces verts, parcs, bois urbains, jardins privés, jardins collectifs, terrains de sport, foret urbaines ;
- les surfaces hors sol du type toitures végétalisées ;
- les surfaces en eau stagnantes ou courantes : lagune, zones humides, ripisylve des cours d'eau et des étangs ;
- les systèmes dédiés de gestion et traitement des eaux pluviales et usées : noues, fossés, jardins de pluie, zones de rejets végétalisées, filtres plantés de roseaux…

A titre d'exemple, la filtration des eaux par les forêts permet à la Suisse de réaliser une économie de 50 millions €/an sur les frais de traitement de l'eau potable (CREDOC 2009a)

Zones libellules© du SIVOM la Palus (34) (SCHUEHMACHER et al. 2013)

Illustration 125 : Schéma de la zone libellule



Ce nouveau concept a été mis en eau sur 1.5 ha en août 2009, en aval de la station d'épuration de St Just-St Nazaire de Pézan (5 000 équivalent-habitants). Cette zone prend la forme d'une zone humide artificielle et présentant une succession de différents types de zones humides abritant des plantes qui vont filtrer et épurer les eaux à la sortie d'une station d'épuration. Elle utilise la capacité des organismes vivants tels que les plantes à épurer l'eau. Placée en aval de la station, elle constitue une zone tampon entre celle-ci et le milieu naturel et favorise la biodiversité locale. Cette action a été soutenue par le

Conseil Général de l'Hérault et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.

Sur un ensemble de zones humides réparties sur 89 sites à travers le monde, il a été estimé que la fonction d'épuration pouvait représenter une valeur économique d'environ

251 €/ha/an (CREDOC 2009a).

L'efficacité d'une bande enherbée à limiter le transfert des pesticides par ruissellement est généralement supérieure à 50 % et dépasse souvent 90 %, pour un large spectre de substances (Gouy et al.).

Les plans d'eau du parc de Miribel-Jonage (France) permettent de faire passer la teneur des eaux en nitrates (NO_3) de 50 à 10 mg/l environ (Fedenatur, 2004).

Quelques chiffres : La capacité épuratrice de dispositifs enherbés aux abords d'un cours d'eau de six mètres de large atteint sur les écoulements superficiels une moyenne inter-annuelle de 70 %. Une bande enherbée de 12 à 18 m de large offre une capacité d'épuration entre 84 à 91 % (Onema, 2012a). De manière générale et en condition moyenne une zone tampon rivulaire, quelle qu'elle soit, d'une largeur de 10 à 20 m permet une épuration correcte, supérieure à 80 % du flux parvenant à la rivière de polluants tels que matières en suspension, azote, phosphore, pesticides… (CSPNB 2008).

Ouvrage de gestion alternative des eaux pluviales

Le projet ADEPTE (Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif) : site du Syndicat de l'Orge (91), site du Grand Lyon (69) et site de Metz Métropole (57).

Ce projet a été retenu suite à l'appel à projet du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie : « Projets innovants dans le domaine de l'ingénierie écologique ». Il

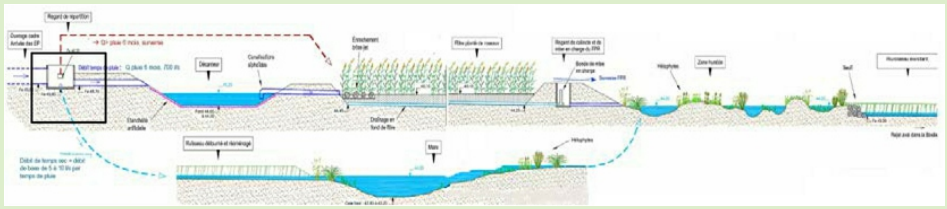
a pour objectif de développer un logiciel complété par un guide d'aide à la conception-exploitation de techniques utilisant l'ingénierie écologique et notamment celle des filtres plantés de roseaux pour le traitement des Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP).

Pour cela, 3 systèmes de traitement des eaux à filtres plantés de roseaux situés en milieu urbain ou péri-urbain seront évalués d'un point de vue technique, environnemental et sociétal. Ce système, représenté dans l'illustration126, possède deux principales fonctions :

⟶ une fonction de rétention, par montée du niveau d'eau sur le filtre, celui-ci étant entouré d'un talus permettant un marnage de 1 mètre ;

⟶ *une fonction de filtration et d'épuration, le filtre est en effet constitué de granulats et sables plantés de roseaux. Le principe repose sur la présence de micro-organismes capables de dégrader la pollution y compris les hydrocarbures, et précipiter les métaux grâce aux périodes de repos entre les pluies. Le filtre est destiné à piéger des particules fines, sur lesquelles la pollution est fixée. Constitué pour cela d'un granulat suffisamment fin (sable siliceux choisi dans un fuseau précis), il doit être protégé des apports qui pourraient à terme le colmater. C'est pourquoi un petit décanteur destiné à piéger les particules grossières est placé en amont.*[3] *Les eaux filtrées sont ensuite drainées en fond de filtre et acheminées à la zone humide et à la mare situées en sortie de dispositif*

Illustration 126 : Schéma de principe de l'ouvrage du SIVOA



Le potentiel épuratoire du réseau hydraulique du bassin versant de la Vilaine, affluent du Layon (Maine-et-Loire) (Roux et al. 2014)

Le réseau hydraulique du bassin versant joue un rôle dans la pollution de l'eau par les pesticides des cours d'eau auxquels il est connecté, selon le potentiel épuratoire des fossés et des mares qui le constitue. Sur cette base, a été caractérisé le potentiel épuratoire du réseau hydraulique du bassin versant de 2 000 hectares de la Vilaine, dans le cadre du projet « Vilaine » financé par le Conseil Régional des Pays de la Loire et mis en œuvre par le Syndicat Mixte du Bassin du Layon.

Après pré-localisation des mares et des fossés constituants le réseau hydraulique du bassin versant par photo-interprétation d'orthophotographies, nous avons défini une typologie de ses différents éléments constitutifs sur la base de leur potentiel épuratoire, caractérisé sur le terrain à partir des fonctions de collecte des eaux, de transfert/stockage des eaux et/ou de rétention/dégradation des pesticides des mares et des fossés.

La fonction de transfert/stockage est étroitement reliée au tracé de la section de fossé, son gabarit, sa forme et la rugosité du fond, et de la taille, la profondeur et le type d'exutoire des mares.

La fonction de rétention/dégradation des pesticides dépend de l'encombrement du bief, de la rugosité du fond et du type de substrat des fossés, et de la densité de végétation autour des mares.

*Sur les **54 mares** ainsi caractérisées, 12 ont un bon potentiel épuratoire, 38 ont un potentiel épuratoire moyen et 4 ont un mauvais potentiel épuratoire. Sur les **755 sections de fossés** (150,0 81 km cumulés) caractérisés, 475 ont un potentiel épuratoire moyen (94 910 km), 268 ont un potentiel épuratoire mauvais (52 734 km) et 12 ont un bon potentiel épuratoire (2,437 km). Sur cette base, des propositions d'aménagement et de gestion différenciée des 54 mares et des 755 sections de fossés ont pu être faites*

16.2.1.3 – Quelles actions possibles en ville ?

La protection de la ressource en eau du point de vue qualitatif comme quantitatif constitue un enjeu majeur des collectivités en vu d'assurer une production pérenne d'eau potable. Les pressions anthropiques exercées sur les milieux devant être maîtrisées pour assurer dans le futur un accès à l'eau à tous. Les solutions envisageables pour sa préservation relèvent en France de mesures curatives (abandons de ressources, mélanges, traitement…), structurelles (renouvellement et entretien

des réseaux, purges…) et préventives (protection de la ressource voire reconquête de la qualité de la ressource). Il a été montré que les espaces de nature en ville ont toute leur place dans ces mesures de prévention tant pour la production d'eau potable que pour leur valeur intrinsèque.

Une responsabilité de la ville vis-à-vis de la gestion de ses eaux

La problématique de la gestion qualitative des eaux est bien une problématique urbaine. En effet, la ville, par la quantité d'eaux usées qu'elle génère d'une part et par ses importantes surfaces imperméabilisées sur lesquelles se dépose une pollution variée et conséquente (atmosphérique, dépôt au sol, usage de produits toxiques pour l'environnement…) d'autre part, a une responsabilité indéniable vis-à-vis du traitement des eaux usées et pluviales, et cela pour répondre :

- aux contraintes réglementaires conséquentes à la directive cadre, ou à des usages particuliers (périmètre de protection de captage et alimentation en eau potable…),
- au constat de la dégradation des milieux aquatiques ou la volonté de reconquérir un niveau de qualité en rapport avec les usages qui en sont faits,
- à l'émergence d'une demande sociale forte par exemple liée à l'utilisation ludique du cours d'eau dans la traversée urbaine (promenade sur berge, canotage, pédalos…).

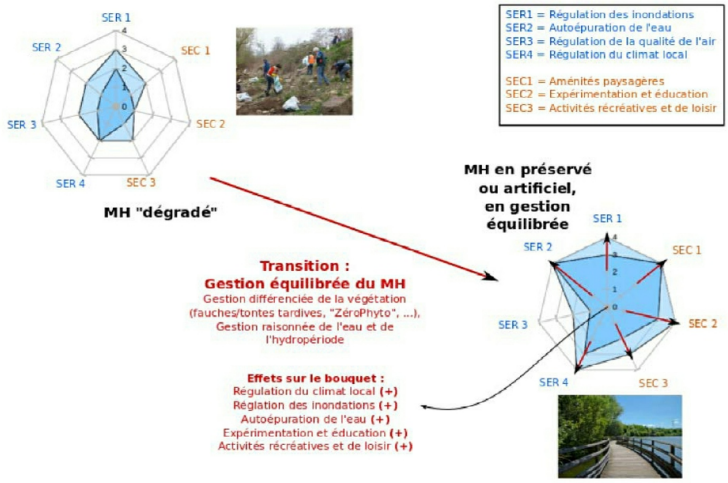
Illustration 127 : Parc en gestion différentiée et zéro phyto



Vers des pratiques de gestion et d'aménagement « écologiques »

Les résultats issus du modèle État-Transtion développé dans les chapitres précédents démontrent que les modifications **d'artificialisation**, **de fréquentation, des pratiques d'entretien et de gestion, ou encore d'aménagement** d'un milieu humide ou d'un espace vert urbain vont permettre de faire évoluer les services qui sont retirés de ces espaces. Par exemple, la mise en œuvre d'une gestion équilibrée sur un milieu humide initialement fortement dégradé (piétinement, déchet, contamination par le ruissellement urbain…) va avoir un effet positif notable sur le service d'auto-épuration (SER2) et d'éducation (SEC2) Illustration 128.

Illustration 128 : Impact positif de la modification de la gestion d'un milieu humide sur le service d'autoépuration, d'inondation et d'éducation



Propositions d'options de développement durable (partie 6) :

Concernant la gestion, il a été montré qu'une gestion différenciée à l'échelle urbaine, et la régulation des pratiques tel que le zéro phyto dans les jardins permet de limiter l'impact de l'exploitation de la végétation et de réduire la consommation d'intrants (et de ressources), limitant également l'impact sur la qualité des sols et des eaux douces.

Un référentiel en aménagement urbain : la ville de Montpellier

La Ville, assisté par un bureau d'études, a souhaité se doter d'un référentiel en aménagement urbain dénommé AURA (Améliorer l'Urbanisme par un Référentiel d'Aménagement), accompagné d'objectifs chiffrés et de sa grille d'indicateurs. Ces objectifs ont bien évidemment été adaptés au contexte méditerranéen et urbain propres à Montpellier et deux enjeux ont ainsi été identifiés comme primordiaux : la maîtrise des consommations énergétiques et la ***préservation de la ressource en eau****.*

Illustration 129 : Panneau d'information du fonctionnement écologique du milieu



Vers le développement d'actions d'éducation autour des milieux générateurs des services

Il ressort des travaux qui précédent, et le modèle Etat-Transition l'illustre bien, l'importance de communiquer et de mener des actions pédagogiques sur les milieux naturels qui jouent un rôle dans la prévention du risque. Plus les riverains seront informés, mieux ils respecteront les espaces et pourront être amenés à changer leurs pratiques individuelles notamment en matière de consommation d'eau potable.

Illustration 130 : Influence de la conception d'un ouvrage sur la concentration des flux d'eau et de polluants dans les ouvrages de gestion des eaux de ruissellement : quelques exemples Agence de l'eau Seine Normandie, 2013 (http://www.eau-seine-normandie.fr/).



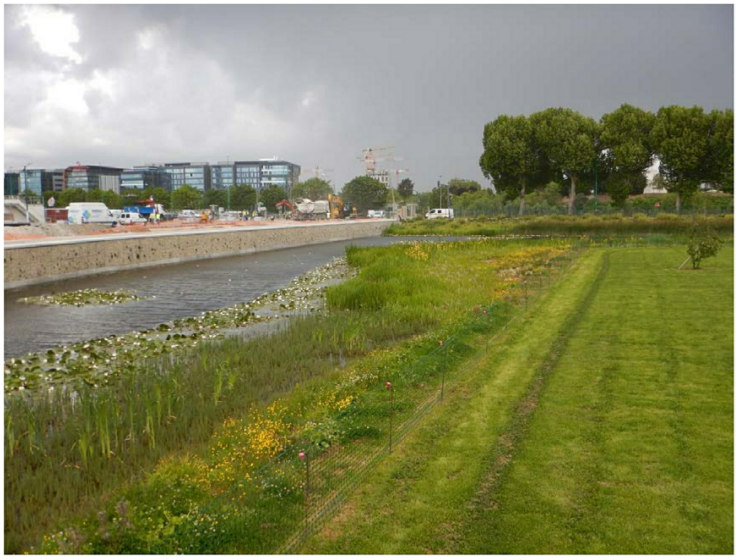
Vers le développement d'une gestion alternative des eaux pluviales

Une meilleure gestion des eaux et des polluants en milieu urbain doit être recherchée (au-delà des traitements technologiquement possibles) pour envisager une diminution à la source des rejets urbains par temps de pluie et de leurs impacts. Les opérations à promouvoir qui permettraient cette meilleure gestion sont nombreuses (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr) :

- réduire les apports de pollutions en améliorant les pratiques : modifier les pratiques locales de nettoyage des rues, modifier les revêtements de chaussées et utiliser des peintures de sols sans adjuvants toxiques, utiliser moins et de manière plus réfléchie les produits de déneigement et de déverglaçage, contrôler et réduire l'utilisation urbaine des engrais, herbicides, pesticides et autres produits phytosanitaires…

- réduire le ruissellement en ayant recours à des techniques visant à se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau, en utilisant des matériaux poreux et non étanches, facilitant ainsi l'infiltration diffuse des eaux pluviales. Dans le cas où l'infiltration serait impossible, d'autres techniques sont envisageables comme le stockage avant rejet à débit limité vers un ruisseau ou, à défaut, vers le réseau d'assainissement collectif.

Illustration 131 : Ancienne friche industrielle revégétalisée avec une gestion de l'eau intégrés



Vers un développement de sols urbains perméables et de surfaces en eau

L'aménagement urbain d'un bassin versant engendre des débits de ruissellement et des flux polluants qui peuvent dégrader la qualité des milieux, sans toutefois aboutir systématiquement à leur disparition. Il apparaît que les milieux situés dans des bassins versants où l'imperméabilisation est limitée et accompagnée d'une politique de gestion des eaux à la source sont généralement dans un meilleur état écologique que ceux fortement imperméabilisés et où un assainissement tout tuyau est

présent. Sans toutefois préserver totalement les milieux, la désimperméabilisation ou l'ingénierie écologique, accompagnée d'une gestion à la source des eaux permet de limiter partiellement l'impact de l'urbanisation.

Propositions d'options de développement durable (partie 6) :

S'orienter, en fonction du contexte local, des enjeux et de l'histoire du site, vers une imperméabilisation "raisonnée" des sols et une "gestion des eaux à la source" pour limiter l'impact de l'imperméabilisation d'un bassin versant sur la qualité des espaces de natures en ville.

16.2.2 – Enjeu lié aux ressources alimentaires – rappel

Les enjeux de santé publique liés à la qualité des ressources alimentaires sont apparus important lors des travaux de l'Efese urbain mais les écosystèmes concernés étant aux interfaces des GT, leur étude n'a pas été développée. Sont ici toutefois repris ici les enjeux identifiés.

Au regard des éléments ci-dessus, il apparaît que la ville est un lieu de consommation important et qu'il dépend très fortement de l'agriculture professionnelle. Cependant, en zone péri-urbaine majoritairement, certaines activités professionnelles ou non, telles que les circuits courts, le jardinage dans les jardins familiaux, la pêche dans les lacs et/ou étangs, en bord de mer permettent à certaines populations de subvenir à leurs propres besoins alimentaires.

Texte 1 : Les circuits courts
(http://agriculture.gouv.fr)

Les circuit-courts sont à l'intersection de multiples enjeux (économiques, de développement local, climatiques et de préservation de la biodiversité, sociaux, dans l'accès à une alimentation saine et de qualité).

Un plan d'action sur les circuits court à été élaboré au niveau national en 2009 se basant sur le fait que *« Les circuits courts permettent à certains producteurs de diversifier leur activité agricole. Ils permettent surtout de répondre à une forte demande des consommateurs. Ils apportent, en effet, une réponse à une exigence sans cesse grandissante de produits de terroir, de tradition, d'authenticité restaurant le lien social entre consommateur et producteur, valorisant les qualités de fraîcheur, d'innovation et de qualité nutritionnelle des productions en question ainsi que la connaissance des produits et de leurs modes de production. Dans son approche territoriale, le circuit court permet de valoriser la production locale. »*

- La vente directe concerne toutes les filières, surtout celles des fruits et légumes, de l'horticulture, de la viticulture et des filières animales. 4 % des fruits et légumes achetés le sont en vente directe, ce pourcentage atteint 7 % si l'on prend en compte l'ensemble des formes des circuits courts ;
- 88 600 exploitations agricoles réalisent de la vente directe en 2005 soit 16,3 % des exploitations agricoles dont 47 % transforment les produits ;
- Ces exploitations représentent une part importante de l'emploi agricole avec 26,1 % du total des unités de travail agricole ;
- les marchés de producteurs représentent en 2007 plus de 1000 exploitations et 100 000 consommateurs.

Concernant l'agriculture et le jardinage en milieu urbain/péri-urbain se pose la question du support sur lequel s'effectue la culture : le sol et sa qualité. En effet, les jardins sont souvent aménagés sur des espaces qui ont connu par le passé une ou plusieurs sources de contamination liée aux activités industrielles, urbaines, ou aux différentes pratiques de jardinage. Les auteurs ont montré que la pollution des sols urbains est essentiellement due à la contamination par les éléments traces métalliques avec une concentration supérieure en centre-ville (Schwartz 2013). Au regard de ces éléments, en plus de la qualité agronomique des sols nécessaire à

la culture et la croissance des végétaux, il est nécessaire de prendre en compte en milieu urbain la possible contamination du sol. La pollution des sols dans ces espaces de jardinage pouvant représenter un risque sanitaire important par contamination directe (ingestion de sol, inhalation de poussières, absorption dermique), ou indirecte (transfert aux végétaux et fruits produits).

Le projet ANR Villes et bâtiments durables (2012-2015), « Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques »[4] *se propose d'éclairer de façon interdisciplinaire les fonctions, les usages, les modes de fonctionnement, les avantages ou les dangers potentiels qu'induisent les jardins associatifs au sein de villes durables en émergence. Ce projet est mené en partenariat dans sept agglomérations françaises (Lille, Lyon, Marseille, Nancy, Nantes, Paris et Toulouse). Il traite, entre autres, du lien entre l'étude des services alimentaires et la question des risques potentiels de pollution dus au contexte urbain (sols, atmosphère).*

La sécurité alimentaire est un enjeu primordial pour la ville en expansion ou vont se concentrer de plus en plus d'habitants. Le développement de circuits courts, d'agriculture péri-urbaine, de jardinage en ville nécessite pour se développer de l'eau et des sols de bonne qualité que ce soit du point de vue de la fertilité mais aussi des contaminations potentielles issues des activités de la ville et de l'agriculture notamment.

16.3 – Les risques hydrologiques

16.3.1 – Des sols perméables pour prévenir les inondations par ruissellement et débordement de réseau

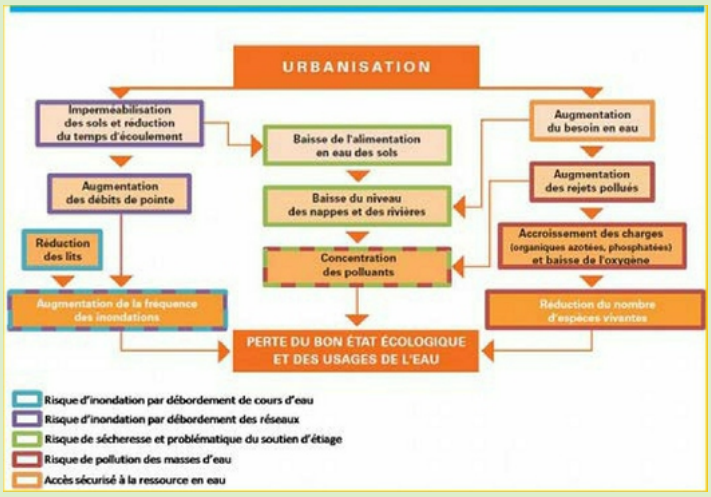
16.3.1.1 – Les enjeux

La ville est un système très imperméabilisé. Cette artificialisation des sols, porte désormais sur 4,4 millions d'hectares en France et perturbe le cycle naturel de l'eau (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr). L'artificialisation des sols induit deux conséquences majeures (*Cf.* encadré ci-dessous) : elle accroît le volume des eaux de ruissellement et assèche les sols urbains en diminuant l'alimentation des nappes souterraines.

L'artificialisation des sols et ses conséquences

Les espaces artificialisés (zones urbanisées, industrielles ou commerciales, les réseaux de communication, les mines, décharges et chantiers et les espaces verts urbains) se sont accrus d'environ 3 % (+820 km^2) entre 2000 et 2006 et occupent désormais plus de 5 % du territoire métropolitain en 2006 (CORINE Land Cover, 2006). Le point sur n° 75 - 2011, CGDD « L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles » (CGDD 2011b)

Illustration 132 : Schéma sur les conséquences de l'urbanisation et enjeux risques et sécurité associés. Adapté Cerema selon [Grand Lyon, 2008]



L'urbanisation entre largement en jeu dans ce phénomène d'artificialisation**.**

L'extension de l'urbanisation constituent un facteur aggravant des phénomènes de débordement de cours d'eau, de débordement de réseaux, de réduction des débits des cours d'eau et de pollution des masses d'eau.

Le schéma en Illustration 132 illustre les relations entre ces différents effets de l'urbanisation et enjeux urbains en termes de régulation des flux hydriques. Dans une moindre mesure le schéma fait également référence au besoin en eau de la ville et indirectement aux enjeux d'approvisionnement et d'accès sécurisé à la ressource.

Illustration 133 : Effet de l'imperméabilisation sur les hydrogrammes (Battaglia et al. 2003)



Concernant le premier point, l'évacuation des eaux de ruissellement par un réseau hydraulique ramifié produit une **concentration et une accélération des débits, ce qui se traduit par une augmentation de la fréquence de débordement des réseaux d'assainissement et une amplification des phénomènes de crue**. Comme le suppose l'Illustration 133, les débits les plus importants vont être mesurés à l'aval des secteurs d'urbanisation dense, tels que les centres-villes ou les zones industrielles ou commerciales, équipées notamment de vastes parkings [Battaglia et al., 2013].

En complément, il apparaît de plus en plus clairement que les **ouvrages d'évacuation hydraulique**, aussi largement dimensionnés soient-ils, se trouvent un jour insuffisants pour faire face à un événement d'une ampleur exceptionnelle, qu'une urbanisation inconsidérée peut alors transformer en catastrophe. Dès lors, l'urbanisation située à l'amont a tendance à être systématiquement accusée, à tort ou à raison, d'être à l'origine des inondations subies à l'aval (CERTU 2003a).

Concernant le second point, du fait de leur imperméabilisation, les couches superficielles et profondes du sol ne sont plus alimentées naturellement par les eaux pluviales. Le bilan hydrologique s'en trouve modifié. À pluviométrie égale, l'infiltration passe ainsi de 50 % en zone naturelle à seulement 15 % en zone imperméabilisée. **Ainsi, le dessèchement des sols et**

la baisse du niveau des nappes pénalisent la végétation urbaine et induisent des tassements différentiels des sols, générateurs de dégâts pour les immeubles et les infrastructures urbaines (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr).

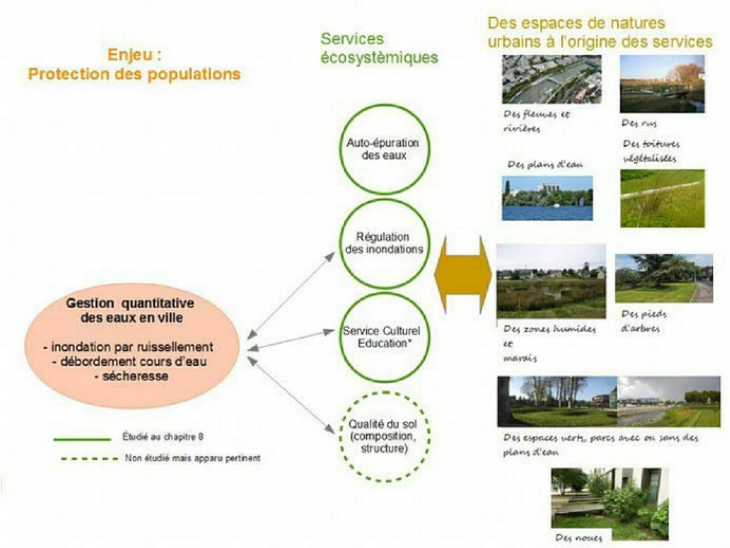
Il importe donc, du point de vue du ruissellement et de l'infiltration, de maintenir en l'état les parties non imperméabilisées (espaces verts…). La gestion de l'espace public a donc ici un rôle essentiel.

16.3.1.2 – Quels rôles et types des espaces de nature en ville pour prévenir les inondations ?

En milieu urbain, nous avons montré que certains espaces de nature rendent des Les services identifiés et étudiés dans les chapitres précédents sont représentés sur l'Illustration 134 suivant, il s'agit de :

- la régulation des inondations par ruissellement : elle repose sur l'infiltration de l'eau et son stockage dans les sols, puis son évacuation éventuelle par évapotranspiration ou son stockage à plus long terme au niveau des zones humides par exemple (Bolund et Hunhammar 1999), (Gómez-Baggethun et Barton 2013), (Rankovic, Pacteau, et Abbadie 2012), (MAMROT 2010. Ce service est décrit de manière détaillée au chapitre 8 ;
- le service culturel d'éducation décrit au chapitre 9.
- le troisième n'a pas été étudié en détail dans le cadre de ce rapport mais a toute sa place ici :
- le service de qualité des sols décrit ci-avant.

Illustration 134 : Services et écosystèmes urbain répondant à l'enjeu de gestion quantitative des eaux en ville



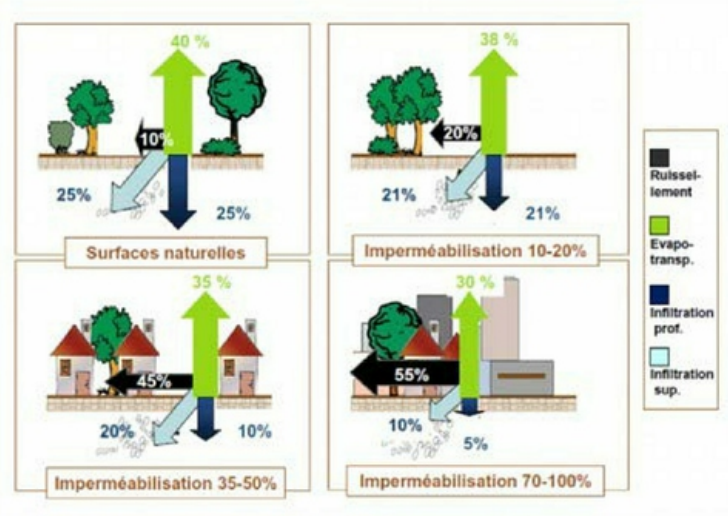
L'infiltration et la rétention de l'eau dans les sols est une des fonctions écologiques indispensables répondant aux problématiques de maîtrise des volumes de ruissellement, mais pas la seule.

En milieu naturel, lors de précipitations, l'eau de pluie suit des cheminements variés au sol. Elle s'infiltre, elle est interceptée par la végétation ou elle ruisselle en surface, vers les cours d'eau. L'eau infiltrée rejoint la nappe phréatique ou s'écoule sous la surface du sol, vers les cours d'eau. Une partie de la quantité d'eau interceptée par le couvert végétal et l'eau des plans d'eau peut retourner à l'atmosphère par évapotranspiration.

L'infiltration des pluies est fonction du taux d'imperméabilisation du sol (illustration 135) : l'eau ruisselle immédiatement et rejoint les écoulements superficiels aboutissant dans le milieu naturel. Ce phénomène a plusieurs conséquences, qui peuvent être graves en milieu urbain. D'une part, les eaux de ruissellement lessivent les substrats sur lesquels elles s'écoulent et se chargent en polluants, qui vont ensuite rejoindre les cours d'eau. D'autre part, le volume des écoulements peut provoquer des inondations,

occasionnant accidents et dégradations. Enfin, le ruissellement constitue une perte de ressource : le cycle urbain de l'eau est bien plus rapide que son cycle naturel, et l'infiltration n'est souvent pas suffisante pour recharger les nappes phréatiques. Ainsi, les villes puisent et importent de l'eau parfois à de grandes distances, alors qu'elles perdent presque l'ensemble des précipitations qu'elles reçoivent.

Illustration 135 : Schéma de principe de l'évolution du bilan hydrique en fonction de l'imperméabilisation du sol (Barraud 2008)



Dans un milieu naturel, de 10 à 40 % de l'eau de pluie s'infiltre profondément dans le sol pour rejoindre la nappe d'eau souterraine, de 20 à 30 % de l'eau de pluie s'infiltre, mais de façon moins profonde (ruissellement divergent), 40 à 50 % retourne à l'atmosphère et seulement 1 % de l'eau de pluie ruisselle en surface (MAMROT 2010).

Concernant les milieux naturels urbains dont sont retirés les services nécessaires à la régulation des inondations, il a été montré dans les chapitres précédents qu'il s'agit autant des hydroécosystèmes urbains [Maughan, 2014] que des espaces verts, des ouvrages de gestion des eaux pluviales végétalisés. Ils sont présentés dans l'Illustration 134. Les parcs, les toitures végétalisées, les bois urbains, les arbres, les espaces verts, etc.

représentent autant de surfaces perméables, les zones cultivées, les zones humides, offrant des points d'infiltration et de rétention des eaux d'écoulement ou de précipitation. Les espaces végétalisés jouent donc un rôle important dans la gestion des eaux de pluie, et doivent par conséquent être pris en compte dans les prises de décision concernant le risque d'inondation par débordement de réseaux (Kubal et al. 2009), (De Groot, Wilson, et Boumans 2002), (Villareal et Bengtsson 2005), (Bolund et Hunhammar 1999).

La Ville de Burnsville, au Minnesota, a pu constater l'impact de l'urbanisation sur la nappe d'eau souterraine. Dans un quartier résidentiel, des jardins de pluie expérimentaux ont été aménagés. On a ensuite mesuré l'impact du ruissellement dans un quartier similaire sans jardin de pluie. Le volume des eaux de ruissellement du quartier qui abritait les jardins de pluie s'est avéré de 90 % inférieur à celui de l'autre quartier, entraînant des effets considérables sur l'alimentation de la nappe d'eau souterraine (MAMROT 2010).

Gill et al. (2007) estiment que pour la région de Manchester, dans le cas d'une augmentation importante des épisodes de fortes pluies, le verdissement des toits des centres-villes, des zones commerçantes et des zones résidentielles permet de réduire le ruissellement de ces zones de respectivement 23,4 %, 20,4 % et 21,5 % par rapport à un scénario sans verdissement des toits.

Les toitures végétalisées peuvent également constituer une option intéressante, notamment en contexte où l'espace est rare (Rankovic, Pacteau, et Abbadie 2012). Par exemple, une étude de l'APUR pour la ville de Paris sur le potentiel de végétalisation des toitures montre que sur 460 ha, 80 ha pourraient être rapidement végétalisés (APUR 2013).

Une étude de cas à Beijing a montré que près de 2 500m3 d'eau de ruissellement potentiels s'infiltrent pour chaque hectare végétalisé. En outre, le volume total d'eau de pluie stocké par les espaces verts urbains est du même

*ordre de grandeur que les besoins annuels de la ville pour l'entretien paysager, soit plus de 150 000 000 m3 (La*ille, Provendier, et Colson 2013).

Les zones d'expansion des crues de La Bassée en amont de Paris permettent d'économiser ce qu'aurait coûté la construction d'un barrage écrêteur de crue, soit 200 à 300 millions d' €

16.3.2 Quelles actions possibles en villes ?

Le sol un élément indispensable.

16.3.2.1 – Vers un maintien, voire un développement des surfaces perméables

Il importe donc, du point de vue du ruissellement et de l'infiltration de maintenir en l'état les parties non imperméabilisées (espaces verts…). La gestion de l'espace public a donc ici un rôle essentiel (Battaglia et al. 2003).

Vers des pratiques de gestion et d'aménagement « écologiques »

Comme pour l'accès sécurisé aux ressources, les résultats issus du modèle Etat-Transition développé dans les chapitres précédents démontrent que les modifications d'artificialisation, de fréquentation, des pratiques d'entretien et de gestion, ou encore d'aménagement d'un milieu humide ou d'un espace vert urbain vont permettre de faire évoluer les services qui sont retirés de ces espaces. Par exemple, la mise en œuvre d'une gestion équilibrée sur un milieu humide initialement fortement dégradé (piétinement, déchet, contamination par le ruissellement urbain…) va avoir un effet positif notable sur le service de régulation des inondations (SER1) et d'éducation (SEC2) Illustration 128.

Illustration 136 : Un parc modelé pour gérer les eaux pluviales créant un paysage de vague dans la ville



16.3.2.2 – Vers le développement des ouvrages de gestion alternatives des eaux pluviales

La gestion quantitative des eaux urbaines au regard des risques de ruissellement et d'assèchement des sols est un enjeu particulièrement présent en milieu urbain compte tenu de la forte proportion de surface imperméabilisé qui le caractérise. La solution du « tout réseau » mis en œuvre à grande échelle dans l'ensemble des villes françaises trouve aujourd'hui ses limites et une nouvelle approche de gestion des eaux pluviales urbaines semble indispensable.

Ces ouvrages, multifonctionnels permettent au-delà de leur fonction technique première de :

- récupérer les eaux de pluie urbaines et les valoriser dans la ville, cette valorisation pouvant prendre des formes multiples (développement d'une nouvelle ressource en eau, création de paysages et d'usages, climatisation de la ville, etc.) ;
- utiliser les eaux pluviales urbaines pour développer des trames vertes et bleues et contribuer ainsi à développer la nature et la biodiversité en ville ;
- concilier la gestion des eaux pluviales avec d'autres usages afin de faire face au coût du foncier et aux disponibilités foncières.

16.4 – Enjeux liés aux cours d'eau (inondation et sécheresse) – rappel

16.4.1 Enjeux liés aux inondations par débordement de cours d'eau

Le risque d'inondation est le premier risque naturel en France. D'après l'évaluation nationale du risque d'inondation conduit par le ministère de l'écologie en 2011 (MEDDE 2012), le nombre de résidents permanents exposés aux différentes conséquences des inondations par débordement de cours d'eau est estimé à 17,1 millions, dont 16,8 en métropole, ce qui correspond à un Français sur 4. Depuis trente ans, le développement urbain dans les zones inondables et l'artificialisation des cours d'eau a accru l'exposition au risque et l'importance des dommages, estimés à 230 millions d'euros par an. Au-delà de l'aspect humain, les coûts élevés induits par les réparations des dégâts matériels affectent durablement l'économie locale voire nationale (Science PO 2011).

Quelques chiffres clés au sujet des inondations en France

Illustration 137 : Les communes exposées au risque d'inondation et les PPRi en 2012



Surface des zones inondables :

Les zones inondables par les fleuves et cours d'eau dont la cartographie est actuellement disponible concernent les territoires de 17 990 communes de France métropolitaine et de La Réunion. **Elles couvrent 30 384 km2, soit 10 % des surfaces de ces communes**. L'activité humaine s'étant développée à proximité des cours d'eau, ces zones comprennent une proportion relativement élevée de surfaces artificialisées ou agricoles et relativement peu d'espaces naturels (données calculées à partir des contours numérisés disponibles au 1er juillet 2012 des fleuves et cours d'eau)
(http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/accueil.html)

Population concernée :

En 2011, 17,1 millions de résidents permanents sont exposés aux différentes conséquences des inondations par débordement de cours d'eau, dont 16,8 en métropole **sont exposés au risque d'inondation (MEDDE 2012)**

De 1982 à 2010, 7 inondations considérées comme majeures ont eu lieu, causant plus de **200 victimes** et entraînant plus de **6 milliards d'euros de dommages**.

En effet, les territoires impactés peuvent difficilement se relever s'ils n'anticipent pas et ne se préparent pas suffisamment. Une structure inondée quelques jours exige plusieurs mois pour être restaurée et opérationnelle. De la même façon, un bâtiment ou une entreprise inondé(e) plus de 24 heures sous une hauteur d'eau excédant 30 cm connaît des dommages parfois très importants. Suite à une inondation, des quartiers entiers peuvent être atteints au point de perdre leur qualité de zone d'habitat. L'inondation peut aussi paralyser en dehors de la seule zone inondée : l'endommagement des réseaux publics a des répercussions sur les voies de communication, les moyens de transport, l'énergie (via les transformateurs dans la zone inondée), les réseaux de chaleur, les équipements d'eau et d'assainissement (généralement installés dans les axes de drainage où passera le flux de la crue), les télécommunications, etc [Bigand et al., 2011]. En cas d'inondation, les situations de crise peuvent rapidement devenir chaotiques : tout le monde cherche à avoir accès aux mêmes ressources en même temps, alors que le territoire est atteint dans ses infrastructures de base (routes, réseau électrique, etc.). Une partie des dommages n'est pas prise en charge par le régime de catastrophes naturelles, sans possibilité de transfert de cette charge sur l'assurance ou la solidarité nationale. **En somme, l'inondation pèse durablement sur l'activité du territoire** (Science PO 2011).

Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) a publié le 28 mars 2012 un rapport spécial sur la gestion des risques de phénomènes extrêmes où il indique que « la fréquence des fortes précipitations devrait augmenter sur la plupart des régions au cours du 21 ème siècle, ce qui aura des conséquences sur le risque d'inondations. » (GIEC 2012). Ainsi, il semblerait que le **changement climatique augmentera dans l'avenir l'aléa tandis que l'urbanisation extensive accroît d'ores et déjà la vulnérabilité**, la rencontre des deux entraînant un **redoublement du risque à terme.**

L'impact des inondations

Sur les personnes

Les risques d'une inondation pour les personnes sont d'abord les accidents (noyades, chutes, électrocution) dont la gravité varie selon l'intensité et la rapidité des phénomènes. Un événement lent et long peut entraîner des risques sanitaires liés au manque d'eau potable, au dysfonctionnement des structures de santé, etc. Les impacts sur la santé concernent aussi les conséquences psychologiques du drame pour les personnes qui se retrouvent éloignées de leur habitation, qui perdent leurs biens personnels ou leur emploi suite à la rupture de l'activité économique

Sur l'activité économique

Les inondations peuvent entraîner la paralysie économique d'un territoire. La réparation ou la reconstruction des biens (privés ou publics) détruits ainsi que les dommages sur les différents réseaux (transports, télécommunications, eau, énergie) entraînent un coût important pour la société. Les inondations ont aussi des répercussions sur les activités économiques, car elles peuvent entraîner des interruptions dans la production ou de lourdes pertes financières (bâtiments et outils endommagés, stocks et récoltes perdues, etc.).

Illustration 138 : Comparaison du cout des inondations en France depuis 30 ans avec celui d'inondation de la Seine si elles se reproduisent aujourd'hui (IIBRBS, DRIEE, préfecture de police 2010)



Exemple : Les villes de Cognac et de Saintes, ces « services perdus » représenteraient respectivement 10 M€ et 4 M€ sur 18 ans : avec les couverts végétaux d'antan, le montant des dégâts liés aux 3 crues subies en 18 ans serait atténué de cet ordre de grandeur (Lorthois et Aessterker 2013).

Sur l'environnement

Les crues peuvent avoir des effets positifs pour l'environnement : remplissage des nappes, fertilisation des sols (par le dépôt de sédiments), participation à la biodiversité des espaces alluviaux et contribution, par l'apport de sédiments, à la lutte contre l'érosion des deltas. Elles ont aussi des impacts négatifs, car elles peuvent être responsables d'une érosion massive

(notamment en zone côtière) et peuvent toucher des sources de pollution comme des sites industriels ou bien des sols pollués ou traités aux pesticides qui vont ensuite affecter l'ensemble des terrains inondés. Elles peuvent aussi causer des accidents technologiques majeurs (risque technologique, sites nucléaires) (MEDDE 2012).

La vulnérabilité de l'Île-de-France à une inondation majeure de hauteur comparable à celle de 1910

« 850 000 habitants sont directement exposés au risque d'inondation, mais les dysfonctionnements ne se limitent pas à la zone directement inondée en surface. Ils concerneraient 4 à 5 millions de personnes à des degrés divers.

Près de 2millions de personnes seraient affectées par des coupures d'électricité et 2,7millions par des coupures d'eau potable.

L'inondation se traduirait par la détérioration des services à la population, l'endommagement du matériel des entreprises inondées, la perturbation des approvisionnements et des distributions, les difficultés de déplacement.

Près de 170 000 entreprises seraient touchées par une crue majeure, dont 86 000 directement inondées, générant une paralysie régionale qui affecterait l'ensemble des activités du pays.

Malgré l'action des ouvrages de protection (lacs-réservoirs, digues et murettes), les dégâts directs résultant d'une crue d'une hauteur comparable à celle de 1910 sont estimés à 17milliards (en euros valeur 2008) au minimum, sans tenir compte des dommages aux réseaux de transport, d'électricité, de télécommunications, de chauffage urbain, etc. et sans prendre en compte l'impact sur le long terme de la paralysie économique » (IIBRBS, DRIEE, préfecture de police 2010).

L'enjeu global lié à la gestion des risques d'inondation est donc lié aux fonctions attribuables aux zones inondables par l'homme : à la fois des lieux support du développement des activités économiques et des milieux ressources pour

la dynamique des hydrosystèmes et la biodiversité. Désormais, la société doit réapprendre à composer avec les crues pour concilier développement économique et protection des milieux naturels dans une perspective de développement durable des territoires.

16.4.2 – Enjeux liés à la sécheresse – rappel

Les cours d'eau peuvent sortir de leur lit lors de fortes précipitations. À l'inverse, ils peuvent connaître des étiages pendant une période de sécheresse. La sécheresse est souvent un risque moins visible que l'inondation. Les pertes et les impacts ne sont pas enregistrés systématiquement, les normes mondiales pour mesurer l'aléa de sécheresse ne sont introduites qu'avec beaucoup de lenteur et la collecte des données soulève maintes difficultés.

La sécheresse est un phénomène résultant d'un déficit pluviométrique qui réduit les ressources destinées aux plantes, aux cultures, à l'alimentation des villes et à l'écoulement des cours d'eau. Lorsque le manque de pluie survient en hiver ou au printemps, il empêche le bon remplissage des nappes phréatiques (« réserves » d'eau) qui s'effectue à cette période de l'année. Au-delà du mois d'avril, l'eau de pluie est essentiellement absorbée par les plantes, en pleine croissance, ou s'évapore à cause de la chaleur. La sécheresse peut être accentuée par des températures élevées, notamment en été qui provoquent un assèchement des sols et l'évaporation plus importante de l'eau disponible. Le manque d'eau peut donc apparaître à tous moments dans l'année. Cependant, outre le déficit pluviométrique, le risque de sécheresse semble se construire au fil du temps sous l'effet d'une multitude de facteurs. Parmi ceux-ci figurent :

- la pauvreté et la vulnérabilité rurale ;
- l'accroissement de la demande d'eau en raison de l'urbanisation, de l'industrialisation et de la croissance de l'agro-industrie ;

- une gestion du sol et de l'eau insuffisante ;
- la faiblesse ou l'inefficacité de la gouvernance ;
- la variabilité et l'évolution du climat.

Ces paramètres augmentent la vulnérabilité et l'exposition et transforment l'aléa de sécheresse en un risque pour les populations et pour les écosystèmes [ISDR, 2011]. On parle alors de sécheresse hydrologique lorsque des niveaux d'eaux inférieurs à la moyenne dans les lacs, réservoirs, les fleuves, les cours d'eau et les eaux souterraines ont un impact sur les activités non agricoles comme le tourisme, les loisirs, la consommation d'eau en zones urbaines, la production d'énergie et la conservation des écosystèmes (ONU/SIPC 2009, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr).

Au niveau national, en période de sécheresse, des dispositions réglementaires sont mises en place pour limiter l'impact des prélèvements sur les cours d'eau : des arrêtés sécheresse avec pour objectif la limitation d'utilisation de l'eau [5] (ISDR 2011).

Il en ressort que **peu de données sont disponibles sur le milieu urbain** mais que l'on peut toutefois identifier en France deux types de risques engendrés par la sécheresse :

un risque pour l'homme avec des problématiques d'accès à la ressource en eau et à l'énergie

Le milieu urbain peut être touché par la sécheresse hydrologique. Cela peut se produire dans trois cas de figure :

lorsque la consommation d'eau dépasse les capacités de la nappe ou des réservoirs à se renouveler ;

lorsque l'eau est détournée pour une autre zone géographique ;

lorsque les conditions d'alimentation des nappes (perméabilité du sol…) ne sont plus réunies.

2003 – La sécheresse européenne avec les restrictions d'usages de l'eau et la vague de chaleur survenues en 2003 ont réduit la capacité de génération d'énergie nucléaire de la France de 15 % pendant cinq semaines et elles ont aussi entraîné une réduction de 20 % de la production hydroélectrique du pays (Hightower M & Pierce S.A 2008). Cette même année, 77 départements ont pris au moins un arrêté sécheresse de restriction limitant les usages de l'eau. Au total, sur l'ensemble de la période considérée, il a été dénombré plus de 800 arrêtés préfectoraux restreignant les usages domestiques, agricoles, industriels, de loisirs, jusqu'à l'interdiction totale de prélèvement (MEDDE 2004).

Le risque sécheresse hydrologique est donc un paramètre important pour les questions d'accès sécurisé aux ressources et notamment l'alimentation en eau potable.

Un risque de dégradation des écosystèmes

De manière générale, et non spécifiquement au milieu urbain, la sécheresse peut aussi avoir un impact écologique et affecter les habitats, les plans d'eau, les rivières et les ruisseaux, en accroissant la vulnérabilité et la migration des espèces et en entraînant une perte de la biodiversité (GAR 2011), (Giret 2004), AEAG, 2012. Des études menées par l'ONEMA, 2012 montrent que les étiages ont tendance à exacerber la plupart des autres pressions comme la pollution la température, le colmatage du lit.

À défaut de données générales sur les villes et à titre d'exemple, entre 1999 et 2005, les sécheresses ont contribué à la perte d'au moins 100 000 hectares de marais salants le long du littoral de la Floride (Silliman et al. 2005).

En Espagne, la sécheresse de 1991 à 1995 a entraîné indirectement l'assèchement des zones humides, provoquant une intrusion de l'eau de mer dans les aquifères côtiers ; en outre, la superficie touchée par les feux de forêts

en Espagne méridionale a augmenté de 63 % par rapport à la décennie précédente (GAR 2011).

L'impact de la ville sur les milieux en période de sécheresse…

Un risque accru de pollution est à craindre lorsque des rejets ponctuels, accidentels ou permanents (eaux usées par exemple) se font dans des petits cours d'eau à faible débit où les capacités de dilution sont moindres [AEAG, 2012].

Il est toutefois à noter que les situations de crises telles que la sécheresse font partie et sont nécessaires au fonctionnement écologique des écosystèmes, mais que le risque ici est accentué par les facteurs anthropiques tels que le réchauffement climatique, les prélèvements et l'imperméabilisation et que l'augmentation de leur fréquence ne peut qu'appauvrir les milieux.

Le risque de sécheresse hydrologique, dû à un déficit pluviométrique, a un impact sur l'homme et sur les milieux naturels. Bien que dépassant les limites de la ville, le déficit d'eau va impacter la disponibilité de la ressource et restreindre les prélèvements nécessaires à l'alimentation en eau potable, à l'industrie ou encore à l'agriculture. Ces limitations d'usages ne vont pas sans poser des problèmes sanitaires et économiques. Ces étiages sévères sont accentués par des facteurs anthropiques tels que les rejets de la ville ou les prélèvements et dégradent de manière importante des écosystèmes.

16.4.3 – Des écosystèmes pour atténuer les inondations et le soutien d'étiage ?

De manière générale, une rivière coulant dans une plaine alluviale qu'elle a façonnée, inonde son lit majeur et se retire dans son lit mineur plus ou moins fréquemment. Elle alterne des périodes de hautes et basses eaux, elle respire.

Que le milieu soit aménagé ou non, les submersions contribuent à l'écrêtement des crues à l'aval. Cette fonction écologique classique du lit majeur d'un cours d'eau peut revêtir une importance cruciale dans certains bassins, notamment les plus aménagés (ASTEE 2013). Ainsi, la gestion des crues et des inondations passe classiquement (après la non construction en zone inondable) par la c**onservation, voire le développement de zones d'expansion des crues, la restauration des plaines alluviales à l'amont des zones vulnérables en reconnectant les milieux humides à la rivière et en restaurant sa ripysilve (exemple de principe de conception en Illustration 139).**

Illustration 139 : Principe de conception d'un aménagement de gestion des crues (ASTEE 2013)



De même le rôle du lit majeur et des zones humides associées contribuent au soutien d'étiage de par la fonction écologique de stockage/déstockage des milieux. Un soutien d'étiage artificiel peut aussi être réalisé à partir de retenues et de barrages. Il consiste à ajouter au débit naturel trop faible de la rivière, un débit supplémentaire obtenu en déstockant l'eau de la retenue d'un barrage. Ce débit, au-delà du strict débit réservé, régule les débits au cours de l'année, améliore la qualité environnementale à l'aval du barrage en maintenant le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Il permet la gestion de la ressource à l'échelle du bassin de la rivière. En effet, l'eau supplémentaire ainsi restituée peut ensuite être utilisée à l'aval au moyen de prélèvements dans la rivière (pour l'irrigation, pour alimenter les réseaux d'eau potable…)
(http://www.barrages-cfbr.eu/Soutien-d-etiage.html).

Régulation hydrologique par la renaturation d'écosystèmes

*Une étude réalisée en 2011 et 2012 sur un cours d'eau urbain permanent dans l'**État du* **Maryland** (États-Unis) a montré une nette diminution des pics de crue dans les secteurs où le chenal principal avait été reconnecté à des zones humides construites artificielles par rapport à des secteurs dégradés. Une gestion plus efficace du ruissellement pour des événements hydrologiques d'amplitude faible à moyenne a également été constatée ainsi qu'une forte diminution des flux de matières en suspension totales (MEST) vers l'aval lors de faibles pluies (N. Maughan 2014).*

***Notons qu'il est également** possible de réaliser des évaluations chiffrées de la valeur **de ce type de services. C'est le cas pour la rivière Mayes et son parc (43 hectares) située dans l'est de la ville de Londres pour laquelle la valeur des services de régulations, après restauration de la plaine alluviale, a été évaluée** à environ 28 087 £, 13 087 £ pour la régulation climatique, 10 000 £ pour la régulation hydrologique et 5 000 £ pour le contrôle de l'érosion (Everad, Shuker, et Gurnell 2011).*

Les crues, les inondations et les étiages sont nécessaires au bon fonctionnement des cours d'eau et modèlent les fonds de vallées et les annexes hydrauliques du lit majeur. Ces dernières, milieux humides, participent dans certaines conditions à la propagation des inondations et au soutien d'étiage à l'échelle des bassins versants.

Dans les milieux anthropisés comme les villes, intégrer et prendre en compte les fonctionnalités écologiques du lit majeur des cours d'eau dans l'aménagement urbain peut permettre de contribuer, ponctuellement, à gérer les risques hydrologiques, à garder leur mémoire mais aussi à protéger l'environnement et permet d'aboutir à une réelle valorisation des milieux.

16.5 – Synthèse

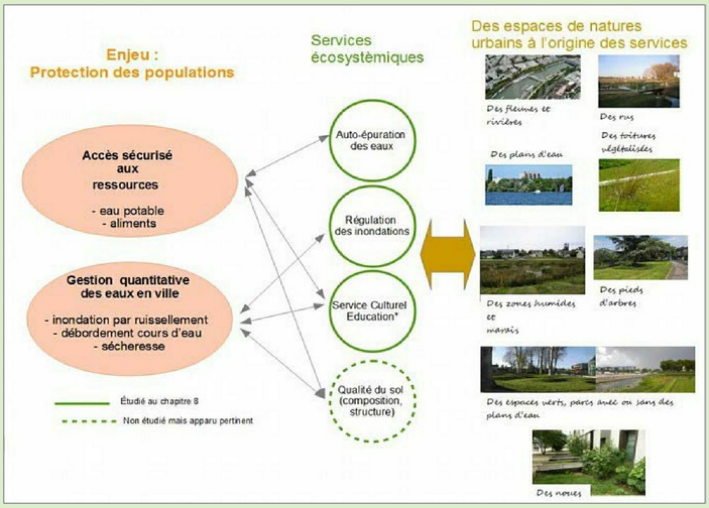
Les services identifiés et étudiés dans les chapitres précédents sont représentés sur l'Illustration 140 suivante, il s'agit de :

l'auto-épuration des eaux : le service retiré des écosystèmes est la possibilité de disposer d'une eau propre et utilisable, ou nécessitant un moindre traitement, notamment pour la consommation d'eau douce nécessaire à la vie, mais aussi pour toutes les autres activités nécessitant des milieux aquatiques sains (services d'approvisionnement ou services à caractère socio-culturel) (CREDOC 2009a) et description du service au chapitre 8.

la régulation des inondations par ruissellement : Il repose sur l'infiltration de l'eau et son stockage dans les sols, puis son évacuation éventuelle par évapotranspiration ou son stockage à plus long terme au niveau des zones humides par exemple (Bolund et Hunhammar 1999), (Gómez-Baggethun et Barton 2013), (Rankovic, Pacteau, et Abbadie 2012), (MAMROT 2010). Ce service est décrit de manière détaillée au chapitre 8 ; Le service culturel d'**éducation** décrit au chapitre 9.

Le quatrième n'a pas été étudié en détail dans le cadre de ce rapport mais a toute sa place ici : **le service de qualité des sols** décrit ci-avant.

Illustration 140 : Synthèse des services et écosystèmes contribuant à la protection des populations en milieu urbain



Vers une préservation, voire un développement des espaces verts et humides

Il est important d'intégrer des espaces verts dans les projets d'aménagement et de conserver les zones humides par exemple qui permettent de gérer les risques hydrologiques et de pollution. La présence d'un couvert végétal protège le sol de l'érosion et du tassement provoqué par l'impact des précipitations et leur écoulement.

Le système racinaire de la végétation en ville créé une véritable architecture de protection dans le sol, ce qui permet de le structurer et de le prévenir encore davantage contre l'érosion. Une surface urbaine dédiée aux espaces verts et au végétal est une forme de garantie de préservation du sol contre son artificialisation, la perte de ses propriétés physiques, et de ses fonctions ou services écosystémiques (fonctions hydrauliques, épuration, support de vie).

Vers des ouvrages de gestion alternative des eaux pluviales multifonctionnels

La gestion des eaux pluviales en milieu urbain évolue vers une nouvelle approche plus intégrée, identifiées selon une multitude de terminologies selon les régions géographiques. Au Canada et aux États-Unis, on parle de *Low Impact Development*, le *Sustainable Urban Drainage Systems* provient pour sa part du Royaume-Uni, le *Water-Sensitive Urban Design* est le concept préconisé en Australie, le *Natural Drainage Systems* est le concept promu par la ville de Seattle, le *On Site Stormwater Management*, est la terminologie employée à Washington et au Québec, ce sont l'approche de *Gestion durable des eaux de pluie* recommandée par le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Organisation du territoire (MAMROT) et l'approche de *Pratiques de gestion optimales* suggérée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP), qui sont prescrites (Moisan 2013).

Comme l'illustre le schéma ci-dessous (Illustration 141), ces concepts partagent une approche globale commune qui appelle une gestion optimale de l'eau pluviale puisqu'elle instaure de nouveaux critères de conception, d'aménagement et de gestion des ouvrages dans le but d'enregistrer des gains environnementaux supplémentaires à la stricte gestion quantitative de l'eau pluviale tels que :

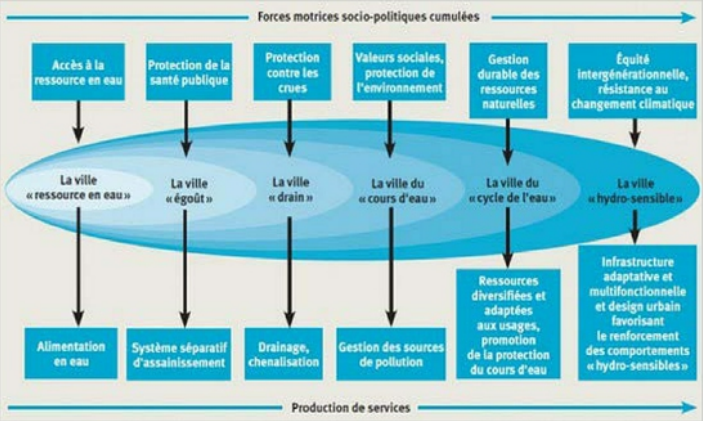
la protection des milieux récepteurs, en assurant une diminution de la quantité d'eau de ruissellement rejetée vers ces écosystèmes, en garantissant un ralentissement de son écoulement et une réduction de sa charge polluante ;

l'adaptation plus aisée aux changements climatiques ;

le développement et la pérennisation de la biodiversité urbaine en étant partie intégrante des trames bleues urbaines ;

l'amélioration du cadre de vie et du bien-être des citadins.

Illustration 141 : Schéma de l'évolution des pratiques vers le concept de ville "hydro-sensible" – (N. Maughan 2014)



Dans ces conditions le système de gestion des eaux pluviales, tel qu'il est décrit ici, constitue un véritable réseau d'hydrosystèmes urbains producteurs de divers services écosystémiques.

De manière générale, les modes de gestion des eaux pluviales dites techniques alternatives à ciel ouvert telles que les noues et fossés, les bassins à sec ou en eau ont jusqu'à présent été essentiellement conçus pour répondre à un objectif de gestion hydraulique des pluies « exceptionnelles ». Des travaux menés récemment (Bressy 2010) ont démontré l'intérêt des techniques alternatives dans un objectif de maîtrise des flux polluants.

Ces ouvrages de gestion des eaux pluviales ont un double intérêt étant donné qu'ils peuvent combiner sur un même espace une fonction écologique de rétention/transport et/ou d'infiltration mais aussi assurer un service lié au paysage, aux loisirs, au bien-être, à l'écologie (terrains de sport, de parkings, de squares, de places, de jardins publics ou d'espaces verts, trame verte et bleue…).

Des écosystèmes en bon état peuvent donc constituer de formidables potentialités afin de protéger ou d'atténuer les risques et peuvent ainsi contribuer à l'atténuation de la vulnérabilité des zones urbanisées. La réintroduction/restauration de milieux adéquats permet de compenser partiellement l'impact de la ville sur le régime hydrologique des cours d'eaux, le ruissellement…

1. Sont exclus de cette note : les risques liés aux submersions marines qui sont certes importants et devront être traités dans un deuxième temps. les risques liés aux glissements de terrains, avalanches, débits solides et vent en lien avec les services de régulation des flux solides ou gazeux. Ces risques peuvent ponctuellement se réaliser en milieu urbain mais ne sont pas prépondérant et ne feront pas l'objet d'une note ; les risques sociétaux liés à l'insécurité, sujet à part entière sont traités dans la note « enjeu cadre de vie et santé ». Quelques éléments d'interface seront abordés en annexe 1. les risques sanitaires, sujet à part entière sont traités dans la note « enjeu cadre de vie et santé » Quelques éléments d'interface seront abordés en annexe 2.

2. Article 25, Déclaration universelle des droits de l'homme, 1948.

3. Données venant du D*ossier de demande de subventions*

4. Projet coordonné par C.Schwartz et JN Consalès

5. **Circulaire du 18 mai 2011 relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau en période de sécheresse :** Cette circulaire précise les conditions à respecter pour la prise de mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau en période de sécheresse, les outils mis à disposition pour la surveillance et la communication e période de sécheresse et les voies d'amélioration de la coordination interdépartementale. Depuis 2011, les préfets enregistrent leur arrêtés sécheresse sur le site Propluvia (http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/propluvia/faces/index.jsp)

Chapitre 17

Économie (emploi, croissance)

17.1 – Introduction

Comme démontré dans la partie III[1] du présent rapport, les services écosystémiques rendus par les espaces de nature en ville contribuent au bien-être humain. Ils participent à atteindre les objectifs visés par les politiques publiques menées en milieu urbain :

- Protection des populations et gestion des risques naturels,
- Établissement et maintien d'un bon niveau de santé publique,
- Atténuation des effets du changement climatique,
- Promotion d'un cadre de vie favorable au bien-être,
- Approvisionnement en nourriture, en eau et en énergie,
- Dynamisation et attractivité du territoire,
- Éducation et sensibilisation à la biodiversité.

Intéressons-nous, en particulier, à la manière dont les espaces de nature en ville contribuent à la dynamisation et à l'attractivité du territoire et montrons comment la protection de la biodiversité peut être porteuse d'activité économique.

Les impacts socio-économiques des espaces de nature en ville sont de divers ordres. La CDC Biodiversité, par exemple (Mission Economie de la Biodiversité et cdc biodiversité 2015), propose une classification de ces impacts selon cinq catégories :

- La création, sauvegarde et diversification de l'emploi,
- La hausse de la valeur du foncier et le développement de l'immobilier et des entreprises,
- Les dépenses de consommation supplémentaires,
- Les coûts évités dans le domaine de la santé et de l'environnement,
- Les ventes de produits sur les marchés locaux.

Cette classification présente l'intérêt de donner une vision exhaustive de la contribution des espaces de nature en ville à l'attractivité des territoires, à la création de richesse et au bien-être. Nous développons certains de ces impacts ci-après, selon qu'il nous paraît nécessaire ou pas de les expliciter davantage et/ou qu'ils sont développés par ailleurs dans l'Efese. S'agissant, en particulier, des ventes de produits sur les marchés locaux, nous considérons que cet aspect relève davantage d'une dimension sociale que d'une dimension économique.

17.2 – Emploi : Des évaluations protéiformes

À l'échelle nationale, l'emploi environnemental est évalué à 440 950 ETP[2] en 2015 (CGDD-Soes 2015). L'emploi environnemental correspond aux éco-activités, définies comme les activités qui produisent des biens ou services ayant pour finalité la protection de l'environnement ou la gestion des ressources naturelles. L'emploi environnemental revêt donc un caractère plus large que les seuls emplois liés à la création, restauration ou encore entretien des espaces de nature en ville.

Tableau 35 :

Emploi environnemental par domaine et par type d'activité en 2015, en ETP (CGDD-Soes 2015), Les éco-activités et l'emploi environnemental en 2015 : premiers résultats, Mai 2017)

	Services privés vendus	Autres Services	Fabrication industrielle	Travaux publics, construction	Emploi en 2015 (provisoire)	Evolution 2015/2014 (en %)	Evolution moyenne annuelle 2015/2004 (en %)
Protection de l'environnement	**126 700**	**88 500**	**12 600**	**31 000**	**258 850**	**1,9**	**2,3**
Pollution de l'air	1 750	2 450	3 200	0	7 400	5,7	- 1,3
Eaux usées	18 050	23 650	6 250	24 050	71 950	- 1,6	- 0,7
Déchets	38 450	46 200	2 050	1 550	88 250	- 0,7	1,7
Déchets radioactifs	1 950	450	450	0	2 850	- 1,5	0,7
Réhabilitation des sols et eaux[1]	65 000	3 500	0	0	68 500	9,6	10,4
Bruit	0	0	700	5 450	6 150	- 2,2	0,8
Nature, paysage, biodiversité	1 500	12 250	0	0	13 800	1,8	2,3
Gestion des ressources	**51 800**	**0**	**20 800**	**33 200**	**105 800**	**- 0,6**	**3,5**
Gestion des ressources en eau	0	0	4 400	3 400	7 850	- 1,0	0,7
Récupération	20 050	0	1 000	0	21 050	- 2,6	1,7
Maîtrise de l'énergie	0	0	6 350	15 750	22 100	- 0,1	1,8
Énergies renouvelables	31 700	0	9 050	14 050	54 800	0,0	5,8
Activités transversales	**15 250**	**61 100**	**0**	**0**	**76 350**	**1,8**	**2,5**
Services généraux publics	0	34 100	0	0	34 100	0,8	0,9
R&D	0	26 950	0	0	26 950	1,9	5,2
Ingénierie	15 250	0	0	0	15 250	4,0	2,4
Total	**193 750**	**149 600**	**33 400**	**64 200**	**440 950**	**1,2**	**2,6**

[1] *Protection et restauration des sols et masses d'eau, y compris agriculture biologique.*
Note : étant donné la présence des arrondis dans les différents types d'activité, la colonne « emploi en 2015 » peut ne pas être égale à la somme des emplois en ligne.
***Sources :** SOeS ; Insee, EAP, Esane, Comptes nationaux base 2010 ; Adame*

Les services généraux publics, en particulier, représentent 34 100 emplois.

Dans une étude réalisée pour le compte de l'Union nationale des entreprises du paysage (Unep), Asterès souligne que « la mise en œuvre et l'entretien des infrastructures vertes contribuent à l'emploi local et à la création d'emplois et de richesses économiques » (Astères 2016). Ainsi, d'après l'Unep :

- En 2015, la branche du paysage en France compte 28 600 entreprises privées pour 91 100 emplois ; ces entreprises réalisent un chiffre d'affaires de 5,3 milliards d'euros réparti entre les particuliers (42 %), les entreprises privées (28,5 %) et les marchés publics (28,5 %) ;
- Les services d'aménagement paysager ont un ratio chiffre d'affaires sur effectif supérieur à la moyenne. « Ainsi, 100 000 euros de chiffre d'affaires soutiennent en moyenne 1,4 emploi salarié et non-salarié dans

une entreprise du paysage, contre 0,4 emploi dans le reste de l'économie ».

Enfin, dans une étude réalisée pour le compte du ministère en charge de l'environnement sur la biodiversité, le développement économique et l'emploi (Delannoy 2016), l'auteur montre que la biodiversité contribue largement à l'économie française, au moins de deux façons :

- Via la dépendance aux services écosystémiques ; ainsi, les secteurs qualifiés de fortement dépendants de la biodiversité représentent 1,5 million d'emplois (soit 10 % des emplois de l'économie française) et 275 milliards d'euros de chiffres d'affaires (agriculture, foresterie, pêche, aquaculture mais aussi services de santé humaine, services de voyages et voyagistes, chimie, produits pharmaceutiques, etc.). Plus précisément, l'auteur rappelle que toute activité économique repose sur les services rendus par les écosystèmes et définit divers niveaux de dépendance.
- Via les dépenses directes et indirectes liées aux activités de protection en faveur de la biodiversité (près de 2 milliards d'euros en 2012), qui contribuent à la création ou au maintien de 35 000 emplois.

Enfin, l'étude évalue à 107 000 le nombre d'emplois directs relevant du secteur français privé de la biodiversité.

17.3 – Espaces verts et foncier : une corrélation le plus souvent positive

La proximité d'un espace vert ou de forêts urbaines fait augmenter le prix du foncier mais l'effet inverse est parfois observé (Laïlle, Provendier, et Colson 2013).

Ainsi, d'après les résultats d'une méta-analyse fondée sur 66 études visant toutes à évaluer la valeur de la proximité des espaces verts urbains par la méthode des prix hédoniques sur la période 1965-2011 : « 13 % des études recensées trouvent que les espaces verts […] génèrent

des dommages nets […] 41 % concluent à des bénéfices nets, le reste des études (46 %) ne pouvant conclure à la significativité des effets qu'elles mesurent »[3]. Toutefois, « une grande partie de la variabilité des effets mesurés dans la littérature sont liés aux types d'espaces verts et à leur localisation. En particulier, on observe de fortes disparités entre les États-Unis et l'Europe. En Europe, les espaces verts génèrent généralement des bénéfices nets (toutefois source d'une diminution de l'accessibilité de l'espace). Les observations de nuisances nettes liées aux espaces verts sont surtout observées aux États-Unis où ce sont les populations les moins favorisées qui vivent en centre-ville à proximité de ces espaces »[4].

Les études portant spécifiquement sur des villes françaises (Brest et Angers) (Ahamada, Flachaire, et Lubat 2007) vont dans le sens des résultats présentés ci-dessus : les espaces verts ont un impact positif sur le prix de logements. Dans le cas de Brest par exemple, la différence de prix pour un logement éloigné ou non d'un espace vert est de 11 %, toutes choses égales par ailleurs.

Le programme de recherche SERVEUR (http://serveur.msh-vdl.fr/)

SERVEUR (Services écosystémiques rendus par les espaces verts urbains) est un programme de recherche qui associe plusieurs laboratoires et disciplines, ainsi que les services « Espaces verts » des six préfectures de la région Centre-Val de Loire. Piloté par Jean-Louis Yengué, aujourd'hui Professeur des Universités à Poitiers, le programme SERVEUR est financé par la région Centre-Val de Loire.

Le programme SERVEUR vise à identifier, dans un contexte urbain, « les retombées des espaces verts, aussi bien pour la population que pour les collectivités. L'un des objectifs est d'initier une démarche reproductible pour caractériser et évaluer les retombées socio-économiques des espaces verts urbains en croisant dans un modèle mathématique les approches économiques, environnementales et sociales »
(http://serveur.msh-vdl.fr).

Le programme SERVEUR s'est achevé par un colloque en mai 2016 :
« Services écosystémiques : Apports et pertinence dans les milieux urbains » (http://serveur.msh-vdl.fr/ph-htm/) et a donné lieu à un dossier dans la Revue Environnement urbain / Urban Environnement (https://eue.revues.org/1500). Un ouvrage collectif est également en cours de préparation et sera publié dans les tous prochains mois.

Il a notamment donné lieu à une communication sur l'intérêt des données socio-économiques de l'Insee pour l'analyse de l'attractivité des espaces verts urbains (publication à venir dans l'ouvrage collectif en préparation) (Polombo et Yengue 2016). Six espaces verts de la région Centre Val de Loire ont été plus particulièrement étudiés à l'aune d'un indicateur d'attractivité : le revenu fiscal moyen à proximité de ces parcs ; analyse complétée par, d'une part, une évaluation des prix des logements au moyen de la base de données notariale PERVAL, et une enquête sur le terrain auprès des visiteurs des 6 parcs. L'ensemble des analyses converge permettant d'identifier les parcs attractifs et les parcs non attractifs.

17.4 – Les espaces verts, un argument d'attractivité pour les collectivités

Les espaces verts contribuent à l'attrait des villes. En 2016, selon une étude (Unep-Ifop 2016), pour plus de 8 Français sur 10, la proximité d'un espace vert est un critère important dans le choix de leur habitation et les collectivités en font désormais un argument d'attractivité (Malsoute 2017).

De la même façon, un environnement de qualité constitue un des principaux facteurs pris en compte dans le choix d'implantation des entreprises (Mission Economie de la Biodiversité et cdc biodiversité 2015). Ce faisant, les espaces de nature en ville génèrent nécessairement des dépenses de consommation supplémentaires, locales, en lien avec le développement de l'immobilier, des entreprises et du tourisme (Mission Economie de la Biodiversité et cdc biodiversité 2015).

17.5 – Les services écosystémiques diminuent les coûts environnementaux, les dépenses de santé et d'énergie[5]

Une étude de Treeconomics (Treeconomics London 2015) par exemple, montre que les arbres londoniens stockent près de 2,4 millions de tonnes de carbone soit, approximativement, 15t/ha si l'on tient compte de la surface totale du Grand Londres et 106t/ha si l'on tient compte de la surface du seul couvert végétal, que les auteurs valorisent à 147 millions de livres (ou 172,7 millions d'euros) (soit 62 £ la tonne de carbone, ou 72,8 €).

Les auteurs ont également évalué le service de régulation du climat local rendu par les forêts urbaines londoniennes, via les économies d'énergie qu'il génère dans le bâtiment en matière de climatisation et de chauffage et les émissions de carbone évitées. En outre, les espaces de nature en ville contribuent à éliminer les substances polluantes et ce faisant, à atténuer leurs conséquences, sur la santé des citadins. La traduction des bénéfices sanitaires en bénéfices économiques potentiels repose sur la prise en compte des dépenses de santé, du coût de l'absentéisme, des coûts associés à la perte du bien-être, à la qualité et à l'espérance de vie. Ainsi, la végétation urbaine du Grand Londres élimine, chaque année, 2 241 tonnes de polluants, avec une valeur associée de 126 millions de livres (140 millions d'euros).

Asterès (Astères 2016) évalue, pour sa part, les dépenses de santé qu'il serait possible d'éviter avec une hausse de 10 % des espaces verts autour des habitations ; celle-ci permettrait : une économie de 58 millions d'euros du fait de la réduction de la prévalence de l'asthme, et de 38 millions d'euros du fait de la réduction de la prévalence de l'hypertension.

De plus, les espaces de nature en ville diminuent les coûts de traitement et d'épuration des eaux (potabilisation et dépollution) mais aussi potentiellement les risques de maladies liées à la mauvaise qualité des eaux, via le service rendu en matière d'auto-épuration de l'eau.

Enfin, les espaces de nature, via le service d'atténuation des eaux pluviales qu'ils rendent, diminuent le risque d'inondation par ruissellement et ses conséquences, sanitaires, économiques (frais de restauration des infrastructures et autres équipements et commerces dégradés par les inondations, l'interruption des activités qui y siégeaient, etc.) et environnementales.

* * *

1. « Fonctions écologiques, services écosystémiques et biens retirés de l'écosystème » ; voir en particulier le Chapitre 8 « Services écosystémiques de régulation »
2. Equivalent temps plein
3. *Ibid*
4. *Ibid*
5. Cet aspect fait l'objet d'un long développement dans le chapitre 8 de la partie III

OPTIONS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Partie 6

Chapitre 18

Options pour la transition écologique et, pour les politiques de préservation et l'utilisation durable de la biodiversité et options

L'objet de ce chapitre est de montrer la contribution -réelle ou potentielle- de l'évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques en milieu urbain dans les politiques publiques et les engagements supranationaux.

La réalisation d'une évaluation française EFESE-urbain entre 2013 et 2018 constitue en soi une contribution forte aux engagements nationaux et s'inscrit dans la logique de l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005). Dans la continuité du programme Nature en ville 2010-2014, la direction de l'eau et de la Biodiversité du Ministère a considéré la ville et les milieux urbains en tant qu'écosystème à part entière au même titre que les agrosystèmes, les milieux humides et montagneux… Ceci constitue une avancée exploratoire forte, dans un temps où un décalage fort existait entre des travaux de recherche abondants et une appropriation balbutiante de la notion par les collectivités territoriales.

En mai 2016, le rapport technique de la commission européenne sur les Ecosystèmes urbains, réalisé dans le cadre général du Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services [1] (MAES) vient confirmer l'intérêt de l'évaluation des écosystèmes urbains, en tant que lieu de résidence de nombreux européens désireux d'une ville « verte » et,

pour ce qu'elle génère de destruction et d'impacts négatifs sur les habitats naturels, forestiers et agricoles par l'artificialisation.

Dans les milieux urbains qui sont l'objet de ce rapport, les principaux leviers d'action en faveur de la biodiversité urbaine s'appuient à bien des égards sur des politiques sectorielles qui ont la responsabilité d'intégrer dans leur champs d'application les objectifs de préservation, restauration et valorisation de la biodiversité et de développement durable. Aussi, les politiques de l'urbanisme et de la planification, de la mobilité, de l'eau, de la santé, de l'alimentation, de la prévention des risques y jouent un rôle déterminant.

La politique de la biodiversité repose sur une mobilisation de l'ensemble des acteurs de la société pour préserver, restaurer, renforcer, valoriser la biodiversité et en assurer un usage durable et équitable. Au plan national, elle s'inscrit, notamment, dans le cadre défini par la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, qui introduit la notion de services écosystémiques, et s'incarne dans la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB), qui concrétise l'engagement français au titre de la Convention internationale sur la diversité biologique (CDB). [2]

Dans ce qui suit, le croisement de l'Efese en milieu urbain et des politiques publiques nationales est réalisé au travers de l'analyse :

- des huit services écosystémiques retirés des espaces de nature en ville identifiés dans la littérature et étudiés dans l'EFESE urbain : régulation des inondations (ruissellement urbain principalement), auto-épuration de l'eau (milieux aquatiques, et des eaux usées/pluviales), régulation de la qualité de l'air, régulation du climat local et global, activité récréative et de loisirs, expérimentation et éducation, aménités paysagères ;
- de certaines politiques sectorielles décisives (urbanisme, eau, sol, santé, éducation, …)

- de deux documents cadre, la Stratégie Nationale de la Biodiversité (direction Eau et biodiversité) et les Objectifs de Développement Durable (Commissariat Général au Développement Durable). Le premier est une politique dédiée à la biodiversité et le second croise l'ensemble des politiques sectorielles. Certaines orientations de la SNB comme "assurer l'efficacité écologique des politiques et des projets publics ou privés », « développer et partager les connaissances… » sont communes à tous ces focus. De même, les Objectifs de Développement durable 11 « Ville et communautés durables » et 15 « vie terrestre : Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres » et 14 « vie aquatique » constituent le socle de la démarche d'évaluation des services écosystèmiques en milieu urbain.

Loin de la recherche d'exhaustivité, l'analyse croisée se focalise sur :

- les sols urbains
- l'aménagement et la conception écologique des espaces publics, des quartiers et des espaces de nature
- la gestion des espaces de nature publics et privés
- la santé des citadins
- l'éducation à l'environnement
- la réduction des inégalités.

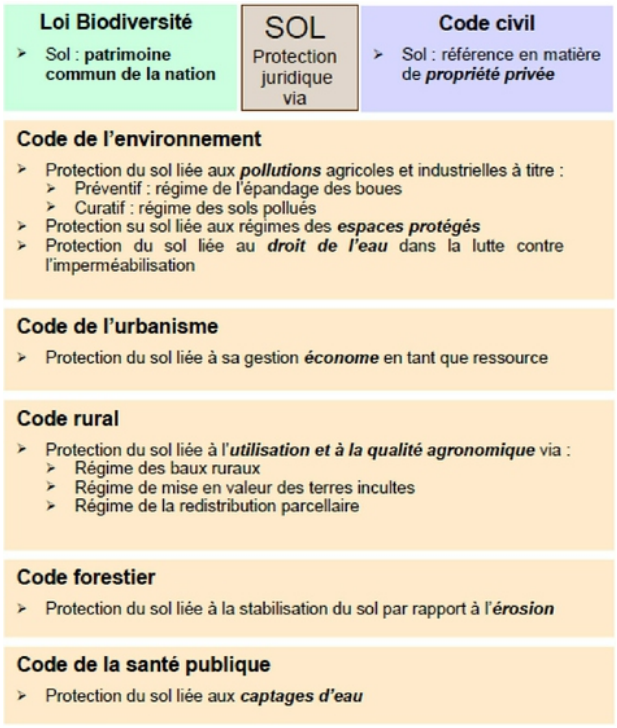
Pour chacun est produite une expression détaillée (carte A3) où est mis en évidence :

1. ce qui est déjà inscrit dans la politique et
2. *ce qui, du point de vu de l'Efese urbain, pourrait constituer une meilleure prise en compte*. Ces apports apparaissant en italique orange sur la carte. Ils sont complétés par des pistes de mise en œuvre concrète.

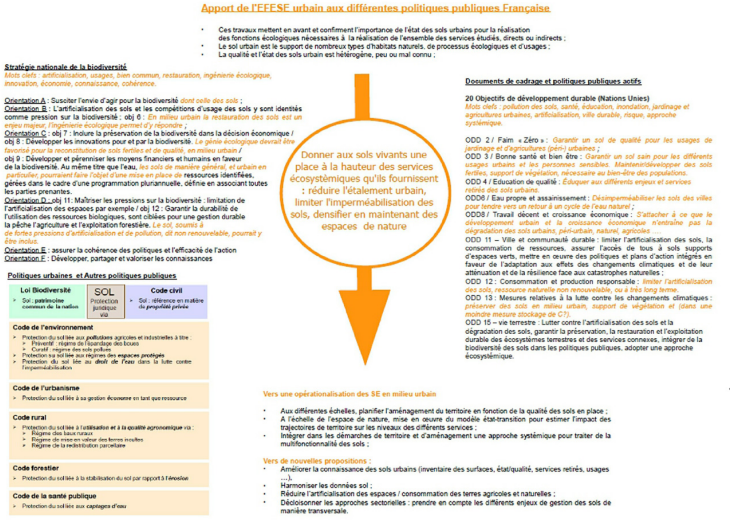
18.1 – Donner aux sols vivants une place à la hauteur des services écosystémiques qu'ils fournissent

Il est apparu tout au long de l'évaluation, que **le sol est indispensable à la réalisation de l'ensemble des services écosystémiques** en y contribuant directement pour le ruissellement et l'auto-épuration, ou indirectement pour l'ensemble des autres services, car support de la végétation et du couvert arboré. Aussi, réduire l'étalement urbain, limiter l'imperméabilisation des sols, densifier en maintenant des espaces de nature sont déjà des stratégies essentielles pour des politiques publiques de transition écologique, privilégier la qualité des sols par une analyse avant tout projet d'aménagement permettrait d'aller plus loin dans la préservation des sols.

Illustration 142 : Dispersion des politiques publiques traitant du sol (Source : Cerema Ile de France)



Les travaux de l'EFESE mettent en avant et confirment l'**importance de l'état des sols urbains pour la réalisation des fonctions écologiques et services directs ou indirects qu'ils rendent aux usagers et riverains du milieu urbain**. Bien que non traité en tant que tel, le sol est considéré comme support des différents types d'occupations et d'habitat. Le sol n'est pas au cœur de l'approche de l'Efese urbain mais est présent tout au long de la démarche.



18.2 – Aménagement, conception et gestion écologiques des espaces publics, des quartiers et des espaces de nature

La description de la prise en compte actuelle et de l'apport potentiel des services écosystémiques dans les politiques d'aménagement de la ville figure dans l'illustration 148.

Illustration 143 : Aménagement, conception et gestion écologique des espaces de nature et des espaces publics : apports de l'EFESE urbain et options pour les politiques publiques



18.3 – La santé des citadins et espaces de nature : améliorer le bien être, éviter les nuisances

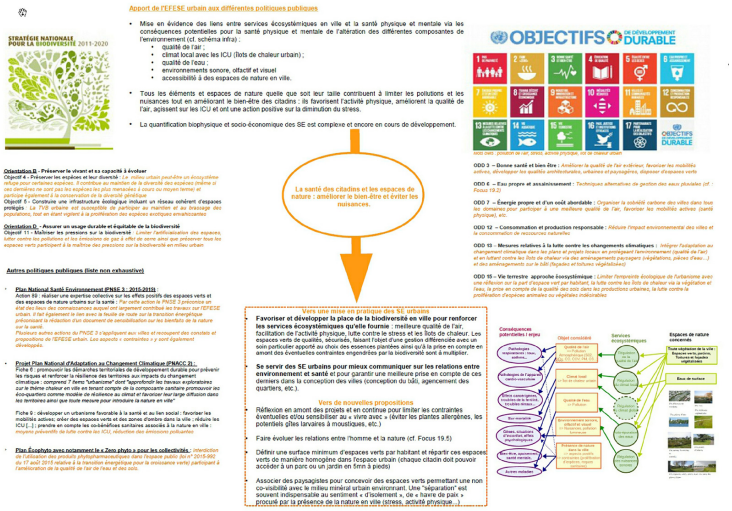
Les villes restent souvent en arrière plan des grandes politiques nationales et internationales de préservation de la biodiversité mais sont plus souvent directement citées dans les politiques traitant de l'environnement en général, notamment dès lors qu'il est fait référence à la qualité de l'air ou aux îlots de chaleur urbains.

La population urbaine (qui représente une part très importante et en constante augmentation de la population mondiale) est la plus touchée par certaines affections telles que l'obésité, le stress, les allergies, les affections cardio-vasculaires et pulmonaires ; c'est pourquoi il est indispensable de mobiliser tout moyen permettant de les prévenir ou de les réduire.

Les espaces de nature présents en ville fournissent des services écosystémiques qui agissent sur certaines composantes de l'environnement et permettent de contribuer à diminuer des conséquences sanitaires potentielles. Ainsi cette nature en ville peut favoriser l'activité physique, lutter contre le stress, minimiser la chaleur ressentie en période de canicule, etc.

L'importance des espaces verts urbains a été largement démontrée dans les travaux menés mais tout "élément de nature" plus ponctuel a également son intérêt et ne doit pas être négligé. Cette biodiversité doit être dorénavant pleinement intégrée dans nos villes, ce qui nécessite de reconnaître collectivement son intérêt, de faire évoluer les relations de l'homme à la nature et de l'intégrer à part entière dans les documents de planification en menant des réflexions relatives à la gestion de ces espaces et aux éventuelles contraintes liées à la présence du vivant.

Illustration 145 : La santé des citadins et les espaces de nature : apports de l'EFESE urbain et options de politiques publiques



18.4 – L'éducation à l'environnement : connaître pour mieux agir.

La description de la prise en compte actuelle de la biodiversité dans l'éducation à l'environnement et de l'apport potentiel des services écosystémiques figure dans l'illustration 150.

18.5 – Réduire les inégalités environnementales

Les inégalités, notamment dans l'espace urbain, sont le résultat d'un grand nombre de facteurs d'origines très diverses (politiques du logement successives, aménagements urbains, choix politiques, financements, etc.). Celles qui peuvent être en relation avec les présents travaux appartiennent au domaine des inégalités relatives aux conditions de vie ; il s'agit en particulier des inégalités d'accès aux espaces de nature et à des espaces de nature de qualité. Ces dernières apparaissent peu détaillées dans les politiques nationales et internationales examinées.

Au niveau local, l'accessibilité aux espaces de nature nécessite :

- un désenclavement de certains quartiers pour donner accès à ces espaces au plus grand nombre (ils sont souvent plus proches des centres villes) et/ou ;
- la création de nouveaux espaces verts dans les quartiers peu fournis et/ou ;
- l'amélioration de la qualité de ces espaces verts. Cette dernière peut passer par une plus grande participation des citoyens (premiers usagers de ces espaces) dans leur conception. Une telle implication citoyenne sera de nature à engendrer une plus grande appropriation de ces espaces par les habitants et limitera les nuisances qui peuvent s'y installer (vandalisme, incivilité, mauvaise fréquentation, etc.) et qui les rendent inaccessibles et peu attractifs malgré leur proximité.

Les inégalités d'accessibilité aux espaces de nature peuvent être facilement identifiables par le biais d'un indicateur spécifique et les mesures à mettre en œuvre pour les réduire ne sont sans doute pas les plus compliquées.

Les espaces de nature peuvent aussi servir de support de réinsertion pour des personnes en difficultés. La description de l'apport potentiel des services écosystémiques dans la lutte contre les inégalités environnementales figure dans l'illustration suivante.

Illustration 146 : L'éducation à l'environnement, connaître pour mieux agir : apports de l'EFESE urbain et options de politiques publiques

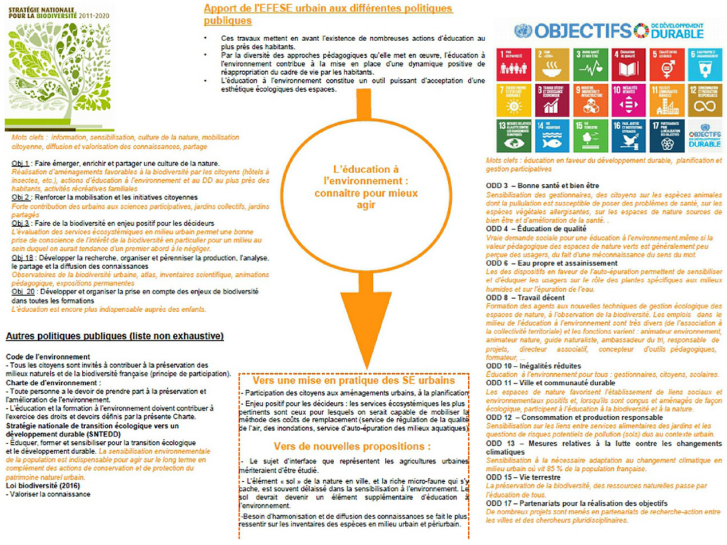


Illustration 147 : Réduire les inégalités environnementales : apports de l'EFESE et options pour les politiques publiques



* * *

1. 4e Rapport Écosystèmes urbains, mai 2016
   http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/102.pdf
2. Rapport d'avenir Agence de l'eau et biodiversité, avril 2018 CGEDD ; IGF
   http://www.feets-fofp.fr/images/Lettre%2038/011918-01_rapport%20avenir%20agences%20eau%20et%20biodiversit%C3%A9.pdf



BESOIN DE CONNAISSANCES ET IDENTIFICATION DE QUESTION DE RECHERCHE

Partie 7

CHAPITRE 19

Données et connaissances manquantes

L'identification des besoins de recherche et de connaissances et ont été classés à partir de l'analyse des difficultés rencontrées par l'équipe projet tout au long des travaux réalisés.

19.1 – Difficultés rencontrées

Ces dernières relèvent de différentes catégories :

19.1.1 – Des difficultés liées à l'objet étudié

L'entité étudiée a posé et pose toujours de nombreuses questions : pas de définition officielle de « la ville », ni « des écosystèmes urbains ». Contrairement aux autres écosystèmes étudiés dans le cadre de l'Efese qui sont circonscrits à un type de milieu naturel précis, les écosystèmes urbains peuvent potentiellement concerner tous les autres écosystèmes étudiés par les autres groupes de travail (sauf peut-être montagne), ce qui d'une part, nécessite forcément une plus forte transversalité, d'autre part, pourrait engendrer des doubles compte. De plus, il n'existe que peu de référentiels pour ces milieux (ex : nomenclature).

19.1.2 – Des difficultés liées à l'hétérogénéité des données disponibles et non compatibles avec l'échelle nationale

La commande du Ministère, « fournir une évaluation des services écosystémiques des milieux urbains au niveau national » a engendré des difficultés majeures quant à la disponibilité et l'homogénéité des données disponibles localement.

La disponibilité d'une information cartographique de fine résolution incluant les éléments de nature et couvrant les territoires urbains est un facilitateur voire un déclencheur pour une évaluation. Bien que des données existent localement, ces dernières sont très hétérogènes d'une ville à l'autre : l'hétérogénéité peut être liée à la nature des données ou, s'il s'agit de données de même nature, à des méthodologies d'acquisition différentes. Leur consolidation à l'échelle de l'Efese est alors impossible et a obligé l'équipe projet à travailler essentiellement à partir d'exemples.

Globalement les données naturalistes disponibles au sein des villes (faune et flore) restent modestes et largement insuffisantes pour être intégrées dans le calcul d'indicateurs, détenues par les associations naturalistes.

Il serait nécessaire que des indicateurs faune flore en milieu urbain et périurbain soient comparables à ceux de la région, ou d'une territoire plus vaste que la ville afin d'effectuer des suivis de qualité et d'établir des comparaisons entre les villes et leurs milieux environnants.

19.1.3 – Des difficultés liées aux manques de connaissances et aux méthodes disponibles

- Les connaissances liées à la biodiversité, au fonctionnement de l'écosystème étudié, aux relations entre fonctions et services ne sont pas toujours suffisantes pour mener l'évaluation biophysique sur laquelle

s'appuie l'évaluation des services (ex : absorption du CO_2 par un arbre, capacité d'épuration de tel sol, etc.). Les données relatives aux fonctionnalités entre écosystème urbain et écosystèmes périphériques sont également manquantes (situation d'isolat, viabilité à long terme, etc.).

- Les données relatives à l'évaluation biophysique des écosystèmes et les méthodes d'évaluation des services sont encore en cours d'acquisition / en développement, ou expérimentales et aboutissent la plupart du temps à des résultats non convergents. Beaucoup d'actions de recherche sont en cours : leurs résultats ne sont pas disponibles ou elles demandent des études complémentaires pour que les méthodes développées soient rendues opérationnelles.
- Les méthodes d'évaluation des services écosystémiques examinées n'étaient pas toujours complètement « transparentes » (ex : mode de calcul, valeurs prises en compte, etc.) et laissent parfois l'impression d'une certaine « approximation ». Devant des résultats aussi disparates, il est complexe de mobiliser des méthodes utilisant un « transfert de valeurs ». Seuls des exemples ont pu être mis en évidence sans qu'il soit possible d'« agréger les résultats » et de les extrapoler à l'échelle nationale.
- La monétarisation des services écosystémiques urbains est possible mais demeure complexe. Elle est basée sur des expérimentations ponctuelles aux résultats non transférables en raison d'une forte hétérogénéité des contextes urbains. D'autres disciplines (sociologie, urbanisme) adoptent des postures et mobilisent des méthodes qui engendrent des résultats parfois contrastés.

19.2 – Besoins de données, d'études et de connaissances

Pour remédier aux difficultés rencontrées par l'équipe projet, un certain nombre de « besoins » ont été identifiés :

19.2.1 – Des besoins de « données »

Parmi les données nécessaires, il faut distinguer celles qu'il est possible de récupérer ou d'acquérir par des inventaires de terrain par exemple (données entrantes qualitatives et quantitatives) de celles qui nécessitent des actions de recherche. Celles qui nécessitent des actions de recherche sont développées au Chapitre 3.

- Besoin de données biophysiques homogènes sur le territoire (nature des données nécessaires, protocole d'acquisition en vue de l'évaluation des services). A ce titre des référentiels devraient être construits, validés et diffusés aux collectivités.
- Besoins de « retours d'expérience ». Il faudrait pouvoir appliquer les indicateurs identifiés à une dizaine de villes, ce qui permettrait d'asseoir les préconisations et de différencier les indicateurs qui sont véritablement transposables et les autres.

19.2.2 – Des besoins d'études opérationnelles

- Pour diffuser le concept de service écosystémique et le rendre opérationnel, il faut pouvoir démontrer son intérêt aux décideurs locaux et expliquer le rôle qu'il peut jouer dans la prise de décision. Il serait ainsi nécessaire d'engager une étude dont le livrable pourrait être un « arbre de décision » mettant en évidence, des enjeux, des questions, les SE qui seraient de nature à éclairer la décision publique et les données nécessaires à leur évaluation. Il faut aussi pouvoir expliquer ce que l'on peut faire des différentes évaluations au niveau local (une entrée par « enjeux » est peut-être plus pertinente qu'une entrée par « besoin »).

- Approfondir les modes de croisement des résultats issus de l'évaluation des différents services écosystémiques est indispensable ; en effet les services écosystémiques devraient résulter d'une approche intégrée alors que les travaux sont menés « en silo », service par service. Il est donc nécessaire de construire des méthodologies d'agrégation / de croisement des résultats obtenus. Le risque en l'état actuel est que les méthodes mobilisées peuvent créer plus de dissensus que de consensus.
- Les SE évalués l'ont souvent été sur la base de bénéficiaires « pressentis » mais une identification et une quantification plus précises de ces derniers seraient nécessaire afin d'affiner les évaluations. Une des difficultés réside dans le fait que le bénéficiaire n'est pas toujours conscient de l'avantage qu'il retire des écosystèmes et ainsi les études basées sur le « ressenti » atteignent certaines « limites ». Dans le cadre d'une telle étude, il serait nécessaire d'approfondir le cas particulier des bénéficiaires éloignés de l'écosystème fournissant le service et d'associer des compétences en sociologie car dans bien des cas, et en particulier pour les services culturels, les données entrantes à mobiliser ne sont pas des données biophysiques.
- Quelques méthodes d'évaluation des services existantes (ex : itree) demandent des phases complémentaires afin de les rendre complètement opérationnelles. Ces étapes peuvent être fastidieuses, coûteuses en temps et en moyens humains mais sont « incontournables » ; c'est pourquoi elles ne peuvent venir du territoire mais doivent être engagées au niveau national.
- Le développement de méthodes d'attribution de valeurs est nécessaire pour les services culturels en milieu urbain. L'évaluation de ces services peut se faire par des méthodes manipulant des données sur le ressenti des individus et des appréciations subjectives. Il serait utile de les compléter par des données quantitatives telles que des comptages de visites des parcs urbains qui pourraient permettre d'établir

un indicateur de fréquentation. Un manque de connaissances a été constaté sur le rôle que peut jouer l'accès aux espaces de nature dans le renforcement ou l'atténuation des inégalités socio-économiques existantes.

- Besoins spécifiques au modèle États et transitions, (modèle d'analyse des évolutions d'un milieu prairial transposé aux espaces de nature en milieu urbain).

Le choix des états des différents types d'espaces (espace vert ordonné, …) et des transitions (gestion horticole, gestion différenciée,,..) mériteraient d'être co-construits plus largement par exemple avec des gestionnaires des espaces de nature. La mise en œuvre opérationnelle du modèle États et Transitions sur un objet particulier (comme par exemple les aménagements végétalisés de gestion des eaux pluviales) peut constituer un outil d'aide à la décision pour déterminer l'influence de l'entretien et de l'aménagement d'un espace de nature sur son état écologique et sur les services qui en sont retirés. Elle permettrait d'affiner le choix des indicateurs d'état et de services (robustesse, applicabilité) et leurs modalités de renseignement tout en approfondissant les liens entre fonctions et services écosystémiques. Le « dire d'expert » est mobilisé pour le modèle « état-transition » et il serait intéressant d'élargir le panel d'expert pour que l'interprétation soit moins sujette à caution. Par exemple, les valeurs attribuées dans la matrice des indicateurs par état devraient être affinées sur la base des données disponibles et les échelles de valeur définissant le caractère "mauvais" à "très bon" de chaque indicateur pourront également être revues en fonction de ces données.

19.2.3 – Des besoins de connaissances complémentaires

Sont abordés ici les besoins qui relèvent du domaine de la recherche fondamentale ou appliquée.

- Toutes les difficultés identifiées liées aux manques de connaissances et aux méthodes disponibles sont des sujets potentiels de recherche.
- La question de l'identification des bouquets de services et de leur évaluation constitue un champ de recherche très vaste et peu investi jusqu'à présent, qui doit s'appuyer sur une très forte pluridisciplinarité des équipes.
- Les connaissances biophysiques (fonctionnement et interdépendance spatiale des écosystèmes, relations entre fonctions et services écosystémiques) constituent une étape nécessaire et centrale pour une évaluation robuste et fiable des services à l'échelle urbaine. La description détaillée des espaces de nature en ville associée à une cartographie fine est également un préalable indispensable à toute évaluation mais n'est à ce jour pas disponible pour toutes les collectivités territoriales. Les outils de modélisation et d'évaluation des services écosystémiques existent, mais ne peuvent fonctionner sans ces données d'entrée.
- Il ne semble pas souhaitable pour le Conseil Scientifique et Technique de l'EFESE d'utiliser des indicateurs de biodiversité basés sur la richesse spécifique (tout comme sur le nombre d'espèces exotiques), il insiste sur la valeur bien plus grande d'indicateurs fonctionnels de biodiversité, couplés à des indicateurs sur des espèces (ou groupes d'espèces) dont les liens aux services écosystémiques sont explicités [1]. Des recherches doivent être menées pour répondre aux questions : Quelle approche de la biodiversité ? Quelle méthode pour décrire la diversité des habitats dans le cadre de l'évaluation des écosystèmes urbain ?
- Les méthodes d'« évaluation » des services culturels seraient à investiguer tant à l'échelle de l'espace de nature qu'à l'échelle de la ville.
- Les liens entre l'évaluation des services écosystémiques et les inégalités environnementales en milieu urbain pourrait constituer une question de recherche…

19.3 – Autres besoins

Les difficultés identifiées ont permis de dégager des besoins appartenant à des champs complémentaires :

- des besoins de validation collective, de positionnement. Bien que le projet Efese se soit appuyé sur un cadre conceptuel étoffé, ce dernier a une portée très générale et transversale aux différents groupes de travail et n'a pas pu statuer sur les cas particuliers de chacun des écosystèmes. Dans le cas de la ville, il serait pourtant nécessaire de s'accorder sur des définitions, des référentiels, etc. qui faciliteront et homogénéiseront les évaluations futures.
- des besoins d'animation et de gouvernance
- des besoins de formation des collectivités sur les services écosystémiques et leur évaluation.

---

1. Ce commentaire est générique à l'Efese et à l'ensemble des groupes de travail.

Bibliographie

Nota : La bibliographie du chapitre 9 figure directement à la fin du chapitre 9.

AFES. 2016. « Vous avez dit SOL ? »

Aguejdad, Rahim. 2009. « Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole. » Rennes 2. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00553665.

Alberti, M. 2009. « Advances in Urban Ecology : Integrating Humans and Ecological Processes in UrbanEcosystems. New York ». Springerverlag, 2009.

Alberti, Marina. 2008. Advance In Urban Ecology : Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems. Springer.

Ascher, François. 2001. « La nouvelle métropolisation : McDo, les TIC et le mythe de la ville européenne. » In Une société-monde ? Les dynamiques sociales de la mondialisation, De Boeck Supérieur, 73-89.

ASTEE. 2013. « Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ? » ASTEE, SHF, Académie de l'eau, AFEID, MEDDE.

Bailly, Emeline, et Hervé Duret. 2012. « La métro-périurbanisation comme nouveau paradigme ? » Projet de Paysage, 13 juillet 2012.

Barraud, S. 2008. « Rapport d'activités scientifiques OTHU ». Observatoire de terrain en hydrologie urbaine.

Barriuso, E. 1996. « Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformations et dissipation ». In. Paris.

Blanc, N. 1998. « 1925-1990 : l'écologie urbaine et le rapport ville-nature ». In Espace géographique, 289-99.

Blanc, Nathalie, et Philippe Clergeau. 2013. Trames vertes urbaines. De la recherche scientifique au projet urbain. Moniteur.

Blanchoud et al. 2007. « Contribution by urban and agricultural pesticide uses to water contamination at the scale of the Marne watershed. », 2007.

Blumstein et coll. 2005. « Inter-specific variation in avian responses to human disturbance ». In Journal of Applied Ecology, 943-53.

Bolund, Per, et Sven Hunhammar. 1999. « Ecosystem services in urban areas », 1999.

Boutefeu, Emmanuel. 2007. « La nature en ville : des enjeux paysagers et sociétaux ». Géoconfluences, avril.
URL : http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/paysage/PaysageViv.htm.

Bouzillé, J-B. 2014. Écologie des zones humides. Concepts, méthodes et démarches. Lavoisier / TEC et DOC.

Brutel, Chantal, et David Levy. 2011. « Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010 », INSEE Première, n° 1374 (octobre) : 4.

CAUE Vendée. 2015. « Guide méthodologique de la gestion différenciée ».
https://www.caue85.com/?portfolio=guide-methodologique-gestion-differenciee-2.

Cerema. 2013. « Recueils des 4 temps d'échanges Journée du 06 septembre 2013. Recueil 4 : Qu'est-ce que l'écosystème urbain ».

Certu. 2001. Composer avec la nature en ville. Editions du CERTU.

CERTU. 2003. « La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ».

CGDD. 2015. « Analyse économique des espèces exotiques envahissantes en France - Première enquête nationale (2009-2013) ». 130. Etudes & Documents.

Cimbéton. 2007. « Voiries et aménagements urbains en béton ». T57. Collection technique. Cimbéton.

Citeau, L. 2006. « Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines », 2006.

Clergeau et coll. 2011. « Ville et biodiversité ». Presse Universitaire de Rennes, décembre 2011.

Clergeau, Philippe. 2007. Une écologie du paysage urbain.

Clergeau, Philippe, et Nathalie Blanc. 2013. « Trames vertes urbaines, De la recherche scientifique au projet urbain », 2013.

Commission européenne. 2012. « Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols ».

Craul, Philip J. 1999. « Urban Soils : Applications and Practices », 1999.

CREDOC. 2009. « Etude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France - Fiches de description des services écosystémiques ».

CSPNB. 2008. « L'arbre, la rivière et l'homme ».
http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/arbre_riviere_homme.pdf.

Dambrin. 1982. « Écologie urbaine le cas de la région parisienne ».

Dana et al. 2001. « Urban vegetation of Almería City - a contribution to urban ecology in Spain ». Landscape and urban planning 59 (4) : 203 - 16.

Darlington, A. 1981. Ecology of Walls. Heinemann Educational Books.

Delolme, C. 2014. « Journées RST Sols Urbains du 31 janvier 2014 ». In.

Dumont, M, et E Hellier. 2010. « Les nouvelles périphéries urbaines : formes, logiques et modèles de la ville contemporaine. Les périphéries, un analyseur des mondes contemporain ». Cybergeo - Revue européenne de géographie [Online].

Duvigneaud, Paul. 1974. « L'écosystème urbs ». In Mémoires de la société royale de Botanique de Belgique, 6 : 5-84.

Dvorak et al. 1992. « Treatment of metal-contaminated water using bacterial sulfate reduction : Results from pilot-scale reactors ». Biotechnol. Bioeng, 1992.

Faulwetter et al. 2009. « Microbial processes influencing performance of treatment wetlands ». A review. Ecological Engineering, 2009.

Fiquepron, Julien, Olivier Picard, et Eric Toppan. 2015. « Drinking Water from Forests : A Richness ? » Semaine Forestière Méditerranéenne, mars, 13.

Francis et al. 2009. « Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions ». Current Biologiy 19, n° 1415-14-19 (août). https://doi.org/DOI 10.1016.

Fransceschi, E.A. 1996. « The ruderal vegetation of Rosario City ». Argentina. Landscape and Urban Planning 34 (1) : 11-18.

FRAPNA. 2013. « Trop d'éclairage nuit ». http://www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/Doc%20complementaires/FT%2015%20-%20Trop%20d%20eclairage%20nuit%20%20FRAPNA.pdf.

GIEC. 2013. « Climate change 2013. The Physical Science Basis ».

Groupe de travail « Ecosystèmes et services écosystèmiques ». 2013. « Projet national EFESE : évaluation des écosystèmes et des services écosystèmiques (CR du GT 06/09/2013) ».

Hope et al. 2003. Socioeconomics drive urban plant diversity. Peter Vitousek, Stanford University, Stanford, CA.

IAU, île-de-France. 2010. « Comment traiter les fronts urbains ? », Les carnets pratiques, 62.

Ifen. 2000. « 9 Français sur 10 disposent d'au moins une collecte sélective de leurs déchets ménagers », Les données de l'environnement, n° 59 (octobre) : 4.

Jaeger, J. a. G. 2000. « Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size : New Measures of Landscape Fragmentation ». Landscape Ecology 15 (2) : 115-30. https://doi.org/10.1023/A:1008129329289.

Knapp et al. 2010. « Changes in the Functional Composition of a Central European Urban Flora Over Three Centuries ». Perspectives inPlant Ecology, Evolution and Systematics 12 (3) : 235-44.

Kowarik, I. 2008. « On the Role of Alien Species in Urban Flora and Vegetation ». Urban ecology 4 : 321-38.

Kühn et al. 2004. « The flora of German cities is naturally species rich ». Evolutionary Ecology Research 6 (5) : 749-64.

Lanaspeze, Baptiste. 2012. Marseille, ville sauvage. Actes Sud Editions.

Levointurier-Vajda, C, et Tatiana Bouvin. 2014. « Lancement d'un diagnostic de la valeur écologique des espaces verts », août 2014, Echos-Paysage – Ville de Lyon Direction des Espaces Verts Pôle Développement Durable édition. https://www.nature-en-ville.com/sites/nature-en-ville/files/2017-08/diagnostic_ecologique_ville_de_lyon.pdf.

Lierdeman, E. 2010. « De la « nature en ville » à l'écosystème urbain », 2010.

Lososova et al. 2006. Patterns of plant traits in annual vegetation of manmade habitats in central Europe. Elsevier GmbH.

Lundholm, J. 2011. « Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats ». In Urban Ecosyst, 14 : 225-41.

Madre, Frédéric. 2014. « Végétalisations et BiodiVersité : une alliance possiBle entre la Ville et la nature ». Jardins de France, n° 629 (juin) : 24-25.

Mangin, David. 2004. La ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine. La Villette.

Mc Kinney, M.L. 2002. « Urbanization, biodiversity, and conservation ». Bioscience 52 (10) : 883-90.

MEA. 2005. « Millenium Ecosystem Assessment ».

Migrain, I, et H Monteil. 1992. « Dégradation bactérienne de deux pesticides (acétate de phényl-mercure et atrazine) dans l'environnement nature », 1992.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, Observatoire national de la consommation des espaces agricoles. 2014. « Panorama de la quantification de l'évolution nationale des surfaces agricoles ».

Ministre délégué auprès du Premier Ministre, chargé de la protection de la nature et de l'environnement. 1973. Circulaire du 08 février 1973 relative à la politique des espaces verts.

Morel, J. L., C. Schwartz, L. Florentin, et C. de Kimpe. 2005. « URBAN SOILS ». In Encyclopedia of Soils in the Environment, édité par Daniel Hillel, 202-8. Oxford : Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304003052.

Muratet, Audrey, et Benoît Fontaine. 2015. « Contrasting Impacts of Pesticides on Butterflies and Bumblebees in Private Gardens in France ». Biological Conservation 182 (février) : 148-54. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.045.

Muratet et al. 2011. « Terrains vagues en Seine-Saint-Denis ». Plaine Commune & Natureparif, 2011.

Musy, M. 2014. Une ville verte. Les rôles du végétal en ville. Quae. Synthèse.

NatureParif. 2014. « L'objectif « zéro pesticide » et les collectivités d'Île -de-France », 2014.

Niemelä, Jari. 1999. « Ecology and urban planning ». In Biodiversity and conservation, 8, issue 1 : 119-31.

Olden, et Rooney. 2006. « On defining and quantifying biotic homogenization ». In Global ecology and biogeography, 15, issue 2 : 113-20.

ORB Nord - Pas-de-Calais. 2013a. « Espèces végétales exotiques envahissantes dans les quinze communes les plus peuplées du Nord-Pas-de-Calais », 2013.

— — —. 2013b. « Nombre d'espèces animales dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais », 2013.

ORB Nord-Pas-de-Calais. 2013a. « Part des aires protégées dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais », 2.

— — —. 2013b. « Régulation de la quantité d'eau dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais », 2013.

Paquot et al. 2010. « "Pages de début" in Philosophie de l'environnement et milieux urbains ». In Philosophie de l'environnement et milieux urbains, La Découverte « Armillaire », 1-4.

Paulet, Jean-Pierre. 2010. La France ville et systèmes urbains. Armand Colin.

Pautasso, Marco. 2007. « Negative density – area relationships : the importance of the zeros ». In. Vol. 17, Issue 2. Global Ecology and Biogeography.

Perez Mibelli, C.E. 1978. « Etude d'un écosystème urbain. Evaluation des flux et bilan d'énergie de l'écosystème Bruxelles ». Paris VII (département environnement,) et Université de Bruxelles.

Plante & Cité, LAILLE Pauline, COLSON François, et SALANIE Julien. 2013. « Les bienfaits du végétal en ville - Etudes et travaux scientifiques et méthode d'analyse ».

Plate, et Kiefer. 2011. « Wind loads in urban areas ». Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2011.

Pulford, I.D. 1991. « Nutrient provision and cycling in soils in urban areas ». Blackwell Scientific publications, 1991, Oils in the Urban Environment. Oxford édition.

Pupim de Oliveira et al. 2011. « Cities and biodiversity : Perspectives and governance challenges for implementing the convention on biological diversity (CBD) at the city level », 2011.

Puydarrieux, P, O Darses, J Devaux, et P Degeorges. 2014. « L'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) », 72.

Ramade, F. 1999. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. EDISCIENCE internationale, Paris.

Ramade, François. 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2e (26 septembre 2002). Techniques industrielles et sciences de l'ingénieur. Dunod.

Ringenbach, N. 2004. « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg ». Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg.

Saulais, Muriel. 2011. « Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention. Caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico -chimiques de l'horizon de surface végétalisé ». L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. http://theses.insa-lyon.fr/publication/2011ISAL0116/these.pdf.

Sauve et al. 2014. « Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité ». Rapport final (ONEMA et Plante & Cité). https://www.plante-et-cite.fr/data/fichiers_ressources/pdf_fiches/experimentation/VF-VeGepp-Rapport.pdf.

Selmi, Wissal. 2016. « Evaluation des services écosystémiques rendus par les arbres urbains. Etude de l'effet des arbres sur l'environnement urbain. Résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg ».

Soullier et al. 2002. « Capacités de stockage et d'épuration des sols de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires ». Etude Gestion Sols, 2002.

Técher, D. 2011. « Rehabilitation de sols pollués par des HAP grace aux bactéries associées à la rhizosphère de Miscanthus x giganteus », 2011.

Truptil, Marie. 2012. Toulouse : La nature au coin de ma rue.

Truu et al. 2009. « Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands ». Science of The Total Environment, 3958-71.

Turbé et al. 2010. « Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO ». Report for European Commission (DG Environment).

UNEP. 2014. « Les villes les plus vertes de France : palmarès 2014 ». Les entreprises du paysage. http://www.observatoirevillesvertes.fr/wp-content/uploads/2015/01/DP-Palmares-Unep-des-villes-les-plus-vertes-de-France-2014.pdf.

Van der Werf. 1997. « Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement ». Problématiques & débats, 1997, INRA édition.

Vanhautère, M. 2010. « Compte rendu du test de l'applicabilité et de la pertinence de l'index de Singapour sur le territoire de Montpellier ». Ville de Montpellier.

Williams et coll. 2005. Spatial Planning, Urban Form and Sustainable Transport. Ashgate.

Wong et al. 2006. « Urban environmental geochemistry of trace metals », 2006.

ADEME. 2008. « La lutte contre le bruit ». L'Habitat.

Agence de l'eau. 2002. « Les zones humides et la ressource en eau ».

Ahamada, Ibrahim, Emmanuel Flachaire, et Marion Lubat. 2007. « Prix des logements et autocorrélation spatiale : une approche semi-paramétrique », 18.

Akbari, Hashem. 2002. « Shade trees reduce building energy use and CO_2 emissions from power plants ». Environnemental Pollution, n° 116 Suppl 1 : S119-26.

Alcock, Ian, Mathew P. White, Benedict W. Wheeler, Lora E. Fleming, et Michael H. Depledge. 2014. « Longitudinal Effects on Mental Health of Moving to Greener and Less Green Urban Areas ». Environmental Science & Technology 48 (2) : 1247-55. https://doi.org/10.1021/es403688w.

Alphand, A. 1867. Les promenades de Paris.

Anquetil, Virginie. 2010. « Typologie et fonctions écosystémiques de la végétation urbaine Contributions méthodologiques », 126.

ANSES. 2014. « État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant ». Edition scientifique. https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0151Ra.pdf.

APUR. 2012. « Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris ». Cahier#1. https://www.apur.org/sites/default/files/documents/publication/documents-associes/ilot_chaleur_urbains_paris_cahier1.pdf.

— — —. 2013. « Étude sur le potentiel de végétalisation des toitures terrasses à Paris - vegetalisation_toitures_terrasses.pdf ». avril 2013. http://www.apur.org/sites/default/files/documents/vegetalisation_toitures_terrasses.pdf.

— — —. 2014. « Les îlots de chaleur urbains à Paris, cahier N°2, simulations climatiques de trois formes urbaines parisiennes et enseignements ».

ASTEE. 2013. « Ingénierie écologqie appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ? » ASTEE, SHF, Académie de l'eau, AFEID, MEDDE.

Astères. 2016. « Les espaces verts urbains ».

Aubry C. 2014. « Agricultures urbaines ». présenté à Ateliers d'été de l'agriculture urbaine et de la biodiversité.

Aubry, C, et J Pourias. 2013. « L'agriculture urbaine fait déjà partie du « métabolisme urbain » ». Demeter, 2013.

Balez, Anna, et Juliette Reunkrilerk. 2013. « Écosystèmes et territoires urbains : impossible conciliation ? » Développement durable et territoires, n° Vol. 4, n° 2 (mai). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9853.

Barraud, S. 2008. « Rapport d'activités scientifiques OTHU ». Observatoire de terrain en hydrologie urbaine.

Barton, Jo, Ian Colbeck, Rachel Hine, Susana Mourato, George Mackerron, et Carly Wood. 2011. « Technical report, Chapter 23 : Health Values from Ecosystems ». Rapport technique. National Ecosystem Assessment.

Battaglia et al. 2003. « La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cylce de l'eau », 2003.

Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith, et G. Taylor. 2000. « Particulate pollution capture by urban trees : effect of species and windspeed ». Global Change Biology, 2000.

Bélanger Michaud, Héloïse. 2013. « Comparaison coûts-bénéfices de la forestation urbaine comme stratégie d'atténuation des îlots de chaleur ». Essai, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.

Berthier, Emmanuel. 2010. « Mesures de réduction de l'aléa ruissellement et crues soudaines : le cas du milieu urbain ».

Blanc, Nathalie. 1995. « La nature dans la cité », 402.

— — —. 2000. Les animaux et la ville. Odile Jacob.

— — —. 2013. « Le face-à-face citadins/nature ». In Multitudes, Associations multiples, 129-39. https://www.cairn.info/revue-multitudes-2013-3-page-129.htm.

Bolund, Per, et Sven Hunhammar. 1999. « Ecosystem services in urban areas », 1999.

Boucher, Isabelle. 2010. La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. Planification territoriale et développement durable. www.mamrot.gouv.qc.ca.

Bourdeau-Lepage, Lise, et Roland Vidal. 2014. « Comprendre la demande sociale de nature en ville ». AL HYPER ARTICLE en ligne. 2014. https://hal-univ-lyon3.archives-ouvertes.fr/hal-00950696.

Bourhy, Pascale. 2017. « Diagnostic, surveillance et épidémiologie de la leptospirose en France ». Bulletin épidémiologique hebdomadaire, 7.

Boutefeu, Emmanuel. 2007a. « Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains ». CERTU, Techni. Cités n° 129, 2007.

— — —. 2007b. « La nature en ville : des enjeux paysagers et sociétaux ». Géoconfluences, avril. URL : http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/paysage/PaysageViv.htm.

Bouzillé, J-B. 2014. Écologie des zones humides. Concepts, méthodes et démarches. Lavoisier / TEC et DOC.

Bressy, A. 2010. « Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines : effets de différents modes de gestion à l'amont. » Université dParis-Est. French, 2010.

Bueno et al. 2012. Development and evaluation of a building energy model integrated in the TEB scheme. Geosci. Model Dev. Vol. 5.

Burkhard, Benjamin, Franziska Kroll, et Felix Muller. 2012. « Mapping ecosystem service supply, demand and budgets ». Ecological Indicators 21 : 17-29.

Busy, M, Guillaume Pommier, Damien Provendier, et Caroline Gutleben. 2014. « Les impacts du végétal en ville ». Fiches de synthèse. Programme de recherche VegDUD - Rôle du végétal dans le développement urbain durable.

Cabral, P, C Feger, M Chambolle, D Basque, et H Levrel. En révision. « Ecosystem service monitoring for guiding urban planning in the Urban Community of Bordeaux », 26.

Caisse des dépôts - Mission Economie de la biodiversité. 2015. « Infrastructures vertes urbaines et développement : vers une évéluation des impacts socio-économiques de la nature en ville ». Les cahiers de BIODIV'2050 : COMPRENDRRE.

Campagne, Carole Sylvie. 2016. « Outil d'évaluation et de concertation sur les services écosystémiques : la matrice des capacités ». Sciences Eaux & Territoires (La revue de l'IRSTEA), n° Hors-série n° 23 : 6.

Carré, C., S. Barraud, M. Debordes, J.-C. Deutsch, A. Guillon, D. Laplace, C. Roux, et Y. Kovacs. 2010. « Quelle maîtrise publique des eaux pluviales urbaines en France ? » Techniques Sciences Méthodes, n° 6 : 19-26. https://doi.org/10.1051/tsm/201006019.

Centre d'analyse stratégique. 2009. « Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique ».

Centre d'analyse stratégique, Centre d'analyse stratégique. 2008. « La valeur tutélaire du carbone ».

CEPRI. 2014. « Gérer les inondations par ruissellement pluvial : guide de sensibilisation ». Les guides du CEPRI. CEPRI.

Cerema. 2016. Implication citoyenne et nature en ville - Premiers enseignements issus de sept études de cas en France. Cerema.

Cerema (2003), modifié par OIE. 2014. « Les eaux pluviales, cahier technique », n° 20.

Cerema, et MEDDE. 2015. Milieux humides et aménagement urbain. Dix Expériences innovantes. Cerema.

CERTU. 2002. « Pratiques et usages dans trois espaces verts publics de Lyon ». Etude comparative, rapport d'études. CERTU.

— — —. 2003. « La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ».

CGAAE. 2012. « L'eau et la sécurité alimentaire face au changement global : quels défis, quelles solutions ? Contribution au débat international ».

CGDD. 2011a. « Evaluation économique des services rendus par les Zones Humides - enseignements méthodologiques de monétarisation ». Etudes & Documents.

— — —. 2011b. « L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles ». Le point sur n° 75.

— — —. 2012. « Les prélèvements d'eau par usage et par ressource ». Observation et statistiques, Ministère de la Transition écologique et solidaire Commissariat général au Développement durable. 2012. http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/234/1108/prelevements-deau-usage-ressource.html.

— — —. 2013a. « Avancées et enseignements pour la valorisation des services rendus par les zones humides ». Le Point 157 (mars).

— — —. 2013b. « Quelles valeurs monétaires pour les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique ? Enjeux, limites et perspectives ». E & D, n° 81.

— — —. 2013c. « Quelle évaluation pour les services écosystémiques rendus par les prairies en France métropolitaine ». Etudes & Documents, n° 92.

— — —. 2013d. « Pollution de l'air et santé : le coût pour la société ». Le Point, n° 175.

— — —. 2015a. « EFESE ». Volume 1.

— — —. 2015b. « Monétarisation des biens, services et impacts environnementaux : la variabilité des valeurs monétaires. Actes du séminaire du 10 décembre 2014 ». Etudes & Documents, n° 126.

CGDD, Service de l'Observation et des statistiques. 2010. « Les pesticides dans les milieux aquatiques. Données 2007 ». Etudes & Documents. CGDD.

CGDD-Soes. 2015. « Les éco-activités et l'emploi environnemental en 2015 : premiers résultats », 6.

Chaparro, Lydia, et Jaume Terradas. 2009. « Ecological Services of Urban Forest in Barcelona ». CREAF.

Cherqui, F., S. Baati, Y. Bentarzi, B. Chocat, P. Le Gauffre, D. Granger, B. Loubière, et al. 2013. « Quels enjeux pour la gestion des eaux urbaines ? Contribution à la formulation des services à rendre par le système de gestion des eaux urbaines », 2013.

CICES. 2014. « Ecosystem services classification adapted for a highly populated country ».

Citeau, L. 2006. « Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines », 2006.

Clergeau, Philippe. 2008. « Préserver la nature dans la ville ». Annales des Mines - Responsabilité et environnement N° 52 (4) : 55. https://doi.org/10.3917/re.052.0055.

CNRM. 2012. « Projet EPICEA. Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Echelle de l'Agglomération parisienne ». https://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/epicea-rapport-final_v4.pdf.

Commission européenne. 2012. « Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols ».

Cooper Marcus, Clare, et Naomi Sachs. 2014. Therapeutic Landscapes : An Evidenced Based Approach to Designing Healing Gardens and Restorative Outdoor Spaces. Wiley.

Cormier, Laure, Fabienne Joliet, et Nathalie Carcaud. 2012. « La biodiversité est-elle un enjeu pour les habitants ? : Analyse au travers de la notion de trame verte ». Développement durable et territoires, n° Vol. 3, n° 2 (juillet). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9319.

Cosquier, Marie. 2014. « Dimensions sociales des services écosystémiques culturels, appliqués aux écosystèmes "espaces verts" en milieu urbain - pratiques, discours et représentations des usagers ». Rapport de stage Master 2. http://serveur.msh-vdl.fr/wp-content/uploads/2015/10/Marie-COSQUER.pdf.

CREDOC. 2009a. « Etude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France - Fiches de description des services écosystémiques ».

— — —. 2009b. « Evaluation des ecosystemes en France - R260.pdf ». http://www.credoc.fr/pdf/Rapp/R260.pdf.

CSPNB. 2008. « L'arbre, la rivière et l'homme ». http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/arbre_riviere_homme.pdf.

Cuny, Damien, et Marie-Cécile Cuny. 2013. « Végétation en ville : quels enjeux pour l'environnement et la santé ». Airpur-environnement et santé, n° 3, 2013-06 : 8.

Cuny, Marie-Amélie, et Michel Thibaudon. 2012. « Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain », 40.

De Groot, Rudolf, Matthew Wilson, et Roelof Boumans. 2002. « A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services », 2002.

De Munck, Cécile. 2013. « Modélisation de la végétation urbaine et stratégie d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville. » Toulouse.

Décarie, Johanne. 1994. « Enquête sur la perception, les connaissances, les intérêts, les satisfactions et les conflits des Montréalais concernant la faune urbaine ». Rapport de maîtrise.

Delannoy, Emmanuel. 2016. « La biodiversité, une opportunité pour le développement économique et la création d'emplois », 92.

D'Ercole, Robert, et Pascale Metzger. 2009. « La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain ». Cybergeo European of geographie, Cybergeo European of geographie,, nº 447.

Derkzen, Marthe, Peter H. Verburg, et Astrid Van Teeffelen, A. 2015. « Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space : an assessment for Rotterdam, The netherlands ». Journal of Applied Ecology, mai, 14.

Diette et al. 2003. « Distraction therapy with nature sights and sounds reduces pain during flexible bronchoscopy : a complementary approach to routine analgesia », 2003.

Dubé, A, D Saint-Laurent, et G Sénécal. 2006. « Penser le renouvellement des politiques de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique ». Institut national de la recherche scientifique - Urbanisation, Culture et Société, 51.

Ecosphère & Agence de l'eau RMC. 2006. « Délimitation de l'espace fonctionnel par fonction et par type de zones hmuides du bassin Rhône-Méditérrannée Rapport annexe. Les fonctions des zones humides : Synthèse bibliographique ».

Elmqvist et al. 2013. Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services : Challenges and Opportunities. A Global Assessment.

Everad, M, L Shuker, et A. Gurnell. 2011. « , The Mayes Brook restoration in Mayesbrook Park, East London : an ecosystem services assessment, Environment Agency, 51 p. » The Environment Agency.

Feger et al. 2015. « Grand cycle de l'eau, valuation des services écosystémiques et aménagement du territoire : un premier retour d'expérience ». Techniques - Sciences - Méthodes.

Flipo, Nicolas. 2005. « Modélisation intégrée des transferts d'azote dans les aquifères et les rivières : Application au bassin du Grand Morin ». https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00001432/document.

Fontaine, Célia. 2011. « Traitement des eaux usées en France : où en est-on ? » Journal de l'environnement. 30 septembre 2011. http://www.journaldelenvironnement.net/article/traitement-des-eaux-usees-en-france-ou-en-est-on, 25205.

FREDON Auvergne, ARS Aura. 2017. « Ambroisie : gérer sa présence dans les collectivités. », 2017.

Freer-Smith et al. 2005. « Deposition Velocities to Sorbus Aria, Acer campestre, Populus Deltoides X trichocarpa 'Beaupre', Pinus nigra and X Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. » Environmental Pollution, nº 133 : 157-67.

Freer-Smith et al., et Broadmeadow. 2009. « Forestry and Climate Change ». In Landscape Ecol, 24 : 297-98.

Freytet, F. 1993. « Les incidences du micro-climat et de la pollution sur la végétation ». Arboriculture urbaine, 1993.

Fuller, Richard A., Katherine N. Irvine, Patrick Devine-Wright, Philip H. Warren, et Kevin J. Gaston. 2007. « Psychological Benefits of Greenspace Increase with Biodiversity ». Biology Letters 3 (4) : 390-94. https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0149.

GAR. 2011. « Risque de sécheresse, Réduction des risques de catastrophe : Bilan mondial 2011, Révéler le risque, redéfinir le développement ».

Gesler, Wilbert M. 1992. « Therapeutic landscapes : medical issues in light of the new cultural geograph ». In Social Science & Medicine, Elsevier, Volume 34 : 735-46. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0277953692903603.

GIEC. 2012. « Rapport spécial sur la gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique ».

Giles-Corti, Billie. 2005. « How important is distance to, attractiveness, and size of public open space ? » In Increasing walking, 28 : 169-76. https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797%2804%2900298-3/fulltext.

Gill, S.E., JF. Handley, AR. Ennos, et S. Pauleit. 2007. « Adapting Cities for Climate Change : The Role of the Green Infrastructure ». Built Environment, 33 (1) 115-133., 2007.

Giret, A. 2004. Le risque hydrologique. Vol. 68, n° 1. L'information géographique.

« Glossaire sur l'eau ». s. d. Eaufrance. http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/co%C3%BBt-environnemental.

Gobster, Paul H., Joan I. Nassauer, Terry C. Daniel, et Gary Fry. 2007. « The Shared Landscape : What Does Aesthetics Have to Do with Ecology ? » Landscape Ecology 22 (7) : 959-72. https://doi.org/10.1007/s10980-007-9110-x.

Gómez-Baggethun, Erik, et David N. Barton. 2013. « Classifying and valuing ecosystem services for urban planning ». Ecological Economics 86, 2013.

Gravari-Barbas Maria, Maria, et Vincent Veschambre. 2000. « Patrimoine et environnement. Les territoires du conflit ». Norois, n° 185.

Groupe AGECO. 2013. « Le capital écologique du Grand Montréal : Une évaluation économique de la biodiversité et des écosystèmes de la ceinture verte ». Fondation David Sizuki, Nature-Action Québec.

Ha-Duong, Minh. 2010. « Qu'est-ce que la Valeur du Carbone ? Cinq définitions. », 7.

Hémon, C. 2014. « Le parc urbain : appropriations et pratiques au cœur d'un paysage de « nature ». Le cas du Parc de l'Arrou à Blois, Loiret-Cher ». Rapport de Master 1 de Géographie, Université de Tours.

Hendel, Martin. 2015. « L'arrosage urbain comme moyen de limitation des îlots de chaleur urbains et d'adaptation au changement climatique Etude de ses effets rafraîchissants et de sa consommation d'eau à Paris ».

Hightower M & Pierce S.A. 2008. The energy challenge.

I4CE. 2016. « Végétaliser la ville – Pour quels bénéfices, avec quels financements, suivis et gouvernances des projets ».

IIBRBS, DRIEE, préfecture de police. 2010. « 1910, et demain ? Le risque d'inondation dans le bassin de la Seine ».

Institut national de santé publique du Québec. 2009. « Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains ».

INVS. 2014. « Le chikungunya dans les Antilles-Guyane ». Le point épidémiologique, n° 25/2014.

ISDR. 2011. « The Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction ».

IUCN. 2013. « Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - Volume 2.3. : les écosystèmes urbains ». IUCN.

IUNC France. 2014. « Indicateurs de biodiversité pour les collectivités territoriales - Cadre de réflexion et d'analyse pour les territoires ». http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/08/UICN_Indicateurs_biodiversite___collectivites.pdf.

JDD. 2017. « Propreté à Paris : les 10 mesures phares d'Anne Hidalgo ». Europe 1 le JDD, 12 juin 2017. https://www.lejdd.fr/JDD-Paris/Proprete-a-Paris-les-10-mesures-phares-d-Anne-Hidalgo-853826.

Kaczynski, Andrew T, et Karla A Henderson. 2007. « Environmental Correlates of Physical Activity : A Review of Evidence about Parks and Recreation ». In, Leisure Sciences, 29, issue 4 : 315-54.

Kaplan, Stephen, et Rachel Kaplan. 1989. The experience of nature : a psychological perspective. University of illinois urbana champaign.

Konijnendijk et al. 2013. « Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions ». iForest – Biogeosciences and Forestry, n° 6 : 102-8.

Kubal, C., D. Haase, V. Meyer, et S. Scheuer. 2009. « Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city ». Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2009.

Kuo, Frances E, et Andrea Faber Taylor. 2004. « A Potential Natural Treatment for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder : Evidence From a National Study ». American Journal of Public Health 94 (9) : 7.

Laaidi, K. 2009. « Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur - Synthèse des études réalisées par l'Institut de veille sanitaire sur la vague de chaleur d'août 2003. » Institut de veille sanitaire, juillet, 4.

Labarraque, Dorothée. 2016. « Évaluer les services rendus par les dépendances vertes des infrastructures linéaires de transport : une démarche exploratoire » Vertigo (Hors-série 24). https://doi.org/10.4000/vertigo.17348.

Laïlle, Pauline, Damien Provendier, et François Colson. 2013. « Les bienfaits du végétal en ville, Synthèse des travaux scientifiques et méthodes d'analyse ». Plante & Cité.

Launay, Marion. 2014. « La valeur des espaces verts urbains à travers la perception des usagers ». Université de François Rabelais Tours, 140.

Lavorel, Sandra. 2015. « Utilisation des modèles d'états et transpositions pour l'analyse de la dynamique spatiale et temporelle des services écosystèmiques ». EFESE, CST 4 du 09 avril 2015.

Le Figaro. 2016. « Mal-aimés, les rats savent aussi se rendre utiles ». Le Figaro, sciences & environnement, 8 décembre 2016. http://www.lefigaro.fr/sciences/2016/12/08/01008-20161208ARTFIG00180-mal-aimes-les-rats-savent-aussi-se-rendre-utiles.php.

Le Tallec, Thomas. 2018. « Quel est l'impact écologique de la pollution lumineuse ? » Encyclopédie de l'Environnement, 2018. http://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/limpact-ecologique-de-pollution-lumineuse/.

« London iTree eco project ». s. d. Forestry Commission England. https://www.forestry.gov.uk/london-itree.

Lorthois, et Aessterker. 2013. « Zones humides littorales Milieux, usages, enjeux et politiques publiques ».

Lyonnaise des Eaux. 2013. « La zone libellule : utiliser les zones humides pour réduire les nouveaux polluants ». 2013. http://www.pole-zhi.org/la-zone-libellule-utiliser-les-zones-humides-pour-reduire-les-nouveaux-polluants.

Maas, Jolanda. 2008. « Vitamin G : Green environments - Healthy environments ». Nivel, Netherlands Institute for Health Services Research, 254.

MAES. 2016. « Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Urban ecosystems 4th Report ». Tehcnical report. European Commission. http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/102.pdf.

Maller et al. 2006. « Healthy nature healthy people : 'contact with nature' as an upstream health promotion intervention for populations ». In Health Promotion International, 21, issue 1 : 45-54.

Malsoute, Jennifer. 2017. « Les villes les plus vertes de France - Palmarès 2017 ». Dossier de presse, 28.

Malys, Laurent. 2012. « Evaluation des impacts directs et indirects des façades et des toitures végétales sur le comportement thermique des bâtiments ». Ecole Centrale de Nantes.

MAMROT. 2010. « Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. » Guide. Unité ministérielle de recherche et de veille de la Direction générale des politiques du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT). https://www.mamot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf.

Manusset, Sandrine. 2012. « Impacts psycho-sociaux des espaces verts dans les espaces urbains ». Développement durable et territoires, n° Vol. 3, n° 3 (octobre). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9389.

Maréchal, J. 2014. « De l'évaluation des services écosystémiques liés aux espaces verts urbain dans la gestion des inondations : revue bibliographique et développement d'une méthode, projet de recherche PLURISK », 2014.

Maréchal, Justine. 2014. « Le projet PLURISK ».

Masson, V, C S B Grimmond, et T R Oke. 2002. « Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) Scheme with Direct Measurements from Dry Districts in Two Cities ». JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY 41 : 16.

Maughan, N. 2014. « Quels impacts de la mise en œuvre de trames bleues sur les services rendus par les milieux aquatiques en zones urbaines ? » Sciences Eaux & Territoires n° 14, 2014.

Maughan, Nicolas. 2010. « La valorisation et la protection de la biodiversité en zone urbaine : mise en perspective d'une tendance à travers les notions de nuisances et de risques ». Doctorant en Ecologie – Université de Provence – LATP UMR CNRS 6632, 43.

Mc Pherson et al. 2005. « City of Minneapolis, Minnesota Municipal Tree Resource Analysis ». Center for urban forest research.

— — —. 2016. Urban Forestry and Urban Greening.

McDonald et al. 2007. « Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM 10 in two UK conurbations ». Atmospheric Environment 41, 2007.

McIntyre, S, et Sandra Lavorel. 2007. « A conceptual model of land use effects on the structure and function of herbaceous vegetation ». In Agric. Ecosyst, 11-21.

McPherson, E. Gregeory, D Nowak, G Heisler, S Grimmond, C Souch, R Grant, et R Rowntree. 1997. « Quantifying urban forest structure, function, and value : the Chicago Urban Forest Climate Project ». In Urban Ecosystems, Volume 1, Issue 1 : 49 – 61.

« MEA ». 2005.

MEDDE. 2004. Centre ville en zone inondable : Prise en compte du risque : 10 exemples d'adaptation du bâti.

— — —. 2012. « Première évaluation nationale des risques d'inondation, Principaux résultats - EPRI 2011 ».

Méral, Philippe, et Denis Pesche. 2016. Les services écosystémiques -Repenser les relations nature et société. Quae éditions. Nature et société.

Metzger, Pascale. 1994. « Contribution à une problématique de l'environnement urbain ». Cah. Sci. hum., 25.

Metzger, Pascale, et Robert D'Ercole. 2011a. « Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion ». EchoGéo. 2011.
http://echogeo.revues.org/12640.

— — —. 2011b. « Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion ». EchoGéo. 2011.
http://echogeo.revues.org/12640.

Migrain, I, et H Monteil. 1992. « Dégradation bactérienne de deux pesticides (acétate de phényl-mercure et atrazine) dans l'environnement nature », 1992.

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement. 2009. « Rapport sur la production de gaz à effet de serre des systèmes de climatisation et leur impact sur l'écosystème et l'environnement, singulièrement dans les collectivités d'Outre-mer, en application de l'article 5 de la loi de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement ».

Ministère de l'Environnement, et de l'Énergie et de la Mer. 2016. « Le prix du carbone. Levier de la transition énergétique. »

Mission Economie de la Biodiversité, et cdc biodiversité. 2015. « Infrastructures vertes urbaines et développement : vers une évaluation des impacts socio-économiques de la nature en ville ». Les cahiers de la biodiv'2050 : Comprendre, n° 5.

MNHN. 2010. « Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France ». Commissariat général au développement durable (CGDD).

Moisan, Doriane. 2013. « Valorisation des services récréatifs et éducatifs des zones humides méditerranéennes, application sur deux sites d'étude : le parc ornithologique du Pont de Gau et le Centre du Scamandre ». Rapport de stage Master. Université de Rennes. http://pole-lagunes.org/wp-content/uploads/sites/4/2017/12/Memoire_stage_Moisan-2013.pdf.

Mollard et al. 2014. « Valorisation des aménités et développe- ment territorial : Le Rôle des parcs naturels régionaux ». Les enjeux environnementaux au cœur du développement territorial, 2014, Vertigo édition.

Morand, Serge, François Moutou, et Céline Richomme. 2014. Faune sauvage, biodiversité et santé, quels défis ? Quae. Enjeux sciences.

Morani, Arianna, David J. Nowak, Satoshi Hirabayashi, et Carlo Calfapietra. 2011. « How to Select the Best Tree Planting Locations to Enhance Air Pollution Removal in the MillionTreesNYC Initiative ». Environmental Pollution 159 (5) : 1040-47. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.022.

Mougeot, L.J.A. 1994. « Urban Food Production : Evolution, Official Support and Significance ». Urban Agriculture Notes.

Musy, André. 2005. « Cours "Hydrologie générale" ». Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE) Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL). http://echo2.epfl.ch/e-drologie/.

Musy, M. 2014. Une ville verte. Les rôles du végétal en ville. Quae. Synthèse.

Natureparif. 2011. « Le pigeon en ville Écologie de la réconciliation et gestion de la nature. », 2011.

Niemela, Jari, Sanna-Riikka Saarela, Tarja So¨derman, Leena Kopperoinen, Vesa Yli-Pelkonen, Seija Va¨re, et Johan Kotze. 2010. « Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces : a Finland case study ». Biodivers Conserv, 2010.

November, V. 1994. Risques naturels et croissance urbaine : réflexion théorique sur la nature et le rôle du risque dans l'espace urbain. Vol. tome 82, n° 4. Revue de géographie alpine.

Nowak, David J. 2006. « Institutionalizing Urban Forestry as a “Biotechnology” to Improve Environmental Quality ». Urban Forestry & Urban Greening 5 (2) : 93-100. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002.

Nowak, David J., et Daniel E. Crane. 2002. « Carbon Storage and Sequestration by Urban Trees in the USA ». Environmental Pollution 116 (3) : 381-89. https://doi.org/10.1016/S0269-7491 (01) 00214-7.

Nowak, D.J., et J.F. Dwyer. 2007. « Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems ». Kuser J (ed) Urban and community forestry in the Northeast. Springer, 2007, Science and Business Media édition.

Nowak et al. 2008. « A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services ». In Arboriculture & Urban Forestry, 34, issue 6 : 347-58.

— — —. 2009. « Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest Francisco ». In Landscape and Urban Planning, 102-10.

— — —. 2013. « Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States ». In Environmental Pollution, 178 : 229-36.

OCDE. 2012. « Perspectives de l’environnement de l’OCDE à l’horizon 2050. Les conséquences de l’inaction ». In, Chapitre 5.

ONEMA, B. 2008. « Etat de l’art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation », 36.

ONU/SIPC. 2009. « Réduction des risques de catastrophe : bilan mondial 2009 – Risques et pauvreté dans un climat en évolution Investir aujourd’hui pour des lendemains plus sûrs ».

Pauleit, Stephan, et Friedrich Duhme. 2000. « GIS assessment of Munich’s urban forest structure for urban planning ». Journal of Arboriculture, 2000. https://www.researchgate.net/publication/242613686_GIS_assessment_of_Munich's_urban_forest_structure_for_urban_planning.

Pigeon et al. 2008. Simulation of fall and winter surface energy balance over a dense urban area using the TEB scheme. Meteorol. Atmos.

PIREN-Seine. s. d. « Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux Unité Mixte de Recherche 7619 ». http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/.

Plantes et cités, et Val’hor. 2013. « Les bienfaits du végétal en ville : ÉTUDE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES ET MÉTHODE D’ANALYSE ». http://www.valhor.fr/fileadmin/AValhor/Valhor_PDF/CiteVerte_BienfaitsVegetalVille2014.pdf.

Polombo, N, et J.L. Yengue. 2016. « Espaces verts urbains : intérêt des données socio-économiques de l’INSEE Détecter les espaces verts urbains possiblement non-attractifs ? » https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01332538/file/Polombo_YengueSE25mai.pdf.

Poulin, B. 2017. « Bilan de l’expérimentation des pièges BAM au Sambuc en 2016 », 2017.

Pretty, J, J Peacock, M Sellens, et M Griffin. 2005. « The mental and physical health outcomes of green exercise. » In The mental and physical health outcomes of green exercise., Department of Biological Sciences, University of Essex, Colchester, UK, 15 (5) : 319-37.

Prévot-Juliard, A.C. 2009. « Reconnecter les citadins à la nature par l'art vivant : études expérimentales ». In, 8. UMR7204 CERSP - MNHN. http://artheque.ens-cachan.fr/items/show/389?image=1&v=#bibnum.

Quéré, J.P, et H Le Louarn. 2011. Les rongeurs de France – 3e édition. Quae.

RAMSAR. 2007. « Évaluation des zones humides Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides ». Rapport technique Ramsar n° 3. Rapports Techniques Ramsar. Série des publications techniques de la CBD n° 27.

Rankovic, A., C. Pacteau, et L. Abbadie. 2012. « Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation ». VertigO, Hors-série, n° 12, 2012. http://vertigo.revues.org/11851.

Raudsepp-Hearne, Ciara, Garry D. Peterson, Maria Tengö, Elena M. Benett, Tim Holland, Karina Benessaiah, Graham K. MacDonald, et Laura Pfeifer. 2010. « Untangling the Environmentalist's Paradox : Why is Human Well-Being Increasing as Ecosystem Services Degrade ? » BioScience, 60 (8) : 576-589, 2010. http://www.bioone.org/doi/full/10.1525/bio.2010.60.8.4.

RNSA. 2014. « Guide d'information végétation en ville ». Guide d'information.

Rogers et al. 2011. « Measuring the ecosystem services of Torbay's trees : the Torbay i- Tree Eco pilot project », 2011.

Rolston, Holmes. 2000. « Aesthetics in the Swamps ». Perspectives in Biology and Medicine 43 (4) : 584-97. https://doi.org/10.1353/pbm.2000.0052.

Rounsevell, MDA, I Reginster, et MB Araujo. 2006. « A coherent set of future land use change scenarios for Europe ». Agriculture ecosystems et environnement 114 : 57-68.

Roux et al., et A.N. 2014. « Le potentiel épuratoire du réseau hydraulique du bassin versant de la Vilaine, affluent du Layon (Maine-et-Loire) ».

Saïd. 2012. « La perception sociale des zones humides », 2012.

SAIQ. 1995. Guide d'évaluation des végétaux d'ornement. Societe Internationale d'Arboriculture-Quebec.

Saulais, Muriel. 2011. « Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention Caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico -chimiques de l'horizon de surface végétalisé ». L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. http://theses.insa-lyon.fr/publication/2011ISAL0116/these.pdf.

Sauve et al. 2014. « Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité ». Rapport final (ONEMA et Plante & Cité). https://www.plante-et-cite.fr/data/fichiers_ressources/pdf_fiches/experimentation/VF-VeGepp-Rapport.pdf.

Schipperijn, Jasper, Ola Ekholm, Ulrika K. Stigsdotter, Mette Toftager, Peter Bentsen, Finn Kamper-Jørgensen, et Thomas B. Randrup. 2010. « Factors Influencing the Use of Green Space : Results from a Danish National Representative Survey ». Landscape and Urban Planning 95 (3) : 130-37. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.010.

SCHUEHMACHER, J, E BLIN, J JORDI, et E PAOLETTI. 2013. « Zones libellules© du SIVOM la Palus (34) : Evaluation des capacités épuratoires et étude de l'évolution de la biodiversité du site ». Rapport d'étude. Lyonnaise des Eaux, AERMC, CG Hérault.

Schwartz, Christophe. 2013. « Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive », La revue électronique en sciences de l'environnement,, n° Hors-série 15 (février).

Science PO. 2011. « Vivre avec les inondations : de la résistance à la résilience ». CEPRI - Communautés Urbaines de France. http://www.communautes-urbaines.com/download/PUBLICATIONS/etudes/inondations/etude_inondations.pdf.

SEGTEUP. 2013. « Programme de recherche SEGTEUP. Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie. » Guide technique.

Selmi, Wissal. 2016. « Evaluation des services écosystémiques rendus par les arbres urbains. Etude de l'effet des arbres sur l'environnement urbain. Résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg ».

Sénat. 2003. « La qualité de l'eau et l'assainissement en France ». n° 215. OPECST.

— — —. 2011. « Villes du futur, futur des villes : quel avenir pour les villes du monde ? (Enjeux) ». Rapport d'information. n° 594.

— — —. 2015. « Comptes rendus de la commission d'enquête coût économique et financier de la pollution de l'air. » Compte-rendu. https://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20150330/ce_pollution.html#toc6.

Silliman, Van de Koppel, Bertness, Stanton, et Mendelssohn. 2005. « Drought snails and large scale die-off of southern US salt marshes ».

Soullier et al. 2002. « Capacités de stockage et d'épuration des sol de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires ». Etude Gestion Sols, 2002.

Sternberg et al. 2010. « Dust particulate absorption by ivy (Hedera helix L) on historic walls in urban environments ». In Science of The Total Environment, 409, issue 1 : 162-68.

Sterp de Vries. 2003. « Natural environments - healthy environments ? : an exploratory analysis of the relationship between green space and health ». In Environment and Planning, 35 : 1717-31.

Stock, Birte, et Daniel Haag-Wackernagel. 2016. « Food Shortage Affects Reproduction of Feral Pigeons Columba Livia at Rearing of Nestlings ». Édité par Jesus Martinez-Padilla. Ibis 158 (4) : 776-83. https://doi.org/10.1111/ibi.12385.

Stoll et al. 2014. « Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network ». Ecological Modelling, 13. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.06.019.

Strohbach et al. 2012. « The Carbon Footprint of Urban Green Space : A Life Cycle Approach », 2012.

Takahashi et al. 2005. « Atmospheric nitrogen dioxide gas is a plant vitalization signal to increase plant size and the contents of cell constituents ». In New Phytologist. Vol. 168, issue 1.

Tardieu, Léa. 2014. « L'intégration des services écosystémiques dans l'évaluation des projets d'infrastructures de transport. » Montpellier.

Técher, D. 2011. « Rehabilitation de sols pollués par des HAP grace aux bactéries associées à la rhizosphère de Miscanthus x giganteus », 2011.

TEEB. 2011. TEEB Manual for Cities : Ecosystem Services in Urban Management.

Tiwary, A. 2009. « An integrated tool to assess the role of new planting in PM10 capture and the human health benefits : a case study in London. » Environ Pollut, octobre. https://doi.org/10.1016.

Tollis, Claire. 2013. « Pour le meilleur et pour le pire ! Les arbres en ville peuvent-ils faire patrimoine ? Analyse des spatialités concurrentes arbres-riverains à Grenoble ». VertigO, n° Hors-série 16 (mai). https://doi.org/10.4000/vertigo.13736.

Tratalos et al. 2007. « Urban form, biodiversity potential and ecosystem services ». Land-scape and Urban Planning, 2007.

Treeconomics London. 2015. « Valuing London's urban forest. Results of the London i-Tree Eco Project ».

Truptil, Marie. 2012. Toulouse : La nature au coin de ma rue.

UICN France. 2012. « Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France. volume 1 ».

Ulrich, R. 1984. « View through a Window May Influence Recovery from Surgery ». Science 224 (4647) : 420-21. https://doi.org/10.1126/science.6143402.

Unep-Ifop. 2016. « Ville en vert, ville en vie : un nouveau modèle de société. »

United States Department of Agriculture. 2007. « Assessing Urban Forest Eff ects and Values, New York City's Urban Forest ». USDA.

Van Dillen, S.M, P.P Sjerp de Vries, et P Spreeuwenberg. 2012. « Greenspace in Urban Neighbourhoods and Residents' Health : Adding Quality to Quantity ». Journal of Epidemiology and Community Health, 2012, 66, 6, e8. édition.

VegDUD. 2014. « Impact du végétal en ville, fiches de synthèse ».

Vergriete, Yann, et Michel Labrecque. 2007. « Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d' extrapolation au contexte montréalais Rapport d'étape », 36.

Versini, Pierre Antoine, Pascal Jouve, David Ramier, Emmanuel Berthier, et Bernard De Gouvelo. 2014. « Use of green roofs to solve storm water issues at the basin scale - Study in the Hauts-de-Seine county (France) ». Urban Water Journal, Taylor & Francis : STM, Behavioural Science and Public Health, 2014.

Veyret, Y, et M Reghezza. 2006. « Vulnérabilité et risque : l'approche récente de la vulnérabilité ». Responsabilité et environnement, juillet 2006.

Villareal, E.L., et L. Bengtsson. 2005. « Response of sedum green-roof to individueal rain events. » Ecological Engineering, 2005.

Ville d'Orléans. 2014. « Développement durable à Orléans. Rapport annuel 2014 ». Rapport annuel.

Walter et al. 2015. « Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation ». Cahier - Club Demeter, 2015.

Yvon, Jean-Marc, et Caroline Huchet-Kervella. 2014. « Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Saint-Étienne, 2009-201 ». Santé envrionnement, n° Septembre 2014 : 8.

Zweig, C.L., et W.M. Kitchens. 2009. « Multi-state succession in wetlands : a novel use of state and transition models ». In Ecology, 1900-1909. http://dx.doi.org/10.1890/08-1392.1.



ÉVALUATION FRANÇAISE DES ÉCOSYSTÈMES ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Annexes

Annexe 1

User's Manual for the city biodiversity index (extraits), 2010

https://www.cbd.int/doc/meetings/city/subws-2014-01/other/subws-2014-01-singapore-index-manual-en.pdf

SINGAPORE INDEX ON CITIES' BIODIVERSITY

PART I – Profile of the City

Location and size (geographical coordinates (latitudes and longitudes); climate (temperate or tropical); rainfall/precipitation (range and average); including maps or satellite images where city boundaries are clearly defined)

Physical features of the city (geography, altitude, area of impermeable surfaces, information on brownfield sites, etc.)

Demographics (including total population and population density; the population of the region could also be included if appropriate, and for the purpose of placing it in the regional context)

Economic parameters (Gross Domestic Product (GDP), Gross National Product (GNP), per capita income, key economic activities, drivers and pressures on biodiversity)

Biodiversity features (ecosystems within the city, species within the city, quantitative data on populations of key species of local importance, relevant qualitative biodiversity data)

Administration of biodiversity (relevant information includes agencies and departments responsible for biodiversity; how natural areas are protected (through national parks, nature reserves, forest reserves, secured areas, parks, etc.)

Links to relevant websites including the city's website, environmental or biodiversity themed websites, websites of agencies responsible for managing biodiversity

PART II - Indicators

Core Components		Indicators	Maximum Score
Native Biodiversity in the City	1.	Proportion of Natural Areas in the City	4 points
	2.	Connectivity Measures	4 points
	3.	Native Biodiversity in Built Up Areas (Bird Species)	4 points
	4.	Change in Number of Vascular Plant Species	4 points
	5.	Change in Number of Bird Species	4 points
	6.	Change in Number of Butterfly Species	4 points
	7.	Change in Number of Species (any other taxonomic group selected by the city)	4 points
	8.	Change in Number of Species (any other taxonomic group selected by the city)	4 points
	9.	Proportion of Protected Natural Areas	4 points
	10.	Proportion of Invasive Alien Species	4 points
Ecosystem Services provided by Biodiversity	11.	Regulation of Quantity of Water	4 points
	12.	Climate Regulation: Carbon Storage and Cooling Effect of Vegetation	4 points
	13.	Recreation and Education: Area of Parks with Natural Areas	4 points
	14.	Recreation and Education: Number of Formal Education Visits per Child Below 16 Years to Parks with Natural Areas per Year	4 points
Governance and Management of Biodiversity	15.	Budget Allocated to Biodiversity	4 points
	16.	Number of Biodiversity Projects Implemented by the City Annually	4 points
	17.	Existence of Local Biodiversity Strategy and Action Plan	4 points
	18.	Institutional Capacity: Number of Biodiversity Related Functions	4 points
	19.	Institutional Capacity: Number of City or Local Government Agencies Involved in Inter-agency Co-operation Pertaining to Biodiversity Matters	4 points
	20.	Participation and Partnership: Existence of Formal or Informal Public Consultation Process	4 points
	21.	Participation and Partnership: Number of Agencies/Private Companies/NGOs/Academic Institutions/International Organisations with which the City is Partnering in Biodiversity Activities, Projects and Programmes	4 points
	22.	Education and Awareness: Is Biodiversity or Nature Awareness Included in the School Curriculum	4 points
	23.	Education and Awareness: Number of Outreach or Public Awareness Events Held in the City per Year	4 points
		Native Biodiversity in the City (Sub-total for indicators 1-10)	**40 points**
		Ecosystem Services provided by Biodiversity (Sub-total for indicators 11-14)	**16 points**
		Governance and Management of Biodiversity (Sub-total for indicators 15-23)	**36 points**
		Maximum Total:	**92 points**

Annexe 2

User's Manual for the city biodiversity index, 2010

https://www.cbd.int/doc/meetings/city/subws-2014-01/other/subws-2014-01-singapore-index-manual-en.pdf

Indicateur 4 : Proportion d'aires naturelles dans la ville

PART II: INDICATORS OF THE SINGAPORE INDEX ON CITIES' BIODIVERSITY

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATOR 1: PROPORTION OF NATURAL AREAS IN THE CITY**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR Natural ecosystems harbour more species than disturbed or man-made landscapes, hence, the higher the percentage of natural areas compared to that of the total city area gives an indication of the amount of biodiversity there. However, a city by definition has a high proportion of modified land area and this is factored into the scoring. Taking into account the inherent differences in the richness in biodiversity of tropical versus temperate regions, new versus mature cities, large versus small cities, developing versus developed countries, it was agreed at the Third Expert Workshop on the Development of the City Biodiversity Index that the working definition of "natural areas" is as follows: Natural areas comprise predominantly native species and natural ecosystems, which are not, or no longer, or only slightly influenced by human actions, except where such actions are intended to conserve, enhance or restore native biodiversity. Natural ecosystems are defined as all areas that are natural and not highly disturbed or completely man-made landscapes. Some examples of natural ecosystems are forests, mangroves, freshwater swamps, natural grasslands, streams, lakes, etc. Parks, golf courses, roadside plantings are not considered as natural. However, natural ecosystems within parks where native species are dominant can be included in the computation. The definition also takes into consideration "restored ecosystems" and "naturalised areas" in order to recognise efforts made by cities to increase the natural areas of their city. Restoration helps increase natural areas in the city and cities are encouraged to restore their impacted ecosystems.	HOW TO CALCULATE INDICATOR (Total area of natural, restored and naturalised areas) ÷ (Total area of city) × 100% WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Possible sources of data on natural areas include government agencies in charge of biodiversity, city municipalities, urban planning agencies, biodiversity centres, nature groups, universities, publications, etc. Google maps and satellite images can also provide relevant information for calculating this indicator.	BASIS OF SCORING Based on the assumption that, by definition, a city comprises mainly man-made landscapes, the maximum score will be accorded to cities with natural areas occupying more than 20% of the total city area. 0 points: < 1.0% 1 point: 1.0% – 6.9% 2 points: 7.0% – 13.9% 3 points: 14.0% – 20.0% 4 points: > 20.0%

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATOR 9: PROPORTION OF PROTECTED NATURAL AREAS**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR Protected or secured natural areas indicate the city's commitment to biodiversity conservation. Hence, the proportion of protected or secured natural areas is an important indicator. The definition of protected natural areas should be broadened to include legally protected, formally secured areas, and other administratively protected areas, as different cities have different terminologies and means for protecting their natural areas.	HOW TO CALCULATE INDICATOR (Area of protected or secured natural areas) ÷ (Total area of the city) × 100% WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Possible sources of data include government agencies in charge of biodiversity, city municipalities, urban planning agencies, biodiversity centres, nature groups, universities, publications, etc.	BASIS OF SCORING The following points are awarded for the respective proportions of protected natural areas in the city: 0 points: < 1.4% 1 point: 1.4% - 7.3% 2 points: 7.4% - 11.1% 3 points: 11.2% - 19.4% 4 points: > 19.4%

ANNEXE 3

User's Manual for the city biodiversity index, 2010
Indicateur 2 : Mesure de connectivité

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATOR 2: CONNECTIVITY MEASURES OR ECOLOGICAL NETWORKS TO COUNTER FRAGMENTATION**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR Fragmentation of natural areas is one of the main threats to the sustainability of biodiversity in a city. Hence, it has been selected as an indicator to chart possible future trends. However, it is not easy to measure fragmentation. Some of the ways to measure fragmentation include mean patch size or distance between patches or effective mesh size, etc. It is recognised that the fragmentation of natural areas affects different species differently. For example, a road may not be a barrier for birds but it can seriously fragment a population of arboreal primates. A strip of urbanisation may not affect the dispersal of wind-pollinated plants but a plant that depends on small mammals for dispersal will be adversely affected. While these differences have been considered, a pragmatic approach towards the calculation of this indicator is adopted, as reflected in the formula used here. Furthermore, to encourage positive actions to increase connectivity or reduce barriers to connectivity, it would be more meaningful to measure connectivity rather than fragmented plots. This indicator score can be improved when more of the fragments are connected.	HOW TO CALCULATE INDICATOR $Indicator\ 2 = \frac{1}{A_{total}^2}\left(A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \ldots + A_n^2\right)$ Where: • A_{total} is the total area of all natural areas • A_1 to A_n are areas that are distinct from each other (i.e. more than or equal to 100m apart) • n is the total number of connected natural areas This measures effective mesh size of the natural areas in the city. A_1 to A_n may consist of areas that are the sum of two or more smaller patches which are connected. In general, patches are considered as connected if they are less than 100m apart. However, exceptions to the above rule includes anthropogenic barriers such as: • Roads (15m or more in width; or are smaller but have a high traffic volume of more than 5000 cars per day) • Rivers that are highly modified and other artificial barriers such as heavily concretised canals and heavily built up areas • Any other artificial structures that the city would consider as a barrier Details and illustrations of how this indicator may be calculated are included in **Annex D**. WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Satellite images can be used in the computation of this indicator.	BASIS OF SCORING The effective mesh size is an expression of the probability that two points randomly chosen within the natural areas of a city are in the same patch or are considered connected (< 100m between the patches with no major barrier between). It can also be interpreted as the ability of two animals of the same species placed randomly in the natural areas to find each other. The more barriers in the landscape, the lower the probability that the two locations will be connected, and the lower the effective mesh size. Therefore, larger values of the effective mesh sizes indicate higher connectivity. 0 points: < 200 ha 1 point: 201 - 500 ha 2 points: 501 - 1000 ha 3 points: 1001 - 1500 ha 4 points: > 1500 ha

ANNEXE 4

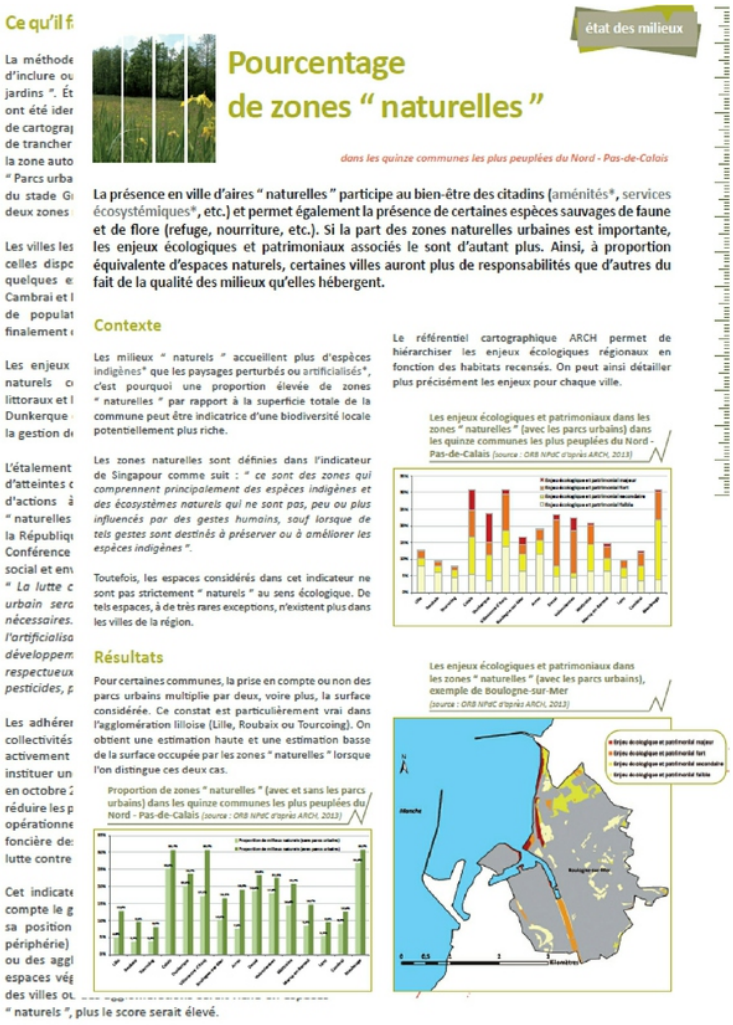
User's Manual for the city biodiversity index, 2010
Indicateur 3 à 8 : Biodiversité native

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATOR 3: NATIVE BIODIVERSITY IN BUILT UP AREAS (BIRD SPECIES)**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR It is acknowledged that cities comprise largely of built up areas and brownfield sites with anthropogenic green spaces and minimal natural features. However, it should be recognised that built up areas and brownfield sites do harbour biodiversity, e.g., birds, like swallows and swiftlets, nest under roofs of buildings; plants grow on buildings; butterflies rely on shrubs and grassy patches for food, dragonflies breed in water features, etc. Some built up areas and brownfield sites have more biodiversity than others. By enhancing certain features in such areas, the biodiversity could be improved. Hence, native biodiversity in built up areas and brownfield sites should be an indicator. Most cities have data on bird species, hence, this taxonomic group will be used as an indicator. The number of native bird species in built up areas and anthropogenic green spaces is inevitably lower than that found in sites with natural ecosystems; however implementing appropriate measures such as planting fruit trees, shrubs with berries, etc. may attract birds into built up areas of the city.	HOW TO CALCULATE INDICATOR Number of native bird species in built up areas where built up areas include impermeable surfaces like buildings, roads, drainage channels, etc., and anthropogenic green spaces like roof gardens, roadside planting, golf courses, private gardens, cemeteries, lawns, urban parks, etc. Areas that are counted as natural areas in indicator 1 should not be included in this indicator. WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS City councils, universities, NGOs, etc.	BASIS OF SCORING The number of bird species in built up areas and anthropogenic greenery and green spaces is inevitably lower than that found in sites with natural ecosystems. 0 points: < 19 bird species 1 point: 19 - 27 bird species 2 points: 28 - 46 bird species 3 points: 47 - 68 bird species 4 points: > 68 bird species

CBI	INDICATORS	VARIABLES	SCORE
Native Biodiversity	**INDICATORS 4 - 8: CHANGE IN NUMBER OF NATIVE SPECIES**		
	RATIONALE FOR SELECTION OF INDICATOR As this is an Index focussing on biodiversity in cities, it is essential that the native flora and fauna diversity be incorporated as indicators. Three key taxonomic groups that are most surveyed worldwide, i.e., plants, birds and butterflies, have been selected as "core indicators". To ensure fairness and objectivity in the Index, cities can select two other taxonomic groups that would reflect their best biodiversity. To ensure that these five indicators on species are unbiased against any city based on its geographical location, ecological history, size, land use, etc., it was decided that • All cities and local authorities are requested to list the number of native species of a) vascular plants, b) birds, c) butterflies, d) at least two other taxonomic groups, and e) any other taxonomic groups that they have data, in Part I: Profile of the City • The indicators will measure the change in number of species over time rather than the absolute number of species • The first year of application will be taken as the baseline year for the species count. The net change in species numbers (increase in number of species due to re-introduction or restoration efforts minus the number of species that went extinct) will be incorporated in the subsequent calculations of the Singapore Index. Conducting more surveys on the target groups (to document new species or rediscoveries) and reintroducing locally extinct native species would help to increase the number of extant native species.	HOW TO CALCULATE INDICATORS The change in number of native species is used for indicators 4 to 8. The three core groups are: • Indicator 4 : vascular plants • Indicator 5 : birds • Indicator 6 : butterflies These groups have been selected as data are most easily available and to enable some common comparison. Cities can select any two other taxonomic groups for indicators 7 and 8 (e.g., bryophytes, fungi, amphibians, reptiles, freshwater fish, molluscs, dragonflies, beetles, spiders, hard corals, marine fish, seagrasses, sponges, etc.) The above data from the first application of the Singapore Index would be recorded in Part I: Profile of the City as the baseline. Net change in species from the previous survey to the most recent survey is calculated as: Total increase in number of species (as a result of re-introduction, rediscovery, new species found, etc.) minus number of species that have gone extinct. WHERE TO GET DATA FOR CALCULATIONS Possible sources of data include government agencies in charge of biodiversity, city municipalities, urban planning agencies, biodiversity centres, nature groups, universities, publications, etc.	BASIS OF SCORING Data listed in Part I: Profile of the City will be used to measure change in species diversity. Cities' first application will be considered as the baseline information for all subsequent monitoring. In their subsequent applications of the Index, cities will calculate the net change in species for the respective taxonomic groups. The scoring range below is based on the acceptance that it is not easy to recover or re-introduce species successfully over a short period of time. However, species recovery, re-introduction and restoration efforts must be given due recognition. 0 points: maintaining or a decrease in the number of species 1 point: 1 species increase 2 points: 2 species increase 3 points: 3 species increase 4 points: 4 species or more increase

Annexe 5

Fiches indicateurs de l'observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais



Ce qu'il f

La méthode
d'inclure ou
jardins ". Ét
ont été ider
de cartograp
de trancher
la zone auto
" Parcs urba
du stade Gi
deux zones

Les villes les
celles dispo
quelques e
Cambrai et l
de populat
finalement

Les enjeux
naturels o
littoraux et l
Dunkerque
la gestion d

L'étalement
d'atteintes
d'actions à
" naturelles
la Républiq
Conférence
social et en
" *La lutte c*
urbain sera
nécessaires.
l'artificialisa
développem
respectueux
pesticides, p

Les adhérer
collectivités
activement
instituer un
en octobre
réduire les p
opérationne
foncière de
lutte contre

Cet indicate
compte le g
sa position
périphérie)
ou des aggl
espaces vég
des villes ou
" naturels ", plus le score serait élevé.

état des milieux

Pourcentage de zones " naturelles "

dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais

La présence en ville d'aires " naturelles " participe au bien-être des citadins (aménités*, services écosystémiques*, etc.) et permet également la présence de certaines espèces sauvages de faune et de flore (refuge, nourriture, etc.). Si la part des zones naturelles urbaines est importante, les enjeux écologiques et patrimoniaux associés le sont d'autant plus. Ainsi, à proportion équivalente d'espaces naturels, certaines villes auront plus de responsabilités que d'autres du fait de la qualité des milieux qu'elles hébergent.

Contexte

Les milieux " naturels " accueillent plus d'espèces indigènes* que les paysages perturbés ou artificialisés*, c'est pourquoi une proportion élevée de zones " naturelles " par rapport à la superficie totale de la commune peut être indicatrice d'une biodiversité locale potentiellement plus riche.

Les zones naturelles sont définies dans l'indicateur de Singapour comme suit : *" ce sont des zones qui comprennent principalement des espèces indigènes et des écosystèmes naturels qui ne sont pas, peu ou plus influencés par des gestes humains, souf lorsque de tels gestes sont destinés à préserver ou à améliorer les espèces indigènes ".*

Toutefois, les espaces considérés dans cet indicateur ne sont pas strictement " naturels " au sens écologique. De tels espaces, à de très rares exceptions, n'existent plus dans les villes de la région.

Le référentiel cartographique ARCH permet de hiérarchiser les enjeux écologiques régionaux en fonction des habitats recensés. On peut ainsi détailler plus précisément les enjeux pour chaque ville.

Les enjeux écologiques et patrimoniaux dans les zones " naturelles " (avec les parcs urbains) dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*

Résultats

Pour certaines communes, la prise en compte ou non des parcs urbains multiplie par deux, voire plus, la surface considérée. Ce constat est particulièrement vrai dans l'agglomération lilloise (Lille, Roubaix ou Tourcoing). On obtient une estimation haute et une estimation basse de la surface occupée par les zones " naturelles " lorsque l'on distingue ces deux cas.

Proportion de zones " naturelles " (avec et sans les parcs urbains) dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*

Les enjeux écologiques et patrimoniaux dans les zones " naturelles " (avec les parcs urbains), exemple de Boulogne-sur-Mer *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*

état des milieux



Superficie d'espaces verts urbains pour mille habitants

dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais

Les espaces verts urbains sont largement plébiscités par nos concitoyens urbains et peuvent, dans certains cas, abriter une biodiversité importante. Il est difficile de connaître exactement les superficies réellement accessibles aux habitants car les espaces verts les plus proches sont parfois dans la ville voisine, et ceci est d'autant plus vrai dans des agglomérations comme Lille-Roubaix-Tourcoing. Si la superficie des espaces verts disponibles améliore la qualité de vie des citadins, ce sont surtout les modes de gestion mis en œuvre qui influencent le plus la biodiversité* urbaine.

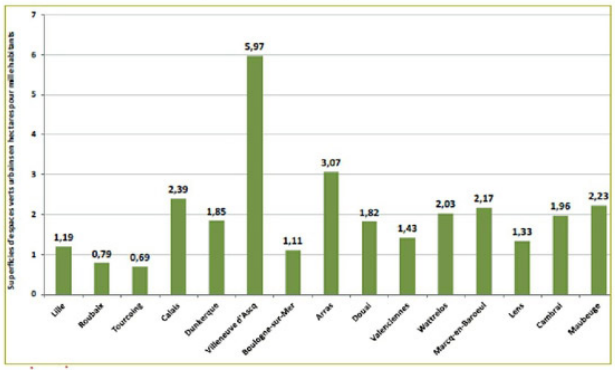
Contexte

Entre 2008 et 2010, plusieurs enquêtes ont mis en évidence que sept Français sur dix choisissent aujourd'hui leur résidence en fonction de la présence d'espaces verts à proximité de leur habitation et la même proportion déplore le manque de " vert " en ville.

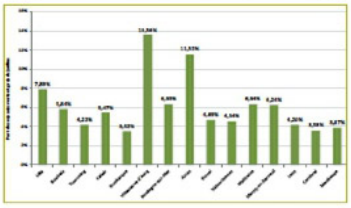
Près des trois quarts des Français fréquentent de façon périodique ou quotidienne les espaces verts de leur commune. Les raisons de cet attrait sont diverses, avec d'une part, la détente, les rencontres avec d'autres habitants ou la pratique d'un sport ou d'une activité récréative ; d'autre part, les demandes liées aux aménités* ou aux fonctions écologiques que procurent ces lieux.

Résultats

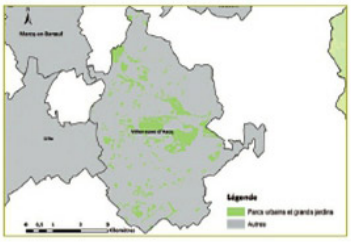
Surfaces des espaces verts et des grands jardins en hectares pour mille habitants dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais
(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)



Part des espaces verts et des grands jardins dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*



Les espaces verts urbains et grands jardins, exemple de Villeneuve d'Ascq *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*



Ce qu'il faut en penser

L'augmentation constante des nuisances et des pollutions, engendrée notamment par l'artificialisation* croissante des espaces ou l'augmentation constante du nombre de voitures, peut pousser les habitants des villes à s'en éloigner et ainsi favoriser l'étalement urbain et l'accroissement du trafic routier.

Les citadins aspirent majoritairement à plus d'espaces verts de proximité. Mais la vision des espaces verts évolue avec le temps. D'une conception hygiéniste* et esthétique, on est passé au *" souhait de l'instauration d'une " vraie " nature en ville "*. La demande n'est plus de *" produire des parterres fleuris ou des jardins horticoles nécessitant un fort entretien, mais plutôt de proposer une végétation plus spontanée, moins maîtrisée par l'Homme, en supprimant par exemple les désherbages systématiques des pieds d'arbres "* ou en instaurant une gestion différenciée comme à Lille et à Roubaix (depuis 2001) ou à Lens (depuis 2007). Ces démarches favorisent la biodiversité quand elles sont menées correctement.

Ce n'est donc pas tant la quantité (la surface totale de parcs urbains) que la qualité (le mode de gestion de ces espaces) qui importe. Des jachères fleuries semées avec des graines issues de l'horticulture peuvent être dommageables vis-à-vis des espèces sauvages qui verront leur patrimoine génétique dilué par des variétés d'ornement.

Le maintien en ville de ces îlots de verdure permet aussi d'assurer le gîte et le couvert à de nombreuses espèces. Il existe même des politiques concernant la gestion du bois mort qui est une ressource essentielle pour les champignons xylophages*, les insectes saproxyliques*, les Oiseaux, etc.

La mise en place de techniques de protection intégrées, accompagnées par une communication auprès des habitants, permet une meilleure acceptation d'une nature " sauvage " (au sens non-entretenue) au cœur de la ville. De plus, cela favorise les initiatives d'actions participatives, le dialogue entre les habitants et les services techniques et la compréhension du travail accompli avec l'espoir que ces pratiques s'étendent aux jardins privés.

Méthode

Les données ayant servi à l'élaboration de cet indicateur sont issues du projet " ARCH ". C'est une cartographie des habitats naturels en 64 thèmes et couvrant l'ensemble du territoire régional à l'échelle du 1/5 000. Un seul poste d'occupation du sol a été retenu : " Parcs urbains et grands jardins ".

(Superficie des parcs urbains accessibles au public) ÷ 1 000 habitants de la collectivité

Le terme " ville " désigne ici les limites administratives, c'est-à-dire l'ensemble de la surface communale, et non pas uniquement le tissu urbain continu*.

En savoir plus

- Les Éco Maires, 2010. *Guide de la biodiversité à l'usage des maires*. Collection les Guides éco maires. 16 p.
- LONG, N. & TONINI, B., 2012. " Les espaces verts urbains : étude exploratoire des pratiques et du ressenti des usagers ". VertigO [En ligne], 12 (2), consulté le 01 février 2013. URL : http://vertigo.revues.org/12931 ; DOI : 10.4000/vertigo.12931.
- Union nationale des entrepreneurs du paysage, 2008. *Les espaces verts de demain. Usages et attentes des Français*. UNEP - Ipsos.
- Union nationale des entrepreneurs du paysage, 2010. *Le jardin, un bien social à partager*. UNEP - Ipsos.

Sites internet

- Projet ARCH : http://www.arch-nordpasdecalais.fr
- Arras : http://www.arras.fr
- Boulogne-sur-Mer : http://www.ville-boulogne-sur-mer.fr
- Calais : http://www.calais.fr
- Cambrai : http://www.villedecambrai.com
- Douai : http://www.ville-douai.fr
- Dunkerque : http://www.ville-dunkerque.fr
- Lens : http://www.villedelens.fr
- Lille : http://www.mairie-lille.fr/cms
- Marcq-en-Baroeul : http://www.marcq-en-baroeul.org
- Maubeuge : http://www.ville-maubeuge.fr/php/index.php
- Mission Gestion Différenciée Nord-Pas de Calais : http://www.gestiondifferenciee.org
- Roubaix : http://www.ville-roubaix.fr
- Tourcoing : http://www.tourcoing.fr
- Valenciennes : http://www.valenciennes.fr/fr/accueil.html
- Villeneuve d'Ascq : http://www.villeneuvedascq.fr
- Wattrelos : http://www.ville-wattrelos.fr

Annexe 6

Observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais
Mesure de fragmentation urbaine

état des milieux



Mesure de la fragmentation urbaine

dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais

La fragmentation* est un phénomène qui touche particulièrement les zones densément urbanisées. Les communes n'ont pas toutes les moyens de lutter contre la fragmentation écologique. Au-delà de l'aspect financier, ce sont les surfaces non bâties disponibles (friches industrielles, jardins ouvriers, parcs, etc.), qu'elles soient déjà fonctionnelles ou à restaurer, qui constituent le potentiel écologique de la ville. Les projets de lutte contre la fragmentation s'inscrivent généralement au-delà du cadre communal (communauté de communes ou d'agglomération, SCoT, etc.).

Contexte

La fragmentation est le morcellement du paysage et des écosystèmes* en îlots (= petites surfaces isolées) par des barrières le plus souvent liées aux aménagements humains (routes, voies ferrées, urbanisation, certaines cultures, berges artificielles, etc.). En parallèle de la densification des réseaux et des infrastructures routières, le trafic a beaucoup augmenté au cours des dernières décennies. La fragmentation de ces zones naturelles constitue donc l'une des plus grandes menaces pour la biodiversité dans le territoire des collectivités.

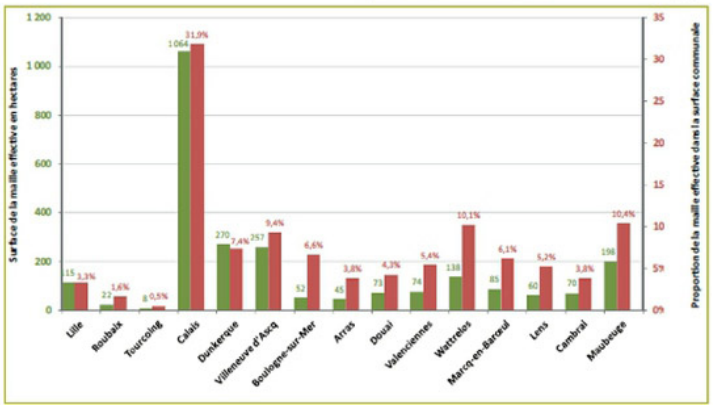
La fragmentation des espaces naturels a des incidences différentes selon les espèces. Par exemple, une route n'est pas forcément un obstacle pour les oiseaux ou les chauves-souris mais peut fragmenter des populations de tritons ou de hérissons. De même, une route peut ne pas avoir d'incidence sur la dispersion de plantes anémophiles*, mais peut avoir un effet néfaste sur celles dont la dispersion dépend, par exemple, de petits mammifères.

En contexte urbain, la fragmentation mesure le degré d'isolement des zones interstitielles non bâties.

La maille effective est un indicateur simple pour mesurer la fragmentation avec une interprétation claire et compréhensible. Plus les îlots sont connectés et plus la maille effective est large. Autrement dit, d'après JAEGER et al., *"la largeur de maille effective exprime la probabilité que deux points, choisis au hasard dans la région étudiée, soient connectés, c'est-à-dire non séparés par une barrière telle qu'une infrastructure de transport ou une zone urbanisée."*

Résultats

Part de la maille effective dans la surface communale des quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais
(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)



La mesure de la maille effective ne peut excéder la taille de la commune. Sur le graphique suivant, le pourcentage en rouge représente la probabilité que deux points, pris au hasard dans la ville, soient connectés. Dans la ville de Calais par exemple, il existe 31,9 % de chances que deux points pris au hasard soient dans le même espace naturel ou dans deux espaces naturels séparés de moins de 100 mètres.

La fragmentation en milieu urbain (maille effective), exemple de Calais *(source : ORB NPdC d'après ARCH, 2013)*



Ce qu'il faut en penser

L'État et le Conseil régional sont porteurs du projet de Trame verte et bleue*, inscrit dans le Schéma régional de cohérence écologique (SRCE)*, qui traduit la volonté de reconstituer un maillage naturel et multifonctionnel (écologique, ludique et paysager). Ce projet met en lien les réservoirs de biodiversité et les espaces à restaurer par le biais de corridors biologiques* afin de réduire la fragmentation. Il existe au niveau communal et intercommunal des projets de Trame verte et bleue à l'image de celui de l'agglomération lilloise, qui réunit pas moins de quarante communes. Des projets similaires existent pour les agglomérations de Dunkerque, d'Arras, de Douai, etc.

Ces projets dépassent les cadres communaux pour des raisons de cohérence car les limites biologiques (aires de répartition*, couloirs migratoires, etc.) ne se soucient guère des limites administratives. C'est pourquoi la hiérarchisation de ces trames, du niveau national au niveau le plus local, ainsi que la mise en cohérence des différents projets sont importantes.

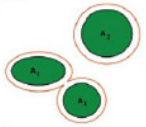
Le " Plan forêt " du Conseil régional vise notamment à développer la forêt urbaine et périurbaine par des aides financières aux propriétaires terriens, aux agriculteurs, aux collectivités locales, etc. Ce " Plan forêt " ne signifie pas la création d'une seule grande forêt mais vise plutôt à développer de multiples formes de boisements : haies, pré-vergers, linéaires boisés, bois, bosquets, boqueteaux, etc. reliant des petites forêts et réduisant ainsi la fragmentation.

Des actions régionales sont menées aussi par ENRx (Espaces naturels régionaux) comme le programme " Plantons le décor " qui propose depuis 1981 de planter diverses essences d'arbres et d'arbustes bien adaptées au Nord - Pas-de-Calais. ENRx a enrichi cette opération en l'accompagnant de plusieurs guides à la fois pratiques (taille des haies, choix des essences*, etc.) et informatifs (rôle des insectes, rôle des corridors biologiques, etc.).

Méthode

Les données utilisées pour l'élaboration de cet indicateur sont issues du projet ARCH. Il s'agit d'une cartographie des habitats naturels en 64 thèmes, couvrant l'ensemble du territoire régional à l'échelle du 1/5 000. Chacun des 64 thèmes a été qualifié en " éléments fragmentants " (réseaux routiers et ferrés, rivières, estuaires, etc.) ou non (forêts, pâtures, haies, etc.).

Les îlots séparés par moins de 100 mètres (exemple îlots A1) sont considérés comme un seul îlot dans le calcul des surfaces.



$$m_{eff} = \frac{1}{A_{tot}}\left(A_1^2 + A_2^2 + \ldots + A_i^2 + \ldots + A_n^2\right)$$

- m_{eff} est la maille effective
- n représente le nombre total d'espaces naturels
- A_{tot} représente la surface totale de tous les espaces naturels
- A_1 à A_n représentent les surfaces des îlots distincts

Le terme "ville" désigne ici les limites administratives, c'est-à-dire l'ensemble de la surface communale, et non pas uniquement le tissu urbain continu*.

En savoir plus

- Voir fiche 2012 " Principaux milieux naturels métropolitains détruits par artificialisation "
- Voir fiche 2012 " Pourcentage d'aires naturelles et semi-naturelles par rapport à la superficie totale de la ville "
- JAEGER, J., 2000. *Landscape division, splitting index, and effective mesh size : New measures of landscape fragmentation.* – Landscape ecology 15(2): 115-130.
- JAEGER, J., ESSWEIN, H., SCHWARZ-VON RAUMER, H.G., 2005. *Une mesure de la fragmentation du paysage : la largeur effective de maille meff.* 2 p.

Sites internet

- Projet ARCH : http://www.arch.nordpasdecalais.fr
- Plantons le décor : http://www.enrx.fr/epid/Plantons-Le-Decor
- Arras : http://www.arras.fr
- Boulogne-sur-Mer : http://www.ville-boulogne-sur-mer.fr
- Calais : http://www.calais.fr
- Cambrai : http://www.villedecambrai.com
- Douai : http://www.ville-douai.fr
- Dunkerque : http://www.ville-dunkerque.fr
- Lens : http://www.villedelens.fr
- Lille : http://www.mairie-lille.fr/cms
- Marcq-en-Barœul : http://www.marcq-en-baroeul.org
- Maubeuge : http://www.ville-maubeuge.fr/php/index.php
- Roubaix : http://www.ville-roubaix.fr
- Tourcoing : http://www.tourcoing.fr
- Valenciennes : http://www.valenciennes.fr/fr/accueil.html
- Villeneuve d'Ascq : http://www.villeneuvedascq.fr
- Wattrelos : http://www.ville-wattrelos.fr

Annexe 7

Observatoire de biodiversité de Nord - Pas-de-Calais - Nombre d'espèces animales et végétales

faune & flore



Nombre d'espèces animales

dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais

Les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais abritent de nombreuses espèces animales malgré la dominance de l'urbanisation. En effet, 66 % des espèces d'Oiseaux, 46 % des Papillons de jour, 55 % des Libellules et Demoiselles et 45 % des Criquets présents sur le territoire régional se rencontrent en milieu urbain. Il s'agit, par contre, d'espèces souvent généralistes et donc globalement communes.

Contexte

Malgré la présence de nombreuses nuisances (bruits, éclairages, présence d'humains, etc.), les villes sont loin d'être des territoires sans animaux sauvages. Les zones urbaines sont des espaces où les contraintes sont différentes par rapport à celles des milieux naturels* (prédateurs différents ou moins nombreux, moins de compétiteurs écologiques, etc.). Certaines espèces animales peuvent donc y trouver des niches écologiques disponibles.

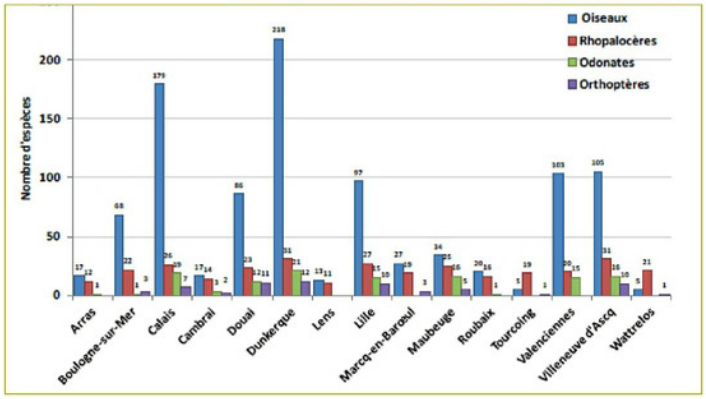
Cet indicateur permet de mesurer la capacité d'accueil en espèces animales des quinze communes les plus peuplées de la région. Les données prises en compte dans le cadre de cet indicateur concernent les espèces les mieux renseignées : Oiseaux, Rhopalocères (Papillons de jour), Odonates (Libellules et Demoiselles) et Orthoptères (Sauterelles et Criquets). Ces espèces sont recensées sur le territoire communal, tant dans les zones urbanisées que dans les zones périurbaines ou périphériques qui peuvent comprendre des zones naturelles ou assimilées. Seule la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces observées par commune et par groupe faunistique, est prise en compte.

Résultats

Les quinze communes de la région sélectionnées comptent au total :

- 257 espèces d'Oiseaux, soit 66 % des Oiseaux observés à l'échelle régionale (390 espèces) ;
- 34 espèces de Papillons de jour, ce qui représente 45 % des espèces observées dans le Nord - Pas-de-Calais (76 espèces) ;
- 31 espèces de Libellules et de Demoiselles (55 % des espèces observées sur le territoire régional) ;
- 20 espèces de Criquets et Sauterelles (45 % des espèces observées sur le territoire régional).

Nombre d'espèces recensées entre 1990 et 2012 pour quatre groupes faunistiques : les Oiseaux, les Papillons de jour (Rhopalocères), les Libellules et les Demoiselles (Odonates) et les Criquets et Sauterelles (Orthoptères) dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais *(source : ORB NPdC d'après SIRF, 2013)*



Ce qu'il faut en penser

Ces résultats constituent principalement un état zéro de la connaissance dans les communes les plus peuplées afin de mesurer leurs évolutions futures. Ils ne peuvent en aucun cas être comparés entre eux, pour plusieurs raisons :

- les différents groupes présentés ne bénéficient pas du même niveau de connaissance ; les Oiseaux, par exemple, sont étudiés partout depuis longtemps et sont mieux connus que beaucoup d'autres groupes ;
- la pression de prospection n'est pas homogène sur le territoire régional. Les écarts observés entre les communes ne relèvent donc pas de la seule différence de richesse faunistique ;
- la localisation géographique de la ville est un facteur important à prendre en compte. Ainsi les villes situées sur le littoral abriteront plus d'espèces que celles situées à l'intérieur de la région parce que leurs espaces possèdent des potentialités plus élevées (couloirs migratoires, diversité des milieux, etc.) ;
- enfin, d'autres facteurs influencent le nombre d'espèces présentes dans les villes : superficie, taux d'artificialisation*, présence ou non d'actions en faveur de la biodiversité*, etc.

Au-delà des précautions d'interprétation à respecter, il est possible de constater que le nombre d'espèces recensées sur le territoire des quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais est relativement important. Néanmoins, la plupart des espèces observées sont des espèces dites généralistes (espèces capables de prospérer dans un grand nombre d'habitats naturels*) et peu menacées telles que : la Pie bavarde (*Pica pica*), le Merle noir (*Turdus merula*), le Rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*), etc. Certaines espèces, toutefois, sont relativement rares et remarquables à l'échelle régionale : c'est le cas notamment du Petit Nacré (*Issoria lathonia*), Papillon de jour, présent sur le territoire communal de Dunkerque. Autre exemple remarquable : la nidification d'un couple de Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) en plein cœur de la ville de Lille en 2011.

Restaurer et valoriser la nature urbaine est devenu essentiel dans un contexte d'érosion de la biodiversité. Le plan " nature en ville " issu du Grenelle* de l'environnement vise à promouvoir une ville durable (adaptation au changement climatique, amélioration énergétique, maintien de la biodiversité, etc.). Celui-ci a pour objectif, entre autres, de développer une Trame verte et bleue* à l'intérieur des villes afin de reconnecter les espaces naturels entre eux et permettre aux espèces de plantes et d'animaux de circuler plus librement.

De plus en plus de communes du Nord - Pas-de-Calais ont conscience de ces enjeux et favorisent, grâce à diverses actions, le retour et l'installation d'une certaine biodiversité en ville. La gestion différenciée des espaces verts, l'installation de nichoirs ou la création de mares, la restauration de milieux naturels et enfin la création d'une véritable trame verte et bleue urbaine participent à l'enrichissement de la biodiversité des villes et à l'installation d'espèces plus exigeantes en termes d'habitats que les espèces généralistes.

Toutefois, bien qu'essentielles, ces mesures ne doivent pas faire oublier que la première cause de disparition de la faune est la destruction de ses habitats par, justement, l'urbanisation toujours croissante. Il convient donc avant tout de diminuer l'artificialisation des terres afin de préserver les espèces qui ne s'adapteront pas à la vie urbaine.

Méthode

Les données traitées ici sont issues de la base de données faunistiques régionales SIRF (Système d'information régional sur la faune) du pôle " faune " du Réseau des acteurs de l'information naturaliste (RAIN), gérée par le Groupe ornithologique et naturaliste du Nord - Pas-de-Calais. L'analyse porte sur les observations effectuées de 1990 à 2012 dans les communes les plus peuplées de la région Nord - Pas-de-Calais. Les données intègrent l'ensemble du cycle biologique (reproduction, hivernage, migration, etc.).

Le terme " ville " désigne ici les limites administratives, c'est-à-dire l'ensemble de la surface communale, et non pas uniquement le tissu urbain continu*.

En savoir plus

- Voir fiches 2010 et 2011 " Nombre d'espèces animales de la région "

Sites internet

- Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions (CERTU) : http://www.certu.fr
- Centre national de la recherche scientifique (CNRS) : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbioville/bioville.html
- Groupe ornithologique et naturaliste du Nord - Pas-de-Calais (GON) : http://www.gon.fr
- Ministère en charge de l'Environnement : http://www.developpement-durable.gouv.fr/plan-nature-en-ville
- Système d'information régional sur la faune (SIRF) : http://www.sirf.eu

* cf. glossaire



Nombre d'espèces végétales

dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais

Dans toutes les villes, il existe des zones peu utilisées ou inexploitées par l'Homme qui constituent des refuges pour certaines espèces animales et végétales sauvages : remparts, parcs et jardins, friches, zones naturelles inconstructibles, etc.
Lorsque ces espaces comportent des milieux exceptionnels comme ceux qui sont caractéristiques du littoral, le nombre d'espèces présentes peut être très important malgré la proximité de l'urbanisation. C'est par exemple le cas de Dunkerque et de Calais, qui abritent respectivement 411 et 404 espèces de plantes supérieures indigènes*.

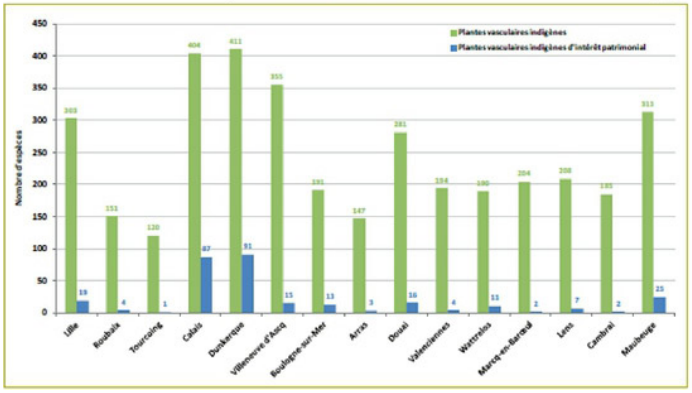
Contexte

La notion d'indigénat recouvre toutes les espèces sauvages dont la présence est attestée ou présumée avant l'an 1500, date à partir de laquelle les échanges commerciaux, notamment avec le continent nord-américain, ont permis l'introduction de nombreuses espèces exotiques sur le territoire régional. Les plantes de jardin et de balcon, les plantations urbaines, etc. ne sont donc pas comptabilisées puisque leur caractère sauvage n'est pas avéré.

Selon l'état des connaissances de 2011, la région Nord - Pas-de-Calais abrite 1 138 espèces végétales indigènes, en comptant les plantes à fleurs (Angiospermes*), les Conifères, et les plantes vasculaires* se propageant par des spores comme les fougères et les prêles. Les mousses (ou Bryophytes) n'entrent pas dans ce bilan (il ne s'agit pas de plantes vasculaires). À cette même date, la France comptait environ 4 900 espèces indigènes.

Résultats

Nombres totaux de plantes vasculaires indigènes et d'espèces d'intérêt patrimonial présentes depuis 1990 dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais *(source : ORB NPdC d'après CBNBl, 2013)*



Ce qu'il faut en penser

Le nombre d'espèces de plantes vasculaires indigènes est un élément important pour apprécier la qualité d'un écosystème*. À grande échelle, elle est le plus souvent corrélée à une grande diversité d'habitats*, comme par exemple sur le littoral (dunes, zones humides* arrière littorales, tourbières*, falaises, levées de galets, etc.) ou sur les coteaux calcaires* (pelouses*, bois, lisières, etc.). Elle résulte de la multiplicité des conditions écologiques locales : variété des substrats* géologiques, des conditions hygrométriques, des microclimats, des modes d'exploitation des sols par l'Homme. La richesse spécifique* est moins élevée sur les territoires uniformisés comme les zones de grandes cultures ou les secteurs urbanisés.

Méthode

Les données sur les espèces de plantes vasculaires indigènes sont issues de Digitale 2, la base de données du Conservatoire botanique national de Bailleul. Les espèces listées dans cet indicateur ont été observées dans les quinze communes de référence entre 1990 et 2012. Le calcul de la richesse spécifique végétale des quinze villes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais n'inclut ni les espèces non vasculaires telles que les mousses ou les algues, ni les espèces exotiques.

Le terme " ville " désigne ici les limites administratives, c'est-à-dire l'ensemble de la surface communale, et non pas uniquement le tissu urbain continu*.

En savoir plus

- Voir fiche 2012 " Nombre d'espèces végétales de la région "
- DIGITALE (Système d'information floristique et phytosociologique) [Serveur]. Bailleul : Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 1994-2012 (date d'extraction: 14/02/2013)

Sites internet

- Arras : http://www.arras.fr
- Boulogne-sur-Mer : http://www.ville-boulogne-sur-mer.fr
- Calais : http://www.calais.fr
- Cambrai : http://www.villedecambrai.com
- Conservatoire botanique national de Bailleul (CBNBl) : www.cbnbl.org
- Douai : http://www.ville-douai.fr
- Dunkerque : http://www.ville-dunkerque.fr
- Lens : http://www.villedelens.fr
- Lille : http://www.mairie-lille.fr/cms
- Marcq-en-Baroeul : http://www.marcq-en-baroeul.org
- Maubeuge : http://www.ville-maubeuge.fr/php/index.php
- Roubaix : http://www.ville-roubaix.fr
- Tourcoing : http://www.tourcoing.fr
- Valenciennes : http://www.valenciennes.fr/fr/accueil.html
- Villeneuve d'Ascq : http://www.villeneuvedascq.fr
- Wattrelos : http://www.ville-wattrelos.fr

Annexe 8

Référentiel européen de la ville durable
Fiche indicateur : Taux de surface imperméabilisées

Leaflet indicator
Reference Framework for Sustainable Cities

Soil sealing rate
Key recommended indicator

General information	
Level 2 question linked	Safeguard and encourage ecological corridors across the whole territory
Indicator name	Soil sealing rate
Definition of the indicator	This indicator is the soil-sealing rate. Soil sealing includes: • Built area • Road and pavement • Mineral place • Parking If the surface of permeable mineral areas is known, it could be substracted. Surface of plant flat roof could be substracted.
Justification: *Why does the indicator allow observing the question linked?*	Urban sprawl affects the sealing of land and involves fragmentation of habitats. In some cases, sealing of land contributes to flooding as well as endangering biodiversity.

Data and measures	
Data requirements (if possible: data source) **Operational measurement/formula (as simple and direct as possible – to be discussed: synthesized indicators, indicators for interdependencies)**	The Corine Land cover data can be used. However, the mesh is quite big (250 000 square meters). In addition, these data exist only in 1990, 2000 and 2006. Local data could be used. = 100 *(Soil sealing / surface of the city) = (Protection area in the city)/(City area)
Measurement unit	Percentage
Example of calculation	
Collection interval	2 years
Relevance and limits/precautions: *What can be observed and what cannot be observed (strengths and*	This indicator depends on the administrative delimitation of the city. The agglomeration delimitation can be used.

weaknesses)?	

Links and references

http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover.html

EU SDS – Sustainable Development Strategy

- Council of the European Union (European Council), Conclusions 10/11 December 2009, Doc. EUCO 6/09 (link)
- Council of the European Union (Presidency), 2009 Review of the EU Sustainable Development Strategy – Presidency Report, 1 December 2009, Doc. 16818/09 (link)
- European Commission, Mainstreaming sustainable development into EU policies: 2009 Review of the European Union Strategy for Sustainable Development, 24 July 2009, COM(2009) 400 final (link)
- Eurostat, Sustainable development in the European Union – 2009 monitoring report of the EU sustainable development strategy (link)
- Council of the European Union (European Council), Review of the EU Sustainable Development Strategy (EU SDS) – Renewed Strategy, 26 June 2006, Doc. 10917/06 (link)

EU Biodiversity

- *Council of the European Union (European Council)*, Conclusions 25/26 March 2010, Doc. EUCO 7/10 (link)
- *Council of the European Union (Environment)*, Biodiversity: Post-2010 – EU and global vision and targets and international Access to generic resources and Benefit Sharing (ABS) regime – Council conclusions, 16 March 2010, Doc. 7536/10 (link)

ECI – European Common Indicators

- An indicator system based on 10 themes/headline indicators which synthesise various parameters; linked to Aarlborg Charter and Local Agenda 21; launched by the Environment Commissioner Margot Wallström and developed by a Working Group of the Expert Group on the Urban Environment
- *Ambiente Italia*, European Common Indicators (ECI) – Towards a local sustainability profile, September 2003 (link, methodology sheets: link)

European Green Captial Awards (EGCA): For example, soil sealing per inhabitant like in the EGCA (soil sealing data are freely available for the whole of Europe (link))

USER'S MANUAL FOR THE CITY BIODIVERSITY INDEX, p.16, 20
http://www.cbd.int/authorities/gettinginvolved/cbi.shtml

8.1 – Référentiel européen de la ville durable
Fiche indicateur : Densité d'arbres hors espaces verts



Leaflet indicator
Reference Framework for Sustainable Cities

Trees density out of public garden and green zone

General information	
Level 2 question linked	Safeguard and encourage ecological corridors across the whole territory
Indicator name	Trees density out of public garden and green zone.
Definition of the indicator	
Justification: *Why does the indicator allow observing the question linked?*	Trees can be quite easy to count. This indicator is quite the same than the indicator used in Malaga and for the 13_47 question. However, to measure connectivity, it will be interesting to understand the tree density out of green zone and garden.

Data and measures	
Data requirements (if possible: data source) **Operational measurement/formula (as simple and direct as possible – to be discussed: synthesized indicators, indicators for interdependencies)**	Number of trees referenced by the city (it would be public trees) out of public garden and green zone. Shrub will be not taken into consideration. Urban area
Measurement unit	Number/m²
Example of calculation	
Collection interval	2 years
Relevance and limits/precautions: *What can be observed and what cannot be observed (strengths and weaknesses)?*	This indicator results should be shown on a map.

Links and references

EU Biodiversity

- *Council of the European Union (European Council)*, Conclusions 25/26 March 2010, Doc. EUCO 7/10 (link)
- *Council of the European Union (Environment)*, Biodiversity: Post-2010 – EU and global vision and targets and international Access to generic resources and Benefit Sharing (ABS) regime – Council conclusions, 16 March 2010, Doc. 7536/10 (link)
- SISTEMA DE INDICADORES URBANOS AGENDA 21, Ayuntamiento de Malaga, 2008

Trees density out of public garden and green zone

General information	
Level 2 question linked	Safeguard and encourage ecological corridors across the whole territory
Indicator name	Trees density out of public garden and green zone.
Definition of the indicator	
Justification: *Why does the indicator allow observing the question linked?*	Trees can be quite easy to count. This indicator is quite the same than the indicator used in Malaga and for the 13_47 question. However, to measure connectivity, it will be interesting to understand the tree density out of green zone and garden.

Data and measures	
Data requirements (if possible: data source) **Operational measurement/formula (as simple and direct as possible – to be discussed: synthesized indicators, indicators for interdependencies)**	Number of trees referenced by the city (it would be public trees) out of public garden and green zone. Shrub will be not taken into consideration. Urban area
Measurement unit	Number/m²
Example of calculation	
Collection interval	2 years
Relevance and limits/precautions: *What can be observed and what cannot be observed (strengths and weaknesses)?*	This indicator results should be shown on a map.

ANNEXE 9

Sélection de 12 grandes villes de France métropolitaine et région Île de France

Territoires

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Composition du territoire d'étude			
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune
Aix-en-Provence	City Com. : 34 Sup. : 1 294 km²	CA du Pays d'Aix-en-Provence (241 300 276) Com. : 34 Sup. : 1 294 km² Pop. 2012 : 358 000 hab – Densité : 277 hab/km²	Aix-en-Provence Sup. : 188 km² Pop. 2012 : 141 000 hab Densité : 752 hab/km²
Bordeaux	Large Urban Zone Com. : 191 Sup. : 3 900 km²	Bordeaux métropole (243 300 316) Com. : 28 Sup. : 576 km² Pop. 2012 : 737 000 hab – Densité : 1 280 hab/km²	Bordeaux Sup. : 50 km² Pop. 2012 : 241 000 hab Densité : 4 859 hab/km²
Grenoble	Large Urban Zone Com. : 119 Sup. : 1 599 km²	Grenoble-Alpes-Métropole (200 040 715) Com. : 49 Sup. : 543 km² Pop. 2012 : 440 000 hab – Densité : 811 hab/km²	Grenoble Sup. : 18 km² Pop. 2012 : 158 000 hab Densité : 8 602 hab/km²
Lille	City Com. : 85 Sup. : 615 km²	Métropole européenne de Lille (245 900 410) Com. : 85 Sup. : 615 km² Pop. 2012 : 1 120 000 hab – Densité : 1 821 hab/km²	Lille Sup. : 35 km² Pop. 2012 : 229 000 hab Densité : 6 549 hab/km²
Limoges	Large Urban Zone Com. : 78 Sup. : 1 833 km²	CA Limoges métropole (248 719 312) Com. : 19 Sup. : 505 km² Pop. 2012 : 207 000 hab – Densité : 410 hab/km²	Limoges Sup. : 80 km² Pop. 2012 : 136 000 hab Densité : 1 710 hab/km²
Lyon	Large Urban Zone Com. : 292 Sup. : 3 314 km²	Métropole de Lyon (200 046 977) Com. : 59 Sup. : 537 km² Pop. 2012 : 1 325 000 hab – Densité : 2 465 hab/km²	Lyon Arrondissements : 9 Sup. : 48 km² Pop. 2012 : 496 000 hab Densité : 10 362 hab/km²
Marseille	City Com. : 18 Sup. : 604 km²	CU de Marseille Provence Métropole (241 300 391) Com. : 18 Sup. : 604 km² Pop. 2012 : 1 046 000 hab – Densité : 1 730 hab/km²	Marseille Arrondissements : 16 Sup. : 238 km² Pop. 2012 : 853 000 hab Densité : 3 575 hab/km²
Montpellier	Large Urban Zone Com. : 38 Sup. : 591 km²	Montpellier Méditerranée Métropole (243 400 017) Com. : 31 Sup. : 439 km² Pop. 2012 : 434 000 hab – Densité : 989 hab/km²	Montpellier Sup. : 57 km² Pop. 2012 : 268 000 hab Densité : 4 701 hab/km²
Nancy	Large Urban Zone Com. : 225 Sup. : 1 835 km²	CU du Grand Nancy (245 400 676) Com. : 20 Sup. : 143 km² Pop. 2012 : 256 000 hab – Densité : 1 794 hab/km²	Nancy Sup. : 15 km² Pop. 2012 : 105 000 hab Densité : 7 029 hab/km²
Nantes	Large Urban Zone Com. : 82 Sup. : 2 303 km²	Nantes Métropole (244 400 404) Com. : 24 Sup. : 534 km² Pop. 2012 : 603 000 hab – Densité : 1 129 hab/km²	Nantes Sup. : 66 km² Pop. 2012 : 292 000 hab Densité : 4 442 hab/km²
Orléans	Large Urban Zone Com. : 90 Sup. : 2 068 km²	CA Orléans Val de Loire (244 500 468) Com. : 22 Sup. : 335 km² Pop. 2012 : 275 000 hab – Densité : 820 hab/km²	Orléans Sup. : 28 km² Pop. 2012 : 114 000 hab Densité : 4 137 hab/km²
Rennes	Large Urban Zone Com. : 141 Sup. : 2 556 km²	Rennes Métropole (243 500 139) Com. : 43 Sup. : 711 km² Pop. 2012 : 421 000 hab – Densité : 592 hab/km²	Rennes Sup. : 50 km² Pop. 2012 : 210 000 hab Densité : 4 171 hab/km²
Ensemble	Com. : 1 393 Sup. : 22 512 km²	Com. : 432 Sup. : 6 837 km² Pop. 2012 : 7 221 000 hab – Densité : 1 056 hab/km²	Com. : 12 Sup. : 872 km² Pop. 2012 : 3 211 000 hab Densité : 3 719 hab/km²

Les superficies sont calculées dans la BD TOPO®.
Les populations sont celles du recensement 2012 de l'Insee.
1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissements Publics de Coopération Intercommunale au 01/01/2015 sauf Aix-en-Provence (au 01/01/2013)

La région Île-de-France

Composition du territoire d'étude				
Territoire	Nombre de communes	Superficie (km²)	Population 2012 (hab)	Densité (hab/km²)
Paris (75)	1*	105	2 241 000	21 258
Seine-et-Marne (77)	513	5 924	1 354 000	229
Yvelines (78)	262	2 306	1 412 000	618
Essonne (91)	196	1 819	1 238 000	686
Hauts-de-Seine (92)	36	176	1 586 000	9 034
Seine-Saint-Denis (93)	40	237	1 539 000	6 515
Val-de-Marne (94)	47	245	1 342 000	5 476
Val-d'Oise (95)	185	1 254	1 187 000	953
Région Ile-de-France (11)	1 280	12 065	11 899 000	991

* 20 arrondissements

Annexe 10

Taux d'imperméabilisation des sols

EFESE[U]_Indicateurs – Taux d'imperméabilisation des sols pour une sélection de grandes villes

Sources

MEDDE/CGDD/SOeS

Couches haute résolution 2012

Bases de données géographiques sur l'occupation des sols

Lien : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/th/territoires-1.html

Les couches haute résolution sont des couches thématiques d'occupation des sols, produites par le service Territoire du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Ce programme est coordonné par la Commission européenne et associe l'Agence spatiale européenne, l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que les États membres.

Ces données sont produites automatiquement à partir d'images satellite. Elles sont ensuite vérifiées puis améliorées manuellement. La production et la diffusion de ces couches haute résolution sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Pour la France, le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement a la responsabilité des vérifications et des améliorations de ces produits.

Le taux d'imperméabilisation des sols cartographie le pourcentage des sols imperméabilisés par pixels de 20 m de côté. Le revêtement des sols imperméabilisés, issu de l'artificialisation des terres, est maintenu en général sur de longues périodes. La surface minimale cartographiée est de 20 m x 20 m.

EEA

European Environment Agency

Urban morphological zones 2006

Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

METHODOLOGY

An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones:

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes: 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core classes, cut by 300m buffer; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN

Institut national de l'information géographique et forestière

Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO®

La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

INSEE Institut national de la statistique et des études économiques
Lien : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/intercommunalite.htm

Intercommunalité Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales.

Territoires

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Composition du territoire d'étude			
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune
Aix-en-Provence	City Com. : 34 Sup. : 129 186 ha	CA du Pays d'Aix-en-Provence (241 300 276) Com. : 34 Sup. : 129 186 ha Pop. 2012 : 357 988 – Densité : 277 hab/km²	Aix-en-Provence Sup. : 18 748 ha Pop. 2012 : 141 148
Bordeaux	Large Urban Zone Com. : 191 Sup. : 388 352 ha	Bordeaux métropole (243 300 316) Com. : 28 Sup. : 57 623 ha Pop. 2012 :737 492 – Densité : 1 275 hab/km²	Bordeaux Sup. : 4 965 ha Pop. 2012 : 241 287
Grenoble	Large Urban Zone Com. : 119 Sup. : 159 602 ha	Grenoble-Alpes-Métropole (200 040 715) Com. : 49 Sup. : 64 226 ha Pop. 2012 : 439 974 – Densité : 807 hab/km²	Grenoble Sup. : 1 841 ha Pop. 2012 : 158 346
Lille	City Com. : 85 Sup. : 61 375 ha	Métropole européenne de Lille (245 900 410) Com. : 85 Sup. : 61 375 ha Pop. 2012 : 1 119 877 – Densité : 1 831 hab/km²	Lille Sup. : 3 491 ha Pop. 2012 : 228 652
Limoges	Large Urban Zone Com. : 78 Sup. : 182 986 ha	CA Limoges métropole (248 719 312) Com. : 19 Sup. : 60 482 ha Pop. 2012 : 206 813 – Densité : 411 hab/km²	Limoges Sup. : 7 966 ha Pop. 2012 : 136 221
Lyon	Large Urban Zone Com. : 292 Sup. : 330 923 ha	Métropole de Lyon (200 046 977) Com. : 59 Sup. : 53 745 ha Pop. 2012 : 1 324 637 – Densité : 2 464 hab/km²	Lyon Arrondissements : 9 Sup. : 4 790 ha Pop. 2012 : 496 343
Marseille	City Com. : 18 Sup. : 60 203 ha	CU de Marseille Provence Métropole (241 300 391) Com. : 18 Sup. : 60 203 ha Pop. 2012 : 1 046 823 – Densité : 1 729 hab/km²	Marseille Arrondissements : 16 Sup. : 23 750 ha Pop. 2012 : 8626 16
Montpellier	Large Urban Zone Com. : 38 Sup. : 58 914 ha	Montpellier Méditerranée Métropole (243 400 017) Com. : 31 Sup. : 43 787 ha Pop. 2012 : 434 101 – Densité : 1 029 hab/km²	Montpellier Sup. : 5 711 ha Pop. 2012 : 268 456
Nancy	Large Urban Zone Com. : 225 Sup. : 183 191 ha	CU du Grand Nancy (245 400 676) Com. : 20 Sup. : 14 276 ha Pop. 2012 : 256 043 – Densité : 1 799 hab/km²	Nancy Sup. : 1 495 ha Pop. 2012 : 105 067
Nantes	Large Urban Zone Com. : 82 Sup. : 230 076 ha	Nantes Métropole (244 400 404) Com. : 24 Sup. : 53 386 ha Pop. 2012 : 602 923 – Densité : 1 152 hab/km²	Nantes Sup. : 6 564 ha Pop. 2012 : 291 604
Orléans	Large Urban Zone Com. : 90 Sup. : 206 495 ha	CA Orléans Val de Loire (244 500 468) Com. : 22 Sup. : 33 545 ha Pop. 2012 : 276 037 – Densité : 823 hab/km²	Orléans Sup. : 2 762 ha Pop. 2012 : 114 286
Rennes	Large Urban Zone Com. : 141 Sup. : 295 343 ha	Rennes Métropole (243 500 139) Com. : 43 Sup. : 71 087 ha Pop. 2012 : 420 717 – Densité : 597 hab/km²	Rennes Sup. : 6 031 ha Pop. 2012 : 209 860

Les superficies sont calculées par intersection entre l'Urban Atlas et les limites des communes (et arrondissements) de la BD TOPO®.
Les populations sont celles du recensement 2012 de l'Insee.
1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissements Publics de Coopération Intercommunale au 01/01/2015 sauf Aix-en-Provence (au 01/01/2013)

Méthode

Taux (%) d'imperméabilisation des sols

La superficie des sols considérés comme imperméables est calculée par intersection entre la couche haute résolution (polygonisée) et les différents périmètres de territoires. Ensuite, le taux (%) d'imperméabilisation des sols a été calculé en rapportant la superficie des sols considérés comme imperméables à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ)

OBJETS POUR LESQUELS LE SOL EST CONSIDÉRÉ COMME ÉTANT IMPERMÉABLE

- Bâtiment.
- Infrastructure de transport (aéroport, port, aire de triage, parking).
- Zone industrielle et commerciale, usine, bâtiment agricole.
- Parc d'attraction (sauf zone associée couverte exclusivement de végétation).
- Zone de travaux comportant des infrastructures visibles en cours de construction.
- Cimetière, infrastructure sportive, camping (route et infrastructure, sauf zone associée couverte – exclusivement de végétation).
- Routes et voies ferrées associées à d'autres surfaces imperméabilisées (aucun vide n'a été rempli manuellement, aucune route n'a été numérisée).
- Rive artificialisée de cours d'eau ou de plan d'eau.

OBJETS POUR LESQUELS LE SOL N'EST PAS CONSIDÉRÉ COMME ÉTANT IMPERMÉABLE

- Mine à ciel ouvert, carrière.
- Zone de travaux ne comportant pas d'infrastructure visible en cours de construction.
- Surface en herbe utilisée pour la pratique d'un sport.
- Sol nu, zone de rochers, zone couverte d'une végétation clairsemée.
- Sable, dune, sablière.
- Glacier, névé, surface d'eau.
- Voie ferrée.

Tableaux

Taux (%) d'imperméabilisation des sols pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	6,2	6,2	10,4	
Bordeaux	6,6	27,9	65,5	
Grenoble	5,3	11,3	70,6	
Lille	26,0	26,0	68,4	
Limoges	3,1	8,5	32,9	
Lyon	11,6	38,3	73,6	
Marseille	23,6	23,6	35,8	
Montpellier	17,6	19,3	54,1	
Nancy	4,9	30,0	77,1	
Nantes	8,0	22,3	55,8	
Orléans	5,0	21,8	58,0	
Rennes	5,4	11,8	49,8	
Moyenne pondérée[4]		18,4	40,8	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain

Références

Urban morphological zones 2006, European Environment Agency

Graphiques

Taux (%) d'imperméabilisation des sols 2012

Basé sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015

Annexe 11

Proportion des masses d'eau

Sources

MEDDE/CGDD/SOeS

Couches haute résolution 2012

Bases de données géographiques sur l'occupation des sols

Lien : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/th/territoires-1.html

Les couches haute résolution sont des couches thématiques d'occupation des sols, produites par le service Territoire du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Ce programme est coordonné par la Commission européenne et associe l'Agence spatiale européenne, l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que les États membres.

Ces données sont produites automatiquement à partir d'images satellite. Elles sont ensuite vérifiées puis améliorées manuellement. La production et la diffusion de ces couches haute résolution sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Pour la France, le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement a la responsabilité des vérifications et des améliorations de ces produits.

ZONES HUMIDES

Les zones humides (ou zones temporairement couvertes d'eau en 2012) cartographient la présence ou non de zones humides. Ces surfaces sont identifiées à partir d'analyses d'images satellite prises à différentes saisons (de 4 à 5 images en moyenne) et différentes années.

Les zones humides sont définies comme étant les zones où l'eau est le premier facteur d'influence de l'environnement et de la faune et de la flore associées. Elles surviennent là où la nappe phréatique affleure ou est proche de la surface du sol, ou quand la terre est recouverte d'une faible épaisseur d'eau. Les zones cartographiées sont recouvertes d'eau au moins une fois l'une des années observées ou présentent une humidité importante et constante. Elles sont situées dans des zones où la pente est inférieure à 10 %. Enfin, les zones cartographiées sont majoritairement couvertes d'hydrophytes ou de macrophytes.

SURFACES EN EAU PERMANENTES

Les surfaces en eau permanentes cartographient la présence ou non de surfaces en eau permanentes. Ces surfaces sont identifiées à partir d'analyses d'images satellite prises à différentes saisons (de 4 à 5 images en moyenne) et différentes années. Sont ainsi cartographiées les surfaces en eau sur plusieurs dates de l'analyse.

MILIEUX HUMIDES

On appelle milieux humides les zones humides et les surfaces en eau permanentes.

EEA

European Environment Agency

Urban morphological zones 2006

Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

METHODOLOGY

An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones:

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes: 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core classes, cut by 300m buffer; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN

Institut national de l'information géographique et forestière

Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO®

La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

Méthode

Superficie et part (%) des zones humides

La superficie des zones humides a été calculée par intersection entre la couche haute résolution (polygonisée) et les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part (%) des zones humides a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

OCCUPATION DU SOL CLASSÉE EN ZONE HUMIDE

- Zones humides associées à des surfaces en eau permanentes.
- Zones humides non associées à des surfaces en eau permanentes.
- Zones humides couvertes de végétation macrophyte.
- Zones humides non couvertes de végétation macrophyte.
- Tourbières en eau.
- Zones humides côtières, marais saumâtre, saline, zone intertidale.

OCCUPATION DU SOL NON CLASSÉE EN ZONE HUMIDE

- Surface détrempée en raison de la fonte de neige ou de forte pluie.
- Surfaces en eau permanentes (rivières, lacs, lagons, estuaires).
- Rizières.
- Étangs à poissons.
- Tourbières sèches.
- Roselières sèches côtières.
- Zones de buissons et de forêts en transition.
- Tourbière à flanc de coteau.
- Prairies et tourbières cultivées.

Superficie et part (%) des surfaces en eau permanentes

La superficie des surfaces en eau permanentes a été calculée par intersection entre la couche haute résolution (polygonisée) et les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part (%) des surfaces en eau permanentes a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

OCCUPATION DU SOL CLASSÉE EN SURFACE EN EAU PERMANENTE

- Lacs, étangs et bassins artificiels.
- Rivières, canaux constamment maintenus en eau.
- Surfaces en eau côtières.
- Lagons, estuaires.

OCCUPATION DU SOL NON CLASSÉE EN SURFACE EN EAU PERMANENTE

- Mers et océans.
- Surfaces détrempées ou inondées temporairement.
- Bassins de stockage de déchets.

Superficie et part (%) des milieux humides

La superficie des milieux humides a été calculée par sommation des superficies en zones humides et des surfaces en eau permanentes sur les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part (%) des milieux humides a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

Tableaux

Zones humides

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Superficie (m²) des zones humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	4 014 399	4 014 399	122 862	
Bordeaux	20 086 304	10 035 606	1 311 136	
Grenoble	5 454 200	2 433 206	189 632	
Lille	2 312 725	2 312 725	224 864	
Limoges	7 840 416	1 120 676	259 377	
Lyon	38 060 012	3 298 895	432 184	
Marseille	3 619 941	3 619 941	826 427	
Montpellier	12 635 846	5 359 516	121 674	
Nancy	13 230 822	944 676	158 340	
Nantes	107 759 697	31 086 726	1 137 560	
Orléans	15 286 639	2 120 037	271 760	
Rennes	10 850 035	2 042 865	284 022	
Moyenne	20 111 753	6 699 106	444 985	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des zones humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	0,3	0,3	0,1	
Bordeaux	0,5	1,7	2,6	
Grenoble	0,3	0,4	1,0	
Lille	0,4	0,4	0,6	
Limoges	0,4	0,2	0,3	
Lyon	1,1	0,6	0,9	
Marseille	0,6	0,6	0,3	
Montpellier	2,2	1,2	0,2	
Nancy	0,7	0,7	1,1	
Nantes	4,7	5,8	1,7	
Orléans	0,7	0,6	1,0	
Rennes	0,4	0,3	0,6	
Moyenne pondérée[4]	1,1	1,0	0,6	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Surfaces en eau permanentes

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Superficie (m²) des surfaces en eau permanentes pour une sélection de grandes villes de France metropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	9 362 609	9 362 609	67 154	
Bordeaux	85 669 101	29 496 473	5 405 892	
Grenoble	19 535 960	5 069 286	664 977	
Lille	3 256 730	3 256 730	298 277	
Limoges	11 992 671	2 708 703	536 126	
Lyon	53 711 086	18 681 468	3 093 347	
Marseille	7 028 649	7 028 649	368 620	
Montpellier	55 389 543	17 045 931	65 798	
Nancy	17 106 216	1 254 378	265 187	
Nantes	47 645 501	18 626 784	4 220 776	
Orléans	23 641 727	6 613 066	860 764	
Rennes	13 920 980	3 397 133	934 653	
Moyenne	29 021 731	10 195 099	1 395 964	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des surfaces en eau permanentes pour une sélection de grandes villes de France metropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	0,7	0,7	0,0	
Bordeaux	2,2	5,1	10,9	
Grenoble	1,2	0,9	3,6	
Lille	0,5	0,5	0,9	
Limoges	0,7	0,5	0,7	
Lyon	1,6	3,5	6,5	
Marseille	1,2	1,2	0,2	
Montpellier	9,4	3,9	0,1	
Nancy	0,9	0,9	1,8	
Nantes	2,1	3,5	6,4	
Orléans	1,1	1,9	3,1	
Rennes	0,5	0,5	1,9	
Moyenne pondérée[4]	1,5	1,8	1,9	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

EFESE[U]_Indicateurs – Fragmentation des espaces verts urbains

Sources

EEA European Environment Agency

Urban Atlas Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas

L'Atlas Urbain Européen fournit des cartes d'usage des sols fiables, inter-comparables, à haute résolution pour les Grandes Zones Urbaines (plus de 100.000 habitants).Les données SIG peuvent être téléchargées avec une carte pour chaque zone urbaine couverte et un rapport avec les métadonnées.

RÉSOLUTION

Échelle : 1:10 000

Unité cartographique minimale classe 1 : 0,25 ha, classes 2, 3 et 5 : 1 ha

NOMENCLATURE BASÉE SUR CORINE LAND COVER ET GUS LEGEND

GSELand M1.1 Urban Atlas			
Urban Atlas No.	**Vector Data Code**	**Nomenclature**	**Additional Information**
	GSELUA_yy		
1		Artificial surfaces	
1.1		Urban Fabric	
1.1.1	**11100**	**Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)**	FTS[1] required
1.1.2	11200	Discontinuous Urban Fabric (S.L. 10% - 80%)	
1.1.2.1	**11210**	**Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L. 50% - 80%)**	FTS required
1.1.2.2	**11220**	**Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L. 30% - 50%)**	FTS required
1.1.2.3	**11230**	**Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L. 10% - 30%)**	FTS required
1.1.2.4	**11240**	**Discontinuous Very Low Density Urban Fabric (S.L. < 10%)**	FTS required
1.1.3	11300	Isolated structures	
1.2		Industrial, commercial, public, military, private and transport units	
1.2.1	**12100**	**Industrial, commercial, public, military and private units**	zoning data / field check recommended
1.2.2	12200	Road and rail network and associated land	COTS[2] navigation data required
1.2.2.1	**12210**	**Fast transit roads and associated land**	COTS navigation data required

1. FTS = EEA Fast Track Sealing Layer. The assignment of the sealing levels (i.e. classes 1.1.2.1 - 1.1.2.4) shall be carried out using this layer. The QA check will check only if the technical approach agreed with DG REGIO is kept, but will not assess the absolute accuracy of these classes.

2. COTS – Commercial Off-The-Shelf

Milieux humides **Zones humides plus surfaces en eau permanentes**

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Superficie (m²) des milieux humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	13 377 008	13 377 008	190 006	
Bordeaux	105 766 405	39 632 081	6 717 028	
Grenoble	24 990 161	7 502 471	844 606	
Lille	5 569 455	5 569 455	623 140	
Limoges	19 833 067	3 829 379	796 504	
Lyon	91 761 097	21 880 363	3 525 531	
Marseille	10 648 590	10 648 590	1 185 047	
Montpellier	68 225 388	22 405 447	187 472	
Nancy	30 337 036	2 199 064	423 526	
Nantes	155 405 199	49 713 611	5 368 336	
Orléans	38 928 366	8 633 103	1 122 514	
Rennes	24 771 015	5 439 998	1 218 675	
Moyenne	49 133 484	15 894 205	1 840 949	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des milieux humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	1,0	1,0	0,1	
Bordeaux	2,7	6,9	13,5	
Grenoble	1,6	1,4	4,6	
Lille	0,9	0,9	1,5	
Limoges	1,1	0,8	1,0	
Lyon	2,8	4,1	7,4	
Marseille	1,8	1,8	0,5	
Montpellier	11,5	5,1	0,3	
Nancy	1,7	1,5	2,8	
Nantes	6,7	9,3	8,2	
Orléans	1,9	2,6	4,1	
Rennes	1,0	0,8	2,4	
Moyenne pondérée[4]	2,6	2,8	2,5	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

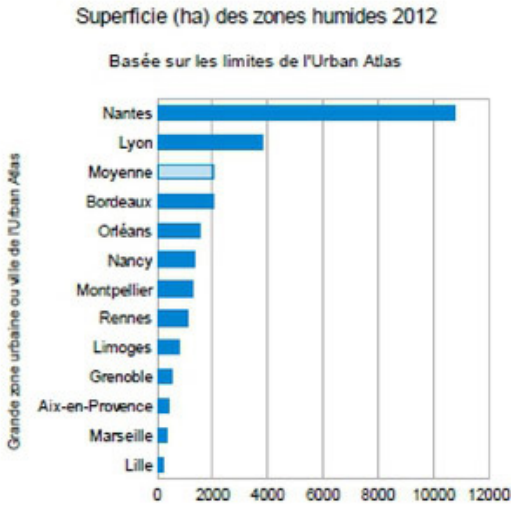
La région Île-de-France

Superficie (m²) et part (%) des milieux humides des départements de la région Île-de-France						
	Zones humides		Surfaces en eau permanentes		Milieux humides	
Département	Superficie (m²)	Part (%)	Superficie (m²)	Part (%)	Superficie (m²)	Part (%)
Paris (75)	668 198	0,6	2 343 506	2,2	3 011 704	2,9
Seine-et-Marne (77)	32 724 069	0,6	45 631 496	0,8	78 355 565	1,3
Yvelines (78)	11 294 402	0,5	27 106 457	1,2	38 400 859	1,7
Essonne (91)	12 044 600	0,7	7 724 335	0,4	19 768 935	1,1
Hauts-de-Seine (92)	964 335	0,5	3 785 431	2,2	4 749 765	2,7
Seine-Saint-Denis (93)	696 508	0,3	1 742 006	0,7	2 438 514	1,0
Val-de-Marne (94)	1 500 838	0,6	4 422 144	1,8	5 922 982	2,4
Val-d'Oise (95)	2 145 240	0,2	7 053 113	0,6	9 198 353	0,7
Région Île-de-France (11)	62 038 189	0,5	99 808 488	0,8	161 846 677	1,3

Graphiques

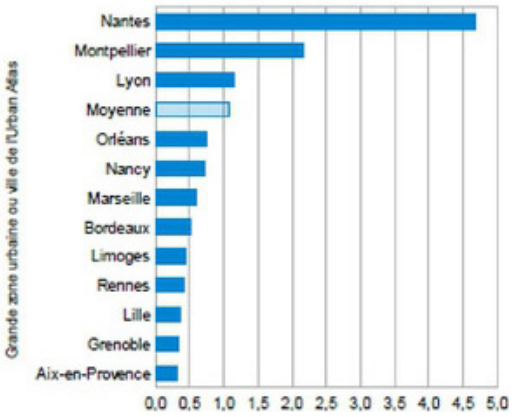
Zones humides

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine



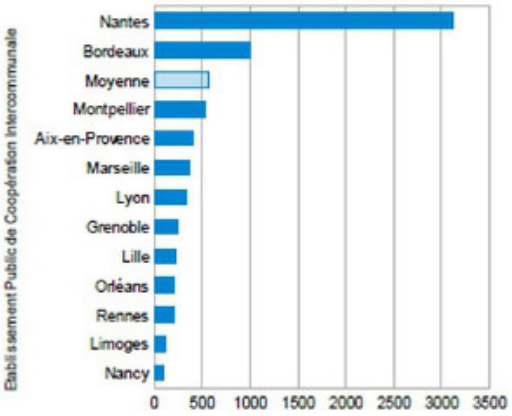
Part (%) des zones humides 2012

Basée sur les limites de l'Urban Atlas



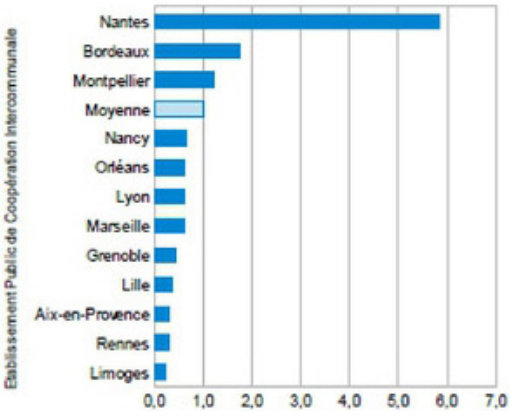
Superficie (ha) des zones humides 2012

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



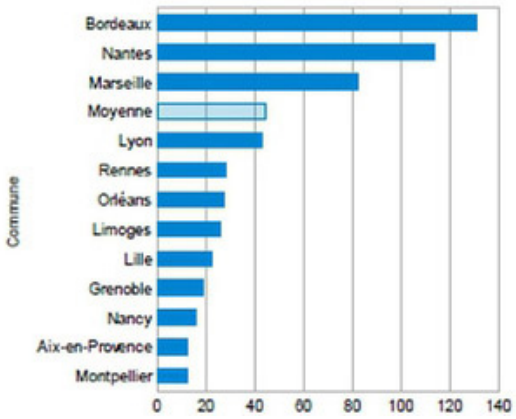
Part (%) des zones humides 2012

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



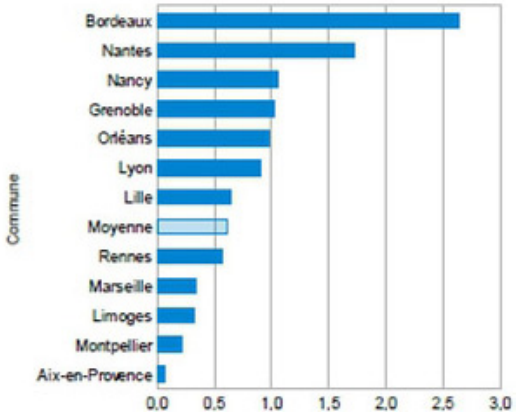
Superficie (ha) des zones humides 2012

Basée sur les limites administratives des communes



Part (%) des zones humides 2012

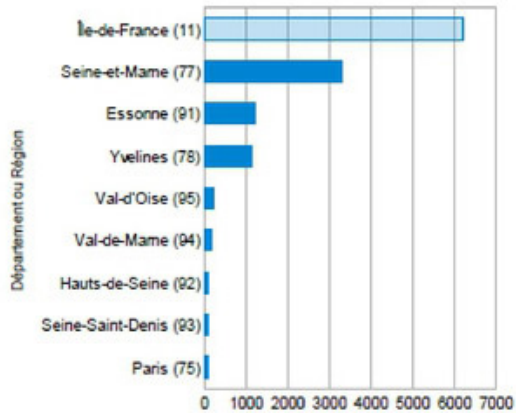
Basée sur les limites administratives des communes

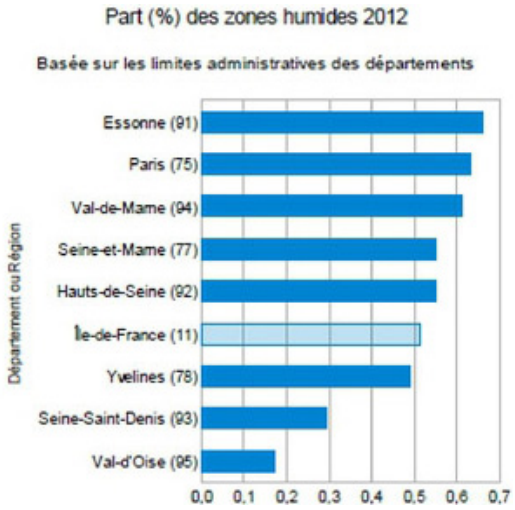


La région Île-de-France

Superficie (ha) des zones humides 2012

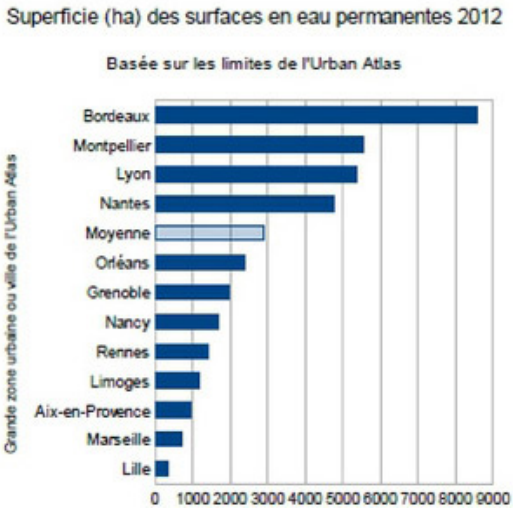
Basée sur les limites administratives des départements





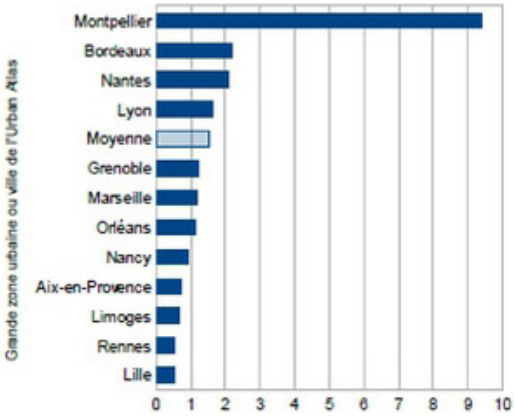
Surfaces en eau permanentes

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine



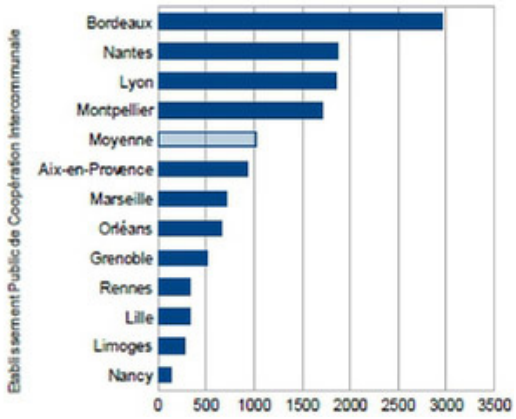
Part (%) des surfaces en eau permanentes 2012

Basée sur les limites de l'Urban Atlas



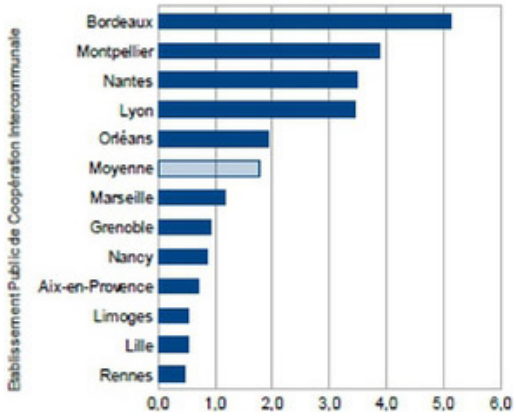
Superficie (ha) des surfaces en eau permanentes 2012

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Part (%) des surfaces en eau permanentes 2012

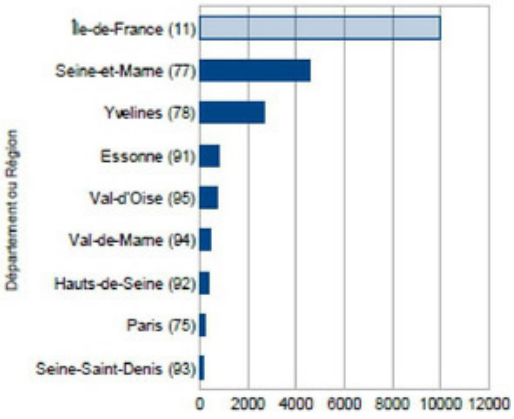
Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



La région Île-de-France

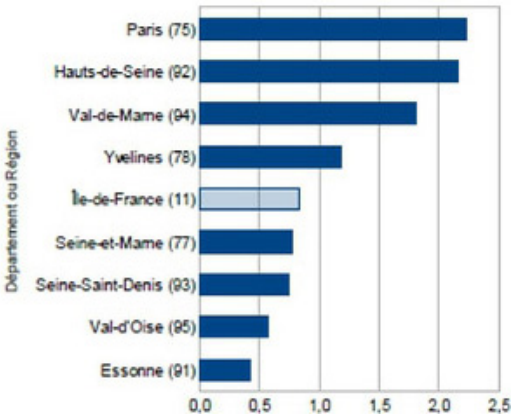
Superficie (ha) des surfaces en eau permanentes 2012

Basée sur les limites administratives des départements



Part (%) des surfaces en eau permanentes 2012

Basée sur les limites administratives des départements



Annexe 12

Mesure de la fragmentation (Proportion de la maille effective) pour une sélection de 12 villes françaises

1.2.2.2	12220	Other roads and associated land	COTS navigation data required
1.2.2.3	12230	Railways and associated land	COTS navigation data required
1.2.3	12300	Port areas	zoning data / field check recommended
1.2.4	12400	Airports	zoning data / field check recommended
1.3		Mine, dump and construction sites	
1.3.1	13100	Mineral extraction and dump sites	
1.3.3	13300	Construction sites	
1.3.4	13400	Land without current use	
1.4		Artificial non-agricultural vegetated areas	
1.4.1	14100	Green urban areas	
1.4.2	14200	Sports and leisure facilities	
2	20000	Agricultural areas, semi-natural areas and wetlands	1 ha MMU
3	30000	Forests	1 ha MMU
5	50000	Water	1 ha MMU

ACTUALITÉ DES DONNÉES

Nom du fichier	Date des images	Date de production
fr202c_aix_en_provence	2007/03/09 – 2007/07/28	2010
fr007l_bordeaux	2004-03-06 – 2006/08/09	2010
fr026l_grenoble	2005-08-31 – 2007/09/13	2010
fr009c_lille	2007-08-29	2009
fr024l_limoges	2007-03-27 – 2009/06/03	2011
fr003l_lyon	2005-06-24 – 2005/10/11	2009
fr203c_marseille	2007-03-12 – 2007/07/28	2009
fr010l_montpellier	2008-05-04 – 2008/06/19	2009
fr016l_nancy	2005-09-04 – 2006/10/10	2010
fr008l_nantes	2004-05-23 – 2008/10/11	2010
fr019l_orleans	2007-03-11 – 2009/03/03	2010
fr013l_rennes	2005-07-12 – 2005/09/19	2010

La taille effective de maille correspond à une partition (fragmentation) homogène du territoire où tous les patchs (mailles) ont la même surface, et qui produit le même niveau de fragmentation que la fragmentation actuelle (mesurée par l'indice de cohérence, probabilité que deux animaux « habitent » le même patch). La taille effective de maille est proportionnelle à la probabilité que deux points choisis au hasard dans ce territoire ne soient pas séparés par une barrière (par exemple une route ou une zone urbanisée).

Taille effective de maille des espaces verts ubains

L'indicateur a été calculé sur différentes composition des espaces verts urbains selon la nomenclature de l'Urban Atlas: Classe 1.4.1. GREEN URBAN AREAS, classe 3. FOREST (NATURAL AND PLANTATION) et l'ensemble formé par ces deux classes.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

Méthode

Espaces verts urbains

1.4.1. GREEN URBAN AREAS

MinMU 0.25 ha, Minimum width: 10 m

Public green areas for predominantly recreational use such as gardens, zoos, parks, castle parks. Suburban natural areas that have become and are managed as urban parks. Forests or green areas extending from the surroundings into urban areas are mapped as green urban areas when at least two sides are bordered by urban areas and structures, and traces of recreational use are visible.

Not included are: Private gardens within housing areas; Cemeteries; Buildings within parks, such as castles or museums; Patches of natural vegetation or agricultural areas enclosed by built-up areas without being managed as green urban areas.

3. FOREST (NATURAL AND PLANTATION)

MinMU 1 ha

With ground coverage of tree canopy > 30%, tree height > 5 m, including bushes and shrubs at the fringe of the forest; Included are plantations such as Populus plantations, Christmas tree plantations; Forest regeneration / re-colonisation: clear cuts, new forest plantations.

Not included are: Forests within urban areas and/or subject to high human pressure.

Fragmentation des espaces verts urbains

La fragmentation des espaces verts urbains est évaluée par la taille effective de maille selon la méthode proposée initialement par Jaeger (2000) puis par Moser et al. (2007).

$$m = \frac{1}{A_t} \sum_i A_i B_i$$

où m est la taille effective de maille,

A_i la surface de chacun des fragments d'espaces naturels à l'intérieur du territoire,

B_i la surface totale de chacun des fragments d'espaces naturels, y compris le cas échéant en dehors du territoire considéré ($B_i \geq A_i$),

et A_t la surface totale du territoire considéré ($A_t \geq \sum_i A_i$; $A_t = \sum_i A_i$ si le territoire n'est constitué que d'espaces naturels).

Espaces verts urbains

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Taille effective de maille (m^2) des espaces verts urbains pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune
Aix-en-Provence	188	188	715
Bordeaux	472	2 952	5 905
Grenoble	261	614	2 259
Lille	2 719	2 719	15 139
Limoges	611	2 140	13 145
Lyon	708	3 605	15 808
Marseille	3 111	3 111	5 141
Montpellier	1 923	2 478	14 865
Nancy	604	6 264	6 755
Nantes	1 374	4 536	8 779
Orléans	553	1 990	6 551
Rennes	284	939	10 236
Moyenne pondérée[4]	746	2 134	7 168

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

La région Île-de-France

Taille effective de maille (m^2) des espaces verts urbains des départements de la région Île-de-France

Département	m (m^2)
Paris (75)	116 023
Seine-et-Marne (77)	4 213
Yvelines (78)	33 502
Essonne (91)	21 622
Hauts-de-Seine (92)	103 576
Seine-Saint-Denis (93)	66 490
Val-de-Marne (94)	31 869
Val-d'Oise (95)	3 205
Région Île-de-France (11)	16 541

Forêts

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Taille effective de maille (m²) des forêts pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune
Aix-en-Provence	187 517	187 517	85 173
Bordeaux	2 869 477	345 871	1 629
Grenoble	7 157 353	7 208 869	83 090
Lille	2 071	2 071	5
Limoges	348 843	150 802	41 519
Lyon	208 636	36 184	104
Marseille	131 913	131 913	8 706
Montpellier	31 075	35 886	164
Nancy	1 028 840	387 128	481
Nantes	19 162	21 033	5 973
Orléans	1 960 767	494 881	3 402
Rennes	117 380	26 852	1 462
Moyenne pondérée[4]	1 358 220	702 019	27 016

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

La région Île-de-France

Taille effective de maille (m²) des forêts des départements de la région Île-de-France

Département	m (m²)
Paris (75)	0
Seine-et-Marne (77)	769 822
Yvelines (78)	1 117 323
Essonne (91)	715 198
Hauts-de-Seine (92)	27 854
Seine-Saint-Denis (93)	27 606
Val-de-Marne (94)	637 135
Val-d'Oise (95)	508 160
Région Île-de-France (11)	766 032

Espaces verts urbains et forêts

Une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Taille effective de maille (m²) des espaces verts urbains et forêts pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	
Aix-en-Provence	187 733	187 733	85 888	
Bordeaux	2 870 104	349 135	7 534	
Grenoble	7 157 974	7 209 804	85 362	
Lille	4 931	4 931	15 144	
Limoges	349 876	152 982	54 831	
Lyon	210 295	41 851	15 959	
Marseille	136 231	136 231	16 892	
Montpellier	32 998	38 364	15 029	
Nancy	1 029 800	393 689	7 235	
Nantes	21 168	27 120	16 441	
Orléans	1 965 000	500 912	10 325	
Rennes	117 709	27 850	12 402	
Moyenne pondérée[4]	1 359 668	704 826	35 213	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

La région Île-de-France

Taille effective de maille (m²) des espaces verts urbains et forêts des départements de la région Île-de-France

Département	m (m²)
Paris (75)	116 023
Seine-et-Marne (77)	775 010
Yvelines (78)	1 164 880
Essonne (91)	739 178
Hauts-de-Seine (92)	131 696
Seine-Saint-Denis (93)	94 518
Val-de-Marne (94)	698 353
Val-d'Oise (95)	524 187
Région Île-de-France (11)	788 032

Annexe 13

EFESE[U] Indicateurs : Part des forêts pour une sélection de grandes villes

Sources

MEDDE/CGDD/SOeS

Couches haute résolution 2012

Bases de données géographiques sur l'occupation des sols

Lien : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/th/territoires-1.html

Les couches haute résolution sont des couches thématiques d'occupation des sols, produites par le service Territoire du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Ce programme est coordonné par la Commission européenne et associe l'Agence spatiale européenne, l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que les États membres.

Ces données sont produites automatiquement à partir d'images satellite. Elles sont ensuite vérifiées puis améliorées manuellement. La production et la diffusion de ces couches haute résolution sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Pour la France, le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement a la responsabilité des vérifications et des améliorations de ces produits.

Le type de forêt cartographie la distinction feuillus ou résineux majoritairement présents dans les pixels, avec un taux de couvert arboré de plus de 10 %. Ce produit permet d'approcher le plus possible des forêts au sens de la définition de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La surface minimale cartographiée est de 0,52 ha, ce qui correspond à un groupement

de 13 pixels. Cette couche est accompagnée d'une couche support permettant de distinguer les groupements d'arbres en milieu urbain et agricole pour ainsi isoler les forêts.

European Environment Agency

EEA

Urban

morphological zones 2006

Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

Methodology

An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones :

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes : 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes ; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core

classes, cut by 300m buffer ; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN

Institut national de l'information géographique et forestière

Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO®

La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

INSEE

Institut national de la statistique et des études économiques

Lien : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp ?page=zonages/intercommunalite.htm

Intercommunalité

Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales.

Méthode

Part(%) des forêts

La superficie des forêts a été calculée par intersection entre la couche haute résolution du type de forêts (polygonisée), sa couche support et les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part(%) des forêts a été calculée en rapportant la superficie des forêts à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ) et différentes types de forêts : Forêts de feuillus, Forêts de conifères, Feuillus à usage principalement agricole, Feuillus ou conifères en contexte urbain.

Espaces classés en forêt par la FAO

- Espaces boisées dont la superficie est supérieure ou égale à 0,5 hectare, la largeur supérieure à 20 m et le couvert arboré supérieur à 10 %.
- Pépinières situées en zones de forêt.
- Aménagements forestiers situés en zone de forêt (routes forestières, coupes-feux, etc.).
- Clairières d'une superficie inférieure à 0,5 hectare et/ou d'une largeur inférieure à 20 m.
- Parcs et jardins boisés.
- Zones ou l'agriculture prédomine (vergers, oliveraies).

Espaces non classés en forêt par la FAO

Tableaux

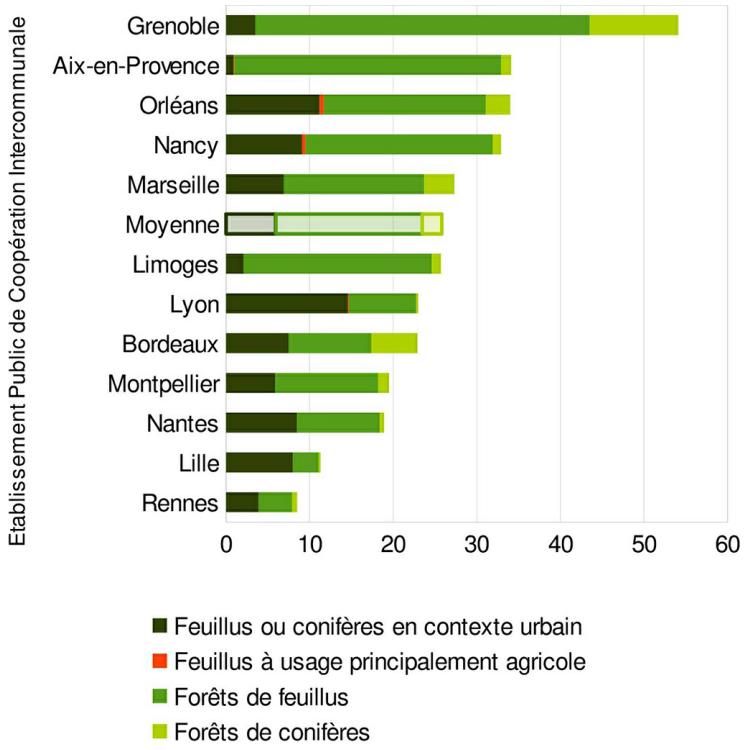
Part(%) des forêts[1] pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[2]	EPCI[3]	Commune	UMZ[4]
Aix-en-Provence	34,1	34,1	19,7	
Bordeaux	32,4	22,8	8,2	
Grenoble	53,0	54,2	13,0	
Lille	11,4	11,4	17,3	
Limoges	31,0	25,7	18,8	
Lyon	20,6	23,0	11,4	
Marseille	27,4	27,4	21,2	
Montpellier	17,8	19,6	23,1	
Nancy	33,3	32,8	16,0	
Nantes	9,8	19,0	26,1	
Orléans	36,0	34,0	28,0	
Rennes	10,8	8,5	18,4	
Moyenne pondérée[5]		25,8	19,5	

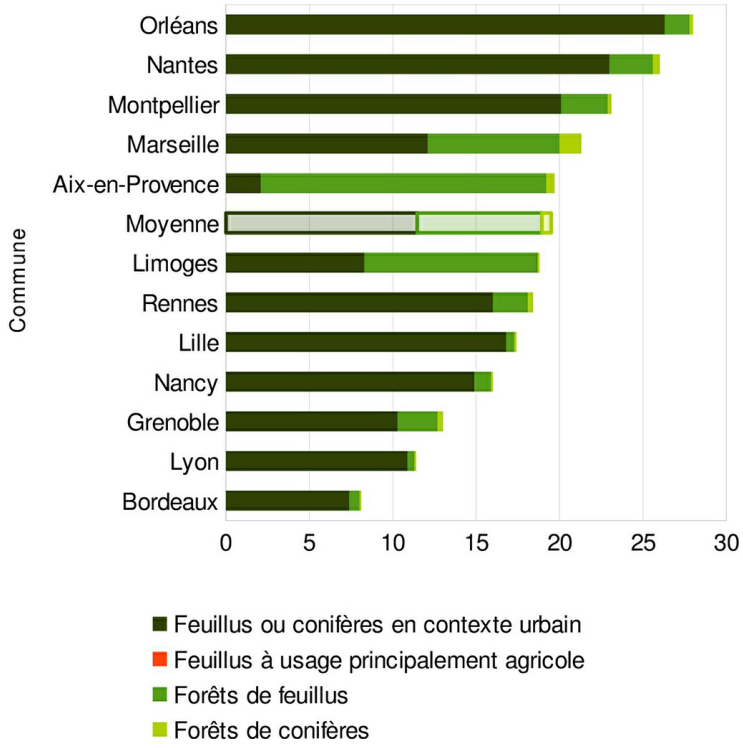
1 Y compris Feuillus à usage principalement agricole et Feuillus ou conifères en contexte urbain
2 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
3 Établissement public de coopération intercommunale
4 Urban Morphological Zone
5 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Graphiques

Part(%) des forêts 2012 Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Part(%) des zones arborées 2012 Basée sur les limites administratives des communes



Références

Urban morphological zones 2006, European Environment Agency

Annexe 14

EFESE[U] Indicateurs : Superficie et part des milieux humides pour une sélection de grandes villes

Sources

MEDDE/CGDD/SOeS

Couches haute résolution 2012

Bases de données géographiques sur l'occupation des sols

Lien : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/th/territoires-1.html

Les couches haute résolution sont des couches thématiques d'occupation des sols, produites par le service Territoire du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Ce programme est coordonné par la Commission européenne et associe l'Agence spatiale européenne, l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que les États membres.

Ces données sont produites automatiquement à partir d'images satellite. Elles sont ensuite vérifiées puis améliorées manuellement. La production et la diffusion de ces couches haute résolution sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Pour la France, le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement a la responsabilité des vérifications et des améliorations de ces produits.

Les milieux humides sont définis comme étant les zones où l'eau est le premier facteur d'influence de l'environnement et de la faune et de la flore associées. Elles surviennent là où la nappe phréatique affleure ou est proche de la surface du sol, ou quand la terre est recouverte d'une faible épaisseur d'eau. Les zones cartographiées sont recouvertes

d'eau au moins une fois l'une des années observées ou présentent une humidité importante et constante. Elles sont situées dans des zones où la pente est inférieure à 10 %. Enfin, les zones cartographiées sont majoritairement couvertes d'hydrophytes ou de macrophytes.

European Environment Agency

Urban morphological zones 2006

Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

Methodology

An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones :

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes : 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes ; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core classes, cut by 300m buffer ; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN Institut national de l'information géographique et forestière
Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO® La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

INSEE Institut national de la statistique et des études économiques
Lien : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/intercommunalite.htm

Intercommunalité Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales.

Méthode

Superficie et part (%) des zones humides La superficie des zones humides a été calculée par intersection entre la couche haute résolution (polygonisée) et les différents périmètres de territoires. Ensuite, la part (%) des zones humides a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

OCCUPATION DU SOL CLASSÉE EN ZONE HUMIDE

- Zones humides associées à des surfaces en eau permanentes.
- Zones humides non associées à des surfaces en eau permanentes.
- Zones humides couvertes de végétation macrophyte.
- Zones humides non couvertes de végétation macrophyte.
- Tourbières en eau.
- Zones humides côtières, marais saumâtre, saline, zone intertidale.

OCCUPATION DU SOL NON CLASSÉE EN ZONE HUMIDE

- Surface détrempée en raison de la fonte de neige ou de forte pluie.
- Surfaces en eau permanentes (rivières, lacs, lagons, estuaires).
- Rizières.
- Étangs à poissons.
- Tourbières sèches.
- Roselières sèches côtières.
- Zones de buissons et de forêts en transition.
- Tourbière à flanc de coteau.
- Prairies et tourbières cultivées.

Tableaux

Superficie (m²) des zones humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	4 014 399	4 014 399	122 852	
Bordeaux	20 086 304	10 035 608	1 311 136	
Grenoble	5 454 200	2 433 206	189 632	
Lille	2 312 725	2 312 725	224 864	
Limoges	7 840 416	1 120 676	259 377	
Lyon	38 050 012	3 298 895	432 184	
Marseille	3 619 941	3 619 941	826 427	
Montpellier	12 835 846	5 359 516	121 674	
Nancy	13 230 822	944 676	158 340	
Nantes	107 759 697	31 086 726	1 137 560	
Orléans	15 286 639	2 120 037	271 750	
Rennes	10 850 035	2 042 865	284 022	
Moyenne		5 699 106	444 985	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des zones humides pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

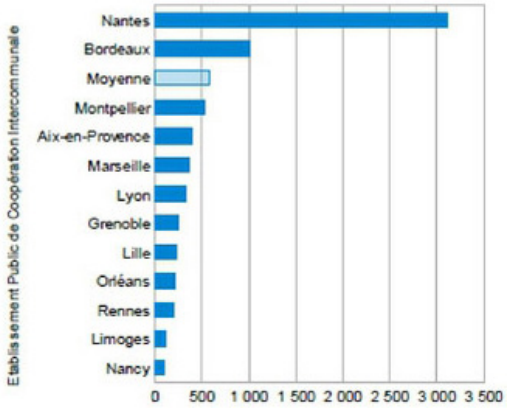
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	0,3	0,3	0,1	
Bordeaux	0,5	1,7	2,6	
Grenoble	0,3	0,4	1,0	
Lille	0,4	0,4	0,6	
Limoges	0,4	0,2	0,3	
Lyon	1,1	0,6	0,9	
Marseille	0,6	0,6	0,3	
Montpellier	2,2	1,2	0,2	
Nancy	0,7	0,7	1,1	
Nantes	4,7	5,8	1,7	
Orléans	0,7	0,6	1,0	
Rennes	0,4	0,3	0,6	
Moyenne pondérée[4]		1,0	0,6	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Graphiques

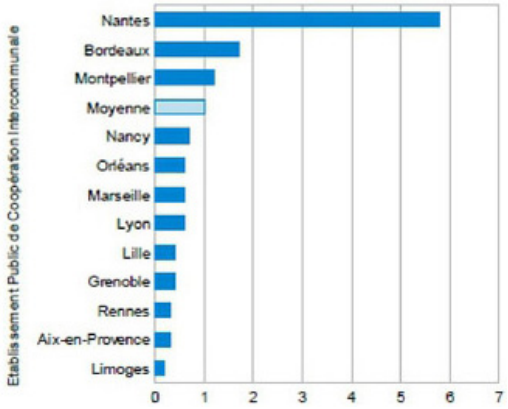
Superficie (ha) des zones humides 2012

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



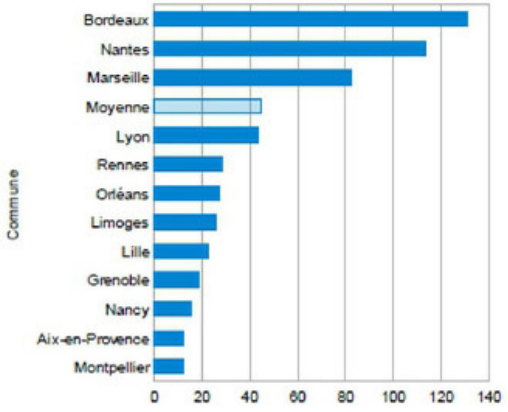
Part (%) des zones humides 2012

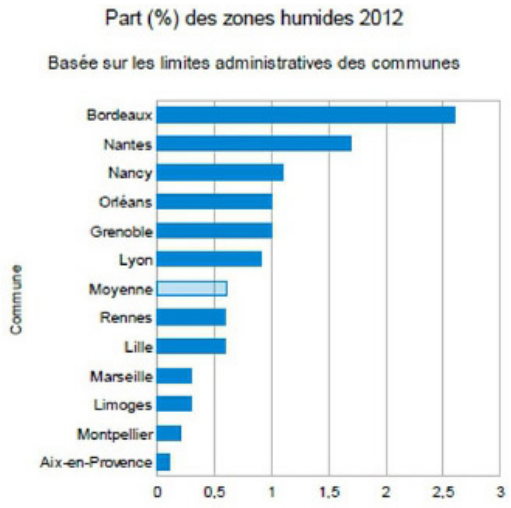
Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Superficie (ha) des zones humides 2012

Basée sur les limites administratives des communes





Références

Urban morphological zones 2006, European Environment Agency

Annexe 15

EFESE[U] Indicateurs : Part des espaces verts urbains et de loisirs pour une sélection de grandes villes

Sources

EEA European Environment Agency

Urban Atlas Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas

L'Atlas Urbain Européen fournit des cartes d'usage des sols fiables, inter-comparables, à haute résolution pour les Grandes Zones Urbaines (plus de 100.000 habitants).Les données SIG peuvent être téléchargées avec une carte pour chaque zone urbaine couverte et un rapport avec les métadonnées.

RÉSOLUTION

Échelle : 1:10 000

Unité cartographique minimale classe 1 : 0,25 ha, classes 2, 3 et 5 : 1 ha

NOMENCLATURE BASÉE SUR CORINE LAND COVER ET GUS LEGEND

GSELand M1.1 Urban Atlas			
Urban Atlas No.	**Vector Data Code**	**Nomenclature**	**Additional information**
	GSELUA_yy		
1		Artificial surfaces	
1.1		Urban Fabric	
1.1.1	**11100**	**Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)**	FTS[1] required
1.1.2	11200	Discontinuous Urban Fabric (S.L. 10% - 80%)	
1.1.2.1	**11210**	**Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L. 50% - 80%)**	FTS required
1.1.2.2	**11220**	**Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L. 30% - 50%)**	FTS required
1.1.2.3	**11230**	**Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L. 10% - 30%)**	FTS required
1.1.2.4	**11240**	**Discontinuous Very Low Density Urban Fabric (S.L. < 10%)**	FTS required
1.1.3	11300	Isolated structures	
1.2		Industrial, commercial, public, military, private and transport units	
1.2.1	**12100**	**Industrial, commercial, public, military and private units**	zoning data / field check recommended
1.2.2	12200	Road and rail network and associated land	CDTS[2] navigation data required
1.2.2.1	**12210**	**Fast transit roads and associated land**	CDTS navigation data required

1. FTS – EEA Fast Track Sealing Layer. The assignment of the sealing levels (i.e. classes 1.1.2.1 - 1.1.2.4) shall be carried out using this layer. The QA check will check only if the technical approach agreed with DG REGIO is kept, but will not assess the absolute accuracy of these classes.

2. CDTS – Commercial Off-The-Shelf

1.2.2.2	12220	Other roads and associated land	COTS navigation data required
1.2.2.3	12230	Railways and associated land	COTS navigation data required
1.2.3	12300	Port areas	zoning data / field check recommended
1.2.4	12400	Airports	zoning data / field check recommended
1.3		Mine, dump and construction sites	
1.3.1	13100	Mineral extraction and dump sites	
1.3.3	13300	Construction sites	
1.3.4	13400	Land without current use	
1.4		Artificial non-agricultural vegetated areas	
1.4.1	14100	Green urban areas	
1.4.2	14200	Sports and leisure facilities	
2	20000	Agricultural areas, semi-natural areas and wetlands	1 ha MMU
3	30000	Forests	1 ha MMU
5	50000	Water	1 ha MMU

ACTUALITÉ DES DONNÉES

Nom du fichier	Date des images	Date de production
fr202c_aix_en_provence	2007/03/09 – 2007/07/28	2010
fr007l_bordeaux	2004-03-06 – 2006/08/09	2010
fr026l_grenoble	2006-08-31 – 2007/09/13	2010
fr009c_lille	2007-06-29	2009
fr024l_limoges	2007-03-27 – 2009/06/03	2011
fr003l_lyon	2006-06-24 – 2006/10/11	2009
fr203c_marseille	2007-03-12 – 2007/07/28	2009
fr010l_montpellier	2008-05-04 – 2008/06/19	2009
fr016l_nancy	2006-09-04 – 2006/10/10	2010
fr008l_nantes	2004-05-23 – 2006/10/11	2010
fr019l_orleans	2007-03-11 – 2009/03/03	2010
fr013l_rennes	2006-07-12 – 2006/09/19	2010

Percentage of green urban areas in core cities

Indicateur

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/percentage-of-green-urban-areas-1

METHODOLOGY

From the Urban Atlas classification vector dataset (2006) the classes 141, 142, 300 and 500 were extracted for core cities and summed up to a new class named Green Urban area. Next the percentage of Urban Green area compared to the total area was calculated of each core city yet available within the Urban Atlas database.

Urban morphological zones 2006

Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

METHODOLOGY

An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones:

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes: 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core classes, cut by 300m buffer; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN

Institut national de l'information géographique et forestière

Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO®

La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

INSEE

Institut national de la statistique et des études économiques

Lien : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/intercommunalite.htm

Intercommunalité

Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales.

Méthode

Part (%) des espaces verts urbains

Les classes 141, 142, 3 et 5 de l'Atlas urbain ont été regroupées pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine, en une nouvelle classe nommée « Espaces verts urbains » (Attention c'est également le libellé de la classe 141). Ensuite la part (%) des espaces verts urbains a été calculée en rapportant leur superficie à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

1.4.1. GREEN URBAN AREAS

MinMU 0.25 ha, Minimum width: 10 m

Public green areas for predominantly recreational use such as gardens, zoos, parks, castle parks. Suburban natural areas that have become and are managed as urban parks. Forests or green areas extending from the surroundings into urban areas are mapped as green urban areas when at least two sides are bordered by urban areas and structures, and traces of recreational use are visible.

Not included are: Private gardens within housing areas; Cemeteries; Buildings within parks, such as castles or museums; Patches of natural vegetation or agricultural areas enclosed by built-up areas without being managed as green urban areas.

1.4.2. SPORTS AND LEISURE FACILITIES

MinMU 0.25 ha, Minimum width: 10 m

All sports and leisure facilities including associated land, whether public or commercially managed, public arenas for any kind or sports including associated green areas, parking places, etc.: Golf courses; Sports fields (also outside the settlement area); Camp grounds; Leisure parks; Riding grounds; Racecourses; Amusement parks; Swimming resorts etc.; Holiday villages ("Club Med"); Allotment gardens; Glider or sports airports, aerodromes without sealed runway; Marinas.

Not included are: Private gardens within housing areas; Motor racing courses within industrial zone used for test purposes; Caravan parking used for commercial activities; Soccer fields, etc. within e.g. military bases or within university campuses.

3. FOREST (NATURAL AND PLANTATION)

MinMU 1 ha

With ground coverage of tree canopy > 30%, tree height > 5 m, including bushes and shrubs at the fringe of the forest; Included are plantations such as Populus plantations, Christmas tree plantations; Forest regeneration / re-colonisation: clear cuts, new forest plantations.

Not included are: Forests within urban areas and/or subject to high human pressure.

5. WATER

MinMU 1 ha

Sea; Lakes; Fish ponds (natural, artificial); Rivers, including channelled rivers; Canals; Reservoirs; Water courses or ponds with a strongly variable surface level.

All water bodies and water courses visible in the imagery are mapped as long as they exceed an extent of 1 ha.

Included are: seasonal rivers, if the water course is visible ; Fish ponds with distance < 10 m are mapped together.

Not included are: Shallow water areas covered with reed > MinMU; Seasonal rivers, if the water course is not visible

Tableaux

Part (%) des espaces verts urbains pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	19,2	19,2	17,9	
Bordeaux	58,0	33,3	21,6	
Grenoble	54,0	55,8	18,5	
Lille	6,6	6,6	10,2	
Limoges	29,1	23,9	17,9	
Lyon	21,7	19,3	17,9	
Marseille	15,9	15,9	10,4	
Montpellier	23,3	18,9	10,6	
Nancy	34,1	31,3	13,2	
Nantes	10,8	16,4	21,4	
Orléans	37,9	30,3	15,7	
Rennes	11,6	7,2	14,8	
Moyenne pondérée[4]		21,5	15,2	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Références

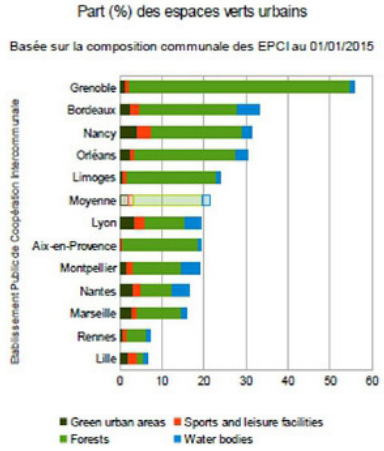
Mapping guide for a European Urban Atlas, European Union, 2011

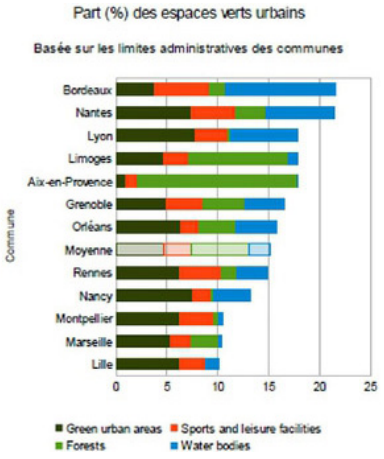
Percentage of green urban areas in EU-27 core cities, European Environment Agency

Urban morphological zones 2006, European Environment Agency

AEE, 2015. *L'environnement en Europe : état et perspectives 2015 – Synthèse.* Agence européenne pour l'environnement, Copenhague.
Lien : http://www.eea.europa.eu/soer-2015/synthesis/report

Graphiques





Annexe 16

EFESE[U] Indicateurs : Part de couvert arboré pour une sélection de villes françaises

INSEE Institut national de la statistique et des études économiques

Lien : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/intercommunalite.htm

Intercommunalité Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales.

Sources

MEDDE/CGDD/SOeS

Couches haute résolution 2012 Bases de données géographiques sur l'occupation des sols

Lien : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/th/territoires-1.html

Les couches haute résolution sont des couches thématiques d'occupation des sols, produites par le service Territoire du programme européen d'observation de la Terre Copernicus. Ce programme est coordonné par la Commission européenne et associe l'Agence spatiale européenne, l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que les États membres.

Ces données sont produites automatiquement à partir d'images satellite. Elles sont ensuite vérifiées puis améliorées manuellement. La production et la diffusion de ces couches haute résolution sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Pour la France, le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement a la responsabilité des vérifications et des améliorations de ces produits.

Le taux de couvert arboré cartographie le pourcentage de couverture arborée par pixels de 20 m de côté. Sont ainsi cartographiées les surfaces arborées en zones urbaines, agricoles ou forestières. La surface minimale cartographiée est de 20 m x 20 m.

EEA European Environment Agency

Urban morphological zones 2006 Vecteur : UMZ2000.shp

Lien : http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006-1

METHODOLOGY An Urban Morphological Zone can be defined as "A set of urban areas laying less than 200m apart". Those urban areas are defined from land cover classes contributing to the urban tissue and function. The Corine Land Cover classes used to build the Urban Morphological Zone dataset are the following ones:

Core Classes

111 – Continuous urban fabric

112 – Discontinuous urban fabric

121 – Industrial or commercial units

141 – Green urban areas

Enlarged core classes: 123 (Port areas), 124 (Airports) and 142 (Sport and leisure facilities), are also considered if they are neighbours to the core classes or to one of them touching the core classes; 122 (Road and rail networks) and 511 (Water courses), when neighbours to the enlarged core classes, cut by 300m buffer; Forests & scrub (311,312,313,322,323,324), when they are completely within the core classes.

IGN Institut national de l'information géographique et forestière

Lien : http://professionnels.ign.fr/bdtopo

BD TOPO® La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

Méthode

Taux (%) de couvert arboré

La superficie de couvert arboré a été calculée par intersection entre la couche haute résolution (polygonisée) et les différents périmètres de territoires. Ensuite, le taux (%) de couvert arboré a été calculé en rapportant la superficie du couvert arboré à la superficie totale du territoire.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ)

ESPACES CLASSÉS EN COUVERT ARBORÉ

- Arbres (décidues ou non-décidues, sclérophylles, feuillus ou résineux).
- Vergers, oliveraies, plantations d'arbres, zones dédiées à l'agro-foresterie, pépinières, zones boisées en régénération, ou en transition.
- Palmeraies, caféiers.
- Parcs et jardins boisés.
- Groupes d'arbres situés en zones urbaines.
- Aménagements forestiers situés en zone de forêt (routes forestières, coupes-feux, etc.) si une couverture arborée est détectable sur le raster au pas de 20m.
- Espaces ouverts d'une superficie inférieure à 0,5 hectare et/ou d'une largeur inférieure à 20m.
- Zones boisées partiellement incendiées ou dévastée par la tempête ou la maladie, située en zone de forêt.

ESPACES NON CLASSÉS EN COUVERT ARBORÉ

- Espace ouvert sans forêt (routes, coupes rases, zones totalement incendiées ou détruites) ; exclu si aucune couverture arborée ne peut être détectée sur le raster à 20m.
- Fourrés et broussailles.
- Maquis, garrigue.
- Végétation arborée nanifiée en zone de haute-montagne.
- Canne à sucre, bananeraies.

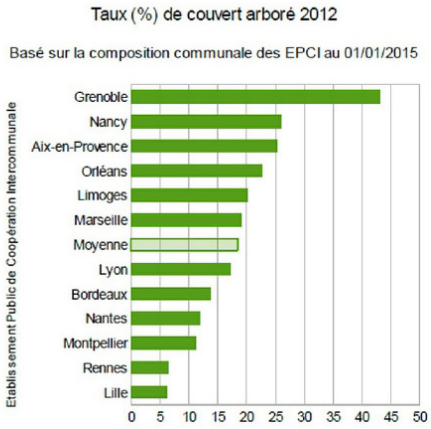
Tableaux

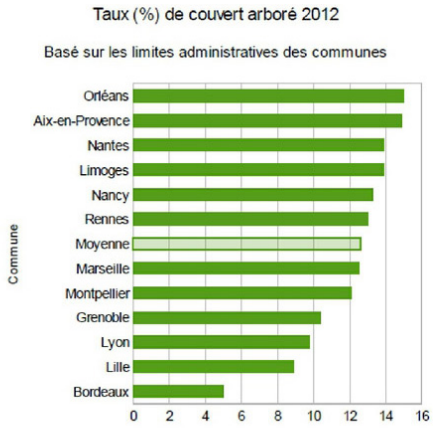
Taux (%) de couvert arboré pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine

Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	25,2	25,2	14,9	
Bordeaux	22,0	13,8	5,0	
Grenoble	42,5	43,1	10,5	
Lille	6,1	6,1	8,9	
Limoges	24,8	20,1	13,9	
Lyon	17,4	17,2	9,8	
Marseille	19,1	19,1	12,5	
Montpellier	10,3	11,1	12,1	
Nancy	26,6	25,9	13,3	
Nantes	6,7	11,8	13,9	
Orléans	25,0	22,6	15,0	
Rennes	8,5	6,4	13,0	
Moyenne pondérée[4]		18,4	12,6	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Graphiques





Références

Urban morphological zones 2006, European Environment Agency

Annexe 17

Méthode de choix des indicateurs d'état : jeu d'indicateurs d'intégrité écologique proposé par Burkard et al. (2012)

Table 1
List of ecological integrity and ecosystem service components with rationales and potential indicators.

	Rationales	Potential indicators
Ecological integrity		
Abiotic heterogeneity	The provision of suitable habitats for different species, for functional groups of species and for processes is essential for the functioning of ecosystems.	Abiotic habitat components' diversity indices; Heterogeneity indices, e.g. humus contents in the soil; Number/area of habitats
Biodiversity	The presence or absence of selected species, (functional) groups of species, biotic habitat components or species composition.	Indicator species representative for a certain phenomenon or sensitive to distinct changes
Biotic water flows	Referring to the water cycling affected by plant processes in the system.	Transpiration/total evapotranspiration
Metabolic efficiency	Referring to the amount of energy necessary to maintain a specific biomass, also serving as a stress indicator for the system.	Respiration/biomass (metabolic quotient)
Exergy capture	The capability of ecosystems to enhance the input of usable energy. Exergy is derived from thermodynamics and measures the energy fraction that can be transformed into mechanical work. In ecosystems, the captured exergy is used to build up biomass (e.g. by primary production) and structures.	Net primary production; Leaf area index LAI
Reduction of nutrient loss	Referring to the irreversible output of elements from the system, the nutrient budget and matter flows.	Leaching of nutrients, e.g. N, P
Storage capacity	Is referring to the nutrient, energy and water budgets of the system and the capacity of the system to store them when available and to release them when needed.	Solved organic matter; N, C_{org} in the soil; N, C in biomass
Regulating ecosystem services		
Local climate regulation	Changes in land cover can locally affect temperature, wind, radiation and precipitation.	Temperature, albedo, precipitation, wind; Temperature amplitudes; Evapotranspiration
Global climate regulation	Ecosystems play an important role in climate by either sequestering or emitting greenhouse gases.	Source-sink of water vapour, methane, CO_2
Flood protection	Natural elements dampening extreme flood events	Number of floods causing damages
Groundwater recharge	The timing and magnitude of runoff, flooding, and aquifer recharge can be strongly influenced by changes in land cover, including, in particular, alterations that change the water storage potential of the system, such as the conversion of wetlands or the replacement of forests with croplands or croplands with urban areas.	Groundwater recharge rates
Air quality regulation	The capacity of ecosystems to remove toxic and other elements from the atmosphere.	Leaf area index; Air quality amplitudes
Erosion regulation	Vegetative cover plays an important role in soil retention and the prevention of landslides.	Loss of soil particles by wind or water; vegetation cover
Nutrient regulation	The capacity of ecosystems to carry out (re)cycling of, e.g. N, P or others.	N, P or other nutrient turnover rates
Water purification	Ecosystems have the capacity to purify water but can also be a source of impurities in fresh water.	Water quality and quantity
Pollination	Ecosystem changes affect the distribution, abundance, and effectiveness of pollinators. Wind and bees are in charge of the reproduction of a lot of culture plants.	Amount of plant products; Distribution of plants; Availability of pollinators
Provisioning ecosystem services		
Crops	Cultivation of edible plants.	Plants/ha; kJ/ha
Livestock	Keeping of edible animals.	Animals/ha; kJ/ha
Fodder	Cultivation and harvest of animal fodder.	Fodder plants/ha; kJ/ha
Capture fisheries	Catch of commercially interesting fish species, which are accessible for fishermen.	Fishes available for catch/ha; kJ/ha
Aquaculture	Animals kept in terrestrial or marine aquaculture.	Number of animals/ha; kJ/ha
Wild foods	Harvest of, e.g. berries, mushrooms, wild animal hunting or fishing.	Plant biomass/ha; Animals available/ha; kJ/ha
Timber	Presence of trees or plants with potential use for timber.	Wood/ha; kJ/ha
Wood fuel	Presence of trees or plants with potential use as fuel.	Wood or plant biomass/ha; kJ/ha
Energy (biomass)	Presence of trees or plants with potential use as energy source.	Wood or plant biomass/ha; kJ/ha
Biochemicals and medicine	Production of biochemicals, medicines.	Amount or number of products; kg/ha
Freshwater	Presence of freshwater.	Liters or m^3/ha
Cultural ecosystem services (selection)		
Recreation & aesthetic values	Refers specifically to landscape and visual qualities of the resp. case study area (scenery, scenic beauty). The benefit is the sense of beauty people get from looking at the landscape and related recreational benefits.	Number of visitors or facilities; Questionnaires on personal preferences
Intrinsic value of biodiversity	The value of nature and species themselves, beyond economic or human benefits.	Number of endangered, protected or rare species or habitats

Based on de Groot et al. (2010), Burkhard et al. (2009), Müller and Burkhard (2007) and MA (2005).
+ further case study specific cultural ecosystem services and indictors.

Annexe 18

EFESE[U] Fiche indicateur 1 espace nature : Taux d'imperméabilisation des sols

= surface considérée comme imperméabilisée au sens des couches hautes résolution 2012 / surface de l'espace de nature au sens de l'urban atlas

Définition de l'indicateur (*cf.* 5.2.1.1 l'imperméabilité / perméabilité des sols)

L'imperméabilisation constitue la modification la plus radicale de la couverture du sol due à l'intervention de l'homme. Elle fait perdre au sol la majeure partie de ses fonctions écologiques et de ses services écosystémiques associés : modification du cycle de l'eau (diminution de l'infiltration des eaux pluviales, augmentation du ruissellement, accélération des écoulements), pas de rétention des polluants, moindre production de biomasse, modification des habitats (dégradation/disparition d'habitats, diminution de la biodiversité), modification de l'albédo favorisant le réchauffement de l'air local etc. La diminution de la végétation associée à l'imperméabilisation impacte aussi fortement l'expression des services écosystémiques associés.

En complément, les indicateurs de perméabilité des sols rend compte du service de régulation de l'eau et le CBS et/ou la richesse spécifique sur le développement de la biodiversité.

Le degré d'imperméabilisation est un indicateur fréquemment rencontré dans la littérature en raison de sa pertinence et de sa simplicité. Pour toutes ces raisons, nous avons choisi de suivre l'indicateur suivant :

Quelle pratique des gestionnaires impacte ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	/
Fréquentation	/
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur	+++
périphérie	

Liens, indirect, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Qualité de l'air et régulation du climat local et global
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

- Urban atlas, class 141 : espaces verts urbains
- Couches haute résolution 2012 (fournissent des informations sur des caractéristiques spécifiques de l'occupation des sols et sont complémentaires à l'utilisation de CORINE Land Cover) ;

Ces données peuvent être précisées en fonction des connaissances locales :

- SAGE pour les Milieux Humides ;
- Dossiers police de l'eau pour les Milieux Humides ;
- Cartographie de l'occupation des sols - agence d'urbanisme, collectivités ;

- Plan de gestion des espaces - gestionnaire/propriétaitre de l'espace ;

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Le Taux d'imperméabilisation (TI) est compris entre 0 et 100 %. Il se rapproche de 0 lorsque les espaces sont non imperméabilisés et vaut 100 % sur les espaces imperméables. Les intervalles sont déterminés par classes régulières :

- TI > 75 % => très fortement imperméabilisé
- 75 % > TI > 50 % => fortement imperméabilisé
- 50 % > TI > 25 % => moyennement imperméabilisé
- TI < 25 % => peu imperméabilisé

Interprétation des résultats et commentaire

Plus la surface en sol perméable ou le milieu humide sera grand, plus l'espace pourra être riche en biodiversité "urbaine" et remplir certaines fonctions écologiques. Ainsi plus grand nombre de services pourront être retirés de ces espaces.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

La surface disponible est un critère écologique qualitatif qui joue en faveur de l'implantation et/ou de maintien des espèces dans un milieu. Mais ce n'est évidemment pas le seul facteur déterminant. La connexion à d'autres espaces via un corridor vert (berge arborée d'un cours d'eau, alignement d'arbres d'ornement, cordon de haies vives d'un lotissement, etc.) diminue les risques d'extinction locale des espèces présentes.

Un milieu de moindre qualité peut accueillir une grande biodiversité, mais qui aura tendance à être ordinaire. Par ailleurs, il est aussi montré une évolution des espèces pour des parcs d'une même superficie le long d'un gradient d'urbanisation [Clergreau, 2007]. Cet indicateur doit être traité 1) avec la richesse en espèces spécifiques aux milieux urbains et 2) avec la question de la connectivité des espaces entre eux et de la capacité de déplacement des espèces et donc de la structure du tissu urbain.

Bibliographie spécifique

- FORMAN, R. T. T., 1995. – Land Mosaics : The ecology of landscapes and, regions. Cambridge University Press. New York, 632 pp.
- BUREL, F. & J. BAUDRY, 1999. – Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Paris : 359 pp.
- Code de l'environnement
- Clergeau, P., (2007), Une écologie du paysage urbain, édition apogée,
- LEVOINTURIER-VADA Cloé, BOUVIN Tatiana (2014), Lancement d'un diagnostic de la valeur écologique des espaces verts, grand lyon

Annexe 19

EFESE[U] Fiche indicateur 2 espace nature : Biodiversité / Habitat

Cet indicateur fait l'objet de deux fiches, un étant spécifique aux milieux humides (indicateur 2-b)

Indicateur 2-a $_{\text{espace nature}}$: Biodiversité (Habitat, espèces faune, flore) pour les espaces verts / Coefficient de biotope par surface (CBS)

Définition de l'indicateur :

Cet indicateur est basé sur le type de végétalisation. La loi Alur l'introduit au L123-1-5 du code de l'urbanisme dans l'objectif de réintroduire de la nature en ville dans les tissus urbains denses. Dans le cadre de l'évaluation de la biodiversité dans les écoquartiers, l'indicateur proposé est en cours de validation par le groupe de travail. Il accentue la prise en compte de la biodiversité par rapport au CBS classique, ce qui lui permet d'être utilisé dans les espaces verts puisque faisant par exemple une distinction entre les parterres horticoles et spontanés. Une fois stabilisé/validé par le groupe de travail écoquartier les valeurs du coefficient pourront être reprises.

L'indicateur, surfacique, correspond au rapport entre l'ensemble des surfaces favorables au développement de la biodiversité et la surface totale de l'espace.

Indicateur 2-a $_{\text{espace nature}}$: CBS = surface éco-aménagée / surface de la parcelle

Sans unité

La surface écoaménageable est calculée à partir de la surface des différents types de surfaces qui composent l'espace vert :

Surface écoaménagée = (surface de type A x coef. A) + (surface de type B x coef. B) +… + (surface de type N x coef. N)

Chaque type de surface est multiplié par un coefficient compris entre 0 et 1, qui définit son potentiel. Par exemple :

- un sol imperméabilisé en asphalte a un coefficient égal à 0, c'est-à-dire non favorable à la biodiversité ;

- un sol en pleine terre est associé à un coefficient égal à 1, le maximum. 10 m^2 de pleine terre équivalent à 10 m^2 de surface favorable à la biodiversité (10x1).

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	++
Fréquentation	+
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Qualité de l'air et régulation du climat local et global
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

- Coefficient pouvant être utilisé une fois validé par le GT en charge de l'évaluation de la biodiversité dans les écoquartiers ;
- Cartographie de l'occupation des sols - agence d'urbanisme, collectivités ;
- Plan de gestion des espaces verts - gestionnaire/propriétaire de l'espace ;
-

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Le CBS est compris entre 0 et 1. Il se rapproche de 1 lorsque les espaces s'apparente à des milieux naturels et vaut 0 sur les espaces artificialisés. Les intervalles sont déterminés par classes régulières :

- CBS < 0,25 => état mauvais
- 0,25 < CBS < 0,5 => état médiocre
- 0,5 < CBS < 0,75 => état moyen
- 0,75 < CBS => état très bon ou bon

Interprétation des résultats et commentaire

Il permet d'appréhender de manière globale la capacité d'un espace à accueillir et développer la biodiversité ordinaire ou remarquable. Plus le paysage va être minéralisé ou horticole (bâtiment, cheminement, stationnement, parterre monospécifique…) avec le CBS se rapprochant de 1, moins sa configuration sera propice au développement de la biodiversité.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

A noter toutefois que cet indicateur est globalisant et que l'étude de la biodiversité nécessiterait d'étudier la combinaison de quatre principales échelles (individu, population, écosystème, paysage) définies selon trois grands type d'approche (composition, structure, et la fonction).

Les indicateurs de composition développés dans le cadre de l'évaluation des écoquartiers ou de la richesse spécifique sur un groupe faune flore dans le cadre de l'index de singapour peuvent être des indicateurs alternatifs au CBS et qui le précisent. Ils ne font pas l'objet d'une fiche.

Bibliographie spécifique

- Document provisoire, non diffusable "Evaluation de la biodiversité dans les écoquartiers", aout 2015 ;
- http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/fr/bff_berechnung.shtml ;
- Fiches outils méthode n°11 - BIODIVERSITÉ, Cahier Technique écosystème dans les territoires : le coefficient de biotope par surface (CBS) ;
- indicateur de Singapour, version française : http://www.natureparif.fr/cbi ;
- arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 2 octobre 2009 précisant les critères de définition et de délimitation des milieux humides ;

ANNEXE 20

EFESE[U] Fiche indicateur 3 espace nature : Biodiversité / Faune, flore

Cet indicateur fait l'objet de deux fiches, une pouvant être utilisée pour l'étude des deux types d'espace de nature (indicateur 3-a : diversité spécifique) et l'autre pour les milieux humides (indicateur 3-b : recouvrement hygrophile).

Indicateur 3-a espace nature : Diversité spécifique

Définition de l'indicateur

L'indice de Shannon-Weaver (Shannon & Weaver, 1949) est le plus largement utilisé pour étudier la diversité des espèces et les changements de la diversité liée aux pressions anthropiques. Il est basé sur le nombre d'espèces présentes dans le relevé et sur le recouvrement relatif des différentes espèces dans le relevé.

Cet indice est calculé de la manière suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i \log_2 p_i$$

avec S = nombre total d'espèces
pi = (nj/N), fréquence relative des espèces
nj = fréquence relative de l'espèce j dans l'unité d'échantillonnage
N = somme des fréquences relatives spécifiques

L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Piélou **qui est utile pour détecter les changements dans la structure d'une communauté et a quelquefois prouvé**

son efficacité pour détecter les changements d'origine anthropique. Il permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. La mesure de l'équitabilité correspondant à l'indice de Shannon-Weaver est réalisée selon la formule suivante :

J' = H'/log S

S = nombre total d'espèces

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	+++
Fréquentation	+++
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Qualité de l'air et régulation du climat local et global
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

- Relevés terrains ;
- Maitre d'ouvrage ;

- Plan de gestion, gestionnaire d'espace ;

Résultats pour l'indicateur et ses composantes - à établir pour la valeur H' (entre 0 et 5) ou J' (entre 0 et 1) ?

- => état mauvais
- => état médiocre
- => état moyen
- => état très bon ou bon

Interprétation des résultats et commentaire

L'indice de de Shannon-Weaver est d'autant plus petit que que le nombre d'espèces est faible et que quelques espèces dominantes. Plus la valeur de l'indice H' est élevée, plus la diversité est grande. Il est généralement compris entre moins de 1 et 4,5 ; rarement plus. Une valeur voisine de *H=0,5* est déjà très faible.

La valeur de l''indice d'équitabilité de Piélou varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). La diversité est plus élevée si toutes les espèces S sont bien représentées (équitabilité élevée, faible dominance) que si un petit nombre d'espèces sont très communes et que le reste (S - T) sont présentes mais rares (faible équitabilité, forte dominance).

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

Très utilisé mais pouvant être controversé car cet indicateur, probabiliste, est issu de la théorie de l'information qui nécessite l'indépendance des observations. L'indice de Simpson, sensible aux espèces abondantes pourrait aussi être utilisé.

Bibliographie spécifique

- Lotfi Mehdi et Francesca Di Pietro, L'espace vert public, lieu d'interactions entre société et biodiversité, publié dans Projets de paysage le 22/12/2009, URL http://www.projetsdepaysage.fr/fr/l_espace_vert_public_lieu_d_interactions_entre_societe_et_biodiversite
- S. Vanpeene Bruhier, M.L. Moyne, J.J. Brun. (1998) La richesse spécifique : un outil pour la prise en compte de la biodiversite dans la gestion de l'espace - Application en Haute Maurienne (Aussois, Savoie). Ingenieries - E A T, p. 47 - p. 59. <hal-00461198>
- Plantes et cités (2003), fiche de synthèse : les indicateurs de biodiversité en milieu urbain
- C.E. Shannon, W. Weaver, The Mathematical Theory of Communication, Univ. Illinois Press, London and New York (1949)
- Macron E. (2016), Mesurer la biodiversité,

Note de lecture au CST : Un autre type d'indicateur pourrait être celui utilisé dans l'index de Singapour, appelé "changement du nombre d'espèces indigènes'. Ce dernier permet d'avoir les variations nettes des espèces pour des groupes taxonomiques tels que oiseaux, plantes vasculaires ou papillon.

Indicateur 3-b espace nature : Milieu humide / Recouvrement hygrophile (RH)

Définition de l'indicateur

La végétation des milieux humides est caractéristique de ce milieu. Elle constitue un compartiment biologique essentiel car ils structurent les habitats, représentent de bons descripteurs biologiques du fonctionnement des hydrosystèmes et pouvant constituent des habitats d'intérêt communautaire. L'objectif est de caractériser la végétation (ou les communautés végétales) dont la composition dépend du caractère plus

ou moins humide du milieu. L'arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin et la circulaire du 18 janvier 2010 abrogeant la circulaire du 25 juin 2008 relative à la délimitation des milieux humides précisent la manière d'appréhender le critère relatif à la végatation et présente dans son annexe II la liste des espèces indicatrices des milieux humides.

Une synthèse de cette procédure avec celles couramment utilisée par le MNHN et l'indicateur "suivi des communauté végétale" de la malette pédagogique [Forum des Marais Atlantiques, 2015] est reprise pour cet indicateur. Il consiste à établir une liste d'espèces dominantes toutes strates confondues, si 50 % des espèces de cette liste figurent dans la liste des espèces indicatrices de l'arrêté du 1er octobre 2009 la végétation est hygrophile. Les classes de Braun-Blanquet (1932) peuvent aider à caractériser les espèces dominantes. Le pourcentage de recouvrement hygrophile d renseigne sur l'état de la végétation humide.

Indicateur 3-b espace nature : Recouvrement Hygrophile (RH) en % de recouvrement

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	+++
Fréquentation	+
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Qualité de l'air et régulation du climat local et global

- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

- Relevés terrains : Les méthodes utilisées, plus ou moins précises et exhaustives, dépendront de l'objectif du suivi et des moyens humains et financiers mobilisables. Choisir, par exemple, sur une parcelle une station de relevés topographiquement basse. Les relevés sont à réaliser entre février et septembre. Maitre d'ouvrage ;
- SAGE, syndicats de rivière ;
- Plan de gestion, gestionnaire d'espace ;
- Dossiers police de l'eau pour les Milieux Humides, service police de l'eau, maître d'ouvrage ;

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Etant donné qu'il est nécessaire d'avoir un minimum de 50 % des espèces de la liste indicatrices la végétation de l'arrêté du 1er octobre 2009, le pointage de caractérisation de l'état de la biodiversité de la ZH est établit à partir de ce point et découpé par intervalles réguliers.

- RH < 50 % => mauvais recouvrement
- 50 % < RH < 67 % => recouvrement médiocre
- 67 % < RH < 83 % => recouvrement moyen
- 83 % < RH < 100 % => bon à très bon recouvrement

Interprétation des résultats et commentaire

Cet indicateur permet d'apréhender de manière globale la végétation hygrophile de la zone. Plus le recouvrement est important meilleur pourra être le fonctionnement de l'hydrosystème et le développement d'habitat.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

- Cette méthode, du fait de l'inventaire partiel de la flore, ne constitue pas un véritable relevé phytosociologique, et par conséquent il n'est pas possible d'en déduire des noms d'habitats. La réalisation de véritables relevés phytosociolgiques permet en revanche de déterminer les habitats présents et d'en caractériser l'intérêt patrimonial.
- Cette méthode d'identification du caractère humide effectif d'un secteur à partir du critère végétation fonctionne bien en contexte hygrophile, mais peut trouver ses limites en situation mésohygrophile dans laquelle une partie de la flore est pénétrée par des espèces des niveaux supérieurs, qui ne se cantonnent pas seulement aux milieux humides. Dans ces conditions, il conviendra d'appuyer son diagnostic sur un relevé phytosociologique complet et/ou de se référer aux autres critères [forum marais atlantique, 2010] ;
- Des limites à la liste des espèces indicatrices de l'annexe II de l'arrêté de 2009 sont identifiées : certaines espèces ne sont pas strictement liées aux milieux humides, il peut y avoir des conflits entre les indicateurs sol et végétation sur des espèces ambiguës, certaines espèces de faible abondance (<20 % de recouvrement) sont exclues alors qu'elles peuvent être indicatrices du caractère hydromorphe du sol [Bouzillé, 2014].

Pour pallier à ces remarques et préciser cette première approche, l'indice d'Ellenberg ou la réalisation d'inventaires floristiques plus précis pourrait être mobilisé.

Bibliographie spécifique

- Forum des Marais Atlantiques, (2015), Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Conseil régional des Pays de la Loire, 189 pages. http://www.forum-zones-humides.org
- Bouzillé J-B., (2014), Ecologie des zones humides, concepts, méthodes et démarches, Lavoisier, Tec et doc.
- Forum des marais atlantique, (2010), Guide méthodologique, Inventaire et caractérisation des zones humides ;

Annexe 21

EFESE[U] Fiche indicateur 4 espace nature : Connectivité

Cet indicateur fait l'objet de deux fiches, une pour caractériser l'état des espaces vert (indicateur 4-a) et l'autre pour les milieux humides (indicateur 4-b)

Indicateur 4-a espace nature **: Espace vert** Cet indicateur doit être traité à une échelle plus large que l'espace considéré (*cf*. fiche à l'échelle de la ville).

Indicateur 4-b espace nature : Pourcentage de berges naturelles (% BN) -milieu humide Définition de l'indicateur

Cet indicateur sera mobilisé, si nécessaire et en fonction du contexte d considérée.

Pour les milieux humides, leur fonctionnement est totalement lié à la géomorphologie et au lien avec le réseau hydrographique du bassin versant dans lequel ils se situent. La modification de l'hydropériode par une modification des échanges entre le réseau hydrographique et le milieu peut impacter fondamentalement la dynamique de la biodiversité. La continuité des zones tampon est une condition essentielle de leur efficacité (Bouzillé, 2014), (CSPNB, 2008). Cet indicateur donne une indication sur le niveau de connectivité latéral des milieux humides (dans un périmètre de 600m de pars et d'autre du cours d'eau). Sont considérées comme artificielles les berges faisant l'objet de techniques dures : enrochements, caissons végétalisés, murs, palplanches, busage, gabions…), de techniques mixtes (enrochements et végétalisation des talus, sous Influence d'un barrage ou ayant fait l'objet de rectification ou recalibrage.

Indicateur 4espace nature : Pourcentage de berges naturelles (BN)

BN = linéaire de berge naturelle/ linéaire d'un tronçon homogène de cours d'eau (hydrogéologie, dynamique (pente, transport de sédiment), débit, occupation du lit majeur, des usages)

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique
Entretien/gestion des espaces	+
Fréquentation	/
Imperméabilisation et les aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

- plan de gestion des berges, gestionnaire, syndicat de rivière ;
- photo-interprétation, maitre d'ouvrage ;

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

- BN < 25 % => connectivité latérale mauvaise
- 25 % < BN < 50 % => connectivité latérale médiocre

- 50 % < BN < 75 % => connectivité latérale moyenne
- 75 % < BN => connectivité latérale bonne à très bonne

Interprétation des résultats et commentaire

Plus les berges sont naturelles (BN > 75 %) plus les milieux humides sont connectés au réseau hydrographique.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

D'autres indicateurs peuvent être utilisés pour caractériser la continuité transversale comme cela est proposé dans le schéma environnemental des berges d'ile-de-france.

Bibliographie spécifique

• Schéma environnemental des berges, IAU Ile-de-France, 2012

• Guide rivière, agence de l'eau seine normandie, chapitre 1 et 5

http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/seine-aval/Documents_Formations/Guide_rivieres/CHAP5.pdf

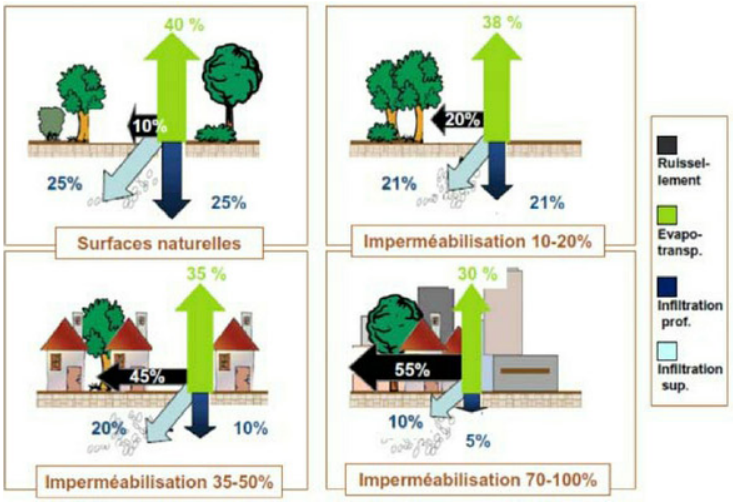
ANNEXE 22

EFESE[U] Fiche indicateur 5 espace nature : Capacité d'infiltration à saturation des sols / perméabilité du sol

Définition de l'indicateur

En milieu urbain, l'infiltration des pluies est fortement dépendant du taux d'imperméabilisation du sol (figure5.4). Le cycle urbain de l'eau est bien plus rapide que son cycle naturel, et l'infiltration n'est souvent pas suffisante pour recharger les nappes phréatiques de profondeur provoquant ainsi des inondations par ruissellement (*cf.* Chapitre 3.4.1 maintien des cycles de vie). L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion (Musy, 2005). Le ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité est généré par une forte intensité des apports d'eau, supérieure a la capacité d'infiltration du sol. Il est favorise sur sol nu ou peu couvert, ou présentant une infiltrabilité très limitée.

Figure 5.4 : *Schéma de principe de l'évolution du bilan hydrique en fonction de l'imperméabilisation du sol (Barraud, 2008)*



Les facteurs les plus influents, pour une même topographie, sont le type de sol, sa couverture et son taux initial d'humidité et peuvent être approchés par la perméabilité des sols urbains avec les limites des connaissances associées (*cf.* limites). La perméabilité de la surface du sol dépend avant tout de la structure de la couche superficielle et de la stabilité de cette structure sous l'effet agressif des gouttes de pluie. La stabilité structurale dépend de la texture du sol (la ≪ battance≫des sols limoneux, particulièrement fragiles) ; l'humus et certains cations (calcium) ont un effet stabilisant. Le couvert végétal protège la surface du sol et la végétation joue également un rôle favorable vis-a-vis de la perméabilité grâce a son système racinaire (Corpen, 2007).

La perméabilité est définie ici par le coefficient de perméabilité k associé à la loi de Darcy. Elle est mesurée en m/s.

Quelle(s) pratique(s) des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur le paramètre
Entretien/gestion des espaces	+
Fréquentation	++
Imperméabilisation et les aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

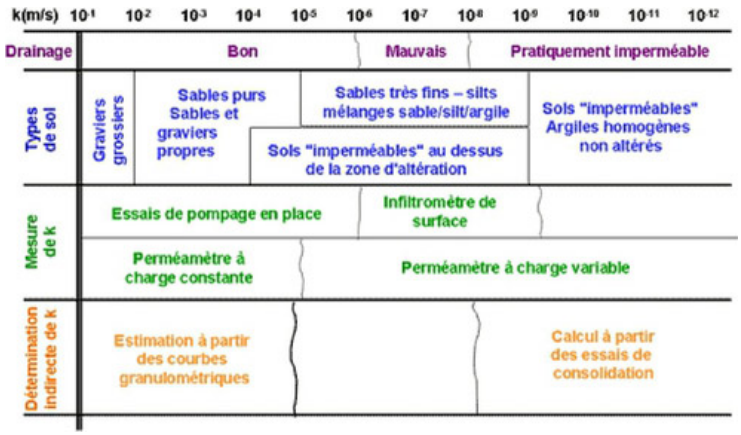
Origine et description des données sources

- Mesure in-situ en fonction de la structure du sol

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

L'Illustration 2 donne des valeurs courantes du coefficient k dans différents type de sols et qualifie en trois classe (bon / mauvais / imperméable) la qualité du drainage associé.

Figure 2 : Vue générale sur différent type de sols, les valeurs de coefficient de perméabilité et les méthodes de mesures adaptés, Jean Paul Tisot - école nationale supérieure de géologie de Nancy (ENSG), module « Propriétés Mécaniques et Physiques des Sols »



Résultats pour l'indicateur et ses composantes

- 10-8 > K => perméabilité faible
- 10-6 > K > 10-8 m/s => perméabilité médiocre
- 10-3 > K > 10-6 m/s => perméabilité moyenne
- K > 10-3 m/s => perméabilité bonne à très bonne

Interprétation des résultats et commentaires

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

Les estimations des quantités d'eaux infiltrées sont à prendre avec précautions car comme l'ont étudié (Raimbault and Balades, 2003) la quantité d'eau qui ruisselle varie suivant la nature des surfaces et les caractéristiques des pluies et ne prend pas en compte l'état hydrique du sol lors de l'événement pluvieux. Il s'agit ici d'une moyenne

sur l'ensemble de la surface de l'espace de nature. Par ailleurs et comme précisé dans l'ouvrage « Sous les pavés la terre » (Cheverry and Gascuel, 2009), l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain est très variable en quantité et dans le temps. La connaissance sur les cheminements des eaux est complexe et encore mal appréhendée en contexte de sols urbains fortement remaniés (revêtement des sols, formes urbaines, hétérogénéité du proche sous-sol…).

Bibliographie spécifique

- Barraud, S. (2008). Rapport d'activités scientifiques OTHU (Observatoire de terrain en hydrologie urbaine).
- Cheverry, P., and Gascuel, C. (2009). Sous les pavés la terre : Connaitre et gérer les sols urbains.
- Corpen, (2007), Les fonctions environnementales des zones tampons, première édition, les bases scientifiques et techniques de protection des eaux, Corpen/groupe Zones Tampons, pp.75
- Musy, A. (2005). Cours "Hydrologie générale" (Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE) Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL)).
- Raimbault, J., and Balades, J.D. (2003). Imperméabilisation des sols urbains et infiltrations. Sols Urbains.

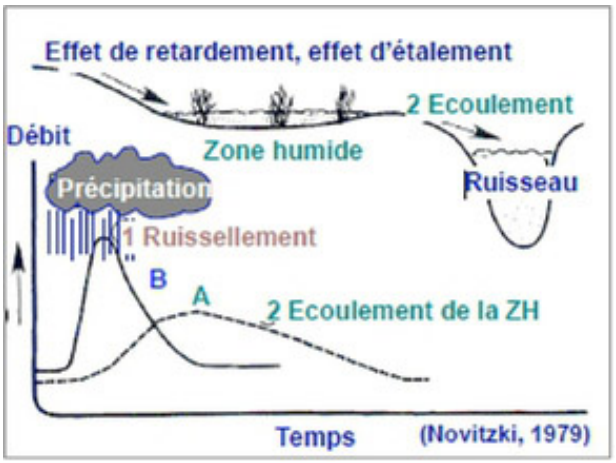
Annexe 23

EFESE[U] Fiche indicateur 6 : Volume (ou surface) de stockage des eaux en surface

Définition de l'indicateur

La rétention de surface comprend toute l'eau accumulée à la surface du sol. La présence de retenues d'eau (naturelles ou artificielles) permet une interception des ruissellements et une temporisation des écoulements contribuant ainsi à l'atténuation des inondations (figure 5.5). (MNHN, 2010), (Musy, 2005), (Agence de l'eau, 2002). Cette capacité de stockage peut être approchée à l'aide du marnage des milieux humides ou à défaut de la surface inondable. Au delà des espaces humides urbains, certains parcs situés dans des zones à enjeux inondation, ainsi que les ouvrages de gestion des eaux pluviales sont dimensionnés pour stocker les eaux et peuvent être pris en compte dans cet indicateur.

figure 5.5 : *Ralentissement et stockage des eaux par les milieux humides,* (Novitzki, 1979)



Pour le stockage en surface des eaux pluviales par les milieux humides et les ouvrages de gestion des eaux pluviales

Vs = volume de stockage de l'ouvrage ou du milieu humide (m3) / surface active connectée amont (ha)

La surface active de ruissellement est déterminée par le produit du coefficient d'apport Ca et de la surface totale du bassin versant drainé.

Ca (ou parfois Cr) : rendement global de la précipitation (fraction de la pluie qui parvient réellement à l'exutoire du bassin versant considéré). Lorsque le bassin versant alimentant la retenue est très urbanisé, on pourra assimiler Ca au coefficient de ruissellement (Cr) -*cf.* agglomération Lyonnaise. On retiendra donc, en première approche, que pour une surface urbaine, on peut déterminer le coefficient d'apport global à partir de coefficients de ruissellement Cri de surfaces homogènes Si. [*Grand lyon, Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage, fiche 00*]

Origine et description des données sources

- Mesure in-situ

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Les seuils proposés correspondent à des ordres de grandeurs et sont des valeurs estimées avec la méthode des pluies. Ils correspondent à des volumes de stockage nécessaires pour une pluie mensuelle, annuelle et décennale respectivement, sous un climat océanique-continental français et avec un débit de fuite (de restitution) de 1l/s/ha-actif.

- Vs< 50 m3 /ha actif => Volume de stockage très faible (< pluie mensuelle)
- 50 < Vs < 200 m3 /ha actif => Volume de stockage faible (pluie mensuelle à annuelle)

- 200 < Vs < 500 m3 /ha actif => Volume de stockage moyen (pluie annuelle - décennale)
- Vs > 500 m3 /ha actif => Volume de stockage important (> pluie décennale)

Interprétation des résultats et commentaire

Pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales, la capacité de stockage ne présage pas d'une bonne ou mauvaise fonction (par exemple un ouvrage dimensionné pour une pluie annuelle remplit sa fonction même si son Vs est qualifié de faible) notamment s'ils ont été conçus dans l'optique d'une gestion par niveau de service telle que définie dans le guide "La ville et son assainissement" (certu 2003).

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

L'augmentation de la rugosité du milieu et de la couverture végétale va aussi influencer le stockage et l'écoulement de surface (Musy, 2005), (Agence de l'eau, 2002) ce qui est déterminé avec les indicateurs 3 et 9.

A défaut de la donnée sur le volume (surface*marnage), la surface du milieu humide peut être estimée.

Bibliographie spécifique

• Musy, A. (2005). Cours "Hydrologie générale" (Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE) Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL)).

• Agence de l'eau (2002). Les zones humides et la ressource en eau.

• CERTU (2003). La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau.

• CEPRI (2014). Gérer les inondations par ruissellement pluvial : guide de sensibilisation (CEPRI).
• MNHN (2010). Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France.
• Grand Lyon, fiche méthodologique
http://gl_eaux_pluviales_pro_fiche_00_methode_dimensionnement_ouvrages_stoc kage.pdf

Annexe 24

EFESE[U] Fiche indicateur 7 : Qualité chimique des sols urbains - à terminer

L'IBQS est utilisé pour les espaces verts, la qualité du sol pour les Milieux Humides étant représentée par l'Indicateur 3b.

Définition de l'indicateur :

L'IBQS est un bio-indicateur de la qualité des sols basé sur l'étude de l'ensemble des peuplements de macro-invertébrés. (Ruiz *et al.*, 2008 ; 2011). Composés d'une grande diversité d'organismes, les macro-invertébrés peuvent être regroupés en fonction de leur rôle dans l'écosystème. Cette grande diversité d'habitat, de modes de vie et de tolérance envers les conditions climatiques, physiques et chimiques du milieu va permettre d'intégrer les changements de l'environnement dans le temps et l'espace avec une réponse d'intensité variable : cela en fait d'excellents bio-indicateurs de l'état du milieu et de l'impact des pratiques de gestion.

Valeurs comprises entre 1 et 20

L'indice se calcule en fonction de l'abondance des espèces indicatrices présents dans les échantillons (Di) et selon le pouvoir indicateur (Si) des taxons indicateurs. Les taxons indicateurs ont été choisis en fonction de leur sensibilité aux perturbations. En fonction de celle-ci, un pouvoir indicateur leur a été attribué. Celui-ci est d'autant plus petit que le taxon est sensible aux perturbations. L'IBQS se calcule selon la formule suivante : $IBQS = \Sigma \text{ Ln } (Di+1) \times Si$

Quelles pratiques des gestionnaires impactent ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	++
Fréquentation	++
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation

Origine et description des données sources

L'échantillonnage se fait grâce à une méthode normalisée (ISO 23611-5 : qualité du sol – prélèvement des invertébrés du sol – partie 5 : prélèvement et extraction des macroinvertébrés du sol) qui combine extraction chimique et tri manuel du sol.

Une fois au laboratoire, les échantillons sont nettoyés et les principaux ordres (17 au total) sont séparés et dénombrés. Les individus sont ensuite stockés dans l'alcool et identifiés au niveau taxonomique de l'espèce.

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

L'IBQS est compris entre 1 et 20. Il se rapproche de 20 lorsque la qualité des sols des milieux naturels permet d'accueillir le plus grand nombre d'espèces bioindicatrices. Les intervalles sont déterminés par classes

régulières [Ruiz *et al.*, 2008 ; 2011] :

- IBQS < 4 => valeur attribuée pour caractériser l'état 0
- 5 < IBQS < 8 => valeur attribuée pour caractériser l'état 1
- 9 < IBQS < 12 => valeur attribuée pour caractériser l'état 2
- 13 < IBQS => valeur attribuée pour caractériser l'état 3

Interprétation des résultats et commentaire

Les milieux les plus dégradés obtiennent une valeur d'indice comprise entre 1 et 4, pour ceux de qualité moyenne l'indice varie entre 5 et 8, les valeurs pour les sites de bonne qualité oscillent entre 9 et 12, entre 13 et 17 pour les sites qualifiés de très bons et entre 18 et 20 pour la classe de qualité optimale. Il a été mis en évidence que le niveau de la famille peut être utilisé pour une évaluation plus rapide et générale de l'état du sol avec l'indice. A noter que les valeurs les plus élevées ne sont pas toujours obtenues en milieu naturel.

L'interprétation est standardisée selon la norme ISO 23611-5 : qualité du sol – prélèvement des invertébrés du sol – partie 5 : prélèvement et extraction des macro-invertébrés du sol.

L'IBQS a deux niveaux d'interprétation. Le premier niveau, celui de l'échelle numérique, n'a pas besoin de compétences particulières pour être interprété. Le deuxième niveau qui est celui de la composition taxonomique a besoin de compétences en écologie.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

A noter toutefois que :

- IBQS construit sur des groupes de sol liés aux cultures, prairies et forêt : l'IBQS devra être utilisé sur d'autres sols en France pour tester sa validité et identifier les éventuelles limites de son application.
- IBQS pertinent pour l'évaluation de l'état du sol dans le contexte de sols pollués pas les métaux lourds : a permis de faire une séparation entre 1/ les boisements contaminés et le boisement témoin et 2/ entre les plantations monoclonales et plurispécifiques. L'indicateur exprime l'influence de la contamination et des caractéristiques des écosystèmes.
- les macroinvertébrés du sol répondent de manière très nette aux conditions de vie dans le sol et aux changements introduits par les différents types de systèmes de gestion. L'analyse multivariée du jeu de données faunistique montre l'existence de groupes d'espèces répondant de façon homogène à une modification des facteurs du milieu (intensité de la perturbation, pression de pâturage). La composition et la structure des communautés de macro-invertébrés définies par ces groupes de réponse (sensu Lavorel *et al.*, 1997) représentent des bioindicateurs efficaces de l'état de santé du sol.

Bibliographie spécifique

• Nuria Ruiz, Jérôme Mathieu, Léonide Celini, Christine Rollard, Gerard Hommay, et al.. IBQS : A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. Soil Biology and Biochemistry, Elsevier, 2011, 43, pp.2032-2045.

• Nuria Ruiz Camacho, Velasquez Elena. Les indicateurs synthétiques de la qualité des sols. Académie d'Agriculture de France. Les indicateurs synthétiques de la qualité des sols, Jan 2008, Paris, France. 94 (1), pp.55-56, 2008

• Indice biologique de la qualite des sols (IBQS) Bio-indicateur de la qualité des sols basés sur l'étude des peuplements de macro-invertébrés Ruiz N. Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Centre France-Nord

• Ruiz N. 2004. Mise au point d'un système de bioindication de la qualité du sol basé sur l'étude des peuplements de macro-invertébrés. Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, Spécialité science de la vie, 14 septembre 2004, Bondy : 327 p.

ANNEXE 25

EFESE[U] Fiche indicateur 8 : Qualité chimique des eaux douces

Définition de l'indicateur :

L'indicateur proposé consiste à évaluer d'une part la qualité globale de l'ensemble des cours d'eau (amont et aval) et d'autre part celle des eaux souterraines sur le territoire urbain considéré, à partir des critères adaptés de la Directive Cadre du l'Eau.

Selon la DCE, l'état d'une masse d'eau superficielle est défini comme étant la situation la plus déclassante entre :

- un état chimique se rapportant à des normes de concentration de certaines substances particulièrement dangereuses (dites toxiques),
- un état écologique qui repose sur une évaluation d'« éléments de qualité » biologiques (peuplements en végétaux, invertébrés et poissons) et physico-chimiques (paramètres généraux comme le bilan en oxygène ou les nutriments et de polluants toxiques comme les métaux).

Les paramètres généraux mesurés sont repértoriés dans le tableau suivant :

Paramètres généraux	Très bon	bon	moyen	mediocre	mauvais
Bilan Oxygène					
oxygène dissous (mg O2.l-1)	8	6	4	3	
taux de saturation en O2 dissous(%)	90	70	50	30	
DBO5 (mg O2.l-1)	3	6	10	25	
carbone organique dissous (mg C.l-1	5	7	10	15	
Nutriment					
PO4 3- (mg PO4 3-.l-1)	0.1	0.5	1	2	
phosphore total (mg P.l-1)	0.005	0.2	0.5	1	
NH4 + (mg NH4 +.l-1)	0.01	0.5	2	5	
NO2 - (mg NO2 -. l-1)	0.01	0.3	0.5	1	
No3 - (mg NO3 -. l-1)	10	50	*	*	
Acidification					
pH min	6.5	6.0	5.5	5.0	
pH max	8.2	9.0	9.5	10.0	

Les micropolluants concernés sont les substances dangereuses et prioritaires dans le domaine de l'eau fixées par la DCE (liste de 41 substance). Les seuils pris en compte pour la détermination des valeurs de l'indicateur sont les NQE-MA et NQE-CMA, définies ci après.

NQE-MA : NQE en concentration moyenne annuelle. La NQE-MA permet de statuer sur la toxicité chronique, c'est à dire à long terme. Toutes les substances prioritaires ont une NQE-MA

NQE-CMA : NQE en concentration maximale admissible. Il est plus ou moins possible de distinguer les effets toxiques chroniques et aigus d'une substance. Quand les écarts de concentrations pour lesquels deux effets commencent à être significatifs, la réglementation prévoit une NQE-CMA. Sinon, elle indique « sans objet ».

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	+++
Fréquentation	+
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

Source :

Eaux superficielles

L'état des cours d'eau est accessible sur internet dans le cadre du programme de surveillance des eaux douces de surface défini par la DCE. La maîtrise d'ouvrage de ces réseaux est assurée par les Agences de l'eau, les DREAL et l'ONEMA.

Eaux souterraines

La qualité des eaux souterraines est accessible sur internet via le portail d'accès national aux données sur les Eaux Souterraines : ADES.

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Les intervalles utilisés pour construire l'indicateur sont attribués ainsi :

- Un paramètre général attribue un **état mauvais** et/ou une concentration en micropolluant excède de 5 X la NQE-CMA

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 0

- Un paramètre général attribue un **état médiocre** mais aucun un état mauvais et/ou une concentration en micropolluant excède la NQE-CMA

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 1

- Un paramètre général attribue un **état moyen** mais aucun un état médiocre ou mauvais et/ou une concentration en micropolluants excède la NQE-MA mais aucun la NQE-CMA=> valeur attribuée pour caractériser l'état 2
- Tous les paramètres généraux attribuent un **état bon ou très bon** et toutes les concentrations en micropolluants sont inférieures à la NQE-CMA

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 3

Interprétation des résultats et commentaire

Dans la mesure du possible, si des données complémentaires sont disponibles, la concentration en polluant est comparée au fond géochimique local (et les seuils utilisés construit à partir de la somme : Fond géochimiques + NQE).

Si pour un milieu humide donné, une comparaison entre concentration d'entrée et de sortie est possible (typiquement pour des milieux humides artificiels comme des filtres plantés utilisés pour la gestion des eaux pluviales), la valeurs comparée aux seuils sont les valeurs de sortie si

elles sont moins déclassantes que les données d'entrée. Dans le cas contraire la valeur attribuée est 0 par défaut.

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

A noter toutefois que :

- Cet indicateur basé sur la réglementation en vigueur pour la caractérisation de la qualité des masses d'eau est utilisé pour le milieu naturel et une adaptation des échelles de valeurs attribuées pourrait être nécessaire dans un contexte purement urbain.
- La question du prélèvement des échantillons pour l'analyse dans le cas de milieux humides non saturés pendant une période de temps significative mérite d'être posée.
- L'utilisation de d'indicateurs biologiques ou de bioessais normalisés reste en suspend du fait de la multiplicité des choix possibles à rapprocher de la multiplicité des espaces de nature rencontrés dans le contexte urbain.

Bibliographie spécifique

• Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau ; Annexe IX et X

Annexe 26

EFESE[U] Fiche indicateur 9 espace nature : ICU - Taux de couvert arboré (à verser au chapitre 8)

Définition de l'indicateur :

Deux aspects importants de services de réglementation climatiques sont le stockage du carbone et les effets de refroidissement fournis par la végétation, en particulier le couvert forestier. Des services de régulation du climat sont affectés par de nombreux facteurs, y compris la taille des arbres, les différentes caractéristiques des espèces d'arbres et

d'autres variables. En ce qui concerne le stockage du carbone, les plantes captent le dioxyde de carbone lors de la photosynthèse. Le couvert planté, les arbres dans une ville, sont accepté comme une mesure indirecte des services de séquestration et de stockage du carbone.

Les plantes, grâce à leur ombre portée (pour les végétaux et arbres de grande taille), l'évapotranspiration, et la diminution de la proportion de surfaces réfléchissantes, réduisent la chaleur ambiante dans l'air et la température de surface dans le paysage urbain. En règle générale, une augmentation de 10 % du couvert végétal permet de réduire la

température d'environ trois degrés.

L'étendue de la couverture de la canopée peut aussi agir comme une mesure de remplacement pour la filtration de l'air et de nombreux autres avantages de la biodiversité. La plantation d'arbres indigènes pour accroître le couvert forestier est encouragée.

Les surfaces végétalisées, et a fortiori les surfaces couvertes d'arbres ou de forêts présentent un avantage non négligeable dans la limitation de l'effet de l'îlot de chaleur Urbain. La quantification de la contribution

de chaque processus thermique à la diminution de l'îlot de chaleur urbain est cependant complexe et fait aujourd'hui l'objet de nombreux projet de recherche (en particulier axés sur la modélisation) sans pouvoir faire consensus (De Munck, 2013).

Quelle pratique des gestionnaires impact ce paramètre ?

Pratiques des gestionnaires	Intensité de l'impact de la pratique sur l'indicateur
Entretien/gestion des espaces	+++
Fréquentation	+
Imperméabilisation et aménagements des espaces et/ou de leur périphérie	+++

Liens indirects, avec les services retirés des écosytèmes

- Régulation des débits de ruissellement et de crue
- Auto-épuration de l'eau, (milieux aquatiques, marins et des eaux usées/pluviales)
- Qualité de l'air et régulation du climat local et global
- Activité récréative et de loisirs
- Expérimentation et éducation
- Aménités paysagères

Origine et description des données sources

Surface arborée :

La superficie des zones arborées a été calculée par intersection entre la couche haute résolution du type de forêts (polygonisée), sa couche support et les différents périmètres des espaces de nature. L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ) et différentes types

de zones arborées : Feuillus à usage principalement agricole, Feuillus ou conifères en contexte urbain, Forêts de feuillus, Forêts de conifères.

Résultats pour l'indicateur et ses composantes

Les intervalles utilisés pour construire l'indicateur sont attribués ainsi (construits sur la base de l'Index de Singapour) :

- Surface calculée < 19,1 %

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 0

- 19,2 % < Surface calculée < 29,0 %

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 1

- 29,1 % < Surface calculée < 59,7 %

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 2

- Surface calculée > 59,7 %

=> valeur attribuée pour caractériser l'état 3

Les limites de l'indicateur et possibilité d'indicateurs alternatifs

Les valeurs seuils utilisées dans l'index de Singapour sont définies pour l'échelle de la ville et pourront être revues suite à l'analyse des résultats obtenus pour plusieurs villes tests.

Bibliographie spécifique

• De Munck, C. 2013 Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énérgétique de la ville, Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, 119 p.

• Musy, M. 2014 Une ville verte, les rôles du végétal en ville, Quae Editions, 200 p.

Annexe 27

EFESE[U] Indicateurs : Part des espaces protégés dans une sélection de villes de France métropolitaine

EFESE[U]_Indicateurs – Espaces protégés, inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes

Sources

MNHN-INPN Muséum National d'Histoire Naturelle, Inventaire National du Patrimoine Naturel

Cartes et information géographique : Informations relatives à la composition des couches SIG nationales de référence des espaces naturels.

Lien : https://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique

Espaces protégés

Base de données nationale Espaces Protégés	Couche SIG	Données
Arrêtés de protection de biotopes	Nom : apb2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Source : DREAL/DRIEE
Bien naturel ou mixte du Patrimoine Mondial de l'UNESCO	Nom : bpm2015_04 Version : avril 2015	Date de référence nationale : 20/04/2015 Sources : DREAL
Parcs nationaux	Nom : pn2014_07 Version : juillet 2014	Date de référence nationale : 01/07/2014
Parcs naturels marins	Nom : pnm2015_04 Version : avril 2015	Date de référence nationale : 20/04/2015 Source : Agence des Aires Marines Protégées (AAMP)
Parcs naturels régionaux	Nom : pnr2015_02 Version : février 2015 Echelle d'utilisation : 1/10 000	Date de référence nationale : 20/02/2015 Sources : MNHN, DREAL/DRIEE, PNR
Réserves biologiques de l'Office National des Forêts	Nom : rb2013 Version : 2013	Date de référence nationale : 01/06/2013 Sources : ONF
Réserves de biosphère	Nom : bios2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Source : MAB
Réserves intégrales de parc national	Nom : ripn2013 Version : 2013	Date de référence nationale : 2013 Sources : Parcs Nationaux de France
Réserves naturelles de Corse	Nom : rnc2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Source : DREAL Corse
Réserves naturelles nationales	Nom : rnn2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Sources : MNHN, DREAL/DRIEE
Réserves nationales de chasse et de faune sauvage	Nom : rncfs2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Sources : DREAL/DEAL/DRIEE
Réserves naturelles régionales	Nom : rnr2015_02 Version : février 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 20/02/2015 Sources : RNF
Sites acquis ou « assimilés » des Conservatoires d'espaces naturels	Nom : cen2013_09 Version : 2013 ? Echelle d'utilisation : 1/25 000 (les données ont été digitalisées à une échelle comprise entre le 1/10 000 et 1/25 000)	Date de référence nationale : 09/2013 ? Sources : FCEN
Sites du Conservatoire du littoral	Nom : cdl2015_02 Version : 2015 Echelle d'utilisation : 1/25 000	Date de référence nationale : 20/02/2015 Sources : Conservatoire du littoral
Sites Ramsar	Nom : ramsar2015_10 Version : octobre 2015 Echelle d'utilisation : 1/100 000	Date de référence nationale : 30/10/2015 Sources : MNHN, DIREN

Méthode

Superficie et part (%) des espaces protégés

La superficie des espaces protégés a été calculée par intersection entre les couches géographiques disponible à l'INPN pour les espaces protégés listés ci-dessous et les différents périmètres de territoires, sans double comptage des surfaces concernées par plusieurs types d'outils. Ensuite la part (%) des espaces protégés a été calculée en rapportant leur superficie (sans double compte) à la superficie totale du territoire.

ESPACES PROTÉGÉS

- Arrêtés de protection de biotopes ;
- Bien naturel ou mixte du patrimoine mondial de l'UNESCO ;
- Parcs nationaux (cœur de parc) ;
- Parcs naturels marins ;
- Réserves de biosphère ;
- Réserves intégrales de parc national ;
- Réserves naturelles de Corse ;
- Réserves naturelles nationales ;
- Réserves nationales de chasse et de faune sauvage ;
- Sites acquis ou « assimilés » des CEN ;
- Sites du Conservatoire du littoral ;
- Sites Ramsar.

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

Superficie et part (%) des espaces inventoriés et gérés

La superficie des espaces inventoriés et gérés a été calculée par intersection entre les couches géographiques disponible à l'INPN pour les espaces inventoriés et gérés listés ci-dessous et les différents périmètres de territoires, sans double comptage des surfaces concernées par plusieurs types d'outils. Ensuite la part (%) des espaces inventoriés et gérés a été calculée en rapportant leur superficie (sans double compte) à la superficie totale du territoire.

ESPACES INVENTORIÉS ET GÉRÉS

- Parcs nationaux (aire d'adhésion) ;
- Parcs naturels régionaux ;
- Natura 2000 : ZPS et SIC ;
- Znieff continentales de type I

L'indicateur a été calculé sur différents périmètres : Urban Atlas (LUZ ou C), EPCI, communes et Urban Morphological Zone (UMZ).

Inventaires d'espaces naturels

Inventaires d'espaces naturels	Couche SIG	Données
Zones d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) continentales de type I	Nom : ZNIEFF1 Échelles de saisie : 1re génération : entre 25 000e et 100 000e 2e génération : 25 000e	Date de constitution de la couche nationale : 2011
ZNIEFF continentales de type II	Nom : ZNIEFF2 Échelles de saisie : 1re génération : entre 25 000e et 100 000e 2e génération : 25 000e	Date de constitution de la couche nationale : 2011
ZNIEFF en milieu marin de type I	Nom : ZNIEFF1_MER Échelles de saisie : 25 000e	Date de constitution de la couche nationale : 2013
ZNIEFF en milieu marin de type II	Nom : ZNIEFF2_MER Échelles de saisie : 25 000e	Date de constitution de la couche nationale : 2013
Zones d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO)	Nom : ZICO Échelles de saisie : 100 000e	Date de référence nationale : 1994 Source : MNHN

Natura2000

Natura2000	Couche SIG	Données
Zones de Protection Spéciale	Nom : zps1609 Version : septembre 2015 Échelles de numérisation : du 1/100 000 (anciens sites) au 1/25 000	La couche contient tous les sites désignés par la France au titre de la Directive « Oiseaux » au 30/09/2015 Source : MNHN/DREAL
Zones Spéciales de Conservation / Sites d'Importance Communautaire	Nom : sic1609 Version : septembre 2015 Échelles de numérisation : du 1/100 000 (anciens sites) au 1/25 000	La couche contient tous les sites désignés par la France au titre de la Directive « Habitats, Faune, Flore » au 30/09/2015, sans distinction de statut Source : MNHN/DREAL

Espaces protégés

Superficie (m2) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	62 411 388	62 411 388	0	
Bordeaux	768 288 461	39 944 863	0	
Grenoble	96 712 702	9 334 577	0	
Lille	1 222 290	1 222 290	0	
Limoges	57 946 894	27 188	0	
Lyon	14 715 653	4 928 445	0	
Marseille	127 282 281	127 282 281	67 491 494	
Montpellier	83 718 043	31 152 201	0	
Nancy	4 491 863	52 837	0	
Nantes	74 105 913	10 724 097	0	
Orleans	4 360 873	2 297 615	0	
Rennes	771 702	13 233	0	
Moyenne		24 115 918	-	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	4,8	4,8	-	
Bordeaux	19,7	6,9	-	
Grenoble	6,0	1,7	-	
Lille	0,2	0,2	-	
Limoges	3,2	0,0	-	
Lyon	0,4	0,9	-	
Marseille	21,1	21,1	28,3	
Montpellier	14,2	7,1	-	
Nancy	0,2	0,0	-	
Nantes	3,2	2,0	-	
Orleans	0,2	0,7	-	
Rennes	0,0	0,0	-	
Moyenne pondérée[4]		4,2	-	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

Espaces inventoriés et gérés

Superficie (m2) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	478 961 415	478 961 415	16 986 186	
Bordeaux	1 111 009 042	88 660 860	4 435 171	
Grenoble	783 302 767	232 395 693	499 315	
Lille	14 287 089	14 287 089	0	
Limoges	164 901 424	8 698 827	0	
Lyon	703 660 713	51 759 503	0	
Marseille	240 068 997	240 068 997	80 671 867	
Montpellier	147 536 743	92 751 194	543 835	
Nancy	296 708 768	7 638 398	2 151	
Nantes	290 910 695	78 086 706	4 478 369	
Orléans	658 799 784	30 446 753	1 186 321	
Rennes	51 619 756	10 712 309	2 687 716	
Moyenne		111 203 979		

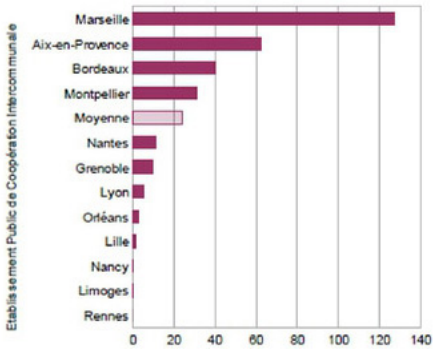
1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Établissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone

Part (%) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine				
Territoire	Atlas urbain[1]	EPCI[2]	Commune	UMZ[3]
Aix-en-Provence	37,0	37,0	9,1	
Bordeaux	28,5	15,4	8,9	
Grenoble	49,0	42,8	2,7	
Lille	2,3	2,3	-	
Limoges	9,0	1,7	-	
Lyon	21,2	9,6	-	
Marseille	39,7	39,7	33,8	
Montpellier	25,0	21,1	1,0	
Nancy	16,2	5,4	0,0	
Nantes	12,6	14,6	6,8	
Orléans	31,9	9,1	4,3	
Rennes	2,0	1,5	5,3	
Moyenne pondérée[4]		19,5	-	

1 Surface maximale couverte par l'Atlas Urbain
2 Etablissement public de coopération intercommunale
3 Urban Morphological Zone
4 Moyenne des valeurs pondérées par la surface des territoires

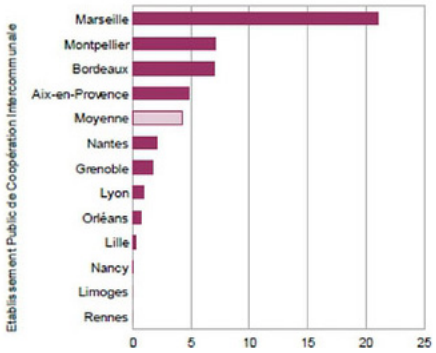
Superficie (km2) des espaces protégés 2015

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Part (%) des espaces protégés 2015

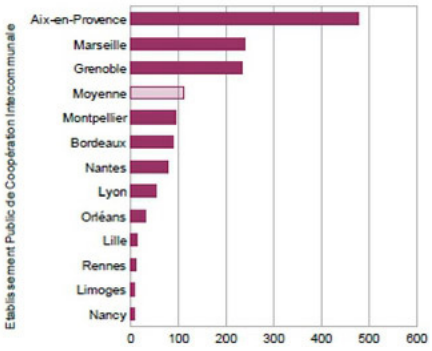
Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Espaces inventoriés et gérés

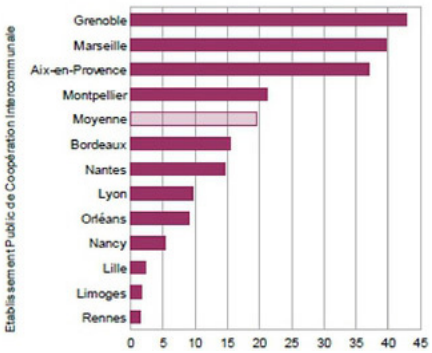
Superficie (km2) des espaces inventoriés et gérés 2015

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015



Part (%) des espaces inventoriés et gérés 2015

Basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015

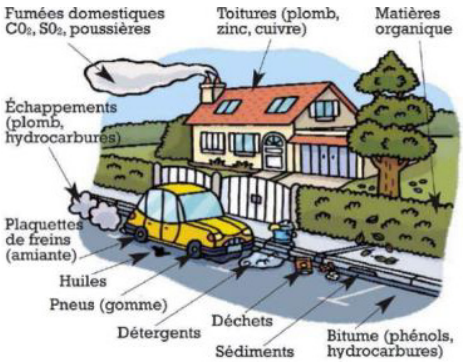


Annexe 28

Description rapide des sources de pollution des eaux urbaines

Tableau :

Description des différentes sources de pollution pouvant impacter les espaces de nature.

La pollution domestique (eau usées et pluviales) rejets urbains de temps de pluie eaux de ruissellement (Pourchet and Sibeud, 2013)  	- matières organiques et en suspension, - huiles et de graisses, - sels nutritifs - micropolluants organiques, de germes fécaux. - matière organiques ; -matières en suspensions - métaux comme le cuivre et le zinc - micropolluants organiques tels que les hydrocarbures - produits phytosanitaires - fondants routiers (Gromaire et al., 2013).
La pollution industrielle La pollution générée par ces rejets varie suivant le type d'activité industrielle.	- pollution chimique. - pollution physique (réchauffement de l'eau, matières en suspension des mines ou des carrières) (Onema, 2012b).
Les pollutions accidentelles Leurs origines sont multiples.	- accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations…) ; - usines (quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques..) ; - stations d'épuration (panne et déverse des eaux usées ou leurs boues) ; - ignorance ou à la légèreté de certains usagers (rejet de solvants chlorés dans les égouts, huiles de vidange…) (Onema, 2012b).

ANNEXE 29

Données sur la qualité des eaux pluviales et usées

- Concentrations moyennes événementielles des RUTP, étendue min – max des valeurs ou coefficient de variation CV selon les cas (Chocat et al., 2010)
- Synthèse de données européennes et nord-américaines sur les concentration des rejets d'eaux usées, pluviaux stricts, rejets de temps de pluie (Ellis et al., 2005)
- Importance relative de la contamination des eaux de ruissellement de différents types de surfaces urbaines (RA : retombées atmosphériques) (Gromaire et al., 2013)

Paramètres	Eaux usées (eaux résiduaires)	Rejets pluviaux stricts	Rejets urbains par temps de pluie
MES (mg/l)	150 - 500	20- **2600**	176 - 647
DCO (mg/l)	300 - **1000**	20 - 500	42 – **900**
DBO5 (mg/l)	100 - **400**	0.7 – 220	15 - **301**
N-NH4 (mg/l)	20 – 80	0.2 – 4,6	3.1 – 8
Cu (µg/l)	39-59	10 - 750	20-1180
Zn (µg/l)	75-185	10,0-**3680**	10,0-17
Pb (µg/l)	0.6 – 42.1	10,0-**3100**	2 -120
Cd (µg/l)	0.1-0.7	0.5 – 2.2	0.04 -0.4
NK (mg/l)	30 - 100	4 – 20	0.085-0.47
PT (mg/l)	10,0-25	0.02 – 14,3	6.5 – 14
Ni (µg/l)	2.5 – 3	2,0-32	0.5 - 19
Fe (µg/l)	380-420	6-1500	Donnée absente
DCO/DBO5	2 – 2.5	5 – 7.5	3.4 - 6.0

Index des illustrations

Figure 1 : Dessin de Luc Schuiten pour l'exposition Cités végétales Lyon 2010- Lyon 2100 (https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/urbanisme-ville/lyon-s-imagine-en-cite-vegetale-4227.php).

Figure 2 : 1925-1990 - Usages de l'écologie urbaine.

Figure 3 : Les 3 niveaux d'appréhension de l'écosystème urbain.

Figure 4 : Représentation schématique des différentes notions de qualification de l'urbain.

Figure 5 : Carte de l'agglomération rennaise (en noir, limite communale et d'agglomération), en jaune, communes rurales, en rouge communes urbaines.

Figure 6 : Photographie aérienne de la commune de Grenoble.

Figure 7 : Photographie aérienne de l'agglomération Grenoble Alpes Métropole.

Figure 8 : En vert, l'écosystème urbain « Rennes » selon les 4 critères définis ci-dessus sur une base cartographique de l'agglomération rennaise et de la commune de Rennes.

Figure 9 : Pollutions lumineuses Source/autorisation publication : http://avex-asso.org/dossiers/pl/france/zoom/cdf-normale.html.

Figure 10 : Zonage en aires urbaines 2010- source : INSEE.

Figure 11 : Part de la population urbaine et rurale selon les catégories du zonage en aires urbaines-source : INSEE.

Figure 12 : Surface de la végétation, l'hydrographie et les bâtiments sur la surface totale de la commune selon 4 bases de données à Grenoble.

Figure 13 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source BD topo).

Figure 14 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : Urban Atlas).

Figure 15 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : CLC).

Figure 16 : Carte d'occupation du sol sur la commune de Grenoble (Source : CLC).

Figure 17 : Pourcentage d'espaces de nature sur 28 unités urbaines (source Cerema d'après données urban atlas).

Figure 18 : Carte du pourcentage d'espaces aquatiques par unité urbaine :
(Sources : Données Urban Atlas ; Appartenance géographique des communes à l'unité urbaine au 1er janvier 2013 de l'INSEE, https://statistiques-locales.insee.fr/#c=home).

Figure 19 : Diagrammes récapitulatifs des 8 unités urbaines sélectionnées ;
(Sources : Données Urban Atlas ; Appartenance géographique des communes au 1er janvier 2013 et Population légale de 2011 de l'INSEE, https://statistiques-locales.insee.fr/#c=home).

Figure 20 : The processes and transport of metals in urban settings.

Figure 21 : Effets mésoclimatiques de la pollution de l'air dans les villes.

Figure 22 : Effet des dispositions urbaines, sur le microclimat.

Figure 23 : Divers albédos de l'environnement urbain (source : http://www.espere.net, mars 2006).

Figure 24 : Représentation des profils verticaux en zone dégagée et en zone urbaine.

Figure 25 : Illustration du phénomène de piégeage radiatif au niveau d'une rue canyon (source : Ringenbach, 2004).

Figure 26 : Qu'est ce qu'un bon lampadaire ? http://billom2008.over-blog.com/article-la-pollution-lumineuse-part-3-autres-donnees-45512807.html.

Figure 27 : Pollution lumineuse en Rhône-Alpes selon l'échelle de Bartolp.

Figure 28 : L'échelle des bruits, Mairie de Bordeaux http://www.bordeaux.fr/p6817.

Figure 29 : source : 20minutes.fr (publié le 11/02/2013, https://www.20minutes.fr/planete/1098503-20130211-faut-il-avoir-peur-renards-a-paris).

Figure 30 : Appropriation d'équipements urbains par la faune (source : présentation Deschamps-Cottin.

Figure 31 : Teneurs en nutriments et minéraux dans les sols urbains (Pulford, 1991).

Figure 27 : Répartition des communautés végétales en fonction de la fréquence de perturbation d'un habitat et des exigences en eau.

Figure 33 : Murs supports de végétation dans l'écoquartier la Courrouze à Rennes 2 (source : Cerema).

Figure 28 : Bâtiment mêlant toitures végétalisées, plantes grimpantes, arbres et ruches (source : comment concilier nature et habitat ?, CAUE de l'Isère, LPO).

Figure 29 : Intégration de nichoirs dans le bâti dans le quartier de la Barberie à Changé.

Figure 30 : Pieds d'arbres végétalisés à Rennes et Montpellier (source : Cerema).

Figure 31 : Jardin d'eau du pré curieux à Evian accordant une grande place aux zones humides (source : Cerema).

Figure 32 : Vue d'ensemble de la colonisation végétale de bassins d'infiltration.

Figure 33 : Illustrations de végétation dense et fonctionnelle.

Figure 34 : Perturbation du cycle de l'eau provoquée par l'urbanisation dans l'Ontario au Canada (source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie, modifié).

Figure 35 : Synthèse des fonctions présentes dans les milieux humides urbains.

Figure 36 : Différents éléments de la trame verte urbaine, Communication orale Gt urbain, Clergeau, 2014.

Figure 37 : Différents éléments de la trame verte urbaine, Communication orale Gt urbain, Clergeau, 2014.

Figure 38 : Contribution des départements français à l'approvisionnement de Paris en céréales, en produits animaux et en fruits et légumes en 2006, d'après l'analyse

de la base de données SitraM. Source : l'approvisionnement alimentaire de Paris (Gilles Billen).

Figure 39 : Quantité d'ordures ménagères collectées par unité urbaine, zone touristique et population communale.

Figure 40 : Pollution chronique due au trafic automobile (en milieu urbain, 40 % de ces micro-polluants sont évacués vers le milieu naturel par le ruissellement pluvial.

Figure 41 : Schéma théorique simplifié du flux de l'énergie et de la circulation de matière dans un écosystème urbain (source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie, françois Ramade, 2002, modifié par Cerema, DterCE).

Figure 42 : Représentation de l'index de Singapour d'après ADEME, http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/methode3p50.pdf.

Figure 43 : Diagnostic de la valeur écologique des espaces verts lyonnais - Tatiana BOUVIN - Responsable DD - Direction Espaces Verts - Ville de Lyon - Janvier 2.

Figure 44 : Taux d'imperméabilisation des sols 2012 pour une sélection de 12 villes françaises (fiche indicateurs) - basé sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015 - Source : Cerema Med.

Figure 45 : Taux d'imperméabilisation des sols 2012 pour une sélection de 12 villes françaises (fiche indicateurs) - basé sur les limites administratives des communes - Source : Cerema Med.

Figure 46 : Proportion de zones perméables dans les quinze plus grandes villes du Nord-Pas-de-Calais).

Figure 47 : superficie et part des masses d'eau (zones humides et surfaces en eau) pour une selection de 12 villes françaises de plus de 200.000 habitants - Source : 2016, Cerema Méditerranée.

Figure 48 : superficie et part des masses d'eau (zones humides et surfaces en eau) pour l'Île de France - Source : 2016, Cerema Méditerranée.

Figure 49 : Méthode de calcul de la maille effective, source : observatoire régional de la biodiversité du Nord Pas de Calais.

Figure 50 : Taille de la maille effective pour les EPCi d'une sélection de 12 villes métropolitaines françaises Source : Cerema Méditerranée 2.

Figure 51 : Part de la maille effective dans la surface communale des quinze communes les plus peuplées du Nord – Pas-de-Calais - Source ORB NPdC d'après ARCH, 2013.

Figure 52 : Bilan des indices ATMO en 2010 - Période estivale - Source : Fédération ATMO France (http://www.atmo-france.org/fr).

Figure 53 : Part des forêts dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015 - Source : Cerema.

Figure 54 : Part des forêts en Île de France - Source : Cerema.

Figure 55 : Part des forêts dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites administratives des communes - Source : Cerema.

Figure 56 : Orléans, Forets 2012 - Source : Cerema - 2016-d'après HR2012.

Figure 57 : Superficie des milieux humides dans une sélection de grandes villes de la France continentale basée sur la composition communale des EPCI au 01/01/2015.

Figure 58 : Superficie des milieux humides dans une sélection de grandes villes de la France continentale - basée sur les limites administratives des communes - Source : Cerema.

Figure 59 : Plan de la ville de Lyon et de ses environs, J-M. Darmet, en 1830 -
Source : Agence d'urbanisme de Lyon
http://www.urbalyon.org/AffichePDF/Mise_de_fond_sur_le_devenir_de_la_Part-Dieu__1ere_partie-168.

Figure 60 : Part des espaces verts urbains d'une sélection de grandes villes de la France continentale -basée sur les limites des EPCI - Source Cerema Méditerranée.

Figure 61 : Lyon - Parc de la Tête d'Or - Forêts 2012 - Source : Cerema - Méditerranée.

Figure 62 : Lyon - Parc de la Tête d'Or - Taux de couvert arboré 2012 - Source : Cerema Méditerrané.

Figure 63 : Parc du Lac du Maine, Angers ©ville d'Angers.

Figure 64 : ZOOM Inventaire du nombre d'espèces autochtones en île de France -Source : Naturparif -Diagnostic de la biodiversité en Île de France -
http://www.natureparif.fr/attachments/observatoire/Indicateurs/2013/Natureparif_diagnostic_biodiversite_WEB.pdf.

Figure 65 : Nombre d'espèces animales dans les quinze communes les plus peuplées du Nord-Pas-de-Calais - Source ORB Hauts de France d'après ARCH, 2013.

Figure 66 : Représentation schématique du modèle états - Transition - Source : McIntyre & Lavorel Agriculture Ecosystems and Environment (2007).

Figure 67 : Exemple de terrain vague, photo : Cerema IdF.

Figure 68 : Exemple d'espace vert ordonné - Source : www.flickr.com.

Figure 69 : Exemple d'espace vert en gestion différentiée - Source : Cerema DTer Idf.

Figure 70 : Exemple d'un milieu humide naturel asséché, Crédit photo : Pays de Montbéliard agglomération.

Figure 71 : Déchets ramassés dans une prairie humide, crédit photo : Mairie Mesnil-le-Roi.

Figure 72 : Exemple de canalisation de la fréquentation sur un milieu humide, Crédit photo : M.Bouquet, Cerema DTer IDF.

Figure 73 : Impacts physiques, chimiques et biologiques induits directement par la présence humaine sur les écosystèmes urbains.

Figure 74 : Les surfaces artificialisées et des surfaces imperméabilisées en France (Source : Cerema d'après Agreste).

Figure 75 : Les effets de l'imperméabilisation sur les hydrogrammes.

Figure 76 : Proportion des différents types de terrains consommés par l'artificialisation des sols en France (urbain et autres) (Source : Agence européenne de l'environnement).

Figure 77 : Exemple de cartographie de la tache urbaine à partir des données Majic.

Figure 78 : Répartition par source des émissions de Ges en France en 2013 (Source : Citepa, inventaire format Plan climat, avril 2015, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/article/199/1080/emissions-gaz-effet-serre-secteur-france.html).

Figure 79 : Indice Atmo qualité de l'air en 2012 – Nombre de jours où l'indice de qualité de l'air est médiocre, mauvais ou très mauvais (source : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air Traitements Soes, 2014, http://www.atmo-france.org/fr/).

Figure 80 : Exposition au bruit de la population au sein des agglomérations françaises de plus de 250 000 habitants.

Figure 81 : Populations en situation potentielle de dépassements des valeurs limites (VL).

Figure 82 : Indicateur 10 de l'indice de biodiversité urbaine Proportion d'espèces invasives.

Figure 83 : Espèces les plus préoccupantes ou les plus largement répandues en métropole (classement par niveau de présence / préoccupation décroissant) (CGDD 2015).

Figure 84 : Nombre d'espèces de plantes vasculaires exotiques envahissantes présentes depuis 1990 dans les quinze communes les plus peuplées du Nord - Pas-de-Calais.

Figure 85 : Répartition des pollens d'ambroisie et du risque allergique au pollen au sein de plusieurs villes françaises (2015) RNSA (http://www.pollens.fr/accueil.php).

Figure 86 : Répartition des communes selon les engagements dans le zéro pesticides (source : NaturParif 2014).

Figure 87 : Utilisation des pesticides selon le type d'espaces verts.

Figure 88 : Détail de l'indicateur Proportion des aires naturelles protégées de l'index de Singapour/

Figure 89 : Part des espaces protégés (en haut) et des zonages et de gestion (en bas) pour une sélection de grandes villes métropolitaines Source : Cerema, Méditerannée.

Figure 90 : Détails des parts communales en aires protégées, gérées ou labellisées en fonction des types de protection)/ NB : les données concernant les "espaces boisés classés" (en rouge) sont issues d'un questionnaire.

Figure 91 : Nombre de jour de canicules lors des trois épisodes caniculaires de l'été 2015 Source : Ign, 2015.

Figure 92 : Évolution du nombre de jours de canicule de la station de Bron
(source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html).

Figure 93 : Évolution du nombre de jours de canicule de la station de Bron
(source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html).

Figure 94 : Les îlots de chaleur urbain du quartier de la Part-Dieu à Lyon
(source Orecc, http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html).

Figure 95 : Évolution du nombre annuel de jours de fortes pluies sur la station de Bron
(Source : ORECC Rhône - http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/observatoire-des-effets-du-changement-climatique.html).

Figure 96 : Variation annuelle de la population entre 1975 et 2007 % Source : INSEE, 2010, https://www.insee.fr/fr/accueil).

Figure 97 : schéma de principe du modéle état et transition et de son déroulé dans le rapport EFESE urbain.

Figure 98 : Exemple de schéma synthétique des facteurs de changement et de leurs impacts sur l'état des milieux.

Figure 99 : Rejet d'eaux pluviales après pré-traitement, dans un milieu sensible (lac urbain enclavé combinant une zone humide et une zone de loisirs, Seine-Saint-Denis) collectées sur un bassin versant urbain de 430ha - Cerema IDF.

Figure 100 : Rejet d'eaux urbaines dans un milieu humide urbain.

Figure 101 : Etat - transition d'un milieu humide / "Imperméabilisation" de son bassin versant Source : Cerema.

Figure 102 : Influence de la conception sur la concentration des flux d'eau et de polluants dans les ouvrages de gestion des eaux de ruissellement : quelques exemples (Agence de l'eau Seine Normandie, 2013, http://www.eau-seine-normandie.fr).

Figure 103 : Végétation préservée en pied d'arbre.

Figure 104 : Etat transition d'un espace vert de point de vue de la gestion.

Figure 105 : Etat-Transition d'un milieu humide de point de vue de la gestion.

Figure 106 : Impact de la fréquentation humaine sur l'état des espaces verts.

Figure 107 : Comparaison des diversités spécifiques (H) des campagnes d'échantillonnage de 2012 et 2013 (Strasbourg) (Mehdi, 2013).

Figure 108 : Exemple de parc de conception horticole Source : photo source wikipedia : libre de droits.

Figure 109 : Exemple de parc de conception écologique Source : photo source wikipedia : libre de droits.

Figure 110 : Exemple d'approches pédagogiques dans les parcs.

Figure 111 : Exemple de parc multifonctionnel à gauche : travaux de conception d'une noue, Cerema Dter IDF au milieu : Fonctionnement hydraulique du parc des Guillaumes, Composante Urbaine en haut : pelouse inondable, quartier des trois rivières à Stain, Atelier de l'Ile.

Figure 112 : Impact de l'aménagement sur l'état général des espaces verts Source : Cerema.

Figure 113 : Evolution de l'occupation du sol entre 1994 et 2013 en France métropolitaine Source : Cerema Nord Picardie.

Figure 114 : Evolution de l'occupation annuelle du sol entre 1994 et 2012 en France métropolitaine Source : Cerema Nord Picardie.

Figure 115 : Répartition de l'occupation du sol entre 1994 et 2013 en France métropolitaine Source : Cerema Nord Picardie.

Figure 116 : Bloc diagramme de l'unité paysagère de Nantes – Extrait de l'atlas des paysages de Loire Atlantique 44 (http://www.paysages.loire-atlantique.gouv.fr/index932f.html?_pg=paysage&_p=3).

Figure 117 : Photographie et bloc diagramme de la sous-unité paysagère couronne de l'agglomération de Nantes.

Illustration 1 : « Fleur des enjeux », 7 enjeux de politique publique urbaine comme point d'entrée à l'évaluation des services écosystémiques, au centre l'éducation et la sensibilisation à la biodiversité comme enjeu commun et central (Source : Cerema, Séminaires collectivités, 2015).

Illustration 2 : Potentiels des bénéfices des espaces de végétalisation urbains (I4CE 2016).

Illustration 3 : Comparatif des coûts et services environnementaux rendus par des toits verts selon leur composition (M. Musy 2014).

Illustration 4 : séquestration annuelle de carbone par différentes espèces d'arbres.

Illustration 5 : Statistiques détaillées relatives à l'ensemble des espèces d'arbres (Treeconomics London 2015).

Illustration 6 : structure, function and value of street trees in California, USA, (Mc Pherson et al. 2016).

Illustration 7 : Les incidences du micro-climat et de la pollution sur la végétation, (Freytet 1993). Extrait de L'arbre en milieu urbain, (VegDUD 2014).

Illustration 8 : Les espèces les plus communes dans les espaces végétalisés publics strasbourgeois (Selmi 2016).

Illustration 9 : Résultats du stockage et de la fixation de carbone par la végétation arborée gérée par la ville de Strasbourg, issus du modèle i-Tree-Eco (Selmi 2016).

Illustration 10 : Résultats de stockage et séquestration carbone par la végétation (t/ha) ((Busy et al. 2014). Les termes « séquestration » et « fixation » sont considérés comme

synonymes.

Illustration 11 : Influence d'un arbre seul sur son environnement (Busy et al. 2014).

Illustration 12 : Calcul de confort thermique en moyenne journalière un 21 juin - Comparaison de deux alignements de platanes dans le 18e arrondissement de Paris (APUR 2014).

Illustration 13 : Pourcentage d'ombrage pour différentes espèces arborées (source : APUR).

Illustration 15 : Variations de température nocturne selon les scénarios de végétalisation, focus sur la région Île-de-France (De Munck 2013).

Illustration 16 : Thermographie d'une toiture végétale (APUR 2012). La température de surface de la toiture végétale est de 5 à 10° C inférieure à la température des surfaces dans la rue en contrebas.

Illustration 17 : Impact des toitures et façades végétalisées sur le confort thermique à l'intérieur des bâtiments pour une semaine chaude (maximum de 30°C) mais pas caniculaire (la température passe sous les 20°C chaque nuit) et pour un bâtiment sans isolation.

Illustration 18 : Baisse maximale des températures à 2m (en °C) en journée obtenue en ajoutant de la végétation et en l'arrosant. (CNRM 2012).

Illustration 19 : Écarts de température pouvant être reliés à la présence de végétation surfaces végétales.

Illustration 20 : Étendue des effets selon l'échelle des espaces de nature (D. Cuny et Cuny 2013).

Illustration 21 : Aspersion par buses de la rue de la Buire à Lyon, lors des fortes chaleurs. © Grand Lyon.

Illustration 22 : Consommations électriques annuelles liées à l'usage de la climatisation en GWh (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des transports et du logement 2009).

Illustration 23 : représentation pédagogique de la filtration des particules et de l'absorption des polluants par les végétaux (M.-A. Cuny et Thibaudon 2012).

Illustration 24 : Quantité de polluants éliminée chaque année (en tonnes) et valeurs associées (en $) (United States Department of Agriculture 2007).

Illustration 25 : Encadré sur la valorisation monétaire des impacts sanitaires attribuables à la pollution de l'air en France (CGDD 2013d).

Illustration 26 : Valeurs monétaires recommandées par le CGDD pour les épisodes morbides (CGDD 2013b).

Illustration 27 : Données issues de la thèse de Léa Tardieu (Tardieu 2014).

Illustration 28 : Cartographies des niveaux sonores à 100 Hz.

Illustration 29 : Niveaux sonores par rapport à la situation sans végétation (à gauche) et temps de réverbération (à droite). Les sources sonores sont localisées dans la rue et les effets sont évalués à l'extérieur de la rue.

Illustration 30 : Comparaison des conséquences du fonctionnement d'une ville « grise » et d'une ville « verte ». Source : Dter Est/C.Mucig, R. Suaire.

Illustration 31 : Moyennes de l'évolution des SE par commune de l'agglomération bordelaise en fonction des scénarios d'aménagement à horizon 203.

Illustration 32 : Représentation normalisée de la capacité de rétention de l'azote des sols de la région urbaine de Grenoble (REF).

Illustration 33 : Présentation schématique de la Zone Libellule avec ses différents dispositifs (Lyonnaise des Eaux 2013).

Illustration 34 : Photo de la Zone Libellule (Lyonnaise des Eaux et al., 2013).

Illustration 35 : Rendements d'élimination des micro-polluants organiques par classe calculés à partir des concentrations entrée et sortie des molécules quantifiées (> 10 ng/l) sur la campagne de juillet 2011 (Lyonnaise des Eaux 2013).

Illustration 36 : Fonctionnement hydraulique du parc des Jonchets (Cerema et MEDDE 2015).

Illustration 37 : Plans et aménagements du parc des Jonchets BE Infra services.

Illustration 38 : Plan schéma de la gestion alternative des eaux pluviales (Sequana Paysage / BE Silène, retouché Cerema/Dter Est).

Illustration 39 : Photos des dispositifs de collecte ou franchissement de la noue mis en œuvre sur l'écoquartier "Les rives du Bief" (Cerema/Dtech TV et Cerema/Dter Est).

Illustration 40 : Services fournis par les zones humides a) continentales et b) côtières (RAMSAR 2007).

Illustration 41 : rappel synthétique des processus écologiques contribuant au service de régulation des inondations.

Illustration 42 : fourniture du service de stockage du ruissellement par quartier de Rotterdam, 2015, (Derkzen, Verburg, et Van Teeffelen, A. 2015).

Illustration 43 : caractéristiques de la ville de Rotterdam et de ses espaces en eau.

Illustration 44 : schématisation du processus de modélisation hydrologique d'i-Tree.

Illustration 45 : Régulation des inondations : un espace vert à fort niveau de service de régulation des inondations.

Illustration 46 : La canalisation de la Bièvre vers les années 1950 et sa réouverture aujourd'hui, nouvelle zone de stockage des eaux et champs d'expansion des crues.

Illustration 47 : Schéma de principe de l'évolution du bilan hydrique et de la production du ruissellement en fonction de l'imperméabilisation du sol (Barraud 2008).

Illustration 48 : Les niveaux de services en fonction de l'intensité de l'événement pluvieux, (Cerema (2003), modifié par OIE 2014).

Illustration 49 : schéma de la matrice.

Illustration 50 : services écosystémiques potentiellement les plus rendus, pour un public large, par les ZH les plus répandues dans la prairie de la Scarpe et la vallée de l'Escaut.

Illustration 51 : variation du service de régulation des inondations entre 1990 et 2006 sur le territoire de la Communauté Urbaine de Bordeaux (Cabral et al. En révision), et par zone hydrographique du ScoT (CERTU 2003a) (Feger et al. 2015).

Illustration 52 : Moyennes de l'évolution des SE par commune de l'agglomération bordelaise en fonction des scénarios d'aménagement à horizon 203.

Illustration 53.

Illustration 54 : Coûts des différentes techniques compensatoires (ONEMA 2008).

Illustration 55 : Zoom : l'analyse fonctionnelle des espaces ouverts en Île-de-France :
(Sources : http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/environnement/espaces-ouverts/analyse-fonctionnelle-des-espaces-ouverts.html, consulté le 04/08/15).

Illustration 56 : Zoom : le dispositif PENAP-PSADER dans le SCoT de l'agglomération lyonnaise.

Illustration 57 : Schéma représentant l'autonomie alimentaire de Rennes selon deux scénarios d'alimentation (Sources rennes, ville vivrière, Darrot, 2015.

Illustration 58 : Résultats de l'indicateur Superficie des espaces de verts urbains pour 1000 habitants Source, Cerema Méditerranée, 2.

Illustration 59 : Illustration 60 : Superficies des espaces de loisirs et de nature urbaines pour mille habitants pour l'agglomération (63) et pour la commune centre de l'agglomération (64) (source : Cerema Méditerranée, 2016).

Illustration 61 : Superficie des espaces de loisirs de nature pour mille habitants pour la région Île-de-France.

Illustration 62 : Figure 10.3 Carte du pourcentage des espaces de nature et de leur densité (m^2/habitant d'espaces de nature urbaines) - Analyse des chiffres communaux des villes centres d'agglomération pour les 30 communes françaises répertoriées à l'urban atlas en 2013.

Illustration 63 et Illustration 64 : Part de la population 2010 résidant à moins de 300 mètres d'un espace vert public ou d'une forêt pour une sélection de villes métropolitaines (10.6) et pour la région Île-de-France (10.7) (Cerema, 2016).

Illustration 65 : Chiffres de la population 2010 résidant à moins de 100 à 500 mètres d'un espace vert public à Toulouse (Mairie de Toulouse, Observatoire de l'environnement 2009).

Illustration 66 : Répartition cartographique de la population 2010 résidant à moins de 100 à 500 mètres d'un espace vert public à Toulouse (Mairie de Toulouse, Observatoire de l'environnement 2009).

Illustration 67 : Modèle socio-économique pour l'utilisation des espaces vert urbain (Giles-Corti 2005), Sallis et al. (2006).

Illustration 68 : (à gauche) – fréquentation du parc dans la journée / (à droite) – fréquentation du parc dans la semaine ((Hémon 2014).

Illustration 69 : Partie du parc de l'Arrou à Blois fréquentée (Hémon 2014).

Illustration 70 : Activités pratiquées au sein du parc de l'Arrou (Hémon 2014).

Illustration 71 : Ouverture d'une darse à partir de la Saône lors de la requalification urbaine du projet Confluence.

Illustration 72 : Détails des indicateurs 22 et 23 de l'Index de Singapour (Cerema, 2016).

Illustration 73 : Les éléments que recherchent les usagers en fréquentant un espace vert (Cosquer 2014) .

Illustration 75 : Aspect pédagogique des espaces verts (Launay 2014).

Illustration 76 : Rôles éducatifs des espaces verts (Launay 2014).

Illustration 77 : Plan du Pré-Curieux (Évian-les-Bains).

Illustration 78 : Traversée risquée de la chaussée par un écureuil roux entre deux espaces boisés.

Illustration 79 : Table 2.1. Patrimoine naturel Source : Extrait de l'EFESE, Volume 1 Objectifs, cadre conceptuel et glossaire analytique.

Illustration 80 : Type et le nombre des protections rencontrées parmi 12 grandes villes françaises : Aix-en-Provence, Bordeaux, Grenoble, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Rennes, Nantes, Orléans, Rennes. Source Cerema, 2.

Illustration 81 : Part(%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine Source Cerema, 2.

Illustration 82 : Part des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine. Source Cerema, 2016.

Illustration 83 : Exemple d'une page de l'ouvrage "Toulouse, la nature au coin de ma rue" (Truptil 2012).

Illustration 84 : Photo aérienne des arbres de Bordeaux.

Illustration 85 : Zoom sur les arbres du Parc Bordelais.

Illustration 86 : QR Codes à Bordeaux.

Illustration 87 : Exposition permanente à Strasbourg : "Les oiseaux dans la ville".

Illustration 88 : Evolution de la richesse spécifique de l'avifaune sur 10 sites remarquables propriété de la ville d'Orléans Source (Ville d'Orléans 2014).

Illustration 89 : Marseille Provence - zoom centre.

Illustration 90 : Principales contraintes liées à la présence d'espèces animales et végétales.

Illustration 91 : Ragondins et canards colvert sur le bassin Jacques Cœur en plein centre de Montpellier (Cécile TETREL, Cerema).

Illustration 92 : Origines et localisation des contraintes mécaniques.

Illustration 93 : Trottoir détérioré par les racines à Vaison-la-Romaine (Cécile TETREL, Cerema).

Illustration 94 : Revêtement dégradé par les racines d'un arbre (Cécile TETREL, Cerema).

Illustration 100 : Description des étapes d'élaboration du modèle Etats-Transitions.

Illustration 101 : Rappel des chapitres précédents pour la construction du modèle état et transition.

Illustration 102 : nNiveaux de services retirés du Parc de la Seille.

Illustration 103 : Représentation des fourchettes des niveaux de service retirés des cinq états d'espaces verts.

Illustration 104 : Estimation des niveaux de services retirés de la ZH réhabilité des Jonchets - Grand Charmont (25).

Illustration 105 : Représentation des fourchettes des niveaux de service retirés des cinq types de milieux humides.

Illustration 106 : Synergies et antagonismes entre services entre les différents états d'espaces verts : cas des services « qualité de l'air et climat ».

Illustration 107 : Synergies et antagonismes entre services entre les différents états d'espaces verts : cas des services « qualité de l'air et climat ».

Illustration 108 : Synergies et antagonismes entre services dans les différents états de milieux humides.

Illustration 109 : mise en évidence du bouquet "Auto-épuration, Inondation, Expérimentation/éducation".

Illustration 110 : Mise en évidence du bouquet "climat global, local, qualité de l'air et aménité paysagère".

Illustration 111 : mise en évidence du bouquet "climat local, auto-épuration, inondation, expérimentation/éducation, activités récréatives/loisirs".

Illustration 112 : Schéma de synthèse : déclinaison du modèle Etats-tansitions sur les milieux humides pour deux scénarios prospectifs.

Illustration 113 : Déclinaison du modèle États-Transitions sur les espaces verts pour deux scénarios prospectifs.

Illustration 95 : Variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006 par commune sur l'ensemble de l'agglomération bordelaise.

Illustration 96 : Variation des services écosystémiques entre 1990 et 2006 par commune sur l'ensemble de la métropole bordelaise.

Illustration 97 : Variation conjointe des services écosystémiques pour tous les scénarios en utilisant 2006 comme référence.

Illustration 98 : Variation conjointe par commune des services écosystémiques pour tous les scénarios en utilisant 2006 comme référence.

Illustration 99 : Évolution de l'occupation du sol pour chaque scénario à l'échelle de l'agglomération.

Illustration 114 : Représentation schématique des liens pouvant exister entre espaces de nature fournissant des services écosystémiques, thématiques environnementales et conséquences potentielles sur la santé humaine.

Illustration 115 : Pourcentage de la population urbaine exposée aux concentrations de polluant d'air au-dessus des objectifs de qualité de l'air de l'Union européenne (2009-2011)- Source : European Environment Agency.

Illustration 116 : Échelle du bruit (ADEME 2008).

Illustration 117 : Proportions de personnes se déclarant souvent ou en permanence gênées par le bruit à leur domicile selon leur lieu de résidence (Source : ORS).

Illustration 118 : Lien entre activité physique et santé. Source : INSERM – 2008, Physical activity recommandations for Americans.

Illustration 119 : insertion du risque dans la dynamique urbaine (November 1994).

Illustration 120 : Des écosystèmes à l'atténuation des risques / au bien être – schéma adapté Cerema (MNHN 2010).

Illustration 121 : SGEU d'après ANR OMEGA (Cherqui et al. 2013).

Illustration 122 : Part de la population urbaine en France – Rétrospective et projections (en %) (Sénat 2011).

Illustration 123 : Répartition des prélèvements par ressource et secteur d'activités en 2009 - (CGDD 2012).

Illustration 124 : Services et écosystèmes urbains permettant de répondre à l'enjeu d'accès sécurité aux ressources.

Illustration 125 : Schéma de la zone libellule.

Illustration 126 : Schéma de principe de l'ouvrage du SIVOA.

Illustration 127 : parc en gestion différentiée et zéro phyto.

Illustration 128 : Impact positif de la modification de la gestion d'un milieu humide sur le service d'autoépuration, d'inondation et d'éducation.

Illustration 129 : Panneau d'information du fonctionnement écologique du milieu.

Illustration 130 : Influence de la conception d'un ouvrage sur la concentration des flux d'eau et de polluants dans les ouvrages de gestion des eaux de ruissellement : quelques exemples Agence de l'eau Seine Normandie, 2013 (http://www.eau-seine-normandie.fr/).

Illustration 131 : Ancienne friche industrielle revégétalisée avec une gestion de l'eau intégrés.

Illustration 132 : Schéma sur les conséquences de l'urbanisation et enjeux risques et sécurité associés. Adapté Cerema selon [Grand Lyon, 2008].

Illustration 133 : Effet de l'imperméabilisation sur les hydrogrammes (Battaglia et al. 2003).

Illustration 134 : Services et écosystèmes urbain répondant à l'enjeu de gestion quantitative des eaux en ville.

Illustration 135 : Schéma de principe de l'évolution du bilan hydrique en fonction de l'imperméabilisation du sol (Barraud 2008).

Illustration 136 : Un parc modelé pour gérer les eaux pluviales créant un paysage de vague dans la ville.

Illustration 137 : Les communes exposées au risque d'inondation et les PPRi en 2012.

Illustration 138 : Comparaison du cout des inondations en France depuis 30 ans avec celui d'inondation de la Seine si elles se reproduisent aujourd'hui (IIBRBS, DRIEE, préfecture de police 2010).

Illustration 139 : Principe de conception d'un aménagement de gestion des crues (ASTEE 2013).

Illustration 140 : Synthèse des services et écosystèmes contribuant à la protection des populations en milieu urbain.

Illustration 141 : Schéma de l'évolution des pratiques vers le concept de ville "hydro-sensible" – (N. Maughan 2014).

Illustration 142 : Dispersion des politiques publiques traitant du sol (Source : Cerema Ile de France).

Illustration 143 : Aménagement, conception et gestion écologique des espaces de nature et des espaces publics : apports de l'EFESE urbain et options pour les politiques publiques.

Illustration 145 : La santé des citadins et les espaces de nature : apports de l'EFESE urbain et options de politiques publiques.

Illustration 146 : L'éducation à l'environnement, connaître pour mieux agir : apports de l'EFESE urbain et options de politiques publiques.

Illustration 147 : Réduire les inégalités environnementales : apports de l'EFESE et options pour les politiques publiques.

Index des tableaux

Tableau 1 : Comparaison de typologies appliquées aux milieux urbains – Source (Cerema DTer Centre Est, adapté des typologies CLC, EUNIS, et AITF).

Tableau 2 : Typologie des écosystèmes urbains pour l'EFESE Source : Cerema.

Tableau 3 : Synthèse des différentes notions de qualification de l'urbain- (Cerema 2013).

Tableau 4 : Distribution de la population urbaine par région de 1950 à 2010 avec les projections 2030 et 2050 (source IPCC WGII AR5 Chapter 8).

Tableau 5 : Effets mésoclimatiques de la pollution de l'air dans les villes (source : dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, (François Ramade 2002).

Tableau 6 : Espèces dominantes en fonction des caractéristiques de l'habitat.

Tableau 7 : Tableau 3.5 : les fonctions retenues par le cadre conceptuel Efese.

Tableau 8 : Matrice d'interactions de l'écosystème urbain et des autres écosystèmes.

Tableau 9 : Extrait du dispositif d'évaluation RFSC, source : (RFSC, mode d'emploi général (2012) téléchargeable ici : app.rfsc.eu/userfiles/file/Guidegeneraldutilisation.pdf).

Tableau 10 : Synthèse des indicateurs d'état retenus pour l'écosystème urbain à l'échelle de la ville -Source : Cerema.

Tableau 10 : Taux d'imperméabilisation des sols pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine, source : Cerema-DTer Med.

Tableau 11 : Taux de couvert arboré d'une sélection de villes métropolitaines françaises et de la région Île de France Source : Cerema Méditerranée.

Tableau 12 : Présentation des services retirés des espaces verts et des milieux humides urbain, (+) proportionnel au nombre de fois où le service est cité - Source : Cerema.

Tableau 13 : Tableau d'indicateurs à l'échelle des espaces de nature - Source : Cerema.

Tableau 14 : Matrice d'état des Espaces Verts- Source : Cerema.

Tableau 15 : Matrice d'état des Milieux Humides urbains - Source : Cerema.

Tableau 16 : Tableau des indicateurs de pression à l'échelle de la ville - Source : Cerema.

Tableau 17 : Impact croisé du type d'imperméabilisation et de la politique de gestion des eaux sur l'état des milieux humides urbains.

Tableau 18 : Impact croisé des pratiques d'entretien de la végétation et de l'application de produits phytosanitaires dans les espaces de nature en ville.

Tableau 19 : Synthèse des indicateurs de changement source : Cerema.

Tableau 1 : Végétation urbaine de Londres - Évaluation du service de régulation du climat global - Stockage et fixation du carbone (Treeconomics London 2015).

Tableau 2 : Forêt urbaine New-Yorkaise – Evaluation du service de régulation du climat global – Stockage et séquestration du carbone (United States Department of Agriculture 2007).

Tableau 3 : Synthèse des résultats obtenus.

Tableau 4 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts.

Tableau 5 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides.

Tableau 6 : Évaluation du service de séquestration du carbone pour la ville de StrasbourgSource : Cerema, 2.

Tableau 7 : Végétation urbaine de Londres - Evaluation du service de régulation du climat local - Effets des arbres en termes de consommations énergétiques sur les bâtiments situés à leur proximité (par an) (Treeconomics London 2015).

Tableau 8 : Forêt urbaine new-yorkaise - Évaluation du service de régulation du climat local - Consommations énergétiques et émissions de carbone évitées (par an) (United States Department of Agriculture 2007).

Tableau 9 : Forêt urbaine new-yorkaise - Evaluation du service de régulation du climat local - Dépenses énergétiques évitées et valorisation des émissions de carbone évitées (par an) (United States Department of Agriculture 2007).

Tableau 10 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts.

Tableau 11 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides.

Tableau 12 : Synthèse de quelques données quantitatives recensées.

Tableau 13 : Coûts sociaux des dommages selon le polluant et la zone géographique considérés (Treeconomics London 2015).

Tableau 14 : Quantité de polluants éliminée chaque année (en tonnes) et valeurs associées (Treeconomics London 2015) (Source : Treeconomics London, Valuing London's urban forest. Results of the London i-Tree Eco Project, 2015).

Tableau 15 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts.

Tableau 16 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les milieux humides.

Tableau 17 : Méthodes globales de quantification/qualification du Service d'auto-épuration des milieux aquatiques ou d'une fonction écologique à l'origine du service.

Tableau 18 : Tableau comparatif des performances épuratoires de quelques systèmes extensifs de traitement des eaux pluviales.

Tableau 19 : Synthèse de la valeur des biens et services écosystémiques des milieux humides urbains.

Tableau 20 : Valeur monétaire du service de purification de l'eau rendu par les zones humides (CGDD 2013a).

Tableau 21 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts.

Tableau 22 : Niveaux de services pour le modèle état et transition sur les espaces verts.

Tableau 23 : Paramètres proposés dans l'EFESE pour quantifier la capacité des écosystèmes à rendre le service de régulation des inondations en milieu urbain.

Tableau 24 : Indicateurs proposés par la Commission européenne pour cartographier et évaluer le service de régulation des flux d'eau et le service de protection contre les inondations en ville.

Tableau 25 : Végétation urbaine de Londres - Evaluation du service d'atténuation des eaux de ruissellement (Treeconomics London 2015).

Tableau 26 : Évaluation du service d'atténuation des eaux de ruissellement rendu par les arbres de la ville de Minneapolis (Mc Pherson et al. 2005).

Tableau 27 : Valeurs a minima (en €/ha/an) proposées pour le service de régulation des débits d'eau et le service de protection contre les crues (CGDD 2013c).

Tableau 28 : Quantification, par dire d'expert, de la capacité des espaces verts urbains à fournir le service de régulation des inondations.

Tableau 29 : Quantification, par dire d'expert, de la capacité des milieux humides urbains à fournir le service de régulation des inondations.

Tableau 10.1 : Classification internationale CICES par l'Agence européenne de l'environnement, 2013.

Tableau 10.2 : Sélection des services écosystémiques culturels traités en milieu urbain (Source : Cerema, 2016).

Tableau 10.3 : Exemples d'indicateurs pouvant contribuer à évaluer les SEC retenus (Cerema, 2016) .

Tableau 10.4 : Détails de l'indicateur 13 de l'Indice de biodiversité urbaine (Source : CDB, 2010).

Tableau 30 : Part (%) des espaces protégés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine
Source Cerema, 2.

Tableau 31 : Part (%) des espaces inventoriés et gérés pour une sélection de grandes villes de France métropolitaine
source Cerema, 2.

Tableau 32 : différents dispositifs mis en place pour des villes citées précédemment (liste des espèces présentes et identifiées non exhaustive).

Tableau 33 : Matrice des couples de services.

Tableau 34 : Classification des risques en milieu urbain selon Gleyze, 2002 ; (Metzger 1994) et (« MEA » 2005). En orange, risques étudiés au travers de l'analyse des SE en milieu urbain.

Tableau 35 : Emploi environnemental par domaine et par type d'activité en 2015, en ETP (CGDD-Soes 2015), Les éco-activités et l'emploi environnemental en 2015 : premiers résultats, Mai 2017).

* * *

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Commissariat général au développement durable
Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable
Sous-direction de l'économie des ressources naturelles et des risques (ERNR)

Tour Séquoia,
92055 La Défense Cedex

Courriel : ernr.seei.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

Directrice de la publication : Laurence Monnoyer-Smith

Rédactrice en chef : Laurence Demeulenaere

Conditions générales d'utilisation :

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille — 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 — art. L. 122-4 et L. 122-5)..

Réalisation de ce livre numérique :

© Direction de l'information légale et administrative, Paris 2018.

ISBN : 978-2-11-145863-5