Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Les écosystèmes rocheux et de haute-montagne

THÉMA
Analyse

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 relatif aux écosystèmes rocheux et de haute-montagne.

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

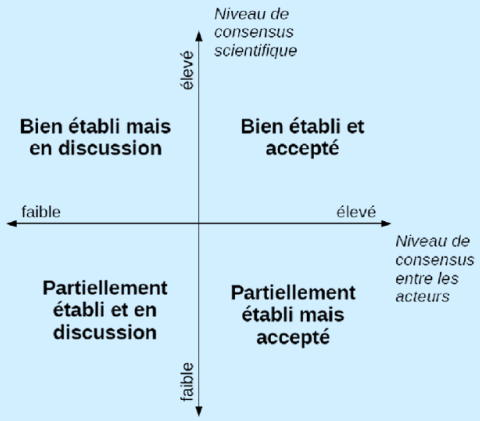
Les messages clés à l'attention des décideurs reflètent le contenu de l'étude le plus pertinent pour les décideurs. Ils sont rédigés conjointement par l'équipe projet du ministère et les auteurs des études. Sont recherchés :

- 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

En l'absence de définition unifiée, les ***écosystèmes de haute-montagne*** *ont été délimités selon des critères bioclimatiques et d'altitude, d'enneigement et de type de couvert des sols pour l'EFESE. Ils couvrent les milieux naturels terrestres non forestiers des étages subalpins, alpins et nivaux dans les Alpes, les Pyrénées et la Corse, et représentent 2 % de la surface de la France métropolitaine. Outre-mer, les formations altimontaines présentent des particularités liées notamment à l'insularité et au caractère volcanique. Le territoire national comprend aussi une grande diversité de* ***milieux rupestres*** *d'origine anthropique (terrils, carrières, etc.) et d'origine naturelle (éboulis, parois rocheuses, etc.).*

Etat, pressions et tendances d'évolution des écosystèmes de haute montagne

1. Les écosystèmes de haute-montagne accueillent une biodiversité exceptionnelle du fait de leur complexité topographique et géologique, des contraintes climatiques, de leurs trajectoires historiques, et notamment des effets des glaciations et des usages des sols actuels et passés. À l'échelle du continent européen, les milieux de haute montagne couvrent 3 % de la superficie et pourtant ils abritent environ 20 % de sa diversité végétale[1]. Parmi les espèces les plus menacées à l'échelle nationale, la haute montagne est l'habitat de quatre espèces de mammifères, 28 espèces d'oiseaux et 12 espèces de reptiles et amphibiens[2]. Les quatre parcs nationaux couvrant la haute montagne métropolitaine (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Pyrénées)

[1] Bien établi (Chapitre 3.1)

[2,3] Bien établi (Chapitre 11.1)

comptent 186 espèces de flore inscrites sur la Liste Rouge des espèces menacées de l'UICN® comme en danger critique, en danger, vulnérables ou quasi-menacées[3].

2. Aujourd'hui globalement dans un état de conservation favorable, les écosystèmes de haute montagne sont pourtant menacés[1]. Certains habitats sont actuellement dans un état défavorable : i) les glaciers réduits par le changement climatique, ii) certaines zones humides, en particulier des tourbières, détruites, fragmentées et polluées par l'urbanisation et les infrastructures des domaines skiables, iii) certaines formations herbacées sèches en cours d'embroussaillement suite à la déprise agricole et iv) les prés-bois à Mélèzes ou Pins Cembro dépendant de pratiques traditionnelles[2]. Les écosystèmes de haute montagne sont menacés par des pressions locales comme l'abandon ou la modification des pratiques pastorales (surpâturage localisé, etc.)[3] et le développement touristique[4], ou des pressions diffuses comme le changement climatique[5] et les pollutions dont la déposition d'azote atmosphérique[6].

[1,2] Bien établi (Chapitres 5.1 et 5.2)

[3] Bien établi (Chapitre 6.5)

[4] Bien établi (Chapitre 6.6)

[5] Bien établi (Chapitre 6.3)

[6] Bien établi (Chapitre 6.9)

3. En Outre-mer, les milieux altimontains abritent une biodiversité exceptionnelle, notamment floristique : sur 206 taxons végétaux répertoriés à l'étage altimontain à La Réunion, plus de 30 % sont des endémiques strictes à la Réunion et 47 % du seul archipel des Mascareignes[1]. Comme en métropole le changement climatique et les pressions associées au tourisme menacent les habitats et espèces d'altitude ultramarins. Les impacts des espèces envahissantes animales et végétales sont aussi considérables dans les îles et constituent une menace majeure pour le maintien des milieux, tout comme l'augmentation des incendies conséquents aux sécheresses accrues[2].

[1] Bien établi (Rapport annexe Outre-mer Chapitre 1.4)

[2] Bien établi (Rapport annexe Outre-mer, Chapitres 2.2)

Biens et services écosystémiques, patrimoine naturel

4. Les biens et services des écosystèmes de haute montagne offrent des avantages à une multiplicité de bénéficiaires, locaux et distants[1]. Ce sont des milieux fortement multi-fonctionnels à l'échelle régionale et à l'échelle très locale qui fournissent à la société des niveaux de services élevés malgré leurs surfaces réduites[2].

[1] Bien établi (Chapitres 14 et 8 à 11)

[2] Bien établi (Chapitres 14 et 8 à 11)

5. La production de fourrage est une activité structurante des écosystèmes de haute montagne et de la biodiversité associée[1]. Les interactions entre contraintes abiotiques, structure paysagère et gestion façonnent une grande diversité des types d'herbages, en termes de qualité fourragère comme de rendements (d'à peine 1 tonne pour les formations nivales à plus de 6 tonnes de matière sèche par hectare pour certains prés de fauche fertilisés)[2]. Outre ses avantages économiques, elle contribue à la santé humaine *via* l'alimentation, les activités récréatives de nature, le bien-être psychologique et le lien social[3]. Les alpages créent des liens avec les éleveurs de plaine, notamment par la pratique de la transhumance. Le changement climatique augmente la demande pour ces alpages et ainsi les pressions sur leur biodiversité4. Les prairies et pelouses de haute montagne ont une forte valeur patrimoniale[5]. Elles accueillent de nombreuses espèces patrimoniales comme la Reine des Alpes, diverses orchidées, le Chamois, le Mouflon en Corse, ou des papillons comme le Grand Apollon[6]. La production de fourrage entretient des relations étroites directes et indirectes avec la régulation hydrologique, le contrôle de l'érosion et des risques naturels, les activités récréatives et touristiques, la cueillette des plantes

[1,2,3] Bien établi (Chapitre 8.1)

[4] Bien établi (Chapitres 10.2 et 13.1)

[5,6] Bien établi (Chapitre 15.2)

[7] Bien établi (Chapitre 12)

[8] Bien établi (Chapitres 6 et 5)

[9] Bien établi (Chapitre 6.4)

[9] Bien établi (Chapitre 15.3)

sauvages et les aménités paysagères[7]. Outre le changement climatique, ces valeurs sont menacées par la déprise agricole ou le surpâturage localisé[8].
Les pratiques d'élevage actuelles entrent en conflit avec la présence de grands prédateurs, ce qui nécessité une recherche de conciliation ou des arbitrages[9].
La durabilité de l'élevage est tributaire des évolutions des politiques publiques agricoles et de biodiversité, du maintien et de l'amélioration des conditions d'emploi en montagne, et du développement de la pluriactivité, de l'innovation et des infrastructures[10].

6. Les sols des écosystèmes de haute-montagne et les milieux humides de haute montagne contiennent des stocks de carbone significatifs mais mal connus[1]. Ces stocks sont très vulnérables au climat, aux usages agricoles, et aux impacts du tourisme et des infrastructures[2]. Ils ont une faible résilience une fois détruits du fait de leur dynamique écologique lente[3].Soumis aux influences combinées des changements climatiques et d'usage des sols, les flux de carbone demeurent également très mal connus malgré les enjeux[4].

[1,2,3,4] Partiellement établi (Chapitre 9.1)

7. En tête des bassins versants, les écosystèmes de haute montagne participent à la régulation hydrologique, qui détermine la production d'énergie hydro-électrique, la régulation des crues, et la préservation des habitats de milieux humides[1]. Même si leur contribution est marginale par rapport aux forêts et aux glaciers et masses neigeuses, leur couverture végétale régule significativement les flux et la qualité de la ressource en eau[2]. Les zones humides jouent un rôle critique de filtration et de dissipation des forces érosives. Cependant les connaissances quantitatives sont limitées, en particulier en ce qui concerne la contribution de différents types de végétation herbacée[3].

[1,2] Partiellement établi (Chapitre 9.2)
[3,4] Partiellement établi (Chapitre 16.3)

La régulation hydrologique dépend d'écosystèmes de haute montagne très vulnérables au changement climatique, aux impacts des activités touristiques et, dans une moindre mesure, à la déposition d'azote et à la multiplication de microcentrales[4].

8. Les écosystèmes de haute montagne en haut de versants contribuent au contrôle de l'érosion[1] et des risques naturels[2]. Ils sont ainsi garants des autres activités (agriculture, tourisme) et de la sécurité des personnes et des infrastructures[3].
La couverture végétale joue un rôle significatif, mais les connaissances sont très limitées sur les effets respectifs des différents types de végétation[4].
En dégradant la végétation et les sols, le tourisme et les infrastructures réduisent le contrôle de l'érosion et des risques naturels par les écosystèmes de haute montagne[5], mais la revégétalisation, en particulier avec des semences locales, permet d'atténuer ces impacts[6].
La progression des espèces ligneuses en réponse à l'abandon pastoral et au réchauffement climatique ne pourront vraisemblablement pas compenser l'augmentation de la demande de régulation due à la recrudescence des extrêmes climatiques[7].

[1] Bien établi (Chapitre 9.3)

[2] Partiellement établi (Chapitre 9.4)

[3,4,5] Bien établi (Chapitres 9.3 et 9.4)

[6] Bien établi (Chapitre 6.6)

[7] Partiellement établi (Chapitres 9.3 et 9.4)

9. Les écosystèmes de haute montagne sont le support d'une diversité de pratiques récréatives et touristiques de plein air.
Ces activités économiques majeures et structurantes placent les régions concernées parmi celles offrant le plus de lits touristiques par habitant à l'échelle nationale et le plus d'emplois de professionnel des sports de nature par lit[1]. Ils accueillent un public varié de pratiquants locaux, nationaux et internationaux.
Cependant les activités sont fortement concentrées dans les massifs et sommets emblématiques dotés de glaciers et de neiges éternelles[2]. L'attractivité pour les activités récréatives de pleine nature dépend de la qualité

[1,2,3,4,5] Bien établi (Chapitre 10.1)

[6] Partiellement établi (Chapitre 13.2)

[7] Partiellement établi (Chapitre 15.2)

des milieux, y compris des aménités paysagères, de quelques éléments de biodiversité emblématique, et de l'agriculture[3]. Elle est réduite par des changements localisés (altération ou destruction d'habitats, dérangement, pollution des eaux) ou diffus (flux hydrologiques, sédimentaires, pollution de l'air et de l'eau)[4]. La structuration de la fréquentation par les saisons (été / hiver) a varié au cours de l'histoire récente, et le changement climatique renforce les activités estivales[5]. Les activités récréatives peuvent affecter la biodiversité emblématique et patrimoniale. Ces interactions concernent principalement l'étage subalpin, mais aussi l'étage alpin pour les Pyrénées, où les zones de tranquillité à faible attractivité récréative et forte valeur d'habitat pour la faune sont plus réduites que dans les Alpes[6]. Ces interactions sont régulées par l'encadrement réglementaire des pratiques, la formation des professionnels et l'éducation, mais demandent aussi de consolider la concertation entre les acteurs[7].

10. Les écosystèmes de haute montagne abritent des espèces emblématiques et constituent des paysages à très forte valeur patrimoniale, reconnue au travers des classements de sites et des labels[1]. 93 % de la surface des écosystèmes de haute montagne sont reconnus comme d'intérêt pour la biodiversité (ZNIEFF, ZICO), et 57 % de la superficie est couvert par un statut de protection, témoignant de l'importance accordée par la société à ce patrimoine[2]. Leur importance culturelle nationale est aussi visible au travers de la culture populaire et artistique[3]. Pour autant, le classement en aire protégée ou la labellisation ne sont pas toujours garants d'un bon état écologique, et ne prémunissent pas des menaces par le changement climatique, le tourisme et les mutations de l'agriculture[4].

[1] Bien établi (Chapitres 11.2 et 11.3)

[2] Bien établi (Chapitre 2.3)

[3] Partiellement établi (Chapitre 11.4)

[4] Bien établi (Chapitre 2.3 et 7.2)

11. Du fait de l'éloignement des populations,

[1,2,3,4,5] Partiellement

la notion de solidarité est au cœur du développement durable des écosystèmes de haute montagne, de leurs biens et services écosystémiques et de leur patrimoine naturel[1]. À l'échelle locale, il s'agit de maintenir les complémentarités spatiales, paysagère et économique, au sein de ces territoires dont la forte hétérogénéité est garante de la biodiversité, de l'élevage, du tourisme et de la pluriactivité[2]. À l'échelle régionale et nationale, il s'agit de considérer les interactions avec les vallées et les régions lointaines, car les populations urbaines sont bénéficiaires des services écosystémiques et attachées à la haute montagne[3]. L'intégration inter-sectorielle des politiques publiques est aussi un enjeu critique pour une utilisation durable et cohérente des écosystèmes de haute-montagne[4]. En s'appuyant par exemple sur les SCoT et PLUi, les SDAGE, les comités de massif, la Convention Alpine, et sur la concertation, une telle intégration faciliterait la prise en compte des impacts cumulés entre activités, une planification régionale du développement social et économique, et la reconquête de la biodiversité[5].

établi (Chapitre 15.2)

12. Pour les milieux altimontains d'outre-mer, le bouquet de services écosystémiques est dominé par les dimensions culturelles et patrimoniales[1], mais comporte également des services de régulation, notamment la stabilisation des sols volcaniques par la végétation à la Réunion ou de régulation hydrologique en Guadeloupe, et des biens liés aux activités pastorales et de cueillette de plantes sauvages[2]. Une meilleure connaissance des écosystèmes, diffusée vers les populations et les scientifiques, soutiendrait leur préservation[3]. Le développement opérationnel des mesures de gestion adaptées requiert la participation d'un grand nombre de parties prenantes,

[1,2,3] Partiellement établi (Rapport annexe Outre-mer Chapitre 3)

[4] Bien établi (Chapitre 16.5, Rapport annexe Outre-mer Chapitre 4)

incluant les populations locales, et constitue un levier majeur de gouvernance durable[4].

13. Les milieux rupestres fournissent un nombre restreint de biens et de services écosystémiques. La cueillette de plantes sauvages rupicoles1, comme les Génépis ou la Vulnéraire des Chartreux, en est un exemple ; leur qualité d'habitat pour certaines espèces d'intérêt patrimonial comme les rapaces et les chiroptères, en est un second[2]. Malgré leur caractère abiotique dominant essentiel aux activités récréatives et aux aménités paysagères3, ils sont des écosystèmes sensibles qui n'échappent pas aux pressions exercées par l'homme : tourisme, activités sportives, aménagements[4]…, etc. Ces milieux originaux contribuent à la richesse biologique des espaces continentaux. La prise de conscience du patrimoine naturel et des services écosystémiques des milieux rupestres par les pratiquants et les professionnels contribue à la prise en compte de leurs enjeux de conservation et constitue encore un levier d'action[5].

[1] Partiellement établi (Rapport annexe Milieux Rupestres Chapitre 3.1)

[2,3] Partiellement établi (Rapport annexe Milieux Rupestres Chapitre 3.4)

[4,5] Bien établi (Rapport annexe Milieux Rupestres Chapitre 2)

Besoins de connaissances, de données et d'études

14. Il existe des lacunes importantes en termes de données, en particulier pour la distribution à échelle fine des habitats et des espèces, les facteurs abiotiques tels que les sols ou le climat, ou les variables socio-économiques (ex. élevage, tourisme)[1]. Le manque de connaissances fines et de données sur les effets des différents types de couverts végétaux limite la capacité à quantifier les services de régulation[2]. L'évaluation des services culturels et du patrimoine naturel dont les valeurs sont centrales pour les écosystèmes de haute montagne demande le renforcement des recherches interdisciplinaires[3].

[1,2,3,4] Bien établi (Chapitres 16.1 à 16.4)

La complexité des dynamiques des espèces, des écosystèmes et de leur résilience en réponse à des facteurs de changement combinés et cumulés souligne la nécessité d'évaluations intégrées, y compris via des scénarios incorporant aussi les dimensions économiques et sociales, les politiques publiques et la gouvernance[4].

RAPPORT TECHNIQUE

EFESE Milieux rocheux et de haute montagne

Partie Introductive : Objectifs et structure du rapport Milieux rocheux et de haute montagne

Objectifs

Le rapport EFESE 'Milieux rocheux et de haute montagne' vise à dresser un bilan à l'échelle nationale des connaissances disponibles sur **les milieux rupestres et d'altitude** à travers une caractérisation de leurs écosystèmes et services écosystémiques. Il articule les savoirs acquis sur ces habitats, les espèces qu'ils abritent et les fonctions écologiques qu'ils assurent d'une part, avec d'autre part une compréhension des usages qui en sont proposés par la société, des bénéfices retirés et des pressions associées. De plus, ce rapport propose de mettre en lumière les enjeux socioéconomiques caractéristiques des milieux rocheux et de haute montagne, en particulier vis-à-vis des aspects économiques, des aspects de protection des populations humaines ainsi que des aspects liés à la santé et bien-être. Enfin, ce travail résume les principaux instruments de gouvernance pertinents pour éclairer les décideurs dans le but d'assurer le maintien de ces écosystèmes et des services écosystémiques associés.

Le rapport EFESE 'Milieux rocheux et de haute montagne' s'attache ainsi à :

- Décrire les milieux rupestres et d'altitude en France, leurs tendances d'évolution et les spécificités de leur fonctionnement (écologie, usages, gestion…),
- Caractériser les multiples services écosystémiques qu'ils fournissent ainsi que leurs interrelations,

- Discuter les enjeux liés à la gestion et l'aménagement de ces milieux et proposer des options pour en permettre un développement durable.

Ce travail combine différentes sources d'informations, en particulier académiques, institutionnelles et associatives.

Méthodologie

Le rapport proposé par le groupe de travail 'Milieux rocheux et de haute montagne' s'inscrit dans les objectifs et méthodes proposés à l'échelle nationale par l'EFESE. Cela se traduit par **une structure de rapportage homogène** à celle adoptée par les autres groupes de travail de l'EFESE ainsi que par l'utilisation du **cadre conceptuel de l'EFESE**, légèrement adapté à l'organisation et aux spécificités du groupe de travail 'Milieux rocheux et de haute montagne' (Figure 1).

Le rapport fait état des travaux réalisés entre septembre 2016 et décembre 2017 par le groupe de travail constitué par le Laboratoire d'Ecologie Alpine, avec l'appui d'un comité de pilotage comprenant des experts de différentes structures publiques et associatives (Table 1).

Figure 1 : Cadre conceptuel proposé pour articuler les besoins des différents chapitres du rapport. Ce cadre conceptuel est basé sur le cadre général de l'EFESE. Il a été adapté pour mettre en évidence la contribution aux différents chapitres considérés par le présent rapport (ovales verts).

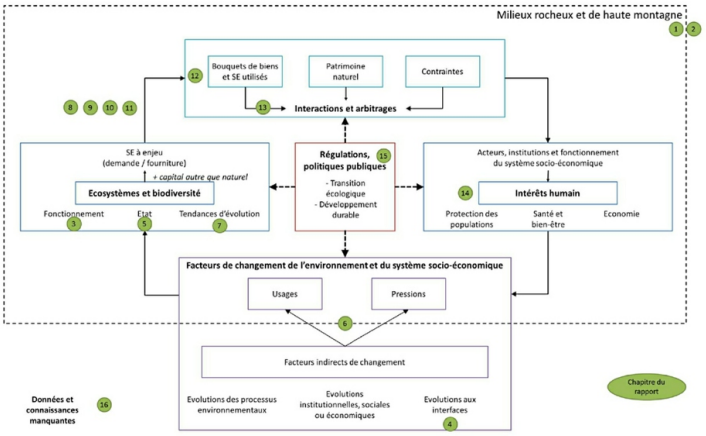


Tableau 1 :

Groupe de travail et membres du comité de pilotage des travaux de l'EFESE 'Milieux rocheux et de haite montagne'.

Rôle	Membre	Structure
Groupe de travail Supervision et production du rapport	Sandra Lavorel, directrice de recherche	LECA - CNRS
Groupe de travail : Pilotage et coordination, modélisation et production du rapport	Emilie Crouzat, post-doctorante	LECA - CNRS
Groupe de travail Cartographie, modélisation et production du rapport	Mégane Zawada, ingénieure d'étude	LECA - CNRS
Comité de pilotage	Ilka Champly, chargée de mission Expertise scientifique et technique	ASTERS, Conservatoire d'Espaces Naturels Haute Savoie
Comité de pilotage	Gilles Landrieu, adjoint au directeur de la recherche, de l'expertise et du développement des compétences	Agence française pour la biodiversité
Comité de pilotage	Vincent Neirinck, co-directeur	Mountain Wilderness - Comité de massif des Alpes
Comité de pilotage	André Etchélécou, professeur	Université de Pau et Conseil Scientifique du Parc National des Pyrénées
Comité de pilotage	Bertrand Lienard, directeur	Conservatoire Botanique National Alpin (CBNA)
Comité de pilotage	Pierre Torrente, directeur adjoint ISTHIA, professeur des universités	ISTHIA Université de Toulouse-Jean Jaurés
Comité de pilotage	Marc-Jérôme Hassid, directeur	Commission Internationale pour la Protection des Alpes (CIPRA)
Comité de pilotage	Patricia Detry, ingénieure de l'agriculture et de l'environnement et urbaniste	CEREMA

Rôle	Membre	Structure
Comité de pilotage	Théo Duquesne, chargé d'étude EFESE	CEREMA
Comité de pilotage	Anne Delestrade directrice	Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA)
Comité de pilotage	Rolland Douzet directeur adjoint	SAJF Université Grenoble Alpes - CNRS
Comité de pilotage	Clémence Perrin-Malterre, enseignant chercheur	EDYTEM Université Savoie Mont-Blanc
Comité de pilotage	Philippe Bourdeau, enseignant chercheur	PACTE Université Grenoble Alpes - CNRS
Comité de pilotage	André Pornon, enseignant-chercheur	EDB Université de Toulouse
Comité de pilotage	Jean-Christohe Poupet, représentant UICN France	UICN France - WWF

Plan du rapport

Le rapport s'articule en six parties divisées en 16 chapitres, suivies de deux rapports annexes.

* * *

EFESE
L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques
Écosystèmes rocheux et de haute-montagne

Évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques

Volet Haute Montagne et Milieux Rocheux

Février 2018

LECA Laboratoire d'Ecologie Alpine
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes
cnrs
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Sommaire

Avant-propos

Messages-clés à l'attention des décideurs

Rapport technique

EFESE Milieux rocheux et de haute montagne

PARTIE I
Présentation des « milieux de haute montagne »

CHAPITRE 1
Définition du socio-écosystème, typologie(s)

1. Les milieux de haute montagne vus comme des socio-écosystèmes

2. Définition du périmètre considéré

3. Typologie des milieux de haute montagne

4. Bilan du Chapitre I

CHAPITRE 2
Place de la haute montagne en France, cartographie et interfaces avec d'autres systèmes

1. Les milieux de haute montagne en France métropolitaine

2. Occupation biophysique des milieux de haute montagne

3. Espaces protégés et milieux de haute montagne

CHAPITRE 3
Fonctionnement de l'écosystème et biodiversité

1. Les caractéristiques des milieux de haute montagne contrôlant leur biodiversité

2. Les mécanismes fonctionnels spécifiques aux milieux de haute montagne

3. Les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes de haute montagne

4. Les spécificités du fonctionnement des écosystèmes de haute-montagne

CHAPITRE 4

Interactions (interrelations et interfaces) avec d'autres socio-écosystèmes

1. Interactions avec les milieux humides et aquatiques

2. Interactions avec les milieux urbains et artificialisés

3. Interactions avec les milieux marins et littoraux

4. Interactions avec les écosystèmes forestiers

5. Interactions avec les écosystèmes agricoles

6. Bilan sur les interfaces

Bibliographie

PARTIE 2

Etat et tendances d'évolution des « milieux rocheux et de haute montagne »

CHAPITRE 5

Indicateurs d'état et de fonctionnement

1. A l'échelle de la région biogéographique

2. A l'échelle du site Natura 2000

CHAPITRE 6

Facteurs de changement directs et indirects

1. Facteurs de changement sur les habitats d'intérêt communautaire (DHFF)

2. Facteurs de changement sur les sites Natura 2000

3. Changement climatique

4. Fragmentation et destruction des habitats naturels

5. Impacts des pratiques agricoles

6. Pratiques récréatives de haute montagne

7. Développement des énergies renouvelables

8. Espèces exotiques envahissantes

9. Pollution

CHAPITRE 7
Tendances d'évolution

1. Evolution récente de l'occupation des sols

2. Bilan sur les habitats d'intérêt communautaire

Bilan de la Partie 2

Bibliographie

PARTIE 3
Biens et services écosystémiques, patrimoine naturel

Préambule

CHAPITRE 8
Biens produits

1. Production de fourrage

2. Cueillette de plantes sauvages

CHAPITRE 9
Services de régulation

1. Régulation du climat global - Stocks de carbone

2. Contribution des écosystèmes de haute montagne à la régulation hydrologique

3. Contribution de l'écosystème au contrôle de l'érosion des sols

4. Rôle des écosystèmes dans la protection contre les risques naturels

CHAPITRE 10
Services culturels et récréatifs

1. Attractivité des écosystèmes pour les activités sportives de pleine nature

2. Aménités paysagères

3. Chasse récréative

4. Soutien aux activités de recherches scientifiques (non développé)

CHAPITRE 11
Patrimoine naturel

1. Espèces patrimoniales

2. Paysages patrimoniaux

3. Labels de reconnaissance de patrimoniale (non développé)

4. Inspiration pour l'art et la littérature (non développé)

Bilan de la Partie 3

Annexes

Bibliographie

PARTIE 4
Interactions entre services écosystémiques

Préambule

CHAPITRE 12
Identification des bouquets de service clés

1. Bouquets de capacité de fourniture de services

2. Relations de dépendances entre services

3. Conclusion du chapitre 12

CHAPITRE 13
Interactions entre services

1. Interactions spatiales autour de la production de fourrage

2. Interactions spatiales entre attractivité pour les activités récréatives de plein air et habitat pour la biodiversité patrimoniale

3. Conclusion du chapitre 13

Bibliographie

PARTIE 5
Enjeux socio-économiques et options de développement durable

CHAPITRE 14
Contribution des écosystèmes de haute montagne à la santé, la sécurité et l'économie

1. Contribution des écosystèmes de haute montagne à la santé et au bien-être

2. Contribution des écosystèmes de haute montagne à la sécurité des biens et des personnes

3. Contribution des écosystèmes de haute montagne à l'économie

CHAPITRE 15
Options pour le développement durable et la transition écologique

1. Transition Energétique

2. Développement durable

Conclusion de la Partie 5

Bibliographie

PARTIE 6
Besoins de connaissances et identification de questions de recherche

CHAPITRE 16
Lacunes de données et de connaissances

1. Retour sur la méthodologie d'une première évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques de la haut montagne et des milieux rocheux

2. Un manque cruel de données biophysiques primaires et de méthodes de descente d'échelle

3. Des lacunes scientifiques sur les fonctions écologiques sous-tendant les services de régulation

4. Limites des évaluations des services culturels et du patrimoine

5. Les besoins pour des évaluations pouvant mieux alimenter la décision

6. Le cas de l'outre-mer

Rapport Annexe 1
Les milieux de haute montagne en outre-mer

La haute montagne à la Réunion

Les milieux d'altitude du Parc National de Guadeloupe – connaissances et enjeux

Bibliographie Volet Réunion

Bibliographie Volet Guadeloupe

Rapport Annexe 2

Les milieux rocheux

Partie 1 : Présentation des milieux rupestres

Partie 2 : Etat et tendances d'évolution des milieux rupestres

Partie 3 : Biens et services écosystémiques, patrimoine naturel associés aux milieux rupestres

Bibliographie

Table des illustrations

Mentions légales

PRÉSENTATION DES « MILIEUX DE HAUTE MONTAGNE »

Partie 1

CHAPITRE 1

Définition du socio-écosystème, typologie(s)

1. – Les milieux de haute montagne vus comme des socio-écosystèmes

Les interrelations entre l'environnement et la société sont au cœur des enjeux considérés par l'EFESE et son volet 'milieux de haute montagne'. Dans le cadre de l'EFESE, le territoire est abordé sous l'angle des biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel i) fournis par le fonctionnement des milieux et sous influences de leurs caractéristiques biotiques, et ii) demandés par différents groupes d'acteurs organisés pour en assurer la gestion et en retirer des avantages. En ce sens, nous considérons les milieux de haute montagne comme des **socio-écosystèmes**, c'est-à-dire comme des systèmes intégrés comprenant les sous-systèmes sociétaux (humains) et environnementaux (biophysiques) qui entretiennent des relations d'influence et de rétroactions mutuelles. Les critères de sélection proposés ci-après sont d'origine biophysique mais sous influence actuelle et historique des choix d'usage et d'aménagement du territoire.

Les milieux de haute montagne comprennent une grande diversité d'habitats aux caractéristiques et fonctions écologiques variées. Ils s'étendent sur un **large gradient de couverture végétale**, depuis une couverture marginale en milieu rupestre et sur éboulis jusqu'à une couverture significative dans les pelouses d'altitude ou les zones

de combat entre milieux forestiers et milieux ouverts. L'ensemble de ces milieux est caractérisé par des contraintes marquées en termes de **topographie** et de **climat**, dont les détails et conséquences seront présentés dans le Chapitre 3 de ce rapport.

La société française fait divers **usages** de ces milieux de haute montagne et les **avantages** qu'elle en retire sont multiples. Entre autres exemples d'importance, ils permettent la production de biens, au travers par exemple des activités pastorales d'altitude, ils sont le support de nombreuses pratiques récréatives de pleine nature ou encore ils contribuent de manière significative à la régulation du cycle de l'eau. De nombreux acteurs gèrent, utilisent et influencent ces milieux en fonction de règles de **gouvernance** formelles ou informelles qui dépendent en partie des choix passés d'aménagement du territoire, des régulations en place et des relations de pouvoir entre acteurs. Les différents biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel liés aux milieux de haute montagne seront détaillés dans la Partie III de ce rapport tandis que les considérations liées à leurs interactions et arbitrages feront l'objet des Parties IV et suivantes.

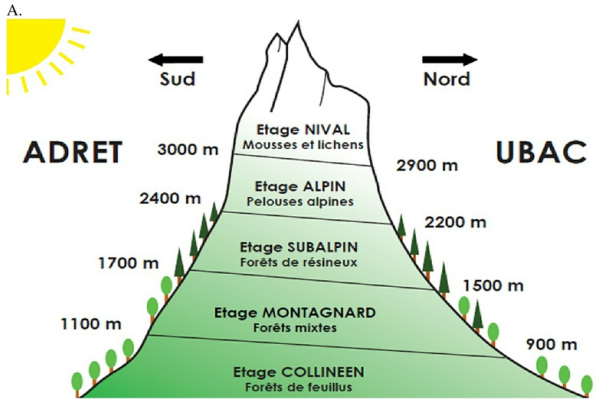
2. – Définition du périmètre considéré

L'enjeu de ce chapitre est de délimiter les périmètres des écosystèmes de haute montagne en France tels que considérés dans l'EFESE. Dans ce volume du rapport Milieux rocheux et de haute-montagne, nous nous concentrons sur les écosystèmes de haute montagne en métropole. Le cas de l'outremer et des milieux rupestres est traité dans deux volumes supplémentaires. Différentes approches existantes sont décrites puis combinées pour aboutir à la définition finale retenue pour cet exercice.

1) – Etages de végétation

Une simple observation des paysages de montagne permet d'identifier que la végétation change avec l'altitude. La perte d'environ 0.55°C par tranche de 100 mètres d'altitude influence la répartition de la biodiversité (nombre et type d'espèces). La flore et la faune se distribuent selon un gradient bioclimatique en fonction de leurs besoins en habitats et ressources, depuis les milieux forestiers de vallées et contreforts jusqu'aux pelouses alpines puis aux glaciers et milieux rocheux de très haute altitude qui sont le domaine des mousses et lichens. Ces variations sont exprimées par la notion d'**étages de végétation**. La limite géographique des différents étages de végétation varie notamment en fonction de l'**exposition** (c'est-à-dire de l'orientation cardinale des versants), du **climat** et de la **latitude** (Figure 1). Par exemple, dans les Alpes de la région briançonnaise, les forêts de résineux caractéristiques de l'étage subalpin sont comprises entre les forêts mixtes de l'étage montagnard en-dessous, et les pelouses alpines de l'étage alpin au-dessus. Ces forêts de résineux s'étalent entre 1700 et 2400 mètres en versant sud (adret) et entre 1500 et 2200 mètres en versant nord (ubac). Notons ici la variation des patrons de distribution de la végétation entre massifs, par comparaison des étages établis dans les Alpes briançonnaises (Fig. 1A) et en Corse (Fig. 1B).

Figure 1 : Etagement de la végétation en fonction de l'altitude et de l'exposition dans les Alpes de la région briançonnaise (A – Aubert, 2013) et en Corse (B – Gamisans, 1999).



La détermination des espèces végétales présentes à chaque gamme d'altitude permet de localiser les différents étages de végétation. **C'est généralement l'étage subalpin qui est considéré comme initiant le territoire de la haute montagne, à l'exclusion de ses espaces densément boisés,** traités dans le rapport Ecosystèmes forestiers de l'EFESE. A ce titre, la localisation de la **zone de combat** est un enjeu, car elle marque la limite altitudinale maximale à laquelle la végétation arborée peut se développer (Paulsen & Körner 2014). Elle comprend des arbres et arbustes dispersés et aux formes souvent rabougries qui forment une transition floue et dynamique entre les domaines forestiers et les milieux ouverts d'altitude.

Spatialement, il n'est pas aisé à l'échelle nationale d'estimer la limite altitudinale des étages de végétation et donc des milieux de haute montagne par l'observation de la flore actuelle. Tout d'abord, peu de données sont disponibles sous un format numérisé et pour l'ensemble du territoire métropolitain. Il existe des **cartes de végétation potentielle** qui délimitent les étages bioclimatiques potentiels, c'est-à-dire ne considérant pas l'action de l'homme sur les milieux, et les séries de végétation associées. A l'échelle nationale, la carte la plus détaillée et actualisée correspond à un travail au 1/200 000^{e}, achevé au début des années 1990 par le CNRS puis numérisé récemment en 2011 (Leguédois et al. 2011). Toutefois, ces données ne sont pas disponibles gratuitement et n'ont de ce fait pas été intégrées dans l'EFESE. Par ailleurs, le territoire français est, comme pour tous les massifs montagneux européens, marqué par un long **historique de gestion et d'occupation humaine** à l'origine de paysages culturels. Les activités agricoles (mise en culture, pâturage) et forestières ont ainsi façonné les faciès de végétation au fil des siècles, notamment en haute montagne sur les versants orientés au sud (adrets ou soulanes) aux conditions climatiques plus douces. De ce fait, la présence de milieux ouverts peut être liée à une forte pression agricole historique exercée dans un milieu potentiellement forestier ; de même, la présence

de résineux n'indique pas systématiquement le dépassement de l'étage montagnard mais peut être liée à des choix de plantation sylvicoles (Figure 2).

Figure 2 : Etagement de la végétation en versant ubac au niveau du col de Lautaret – Hautes-Alpes. La définition exacte de la limite de la zone de combat est complexifiée par l'utilisation pastorale du versant.
Crédit photo : Coline Byzcek (LECA)

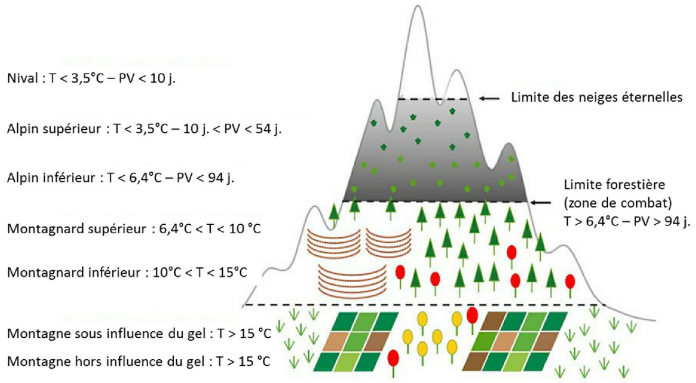
2) – *Ceintures bioclimatiques*

Une approche complémentaire de délimitation des espaces de montagne est proposée par le *Global Mountain Biodiversity Assessment Network (GMBA)*, un réseau de recherche sur les milieux de montagne à l'échelle mondiale. Ce réseau collaboratif met à disposition de nombreuses ressources en ligne pour explorer la richesse biologique des montagnes du monde et les enjeux liés (http://www.gmba.unibe.ch/ et http://www.mountainbiodiversity.org, Körner et al. 2016).

En particulier, le GMBA identifie sept **ceintures bioclimatiques** qui délimitent les étages correspondant aux différentes formations végétales décrites précédemment (Körner et al. 2011). Ces ceintures sont basées sur la détermination de la **saison de végétation**, c'est-à-dire de la période

pendant laquelle les conditions climatiques permettent une activité vitale normale, non ralentie, des végétaux. Le GMBA définit cette période comme étant comprise entre les premier et dernier jours de l'année ayant une température moyenne supérieure à 0.9°C et dépourvus de neige au sol. Ce sont la durée de la saison de végétation ainsi que la température moyenne pendant cette saison de végétation qui déterminent les limites de périmètre des ceintures bioclimatiques (Figure 3).

Figure 3 : Critères de détermination des ceintures bioclimatiques des régions de montagne établis par le Global Mountain Biodiversity Assessment (Körner et al. 2011). Ces critères tiennent compte de la durée de la période de végétation (PV) ainsi que de la température moyenne durant la période de végétation (T).
Image en ligne : http://www.mountainbiodiversity.org



La définition des ceintures bioclimatiques du GMBA s'affranchit de critères altitudinaux, variables en fonction de la latitude et de l'exposition, et de critères liés à la végétation en place, sous influence des modalités de gestion humaine. Ce sont donc des **limites bioclimatiques potentielles** qui sont proposées. Il convient de noter que l'étage subalpin n'est pas défini par les critères GMBA et chevauche les étages du montagnard supérieur et de l'alpin inférieur.

3) – Définition de la 'haute montagne métropolitaine' dans l'EFESE

Pour délimiter le périmètre considéré comme appartenant à la 'haute montagne' à l'échelle nationale métropolitaine dans le cadre de l'EFESE, nous proposons un croisement entre **données de végétation** et **données liées aux ceintures climatiques**. Cette démarche s'articule en quatre étapes (Figure 4, Figure 10).

1. Sur l'ensemble du territoire national, le premier filtre sélectionne les milieux de montagne par un **seuil altitudinal minimal à 1000 mètres**. Ce seuil permet d'exclure les ceintures bioclimatiques du *Global Mountain Biodiversity Assessment* non liées à un caractère 'haute montagne' (i.e. avec une température moyenne de la saison de végétation supérieure à 15°C, sous influence ou non du gel). Du fait de la résolution spatiale grossière des données du GMBA (3*3 km), **l'ensemble des ceintures supérieures est conservé** (montagnard inférieur et supérieur, alpin inférieur et supérieur, nival) et est affiné à l'étape suivante. Nous rappelons que la sélection aurait été portée sur la ceinture subalpine si elle avait été définie mais, faute de critères adéquats, le montagnard constitue la limite basse de cette première étape de sélection. Le montagnard inférieur est conservé au même titre que le montagnard supérieur du fait de ses interfaces nombreuses avec les ceintures alpines voire nivales. Les traitements suivants ont pour but de faire apparaître la limite du subalpin à l'intérieur de cette enveloppe large maximale.
2. Le deuxième filtre appliqué a pour but d'affiner la délimitation de l'enveloppe bioclimatique large obtenue en fonction d'un critère d'**enneigement minimal**. En utilisant des données à résolution spatiale plus fine, nous pouvons ainsi exclure les zones très peu enneigées de l'enveloppe initiale. Pour cela, nous mobilisons des images satellite traitées permettant d'identifier la présence de neige au sol (produits

MODIS *Normalized Difference Snow Index* NDSI, résolution spatiale 500*500 m, fréquence temporelle 8 jours). Ainsi, sont exclues les zones qui présentent un enneigement anecdotique (moins de 15 jours, au moins 7 années sur 10, sur la période mi-avril à mi-octobre – série temporelle de 10 années à partir de 2002).

3. Le troisième filtre sélectionne les milieux pertinents pour l'étude des hautes montagnes sur la base des **types d'usage et de couverture des sols** définis par *Corine Land Cover 2012* (résolution 100*100 m, Table 1). Ainsi, sont exclus les milieux aquatiques et artificialisés. En accord avec le groupe de travail EFESE – Ecosystèmes Agricoles, sont exclus les milieux agricoles hors pelouses et pâturages naturel. Ce choix permet de conserver dans l'emprise de la haute montagne les espaces agricoles d'altitude utilisés pour le pastoralisme (estives, alpages et parcours). Sont exclues également les zones densément boisées, considérées par le groupe de travail Forêts de l'EFESE.

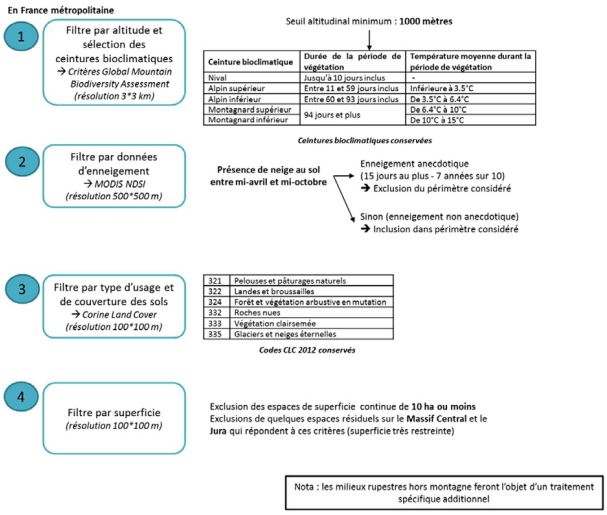
Tableau 1 :

Code Corine Land Cover considérés pour l'identification du périmètre couvert par la haute montagne métropolitaine

Code	Intitulé	Description
321	Pelouses et pâturages naturels	Formations herbacées dominantes. Herbages de faible productivité. Souvent situés dans des zones accidentées. Peuvent comporter des surfaces rocheuses, des ronces et des broussailles
322	Landes et broussailles	Formations végétales basses et fermées, composées principalement de buissons, d'arbustes et de plantes herbacées. Formations arbustives dominantes
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	Végétation arbustive ou herbacée avec arbres épars. Formations pouvant résulter de la dégradation de la forêt ou d'une recolonisation / régénération par la forêt.
332	Roches nues	Éboulis, falaises, rochers, affleurements
333	Végétation clairsemée	Comprend les steppes, toundras et "bad lands" (zones sèches avec peu de végétation et présence de roches nues). Végétation éparse de haute altitude
335	Glaciers et neiges éternelles	Surfaces couvertes par des glaciers ou des neiges éternelles.

4. Enfin, le quatrième filtre élimine les zones sélectionnées de très faible **emprise spatiale** (moins de 10 hectares) ; les espaces résiduels qui demeurent dans le Massif Central et le Jura sont également éliminés. Ainsi, le périmètre considéré en France métropolitaine se concentre sur les massifs des Alpes, des Pyrénées et de la Corse.

Figure 4 : Filtres mobilisés pour l'identification du périmètre considéré pour le volet 'haute montagne métropolitaine' de l'EFESE.



La définition de la haute montagne métropolitaine proposée combine donc : i) des critères liés à la **localisation potentielle** des milieux d'intérêt (données climatiques) avec ii) des critères liés à la **couverture actuelle des sols**. Le périmètre obtenu considère ainsi les effets actuels et historiques de la gestion et de l'aménagement de ces espaces par l'homme. Cette approche s'inscrit donc bien dans la démarche de l'EFESE, qui consiste à mettre en évidence les interdépendances entre environnement et société.

Notes complémentaires

1. Il est important de souligner que les **domaines skiables et villages station** associés font partie des milieux considérés par le groupe de travail. Bien que les espaces urbains aient été retirés de l'enveloppe spatiale considérée, les domaines skiables et stations exercent de nombreuses influences sur les milieux de haute montagne, qui font à ce titre partie intégrante du périmètre d'étude.

2. La définition du périmètre proposée ci-dessus ne retient pas de **filtre altitudinal** identifiant la limite basse du subalpin. La pertinence d'un tel seuil fixe a été remise en cause par les connaissances de terrain, qui ont souligné la forte variabilité altitudinale de la zone de combat et préconisé une approche plus directement liée aux usages et couverture effectifs des sols.
3. L'utilisation successive de plusieurs filtres pour la définition du périmètre de la haute montagne est liée à la volonté de proposer une délimitation aux contours relativement précis, ce que ne permet pas la **résolution spatiale grossière** des données de ceintures bioclimatiques (3*3 km) ainsi que l'absence de définition de la ceinture subalpine. Au sein de chaque ceinture sont inclues des zones qui auraient été affectées différemment à une résolution plus fine. Par exemple, des espaces alpins sont mêlés aux zones classées comme du montagnard, et inversement des espaces résiduels de montagnard sont compris dans les ceintures alpines et nivales. Pour améliorer cette information, l'utilisation de données météorologiques et d'enneigement à résolution fine aurait pu permettre la cartographie précise des ceintures bioclimatiques. Des données MétéoFrance de température sont disponibles à un pas de temps journalier et à une résolution spatiale de 250*250 m. Des données satellitaires MODIS sont disponibles à la résolution 500*500 m et à une fréquence temporelle de 8 jours. Ainsi, la prise en compte conjointe de ces informations (température + neige) ne permet pas de délimiter avec précision la période de végétation, qui demande des informations journalières sur les deux variables. De ce fait, nous avons basé notre approche sur les données de ceintures bioclimatiques spatialisées par le GMBA, source reconnue et largement utilisée par la communauté scientifique, dont nous avons cherché à affiner l'emprise par les étapes successives présentées dans la Figure 4. Cette définition inclusive du périmètre de haute montagne favorise la bonne prise en compte des enjeux de territoire et ne prend que

le risque d'un chevauchement spatial à la marge avec les milieux traités par les autres groupes de travail.

4) – Eléments sur les glaciers et neiges éternelles

Les glaciers et milieux couverts par les neiges éternelles ne sont pas pourvoyeurs de biens et services écosystémiques en tant que tels. En effet, ces derniers sont définis comme les 'contributions du vivant au bien-être des sociétés'. L'absence généralisée de vivant dans les glaciers induit l'absence de services écosystémiques fournis. Toutefois, les glaciers abritent une faune et une flore spécifiques, comprenant l'algue rouge des glaciers (*Chlamydomonas nivalis*), des insectes cryophiles comme la puce des glaciers (*Desoria Nivalis*) ou encore des microorganismes et invertébrés capables de résister à des températures extrêmes, comme les tardigrades.

Nous insistons sur le rôle primordial des glaciers et neiges éternelles en haute montagne pour **soutenir la fourniture de services écosystémiques** par les milieux adjacents. En particulier, les glaciers et neiges éternelles ont une influence significative sur les cycles hydrologiques et climatiques. Par ailleurs, ils contribuent fortement aux aménités paysagères des milieux de haute montagne et ne sauraient être écartés de leur évaluation.

Les glaciers et neiges éternelles sont à l'origine de **services abiotiques**, définis dans l'EFESE comme les services qui ne sont pas dépendants du fonctionnement actuel de l'écosystème, incluant en plus des services écosystémiques l'ensemble des biens et services, y-compris marchands, dérivés du compartiment abiotique seul. Parmi ceux-ci, **la régulation du régime des rivières** (en débit et en température) et la **régulation du climat** (effet albédo) bénéficient à la société bien au-delà de l'emprise physique des massifs montagneux. Les glaciers contribuent également à la **valeur esthétique et culturelle** des milieux de haute montagne et

offrent en parallèle des opportunités nombreuses **d'activités récréatives et sportives**.

Les **changements climatiques** font porter une pression majeure sur les glaciers et neiges éternelles. Les surfaces et volumes des glaciers sont en nette diminution (voir Partie II), ce qui place ces milieux comme une **composante spatialement dynamique** de la haute montagne.

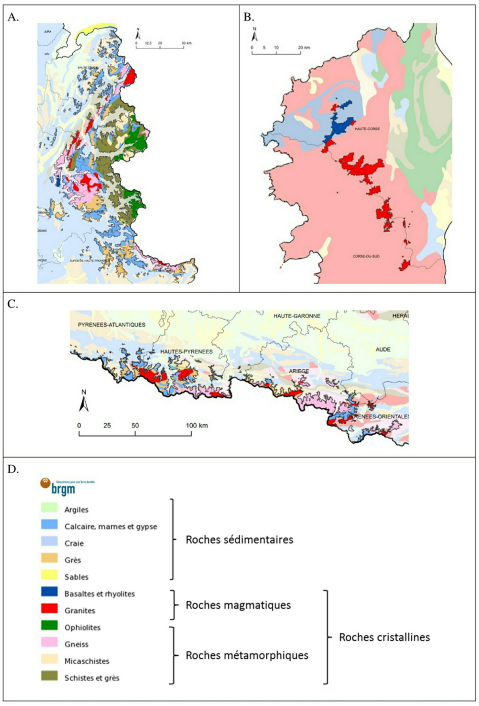
Les processus à l'œuvre dans la colonisation des marges glaciaires font l'objet d'un focus spécifique dans la Partie II.

3. – Typologie des milieux de haute montagne

A l'échelle du massif, la végétation des milieux de haute montagne se distribue essentiellement en fonction de **l'altitude** et de **l'exposition**, qui conditionnent le régime des températures et l'alimentation en eau des sols, ainsi que de la **roche mère**, qui exerce une influence complexe sur différents paramètres chimiques (acidité et disponibilité des nutriments notamment) et physiques (rétention de l'eau, teneurs en éléments fins, porosité et aération des sols). Par exemple, à altitude et exposition données, un substrat calcaire sera généralement plus sec et plus fertile qu'un substrat siliceux. De ce fait, il est usuel d'opposer les groupements végétaux se développant sur substrats calcaires et siliceux.

De manière très générale (Figure 5), dans les Alpes et les Pyrénées, **les piémonts et chaines externes sont à dominance sédimentaire**. Les roches calcaires prédominent mais on trouvera localement des marnes et schistes (par exemple dans la haute vallée de la Romanche, le secteur du Valbonnais des Ecrins, les Alpes de Haute-Provence…) ou encore du grès. **Les hauts massifs sont dominés par des roches cristallines**, magmatiques ou métamorphiques. En Corse, la haute montagne se développe sur des **substrats cristallins**, notamment granitiques.

Figure 5 : Carte lithologique simplifiée au 1/1000000. A. Alpes, B. Corse, C. Pyrénées, D. Légende. Les milieux de haute montagne apparaissent en couleurs vives. Les milieux avoisinants sont conservés en couleurs pâles en tant qu'éléments de contexte.
Crédit : BRGM.



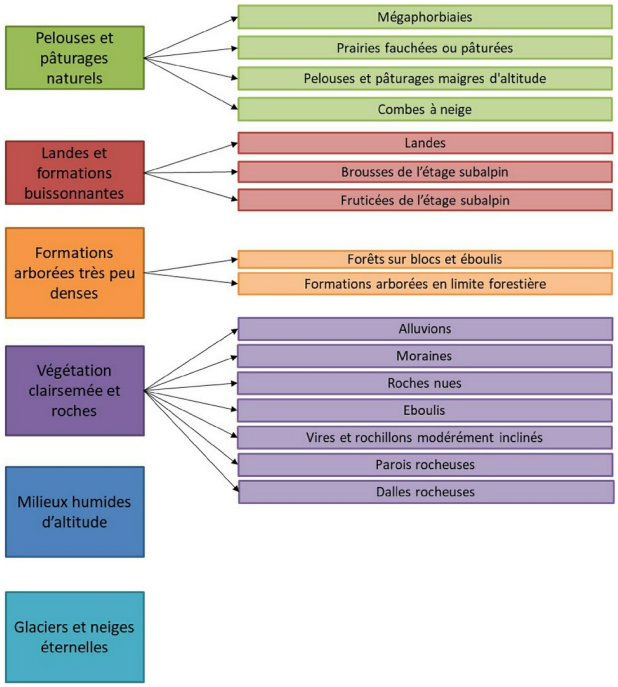
La nature chimique du substrat agit fortement sur les plantes **quand le sol est superficiel ou inexistant** (rochers, éboulis etc.). Dans le cas de groupements végétaux se développant sur un sol formé, l'influence du substrat décroît à l'avantage de la **disponibilité des ressources en eau**. On pourra ainsi trouver des landes à rhododendron, réputées préférer les substrats acides, sur des roches calcaires, si l'approvisionnement en eau est suffisant et le sol développé.

A l'échelle du versant, en altitude, la topographie devient déterminante pour expliquer la distribution de la végétation, notamment parce qu'elle conditionne la durée d'enneigement et la durée de la saison de végétation. On distinguera ainsi un **mode thermique**, sur les milieux en bosses ou

convexes, d'un **mode nival** des creux ou des concavités, les **modes intermédiaires** établissant un gradient entre ces deux extrêmes.

Ces différents paramètres permettent de proposer une typologie de la végétation en haute montagne métropolitaine (Figure 6). Cette typologie s'inspire largement de **DELPHINE** (*Découpage de l'Espace en liaison avec les Potentialités Humaines et en interrelation avec la nature*), un programme mis en place par le Parc National des Ecrins depuis le début des années 1990 et qui vise à catégoriser et cartographier les espaces socio-écologiques du territoire du parc (voir par exemple http://www.ecrins-parcnational.fr/breve/latlas-delphine-est-en-ligne). La catégorisation DELPHINE est croisée avec les classes **Corine Land Cover** utilisées pour la cartographie à l'échelle nationale dans ce volet de l'EFESE. In fine, la typologie retenue a été affinée et validée par des experts écologues et botanistes, renforçant également sa pertinence pour les massifs corses et pyrénéens. Les spécificités de ces massifs pourraient être davantage inclues par des consultations additionnelles (par exemple avec les Conservatoires Botaniques associés), qui n'ont pas pu être mobilisées dans le cadre de ce travail.

Figure 6 : Deux premiers niveaux de la typologie des milieux de haute montagne.



La typologie proposée repose sur **trois niveaux de complexité croissants,** du premier niveau mettant en évidence les grands types de milieux au sein du paysage de la haute montagne jusqu'au troisième niveau considérant la variabilité fonctionnelle au sein de ces grands types. **Inspirée par la démarche du Parc National des Ecrins et son programme DELPHINE**, cette typologie répond ainsi à des utilisations diverses et s'adapte à différents degrés de précision dans l'évaluation des écosystèmes et services écosystémiques. Ainsi, dans la Partie III de ce rapport, certains services écosystémiques sont renseignés par des modélisations biophysiques basées sur les grands types de couverts végétaux (ex. contrôle de l'érosion) et sont donc associés au niveau 1 de la typologie des milieux. D'autres services écosystémiques sont associés à des modèles plus fins et donc à une typologie de milieux plus précise, comme par exemple la production de fourrage à l'échelle locale qui repose sur un modèle biophysique basé sur les traits fonctionnels végétaux

des types de végétations de niveau 3. Idéalement, une typologie encore plus fine permettrait de caractériser plus précisément l'état de la biodiversité et l'influence de la gestion (considérée uniquement dans le cas des prairies pâturées) mais sont au-delà des capacités de synthèse actuelles dans le cadre de l'EFESE. Par ailleurs, en l'absence de cartographie complète des formations végétales actuelles pour l'ensemble des massifs concernées, une telle typologie ne pourrait pas être opérationnalisée pour l'évaluation spatiale de la biodiversité et des services écosystémiques. La typologie présentée ici représente donc un compromis qui doit être compris comme **une base fonctionnelle pour la compréhension et l'évaluation des services écosystémiques et de leurs interrelations**.

I) – Typologie détaillée pour les pelouses et pâturages naturels (niveaux 2 et 3)

Mégaphorbiaies	Groupements de hautes herbes dont le feuillage s'étale à plusieurs décimètres au-dessus de la surface du sol, formant une canopée sous laquelle règne un microclimat humide et ombragé. Il s'agit principalement de dicotylédones à feuilles larges, bien que les graminées y soient dans certains cas dominantes. Occupant des biotopes à potentiel forestier, ces groupements correspondent tantôt à des stades de recolonisation (unités de clairières et de coupe), tantôt à des surfaces régulièrement perturbées, où la forêt ne peut pas s'installer (couloirs d'avalanches, surfaces incendiées).	
Prairies pâturées ou fauchées	Végétation haute et dense (les grandes herbes atteignent parfois 1 m). Sol généralement profond. Terrains régulièrement pâturés ou fauchés, et fertilisés. L'adaptation de la flore au piétinement et à la pâture intense se traduit par une physionomie dominée par des plantes à stolons souterrains et à rosette appliquées au ras du sol. Dans les pâtures, les refus du bétail (plantes toxiques ou trop coriaces, abords des déjections) forment souvent des touffes d'herbes hautes dispersées. Celles-ci ont donc un aspect plus hétérogène que les prairies de fauche. Cette hétérogénéité est souvent renforcée par le microrelief dû au passage répété du bétail, surtout sur les terrains en pente et un peu humides	
	Prairies grasses actuellement fauchées à l'étage subalpin	Formations de l'étage subalpin soumises à la fauche régulière. La fauche favorise la coexistence de nombreuses espèces de graminées et de dicotylédones, dont les légumineuses.
	Prairies grasses actuellement pâturées à l'étage subalpin	Formations de l'étage subalpin profondément transformées par l'apport présent et passé de déjections animales. Comprennent les stades de transition où les espèces nitrophiles sont dominantes. Comprennent également les reposoirs des animaux domestiques.
	Prairies "abandonnées", issues des pratiques anciennes (fauchage ou pâturage)	Incluent des formations transformées par la présence passée d'animaux domestiques et enrichies du point de vue floristique par suite des apports venant de formations avoisinantes après l'abandon par l'homme. Les pastoralistes parlent à ce propos de "salissement". A plus long terme, on assiste généralement à une fermeture des milieux soit par des arbustes à fort dynamisme comme l'Aulne vert et les églantiers à rhizome (*Rosa pendulina, Rosa spinosissima, Rosa villosa*), soit par des résineux.
Pelouses et pâturages maigres d'altitude	Formations basses, rarement supérieures à 50 cm de haut. Stations peu fertiles, à sol particulièrement mince, pauvre ou sec (sont exclus les habitats eutrophes qui sont compris dans les prairies grasses pâturées). La productivité limitée ne permet qu'une exploitation par le pâturage extensif. Ces formations couvrent	

(étages subalpin et alpin)	de grandes surfaces à l'étage alpin, qui est un des rares endroits où elles ne résultent pas de l'élimination de la forêt par l'Homme. Elles sont toujours dominées par des graminées et des cyperacées. Il s'agit généralement d'espèces cespiteuses de petite taille (5 à 15 cm). Dans la plupart des cas, la structure de ces pelouses est uniforme ; mais les variantes les plus sèches (*Festuca varia, Sesleria caerulea*) ont souvent une disposition en gradins, la végétation formant des guirlandes parallèles aux courbes de niveau, entre lesquelles apparaissent des bandes de sol rocailleux.	
	Pelouses maigres du subalpin	Ces pelouses se rencontrent à l'étage subalpin sur des pentes rocheuses et dans des couloirs d'avalanches orientés au nord ou souvent en mosaïque avec la végétation ligneuse, des pâturages boisés et des landes parcourues par le bétail. Dans les pentes exposées à l'ubac, le surpâturage de ces terrains maigres à tendance acidophile favorise la pelouse à Nard, car cette graminée est refusée par le bétail. Egalement des pelouses dominées par *Carex sempervirens*, souvent discontinues et draillées, sur substrats calcaires ou siliceux. Dans les pentes exposées à l'adret, ces pelouses sont souvent rocailleuses et très ouvertes. Formations acides dominées par *Festuca acuminata*, qui peuvent être rapprochées des groupements des vires et des "rochillons" modérément inclinés. Formations discontinues et/ou écorchées dominées par *Helictotrichon sempervirens*. Les expositions intermédiaires présentent des formations diverses. Formations à tendance basophiles dominées par *Calamagrostis varia*, parfois accompagné de *Sesleria Caerulea*.
	Pelouses de limite subalpin / alpin, ouvertes et souvent en gradins	Dans les pelouses calcaires sèches, la structure du milieu est conditionnée par la dominance de *Sesleria caerulea* qui forme souvent des gradins parallèles aux courbes de niveau sous l'effet des phénomènes de solifluxion. Le sol est superficiel et séchard. Ces pelouses occupent des pentes pierreuses calcaires, en général dans des situations ensoleillées. Elles présentent souvent une grande richesse floristique, notamment en légumineuses, qui résulte en partie de la diversité des microhabitats liée à sa structure en gradins. Formations très appréciées des ovins.

		Les pelouses de mode nival ou intermédiaire, dominées par *Festuca violacea*, sont appréciées des ovins. Elles peuvent être plus ou moins artificialisées par les pratiques pastorales. Les variantes nivales sont généralement riches en légumineuses, notamment *Lotus corniculatus*, *Trifolium thalii* et *Trifolium badium*. Les variantes intermédiaires sont généralement des pelouses écorchées caractérisées par un mélange d'espèces d'éboulis et d'espèces de pelouses.
	Pelouses subalpines et alpines dominées par *Patzkea paniculata*	Formations caractéristiques à tendance acidophile et au caractère emblématique. Parfois appelés quereyllins. Parfois fauchées ou pâturées à l'automne sur pentes faibles ou moyennes. La fauchaison joue le même rôle que l'avalanche : elle exporte l'herbe en excès, évitant ainsi la formation d'une épaisse litière, la diminution de la diversité floristique et à plus long terme l'évolution vers la lande. Peuvent se trouver sur substrats calcaires ou siliceux.
	Pelouses de l'alpin thermique	Formations de mode thermique en position de croupes ventées ou de versant. L'absence de couverture neigeuse en hiver expose le milieu à des températures très basses, ainsi qu'à l'action desséchante et érosive des vents. On distingue les formations à monocotylédones et à dicotylédones.

		Les pelouses climaciques acides de l'étage alpin dominées par les monocotylédones présentent en général une richesse faible mais elles se composent d'espèces spécialisées qui ne croissent qu'en haute montagne - sur substrats calcaires ou siliceux. Les touffes ternes de *Carex curvula* mêlées à de nombreux lichens confèrent au milieu un aspect automnal. Le sol est acide et lessivé, souvent riche en matière organique peu décomposée. Sur les milieux à tendance basophile, plutôt des formations spécialisées de type gazons des crêtes ventées, souvent sur des surfaces restreintes. L'aspect de ce gazon est déterminé par les touffes denses e.g. de *Carex myosuroïdes*, au feuillage raide et coriace de couleur brunâtre. Entre ces touffes, croissent des plantes basses et des lichens. Ce gazon ne colonise pas les substrats purement minéraux. Le sol, riche en bases et en terre fine, est souvent hérité d'une période où les conditions locales étaient moins sévères. Les racines de *Carex myosuroïdes* y forment un feutrage protecteur qui empêche, ou du moins ralentit, son érosion. Les pelouses de l'alpin thermique à dicotylédones se trouvent souvent sur des substrats calcaires et se présentent par exemple sous la forme de tapis de *Dryas octopetala*.
	Autres groupements des étages subalpin et alpin, sans dominance nette	Comprennent les formations à aspects artificialisés (pelouses dégradées, semi-naturelles résultant d'activités pastorales s'exerçant depuis des siècles) et les formations non artificialisées mais généralement pâturées (nombreuses déclinaisons appréciées des ovins, notamment dans le subalpin). A rapprocher des prairies pâturées, avec un gradient d'altitude en plus.
Combes à neige	Habitats formés à partir des masses de neige s'accumulant dans les dépressions ou à l'abri du vent derrière les irrégularités du terrain.	
	Formations dominées par des saules nains et des dicotylédones herbacées	Végétation dominée par des saules nains et des dicotylédones herbacées (brassicaceae, rosaceae, asteraceae). Les cryptogames -notamment les mousses et lichens- sont également bien représentés. Différentes déclinaisons sont rencontrées selon le gradient d'humidité notamment.
	Pelouses de l'alpin nival	Groupements dominés par *Plantago alpina*.

2) – *Typologie détaillée pour les landes et formations buissonnantes (niveaux 2 et 3)*

Landes	Les landes sont des formations ligneuses basses, dominées par des espèces à petites feuilles coriaces et persistantes. Le tapis des buissons est discontinu, ce qui favorise la présence de nombreuses plantes basses, notamment des lichens et des mousses terricoles. Elles sont souvent associées, en mosaïque, à des groupements herbacés maigres et à des forêts claires de conifères. Les landes occupent des habitats moins productifs que les autres groupements de buissons, elles sont généralement plus basses et moins fermées également. Elles se retrouvent sur des sols très acides ou au contraire saturés de calcaire, souvent dans des conditions climatiques difficiles (étage subalpin).	
	Landes méso-hygrophiles dominées par *Rhododendron ferrugineum* et/ou *Vaccinium myrtillus*	Landes sur sol acide trouvant leur optimum dans des stations peu ensoleillées et longtemps sous la neige. Cette couverture assure une bonne protection contre le froid hivernal. Le sol est très pauvre en nutriments. Associée aux forêts de conifères, l'unité forme une ceinture à la limite supérieure de l'étage subalpin.
	Landes de composition intermédiaire entre la lande d'ubac à *Rhododendron ferrugineum* et la lande d'adret à *Juniperus communis subsp. nana*	Le genévrier fait jeu égal avec le rhododendron ou le devance nettement.
	Landes xérophiles dominées par *Juniperus communis subsp. nana* et/ou *Arctostaphylos uvaursi*	Ces landes occupent des pentes rocheuses ensoleillées. Adaptées à la sécheresse estivale, elles doivent aussi supporter des températures très basses en hiver (jusqu'à -40°C), à cause de l'absence de couverture neigeuse protectrice. Le Rhododendron en est toujours presque totalement absent.
	Landes alpines dominées par *Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum*	

	Landines alpines en position de croupes ventées	
Brousses de l'étage subalpin	Les brousses de l'étage subalpin sont caractérisées par une strate dominante de ligneux à feuilles caduques, de taille en général inférieure à 4 ou 5 m et dont les troncs ne dépassent guère 10 cm de diamètre. Généralement exposées à l'ubac, dans des conditions naturelles, elles occupent des zones trop sèches ou trop humides pour permettre le développement de la forêt. Elles apparaissent également comme stade pionnier dans des endroits soumis à des perturbations mécaniques (couloirs d'avalanches, chablis, …).	
	Brousses dominées par *Alnus alnobetula*	Brousses subalpines dominées par *Alnus alnobetula*. Ce ligneux possède des tiges très souples inclinées dans le sens de la pente. Celles-ci se couchent sans dommage jusqu'au sol sous le poids de la neige et ne sont pas endommagées par le passage des avalanches. En sous-strate se trouve souvent un tapis herbacé luxuriant, comparable dans sa composition à la mégaphorbiaie hygrophile. On rencontre aussi des variantes riches en *Rhododendron ferrugineum* ou en fougères (*Athyrium* sp.).
	Brousses dominées par *Salix sp.* (saules de l'étage subalpin)	Cette unité réunit les brousses subalpines de saules dont le feuillage présente souvent une teinte glauque ou blanchâtre. Ces brousses des pentes faibles sont régulièrement alimentées en eau. La strate herbacée est souvent discontinue ; elle comprend beaucoup d'éléments de la mégaphorbiaie hygrophile.
	Brousses dominées par *Populus tremula*	Ce faciès se superpose à toutes les formations basses de l'étage subalpin, aussi bien pelouses que landes.
	Brousses dominées par *Betula pubescens*	Souvent en couverture de landes à *Rhododendron ferrugineum* et/ou *Vaccinium myrtillus*.
	Brousses dominées par *Larix decidua*	Souvent localisés dans les couloirs d'avalanches.
	Brousses implantées sur un chaos de blocs	
Fruticées subalpines	Comme les brousses de l'étage subalpin, les fruticées sont caractérisées par une strate dominante de ligneux à feuilles caduques, de taille en général inférieure à 4	

	ou 5 m et dont les troncs ne dépassent guère 10 cm de diamètre. Elles s'en distinguent par l'abondance des espèces à baies charnues. Généralement exposées à l'adret, elles présentent des faciès d'embroussaillement sur des milieux soumis à perturbations mécaniques ou sur des milieux soumis à la déprise agricole.	
	Groupements dominés par *Juniperus communis*	Constituent généralement les pâturages d'intersaison sur d'anciens terroirs agricoles.
	Groupements dominés par des fourrés denses de *Rubus*	Les ronciers apparaissent sur des terrains lourds et très riches en nutriments qui ont été dénudés puis laissés à l'abandon (friches agricoles, coupes forestières). Dans des conditions optimales, les ronces se développent de manière luxuriante et forment en quelques années des massifs denses dans lesquels très peu d'autres plantes trouvent place.
	Groupements des falaises et des éboulis	
	Autres groupements, souvent liés à la déprise agricole	

3) – Typologie détaillée pour les formations arborées très peu denses (niveaux 2 et 3)

Forêts sur blocs et éboulis	Peuplements installés sur des éboulis rocheux ou des cônes de déjection. Ces formations sont exposées aux coulées de neige mais non situées dans des couloirs d'avalanches.	
	Stades arbustifs forestiers et préforestiers dominés par des feuillus, sur blocs et éboulis	Ces formations se trouvent en situation pionnière, souvent en adret, dans des stations où la litière est quasi absente. Elles incluent les boulaies présentes sur des éboulis rocheux à la base de falaises, les frênaies installées en pied de barre, sur la partie haute des éboulis (encore partiellement active), plus rarement au fond d'un ravin, et les tremblaies se développant sur des éboulis rocheux, plus rarement au fond d'un ravin. Egalement des groupements de feuillus mixtes installés sur éboulis ou cône de déjection (variante mésophile caractérisée par *Sorbus sp.* et variante hygrophile dominée par des feuillus nomades comme *Acer sp., Fraxinus excelsior, Tilia sp.* et *Ulmus*).
	Stades arbustifs forestiers et préforestiers dominés par des conifères, sur blocs et éboulis	Concernent essentiellement les mélézins sur éboulis (toutes expositions, végétation calcicole ou silicole). On pourra rencontrer des peuplements denses de jeunes mélèzes dans les couloirs d'avalanche.
Formations arborées en limite forestière	Formation arborée des zones de combat, souvent superposée à toutes les formations basses de l'étage subalpin.	
	Formations arborées en limite forestière et dominées par des feuillus	Formations en situation pionnière, souvent en adret. Incluent les boulaies et tremblaies alpines en limite forestière. Ce faciès se superpose à de nombreuses formations basses de l'étage subalpin.
	Formations arborées en limite forestière et dominées par des conifères	Inclure les mélézins de l'étage subalpin, dont ceux sur mégaphorbiaies (toutes expositions, végétation calcicole ou silicole). Formations de la zone de combat qui incluent divers conifères (mélèzes, épicéas, pins à crochet pins cembros, sapins…).

4) – Typologie détaillée pour les végétations clairsemées et roches (niveaux 2 et 3)

Alluvions	Végétation herbacée clairsemée se développant sur les bancs d'alluvions de cours d'eau à régime torrentiel. Ces sédiments sont très filtrants (graviers, sables grossiers) et pauvres en matière organique. La flore est composée d'espèces à feuilles étroites, à appareil racinaire important et à forte capacité de régénération. Ces plantes sont adaptées aux perturbations mécaniques des crues et supportent aussi bien l'inondation que la sécheresse. Cette classe comprend les groupements végétaux rencontrés à proximité du front d'un glacier (« sandurs »).	
Moraines	Les moraines constituent un ensemble difficile à classer sur le plan phytosociologique. Leur végétation est apparentée à celles des alluvions et des éboulis. Sur les moraines purement minérales de l'étage de l'étage alpin, des siècles peuvent s'écouler avant que s'installe une pelouse plus ou moins fermée.	
Dalles rocheuses des étages subalpin et alpin	La mince pellicule de terre qui drape souvent les dalles faiblement inclinées est colonisée par un tapis ras de plantes spécialisées. Ces végétaux sont capables de survivre à un assèchement complet du sol et à des températures pouvant dépasser les 50°C. Les plantes grasses et les annuelles y jouent un rôle dominant. La transition vers la pelouse est progressive, car la sécheresse du milieu limite la densité des graminées, laissant subsister entre les touffes des plages de sol nu où la flore des dalles se maintient. Les lapiez calcaires forment un cas particulier, par la présence de fissures où s'enracinent des plantes plus exigeantes en eau.	
	Végétation des dalles calcaires et lapiez d'altitude	Contrairement à celle des dalles de basses et moyennes altitudes, cette végétation est pauvre en thérophytes (espèces annuelles). Les conditions hivernales sont trop rudes pour permettre le développement de leurs rosettes. La surface nue des dalles offre par contre la possibilité à des espèces rampantes de s'y étaler en profitant de la chaleur emmagasinée par la roche calcaire pendant la journée.
	Végétation des dalles siliceuses d'altitude	Végétation rase dominée par des crassulacées succulentes et des caryophyllacées à feuilles étroites. L'unité se trouve surtout en altitude, mais peut descendre dans des situations peu ensoleillées (gorges, vallées encaissées). Les thérophytes (espèces annuelles) y jouent un rôle plus modeste que dans l'unité à plus basse altitude, car le microclimat hivernal est moins favorable.
Roches nues	Zones rocheuses privées de végétation vasculaire (Ptéridophytes et Spermaphytes) en raison de l'extrême dureté de la roche ou d'une érosion incessante ou de l'altitude.	
Parois rocheuses	Parois d'altitude de l'étage subalpin et alpin caractérisées par un fort degré de verticalité. On différenciera les parois calcaires des parois siliceuses.	

Vires et "rochillons" modérément inclinés	Ces formations peuvent être comprises comme des "terrains à chamois" où l'on retrouvera en dominance des formations herbacées distinctes en adret et ubac aux étages subalpin et alpins (respectivement *Festuca acuminata* en adret et *Festuca flavescens*, *Empetrum nigrum*, *Luzula lutea*, *Astrantia minor* en ubac).	
Eboulis	Les éboulis correspondent à des zones où s'accumulent des matériaux pauvres en matière organique issus de l'érosion de pentes instables. On peut en distinguer divers types morphologiques, en fonction de la nature chimique, de la granulométrie et de la mobilité du substrat. La couverture végétale des éboulis est généralement très faible, constituée de plantes herbacées à feuillage réduit.	
	Éboulis calcaires d'altitude	Ce type de végétation s'établit dans des éboulis de calcaire compact aux étages subalpin et alpin. La densité de la végétation y est toujours faible ; parfois elle passe inaperçue. Certains éboulis sont pâturés.
	Éboulis calcaires humides	Éboulis plus ou moins mobiles, situés en pied de pente et sur des cônes d'alluvions aux étages subalpin et alpin. Grâce à une période de croissance plus longue et à un substrat plus fertile que dans les autres types d'éboulis, une végétation relativement luxuriante se développe ici avec pétasites, adénostyles et valérianes. Ces plantes à feuillage large sont elles aussi adaptées à des substrats instables.
	Éboulis calcaires thermophile	Groupements clairsemés (recouvrement < 50 %), souvent marqués par l'abondance *d'Achnaterum calamagrostis*. La végétation thermophile occupe des pentes instables, souvent exposés au sud, à basse altitude. On peut aussi rencontrer ces groupements sur des alluvions sèches.
	Éboulis siliceux des hautes altitudes	Les éboulis siliceux d'altitude possèdent une physionomie plus variée que celle liée aux substrats calcaires. Les formes rampantes dominent, mais on y rencontre parfois des plantes d'assez grande taille *(Adenostyles leucophylla)*. Ce type d'éboulis se rencontre de l'étage subalpin à l'étage nival. A l'étage subalpin, il est représenté par des associations riches en fougères *(Athyrium distentifolium, Cryptogramma crispa)*. Comprennent des variantes plus ou moins mobiles, les plus stabilisées pouvant être pâturées (pression pastorale parfois très forte au regard de la faible phytomasse).

5) – *Milieux humides d'altitude*

En fonction notamment du contexte géologique, climatique et topographique, divers fonctionnements hydrologiques peuvent conduire en montagne à la **saturation en eau des sols**, de manière temporaire ou permanente, ce qui est à l'origine de différents types de zones humides d'altitude (Figure 8, Figure 9). Ces zones humides peuvent présenter un sol spécifique de **tourbe**, conditionné par la stabilité mécanique et chimique des sphaignes dans l'écosystème et par leur résistance à la minéralisation et à la décomposition (Dobrovol'skaya et al. 2014). La formation et le maintien de la tourbe sont favorisés par les températures basses induisant des dynamiques de végétation lentes, par des conditions anoxiques et par l'accumulation de la matière organique subissant une décomposition lente également. La plupart des études, suivis et travaux de recherche actuellement disponibles semblent se concentrer sur les zones humides de type tourbières d'altitude. De ce fait, l'élargissement des investigations à une **plus grande diversité de milieux humides**, tels que les marais para-tourbeux ou les prairies humides d'altitude, apparait comme un besoin de recherche à moyen terme.

La saturation en eau des sols des zones humides, temporaire ou permanente, favorise le développement **d'une faune et d'une flore hygrophiles** (Figure 7). A titre d'exemple, les marécages d'altitude sont recherchés par les grands tétras comme places de chant, sites d'élevage des jeunes et zones d'alimentation (Bernard-Laurent 2011).

Figure 7 : Quelques espèces associées aux zones humides de montagne.
A. Droséra à feuilles rondes (Drosera rotundifolia L.).
Source : Tela Botanica.
B. Grassette commune (Pinguicula vulgaris L.). Source : Tela Botanica.
C. Cordulie arctique (Somatochlora arctica). Source : Piet Spaans.

Figure 8 : Exemple de typologie des zones humides de montagne.
Source : BAOZH RhoMéo - Porteret 2015.

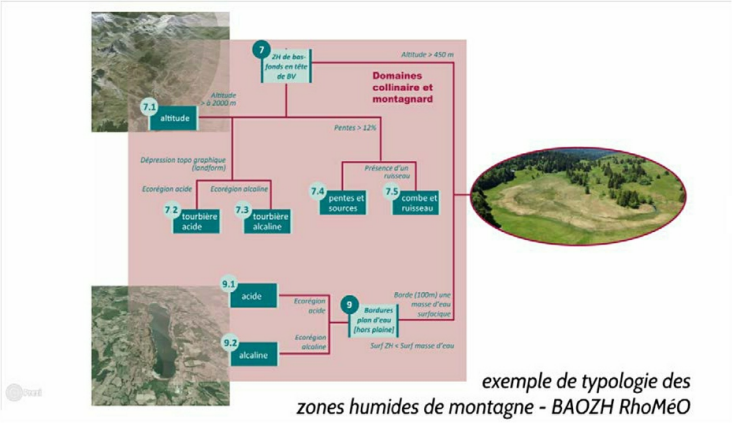
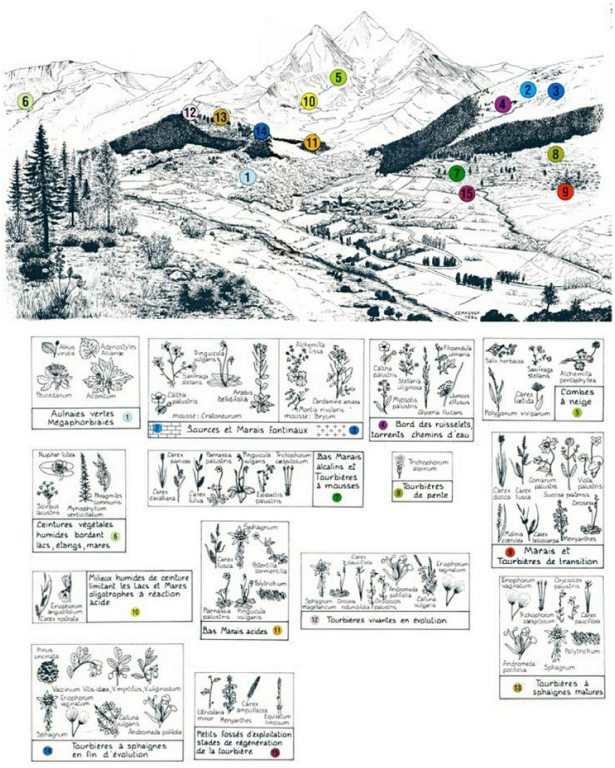


Figure 9 : Exemple de typologie des milieux humides d'altitude.
La typologie est une recherche des traits qui permettent de déterminer, dans un ensemble, différents types ; grâce à elle, on peut cataloguer les milieux humides d'altitude en une quinzaine de formations vivantes caractéristiques.
Source image et légende : Dupuis et Fischesser 1987.



4. – Bilan du Chapitre I

Nous avons proposé d'aborder les milieux de haute montagne en tant que socio-écosystèmes aux composantes écologiques et sociétales interconnectées. Notre définition du périmètre considéré repose ainsi sur des **critères biophysiques** (topographie, températures, couverture des sols), caractéristiques du sous-système environnemental mais **sous influence des choix actuels et passés d'usage et d'aménagement du territoire**. Cette définition n'inclut pas d'éléments sociaux à proprement parler, liés par exemple à la densité de population, à la présence de groupes d'acteurs particuliers ou encore à des éléments économiques caractéristiques. Nos choix méthodologiques principaux peuvent se résumer à la sélection des **milieux naturels terrestres des étages subalpins, alpins et nivaux dans les massifs des Alpes, des Pyrénées et de la Corse**. Notre choix traduit la volonté d'une **approche paysagère** i) couvrant une mosaïque d'habitats soumis à des déterminants biophysiques particuliers, et ii) indépendante de critères administratifs ou institutionnels tels que les délimitations communales. Il met l'accent sur la **cohérence biogéographique** des espaces sélectionnés et fait l'hypothèse d'une **gamme spécifique de systèmes sociaux** associés (types d'acteurs, institutions et facteurs de changements).

CHAPITRE 2

Place de la haute montagne en France, cartographie et interfaces avec d'autres systèmes

1. – Les milieux de haute montagne en France métropolitaine

Les milieux de haute montagne couvrent environ **2 % du territoire français métropolitain**, soit une surface d'environ 11 300 km^2 (Figure 10). Ils se distribuent entre 1001 m et 4810 m au point culminant national du **Mont-Blanc** en Haute-Savoie (74). Ils sont concentrés sur trois massifs : les **Alpes**, les **Pyrénées** et la **Corse** (Figure 11, Figure 12).

Figure 10 : Définition du périmètre haute montagne par application de 4 filtres successifs.
A. Filtre altitudinal (1000m),
B. Filtre d'enneigement (MODIS),
C. Filtre de couverture des sols (CLC 2012),
D. Filtre surfacique permettant la visualisation du périmètre final,
E. Superficie correspondant à chaque étape de restriction du périmètre.

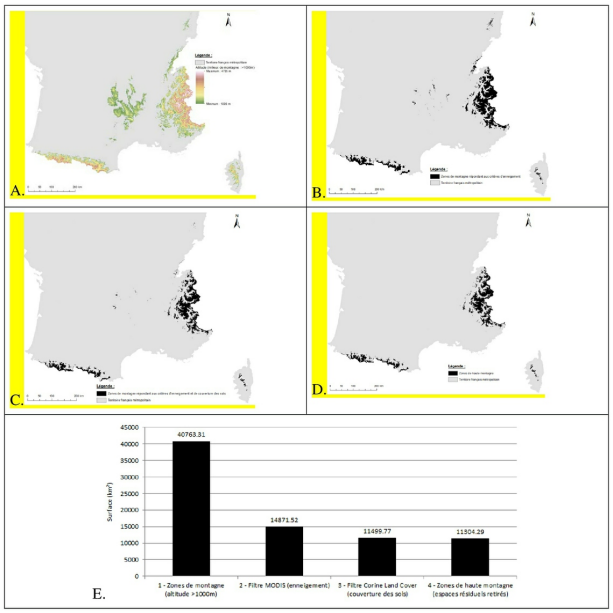
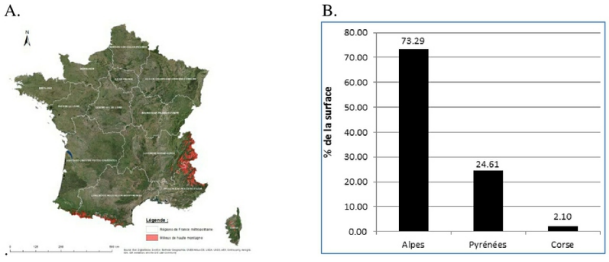


Figure 11 :
A. Périmètre final de la haute montagne métropolitaine telle que définie dans l'EFESE.
B. Répartition du périmètre de la haute montagne entre les massifs des Alpes, des Pyrénées et de la Corse.



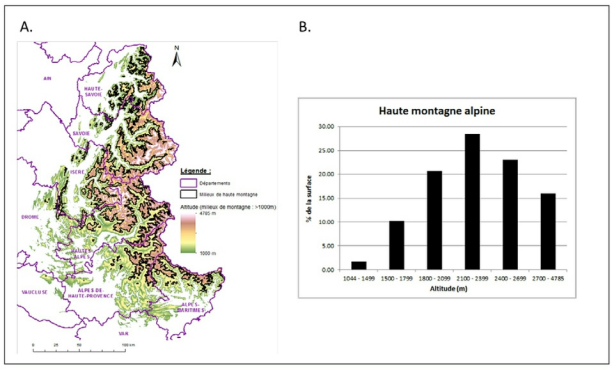
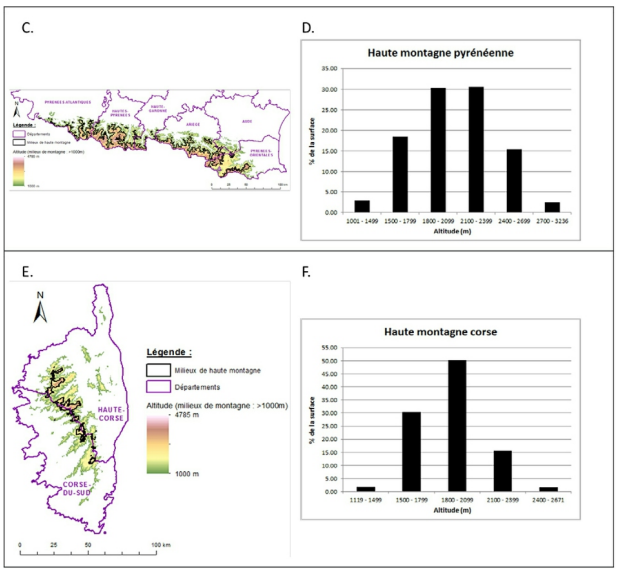


Figure 12 : Localisation du périmètre de haute montagne par massif (A., C., E.) et distribution de la surface occupée selon l'altitude (B., D., F.).



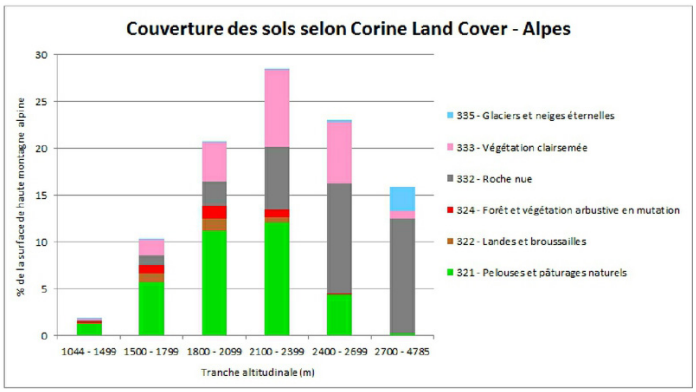
2. – Occupation biophysique des milieux de haute montagne

La définition du périmètre de la haute montagne dans l'EFESE contraint leur occupation biophysique, qui se décline selon les données CLC2012 en 6 classes (Figure 13).

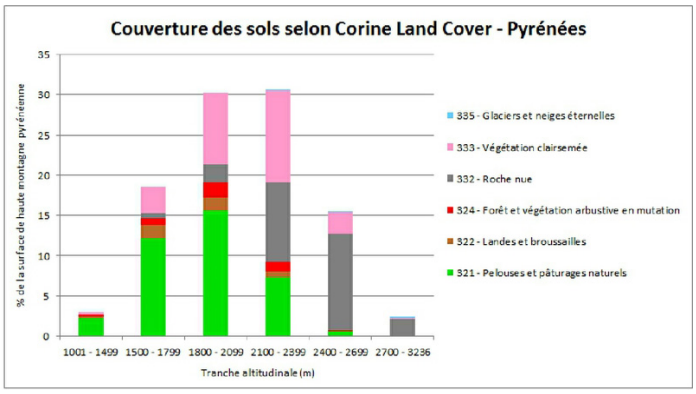
Les trois massifs abritent une proportion élevée de **pelouses et pâturages naturels** dans les tranches altitudinales inférieures, remplacée progressivement en altitude par de la **végétation clairsemée** et des **roches nues**. Des **forêts et de la végétation arbustive en transition** sont présentes, bien qu'en proportions modérées, dans les trois massifs et marquent le caractère subalpin du périmètre. Le massif alpin présente une part non négligeable de **glaciers et neiges éternelles**, notamment à très haute altitude au-delà de 2700 mètres (2,65 % de la superficie totale). L'occurrence de ces glaciers et neiges éternelles est plus faible dans les Pyrénées (0,29 % de la superficie totale dont 0,19 % au-delà de 2700 mètres) et est nulle dans la haute montagne corse. Le massif corse se distingue par la proportion significative de **landes et broussailles** dans le périmètre de haute montagne.

Figure 13 : Couverture des sols selon CLC2012 par massif et altitude, en pourcentage de la superficie de la haute montagne dans chaque massif.

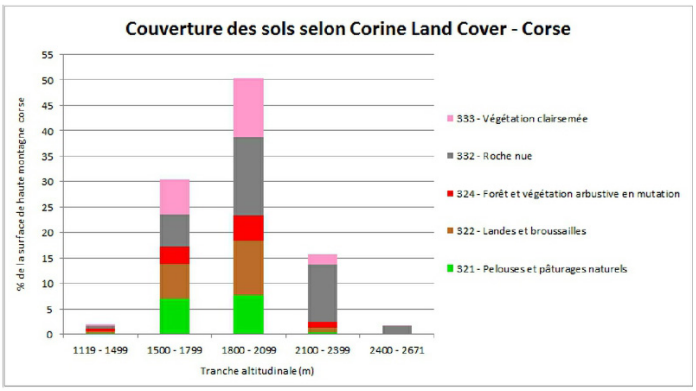
A.



B.



C.



3. – Espaces protégés et milieux de haute montagne

Les milieux de haute montagne sont caractérisés par un très fort niveau de **reconnaissance patrimoniale** au titre de la biodiversité et des habitats qu'ils abritent, puisque 93 % de leur superficie est reconnue par l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF de type I et II) et l'inventaire des zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) (Figure 14 A.).

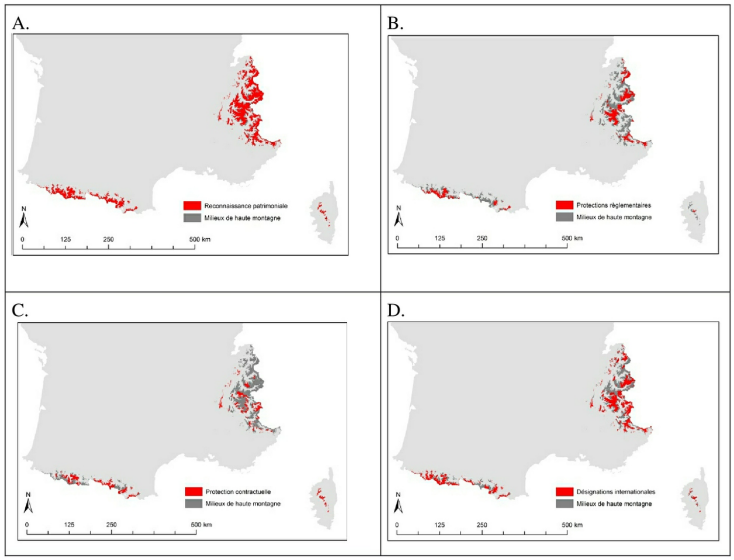
Cette reconnaissance est concrétisée par la mise en place d'un statut **d'espace protégé** pour 57 % de la superficie de la haute montagne. Ainsi, 35 % de la superficie des milieux de haute montagne fait l'objet de **protections réglementaires** (réserve intégrale et cœur de parc national, réserve naturelle nationale ou régionale ou de Corse, réserve nationale de chasse et de faune sauvage, réserve biologique, arrêté préfectoral de protection de biotope, site classé) (Figure 14 B.). De plus 28 % de la superficie des milieux de haute montagne font l'objet d'une **protection contractuelle** qui met en œuvre des objectifs partagés dans les documents d'urbanisme et divers documents de planification territoriale (aire d'adhésion des parcs nationaux et territoire des parcs naturels régionaux) (Figure 14 C.). La **protection foncière** concerne moins de 1 % de la superficie de la haute montagne (acquisition par un conservatoire régional ou départemental d'espaces naturels). Cependant, une partie significative des espaces de haute montagne ont un **statut public** (communal par exemple).

Enfin la qualité de ces milieux est telle qu'elle est reconnue au niveau international (Figure 14 D.) : 53 % de la superficie de la haute montagne font l'objet de **désignations européennes** (Zones de protection spéciales au titre de la directive "oiseaux sauvages", Zones spéciales de conservation au titre de de la Directive Habitat Faune Flore) ou au titre de **conventions mondiales** (site inscrit au patrimoine mondial de l'humanité (convention UNESCO), réserve de la biosphère (programme Man and Biosphere). Ces désignations ne constituent pas en elles-mêmes des outils de protection opposables, c'est pourquoi les territoires désignés

font généralement l'objet d'un classement, d'une acquisition foncière ou de mesures de protection contractuelles qui visent à les protéger.

La forte reconnaissance de la qualité environnementale des milieux de haute montagne doit être perçue comme un atout majeur pour leur conservation mais non comme une garantie effective de réussite de cette conservation. En effet le maintien en bon état de ces espèces et de ces milieux reste conditionné à la maîtrise des pressions et facteurs de changement anthropiques qui s'y exercent, comme détaillé dans la Partie II de ce rapport.

Figure 14 : Statuts de protection des milieux en haute montagne métropolitaine.
A. Reconnaissance patrimoniale (ZNIEFF I et II – ZICO).
B. Protection réglementaire (réserve intégrale et cœur de parc national, réserve naturelle nationale ou régionale ou de Corse, réserve nationale de chasse et de faune sauvage, réserve biologique, arrêté préfectoral de protection de biotope, site classé).
C. Protection contractuelle (aire d'adhésion des parcs nationaux et territoire des parcs naturels régionaux)
D. Désignations internationales (Zones de protection spéciales au titre de la directive "oiseaux sauvages", Zones spéciales de conservation au titre de de la Directive Habitat Faune Flore, patrimoine mondial de l'humanité (convention UNESCO), réserve de la biosphère (programme Man and Biosphere)).



CHAPITRE 3

Fonctionnement de l'écosystème et biodiversité

1. – Les caractéristiques des milieux de haute montagne contrôlant leur biodiversité

En raison des variations d'altitude et de topographie à diverses échelles, il existe une grande diversité de milieux de haute montagne. La végétation est ainsi adaptée à l'altitude, à l'exposition et aux conditions pédo-climatiques locales.

Figure 15 : Le Pic du Midi d'Ossau et le lac d'Ayous.
Crédit photo : J-P Sarthou.

1) – L'altitude, principal facteur de variation des milieux

En zone tempérée, les paramètres physiques et climatiques variant le long du gradient altitudinal sont les suivants :

La température varie de manière inversement proportionnelle à l'altitude. En moyenne, en France, la diminution constatée lorsque l'on s'élève de 100m en altitude est de 0.4°C en automne ou en hiver, et de 0.7°C au printemps ou en été (soit une moyenne annuelle de 0.55°C) (Rameau et al. 2008).

La pression atmosphérique diminue également avec l'altitude, mais pas de façon parfaitement linéaire. La baisse peut être rapidement approchée en retirant 10hPa par tranche de 100m d'altitude, bien que cette estimation soit imparfaite (valeurs de pression atmosphérique estimées pour les montagnes de moyenne latitude : 1013hPa au niveau de la mer, 899hPa à 1000m, 795hPa à 2000m, 701hPa à 3000m, 616hPa à 4000m) (Körner 2003).

Le rayonnement solaire augmente avec l'altitude car la couche d'atmosphère permettant de le filtrer s'amincit. De plus, **l'humidité** diminue lorsque l'on s'élève. On constate ainsi un rayonnement solaire deux fois plus élevé à 1800m qu'au niveau de la mer (Rameau et al. 2008).

La luminosité augmente également avec l'altitude, et **la proportion de rayons ultra-violets** dans le rayonnement solaire est plus élevée en altitude (Rameau et al. 2008). Une augmentation de 10 % par tranche de 1000 mètres a ainsi été mesurée dans les Alpes suisses en termes de radiation solaire moyenne annuelle (Körner 2003). Cependant, la nébulosité plus élevée en altitude qu'en plaine tend à contrebalancer ce résultat, plutôt valable dans des conditions météorologiques où le ciel est dégagé (Körner 2003).

Les précipitations annuelles augmentent avec l'altitude ; entre 500m et 2500m, le gradient est d'environ 100mm tous les 100m (Rameau et al. 2008).

La vitesse des vents est plus élevée en altitude (Rameau et al. 2008).

En fonction de l'altitude et de l'exposition du versant (nord / sud), il est ainsi possible de définir de grands ensembles spatiaux aux caractéristiques plutôt homogènes à une échelle macroscopique : il s'agit des étages de végétation précédemment mentionnés.

A **l'étage subalpin**, les conditions climatiques restent suffisamment clémentes pour que l'on y trouve des forêts, composées principalement de résineux, et qui ne rentrent pas dans le cadre de ce rapport et sont traitées par le *rapport Ecosystèmes forestiers de l'EFESE*. On y trouve tous types de milieux de façon générale, bien qu'adaptés aux conditions particulières liées à l'altitude.

Les forêts sont entièrement absentes de **l'étage alpin** (composé principalement de landes, de pelouses et de milieux rocheux) et de **l'étage nival** (étage des neiges et des glaces permanentes). Ces deux étages sont ceux où les végétaux sont soumis aux conditions les plus extrêmes.

Ces trois étages définissent les zones de « haute montagne », où les espèces font face à de nombreux types de stress directement liés aux conditions climatiques particulières régnant en altitude dans les montagnes françaises :

Le nombre de jours de gel dépasse les 150 jours par an. Ceci est dû aux faibles températures ainsi qu'à la faible densité de l'air, qui a pour conséquence une moindre réflexion du rayonnement terrestre nocturne (Rameau et al. 2008).

La neige recouvre les sols plusieurs mois dans l'année.

Plus l'on s'élève en altitude, plus **la période de végétation** est réduite, principalement en lien avec les contraintes thermiques. La période de végétation est la période durant laquelle les conditions physico-

climatiques permettent à un végétal d'entrer en phase de vie active, par opposition aux phases de vie ralenties.

Il est donc nécessaire pour les espèces végétales de haute montagne de s'adapter à ces conditions particulières.

2) – Des milieux soumis à de forts écarts de température

Cependant, tous les stress ne sont pas liés à la période hivernale plus ou moins longue, et haute altitude n'est pas synonyme de froid permanent. En effet, en l'absence de neige, l'ensoleillement à un **angle** parfois quasi-équatorial du fait de la pente peut conduire à une température élevée au niveau des feuilles (qui reste toutefois inférieure à celle observée en plaine), et ce particulièrement durant l'été. De plus, le **rayonnement solaire** étant intense en altitude, le réchauffement des sols est plus marqué en montagne qu'en plaine (Rameau et al. 2008, Körner 2003).

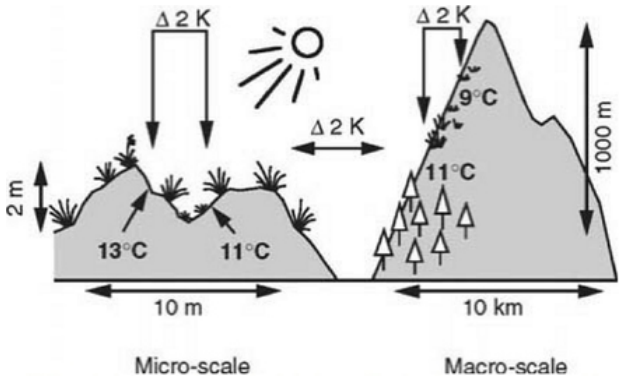
Les végétaux sont ainsi soumis à de **fortes fluctuations de température** durant une même journée (différence jour / nuit), mais également entre plusieurs journées durant une même saison ou simplement une même semaine. En effet, la présence d'une couverture nuageuse peut diminuer considérablement le rayonnement solaire atteignant le sol, et également impacter la température de l'air.

Il existe de plus une **forte variation saisonnière**, la différence la plus évidente étant celle entre l'été et l'hiver. Le cas particulier de l'enneigement est traité ci-après.

3) – Une forte hétérogénéité spatiale des milieux

L'altitude ne suffit pas à expliquer les répartitions de végétaux qui peuvent être observées en haute montagne. A une distance horizontale de l'ordre d'une ou de quelques dizaines de mètres (échelle méso-topographique), il est possible d'observer des différences de température moyenne de plusieurs degrés aux cours d'une journée, et ce de façon constante au cours de la période de végétation. En conséquence, on peut trouver quasiment côte à côte des espèces dont l'aire de répartition est autrement éloignée de plusieurs centaines de mètres en altitude (Figure 16) (Baptist 2008).

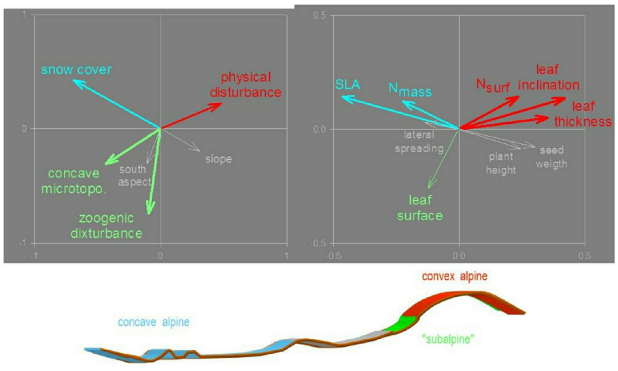
Figure 16 : Les contrastes thermiques liés à la méso- et microtopographie sont aussi marqués que ceux qui sont observés le long du gradient altitudinal. Source Körner 2003.



Ceci est dû au **mésorelief** existant en montagne : une petite butte, par exemple haute de 2 mètres et large d'une dizaine de mètres, a un versant nord, une crête ainsi qu'un versant sud. L'ensoleillement, et ainsi les températures des feuilles, sont significativement plus faibles au nord (alpin dit « nival »), ce qui crée des conditions de vie beaucoup plus rudes qu'au sud et sur les crêtes (alpin dit « thermique » ou « intermédiaire ») (Körner 2003).

La distribution des espèces végétales dans une zone donnée est ainsi expliquée non seulement par **l'altitude**, mais également par **l'exposition :** adret (ou soulane dans les Pyrénées et en Corse) / ubac (ombrée et umbria dans les Pyrénées et en Corse respectivement), en combinaison avec le **méso-**, voire le **microrelief**. On trouve ainsi des groupes très distincts de végétaux les uns à côté des autres, et la délimitation entre ces différents « patchs » est généralement nette plutôt que progressive. Elle est très corrélée à la date de fonte des neiges (Carlson et al. 2015). Cette délinéation concerne les espèces végétales présentes, mais aussi leurs caractéristiques fonctionnelles (Figure 17). La reproduction clonale fréquente des individus en haute montagne participe également au caractère mosaïqué de la végétation (cf. section suivante).

Figure 17 : Facteurs déterminants de la distribution méso-topographique de la végétation à l'étage alpin, et de ses caractéristiques fonctionnelles. Sur les crêtes qui ont un enneigement intermittent (sous l'effet du vent) et un déneigement précoce, on trouve des plantes avec des caractéristiques dites conservatrices, telles que des feuilles plus denses, plus épaisses et plates. Dans les creux où la neige persiste jusque tard en saison, les plantes sont de type dit exploitateur, avec des feuilles plus fines, moins denses et plus concentrées en azote. D'après Choler (2005).



4) – Une grande diversité de milieux et d'espèces en haute montagne

Il existe donc une vaste gamme de conditions climatiques ainsi que de nombreux microclimats en haute montagne. En supplément des éléments déjà mentionnés précédemment, peuvent être ajoutés :

La force moyenne et la direction principale du vent, qui affectent la température de la plante ainsi que l'épaisseur de la neige durant l'hiver (Körner 2003).

Le contexte géologique a également une forte influence sur les milieux. Les végétaux colonisant un milieu ne seront pas identiques selon si l'on se situe sur roche-mère siliceuse (plutôt acide) ou calcaire, et ce d'autant plus que le sol est superficiel (Figure 19 a, b).

L'épaisseur du sol varie énormément : nulle sur les éboulis rocheux récents, elle peut être bien supérieure dans des vallées où les versants très pentus sont soumis à une érosion intense.

Les conditions édaphiques (pH, humidité, etc.) peuvent en conséquence varier fortement. A l'étage alpin particulièrement, les sols sont généralement plutôt pauvres en azote et en phosphore.

La pente conditionne également la présence des espèces à un endroit donné (Figure 19 c, d).

La conséquence de ce grand nombre d'habitats différents est une **biodiversité très riche** dans les milieux de haute montagne. Par exemple, la seule région du Col du Lautaret abrite près de 1 500 espèces de végétaux supérieurs sur les quelques 5 000 recensées en France (source : www.jardinalpindulautaret.fr). Il existe non seulement une **forte diversité de milieux**, mais également une **diversité d'espèces** dans un même type de milieu (diversité alpha) et une **diversité génétique** souvent marquée à l'intérieur et entre les différents massifs montagneux. A l'échelle européenne, les milieux de haute montagne couvrent 3 % de la superficie du continent mais abritent environ 20 % de sa diversité génétique végétale. Les Alpes et les Pyrénées sont les deux massifs européens les plus divers en termes de flore, l'originalité et l'endémisme des espèces qu'ils abritent y sont également très élévés (Väre et al. 2003). Enfin, si les températures limitent la diversité des **invertébrés**, il n'en est pas moins que les écosystèmes de haute-montagne accueillent nombre d'espèces remarquables parmi les criquets ou les papillons dans les prés de fauche du subalpin, ainsi que de nombreux pollinisateurs appartenant à une diversité de familles (hyménoptères, diptères, …) (Figure 19).

Figure 18 : Exemples d'espèces invertébrées des milieux de haute montagne.

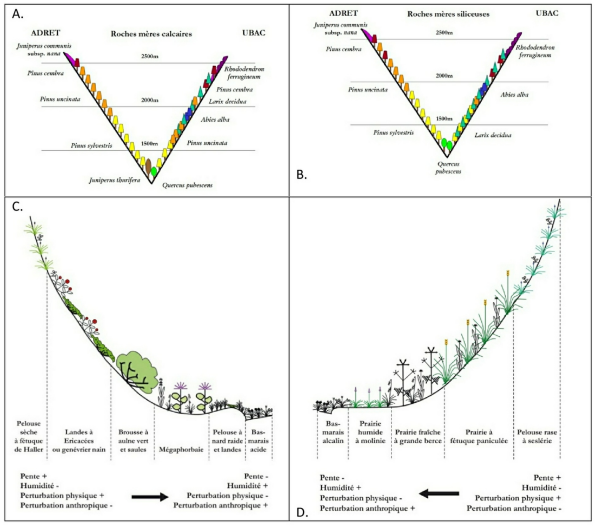
Chorthippus scalaris, ou criquet jacasseur (© Via gallica)

Euthystira brachyptera, ou criquet des genévriers (© Via gallica)

Parnassius apollo, Grand apollon (© Damien Combrisson, Parc National des Ecrins)

Zygaena carniolica, ou zygène du sainfoin (© www.lepinet.fr)

Figure 19 : Influences des gradients abiotiques (exposition, pente, humidité…) sur les séries de végétation. Transects montrant la répartition des essences forestières dominantes en fonction de l'altitude, de l'exposition et de la roche mère (A. roches mères calcaires, B. roches mères siliceuses). Transects de répartition des groupements végétaux de l'étage subalpin au niveau du Col du Lautaret, en ubac (C.) et en adret (D.)
Source : Aubert et al. 2011



2. – Les mécanismes fonctionnels spécifiques aux milieux de haute montagne

1) – L'adaptation au gel

La survie en haute montagne des espèces végétales repose sur différentes adaptations. De façon générale, elles ont un **port bas** qui leur permet d'éviter de trop fortes déperditions de chaleur ; ceci est valable pour les ligneux (aulnaies subalpines, par exemple), mais également pour les plantes herbacées qui dépassent rarement la dizaine de centimètres de hauteur dans l'étage alpin. Une petite taille et donc un rapprochement du sol permettent en effet de profiter de **températures plus élevées** que

celles que l'on observe quelques mètres plus haut : la température du sol nu peut atteindre les 80°C en haute montagne du fait du rayonnement solaire intense, tandis que la température de l'air est bien inférieure et varie plutôt entre 0°C et 20°C durant la journée (Körner 2003, Aubert s.d). Cela permet également de limiter l'exposition à la force mécanique du vent et de la neige, et donc de protéger la plante contre les **risques de casse des tiges et des branches**. Pour finir, cela permet une **protection par le couvert neigeux** en hiver, ce qui présente des avantages qui seront détaillés dans la suite de ce chapitre (Aubert s.d.)

Afin de résister au gel et ainsi de survivre aux rudes conditions de la haute montagne, certaines plantes développent des **adaptations physiologiques** qui peuvent être de plusieurs types. Par exemple, certaines espèces végétales concentrent des solutés (sucres, acides aminés) à l'intérieur de leurs cellules. Ceci leur permet de **ne pas geler** à des températures inférieures à 0°C, et ce de façon d'autant plus importante que la concentration est élevée. D'autres espèces végétales utilisent le principe de **surfusion**, qui permet au liquide cellulaire de rester sous cette forme à des températures inférieures à celle où il devrait normalement commencer à geler. Pour cela, la plante élimine les grains de matière à structure cristalline responsables de l'initiation des cristaux de glace (on les nomme noyaux glaciogènes). Cette stratégie permet, selon son efficacité, de survivre à des températures pouvant aller jusque -40°C, mais elle est très coûteuse en énergie (Aubert s.d).

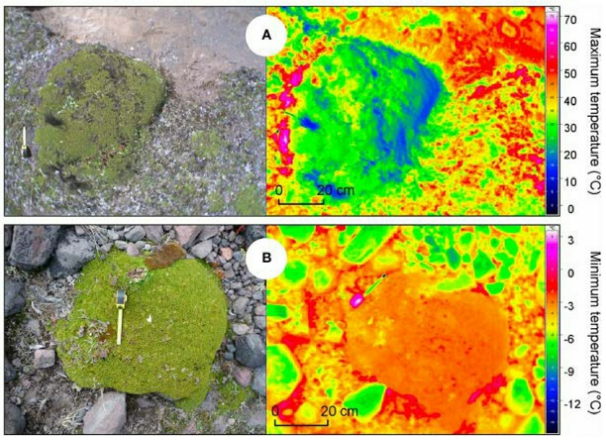
Certaines espèces influencent directement la température de leur environnement du fait de leur **morphologie**, avec l'exemple notoire des plantes en coussin (Figure 20). Les espèces présentant cette adaptation ont des entre-nœuds très courts, de petites feuilles, et sont de forme hémisphérique. Ceci résulte en un rapport surface/volume aussi faible que possible, qui limite les pertes de chaleur et d'eau pour la plante. Cela a également un effet tampon sur la température du sol à l'intérieur du coussin : plus faible que la température extérieure durant la journée et

plus élevée durant la nuit, créant ainsi un microclimat dont d'autres espèces pourront profiter pour se développer (Figure 21) (Roy 2014, Aubert s.d). Ceci correspond au **processus de facilitation** (interactions positives entre espèces), qui est particulièrement présent en altitude où les conditions de vie sont rudes (Kikvidze et al. 2005).

En fonction des espèces, il est possible de retrouver une ou plusieurs de ces adaptations, et l'efficacité de la résistance au gel d'une plante est un des paramètres qui conditionne sa répartition : adret ou ubac, gamme altitudinale, microclimats, etc. De plus, certaines de ces adaptations peuvent avoir des **rôles multiples**, par exemple face à la sécheresse ou à l'herbivorie. A noter que pour certaines espèces alpines présentant une forte résistance au froid et au gel, il serait impossible de survivre en plaine dans des conditions moins « rudes » que celles pour lesquelles elles sont adaptées : les plantes en coussin, par exemple, seraient victimes d'un stress thermique fatal (chaleur trop élevée) (Körner 2003). De manière générale, l'ensemble de ces adaptations qui ont permis la survie des espèces au travers des glaciations vont jouer un rôle soit positif, soit négatif dans le contexte du changement climatique.

Figure 20 : Plante en coussin (*Androsace helvetica)*
Crédit photo : Serge Aubert.

Figure 21 : Effet tampon des plantes en coussin sur la température du sol. Cas de *Azorella aretioides* (Equateur, 4700 m a.s.l.).
(A) *A. aretioides* réduit les températures maximales durant la journée.
(B) *A. aretioides* augmente les températures minimales durant la nuit.
Source : Anthelme et al. 2014.



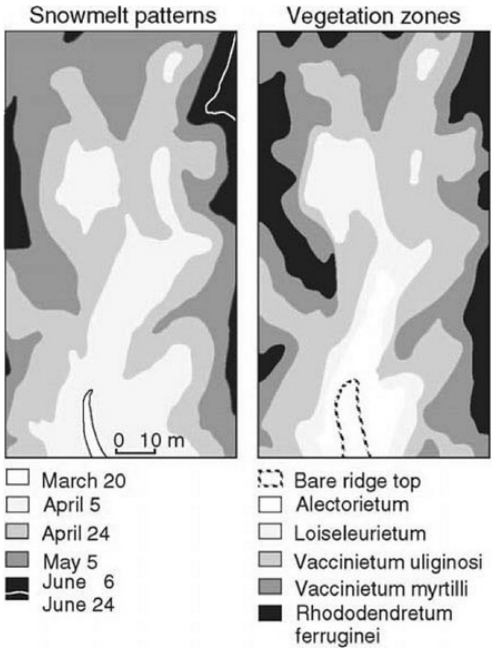
2) – *L'écologiehivernale*

Aux étages subalpin, alpin et nival, la **neige** recouvre les sols **durant plusieurs mois** de l'année, et l'enneigement peut aller jusqu'à être permanent dans une partie des zones nivales. Cela a des conséquences pour les espèces végétales qui sont recouvertes par plusieurs dizaines de centimètres de neige durant une période plus ou moins prolongée.

On pense souvent aux contraintes imposées par la couverture neigeuse : en particulier, **limitation de la photosynthèse**, ainsi que **période de végétation réduite** dans les zones où la neige recouvre les sols durant une majeure partie de l'année. Le **calendrier moyen de fonte des neiges** détermine ainsi quelles espèces seront observées dans une zone donnée : une fonte précoce a pour conséquence la présence d'espèces dont les mécanismes de résistance au gel sont bien développés, tandis qu'une fonte tardive comme dans les combes à neige entraîne la présence d'espèces pouvant supporter les coûts métaboliques engendrés par une longue période de respiration sans croissance. Les patrons de fonte

des neiges déterminent ainsi la répartition des espèces végétales en haute montagne, ainsi que cela a déjà été mentionné précédemment (Körner 2003, Carlson et al. 2015) (Figure 22).

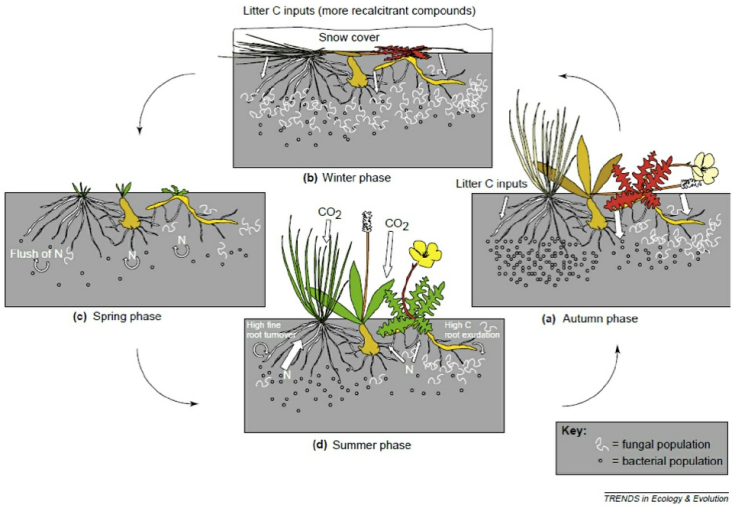
Figure 22 : Convergence entre les mosaïques de végétation et les patrons de fonte des neiges sur les fortes pentes des Alpes (Tirol - Ötztal).
Source : Körner 2003.



Mais l'avantage principal de la couverture neigeuse est la **protection** qu'elle offre, par exemple contre la **dessiccation** durant l'hiver, mais principalement au travers de **l'effet tampon** qu'elle offre sur les températures. Le sol est en effet maintenu aux alentours de 0°C tandis qu'il gèlerait à des températures fortement négatives (pouvant atteindre -30°C) en l'absence de neige, et l'effet est identique pour la température de l'air à proximité du sol. L'importance de cette protection varie en fonction de l'épaisseur de la neige, mais également de sa densité (Körner 2003). Cette couverture permet aux organismes des sols de participer aux fonctions de recyclage du carbone et des nutriments

pendant l'hiver, avec en particulier un rôle significatif des champignons (Figure 23).

Figure 23 : Dynamique saisonnières des plantes et des microorganismes des sols en milieu alpin. La couverture neigeuse hivernale n'est pas synonyme d'inactivité, bien au contraire elle permet le développement des populations fongiques du sol, alors que pendant la période de croissance des plantes ce sont les bactéries qui dominent les communautés microbiennes des sols. D'après Bardgett et al. 2005.

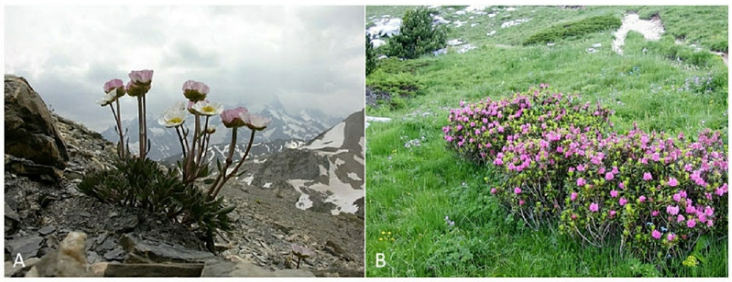


3) – *Les stratégies de reproduction en altitude*

La **reproduction sexuée**, qui implique chez les végétaux la production de fleurs, leur pollinisation, l'arrivée à maturité des graines puis leur dissémination et leur germination, est source de diversité génétique et d'adaptation aux fluctuations environnementales. Les conditions environnementales de la haute montagne rendent complexes le succès de l'ensemble de ces étapes, notamment à cause de saisons de végétation courtes, de la rareté des sites propices à la germination ou encore d'une pollinisation difficile du fait de la force des vents et de la rareté des insectes. Plusieurs stratégies permettent de pallier à ces contraintes environnementales (Aubert et al. 2006) :

- **Vivre longtemps :** seules 2 % des plantes alpines sont annuelles (Körner 2003). Le caractère pérenne de la grande majorité des végétaux d'altitude limite la vulnérabilité des populations aux aléas climatiques annuels, la reproduction sexuée pouvant se mettre en place lorsque les conditions sont favorables.
- **Etaler la reproduction sur plusieurs années :** de nombreuses plantes alpines forment leurs bourgeons floraux à l'avance afin de permettre un épanouissement rapide des fleurs dès que les conditions environnementales deviennent favorables. C'est le cas par exemple de la renoncule des glaciers, une espèce qui bat des records d'altitude dans les Alpes (jusqu'à plus de 4000 m en Suisse) et du rhododendron ferrugineux dont les bourgeons présents à l'automne contiennent déjà toutes les fleurs de la saison suivante (Figure 24).
- **Augmenter la durée de floraison :** les plantes alpines présentent généralement une durée de floraison plus longue qu'à plus basse altitude. De ce fait, et malgré la rareté des pollinisateurs, le taux de pollinisation des espèces d'altitude est similaire à celui des espèces de plaine. De nombreuses espèces de prairies alpines sont par ailleurs pollinisées par le vent, comme les Poacées.

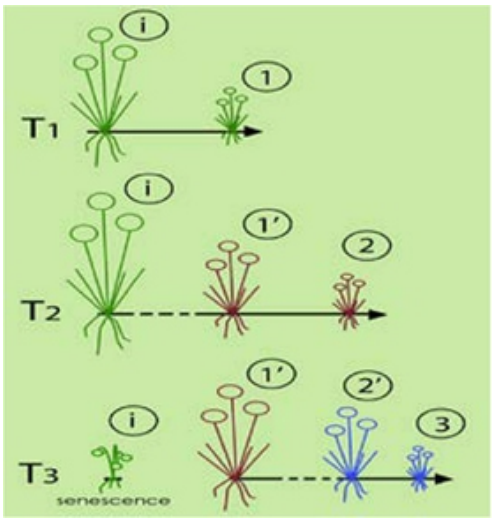
Figure 24 : A. La Renoncule des glaciers (*Ranunculus glacialis L*) et B. le rhododendron ferrugineux (*Rhododendron ferrugineum L.*) préforment leurs bourgeons floraux à l'avance.
Crédit photo : Station Alpine, Joseph Fourier/Serge Aubert ; Irène Till-Bottraud



A haute altitude, pour faire face aux aléas de la reproduction sexuée la **reproduction clonale**, qui consiste en une multiplication végétative, est largement surreprésentée (Körner 2003). Différentes techniques de reproduction clonale sont mises en œuvre par les plantes de la haute montagne (Aubert et al. 2006) :

- **Rhizomes et stolons** (Figure 25) : ces tiges à croissance horizontale, respectivement souterraines et aériennes, permettent d'explorer l'espace pour aller s'installer dans des milieux propices, par exemple entre les pierres des éboulis chez la benoîte rampante.

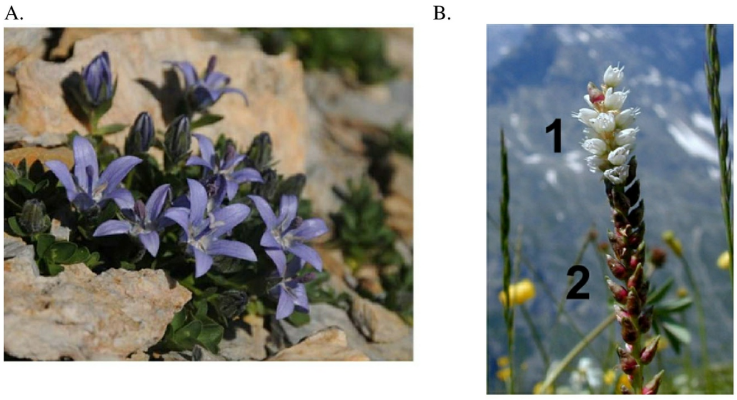
Figure 25 : Reproduction d'une plante clonale à partir d'une tige à croissance horizontale.
Crédit : Aubert et al. 2006



L'individu initial (i), issu de la germination d'une graine, produit une tige sur laquelle se développent des bourgeons, desquelles poussent des plantes toutes identiques génétiquement (ramets 1' et 2'). Ces ramets s'individualisent par dégénérescence de la tige ou par autonomisation, c'est-à-dire développement de racines et de capacité de photosynthèse. Les nouveaux clones 1, 2 et 3, après s'être rendus autonomes, vont développer de nouveaux ramets qui reproduiront le même processus. Certains ramets ne développent qu'une autonomie partielle et restent dépendants de la plante mère, comme par exemple chez l'androsace helvétique où les rosettes clonales ne possèdent pas de système racinaire propre. T1 à T3 : temps successifs (semaines, mois ou années, selon les espèces considérées).

- **Drageons et marcottage :** le développement d'un méristème souterrain ou l'enracinement à partir de branches basses, respectivement, permettent une occupation dense de l'espace (Figure 26 A.). Les touffes compactes qui en résultent créent des conditions microclimatiques favorables, à l'instar du phénomène décrit pour les plantes en coussin. Ces touffes jouent également un rôle de stabilisation des sols pentus, ce qui favorise l'installation d'autres espèces.
- **Bulbilles et apomixie :** les bulbilles sont de petites structures issues de bourgeons qui vont donner un individu semblable à la plante mère, sur laquelle elles peuvent d'ailleurs directement se développer (viviparité) comme c'est le cas pour la Renouée vivipare (Figure 26 B.). L'apomixie consiste en la production de graines identiques à la plante mère sans fécondation mais autorisant la création de diversité en transmettant des mutations somatiques. Elle se rencontre essentiellement dans les familles des astéracées, les rosacées et les poacées. Ces deux stratégies de reproduction permettent une dissémination des individus à plus grande distance du plant mère.

Figure 26 :
A. Campanule du Mont Cenis, (*Campanula cenesia L. Campanulaceae*), plante alpine en touffe qui se reproduit par drageonnage.
B. Inflorescence de la renouée vivipare (*Polygonum viviparum L. Polygonacées*) montrant les fleurs issues de la reproduction sexuée (partie supérieure, 1) et les bulbilles issues de reproduction asexuée (partie inférieure, 2).
Crédit photos et légende : Station Alpine, Joseph Fourier/Serge Aubert (Aubert et al. 2006).



La reproduction clonale a des conséquences sur la **diversité génétique** des populations, qui diminue par rapport à une stratégie de reproduction sexuée, et donc sur leur **potentiel d'adaptation** aux variations des conditions environnementales. L'âge des individus augmente également : le typage moléculaire d'une station de laîche courbée, plante en touffe présentant de nombreux ramets, a estimé l'âge du clone à environ 2000 ans (Aubert et al. 2006). Par ailleurs, la dominance clonale tend à augmenter les phénomènes de **compétition** entre espèces végétales, notamment dans les stades de successions végétales avancés, et favorise l'exclusion des espèces non clonales à haute altitude (Körner 2003).

4) – La facilitation entre espèces

Les interactions entre plantes sont une combinaison complexe **d'influences positives et négatives**.

La facilitation réfère aux **relations bénéfiques entre espèces**, en particulier dans les milieux contraignants. Les mécanismes associés comprennent la protection thermique, l'ombrage en conditions ultra lumineuses comme celles de la haute altitude, la fourniture d'eau et de nutriments par une amélioration du sol, la protection contre les herbivores ou le piégeage des graines. La facilitation tend à être **sur-représentée en haute montagne** par rapport aux milieux de plus faible altitude (Kikvidze et al. 2005). La facilitation se rencontre notamment dans le cas des plantes en coussin, détaillées ci-après pour leur rôle d'organismes ingénieurs, ou dans le cas de la colonisation des marges glacières. Elle est aussi courante au sein des pelouses alpines, où plutôt que de rentrer en compétition, les plantes voisines ont des effets mutuels globalement positifs.

Le **retrait glaciaire** donne un exemple particulièrement intéressant de l'importance des processus de facilitation. En effet, outre la limitation en sources de graines, le substrat libéré par la glace est pauvre en nutriments, très filtrant donc sujet à de fortes variations de teneur en eau (inondation – dessication) et souvent grossier. De ce fait il est peu propice à la germination et la survie de jeunes plantes, ou au développement des sols. L'installation de premiers individus initie donc des **points focaux de colonisation** par les plantes et les invertébrés aériens et souterrains, grâce au retour de leur litière foliaire et racinaire, au piégeage des sédiments fins et des nutriments, à l'ombrage, à l'interception des flux d'eau et à la fourniture de ressources pour les herbivores ou les pollinisateurs.

Figure 27 : Communauté végétale colonisatrice d'une marge glaciaire. Crédit photo : M. Shields (Alamy stock photo)

Des relations complexes de facilitation et de **compétition** ont été mises en évidence chez les espèces d'altitude en communauté. Par exemple, dans les sols peu fertiles de haute montagne, les légumineuses (*Trifolium Trifolium alpinum L. ;* Fabaceae) jouent un rôle facilitateur vis-à-vis de la biomasse produite et la quantité d'azote contenue par deux graminées (*Festuca eskia Ram. and Nardus stricta L. ;* Poaceae). Les résultats de terrain acquis dans des prairies d'altitude pyrénéennes soulignent la capacité accrue de cette espèce fétuque à acquérir des ressources azotées lorsque les trois plantes sont en mélange. Le développement facilité de la fétuque, qui entre alors en compétition avec le nard, entraîne une diminution de la qualité pastorale des prairies (Marty et al. 2009).

3. – Les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes de haute montagne

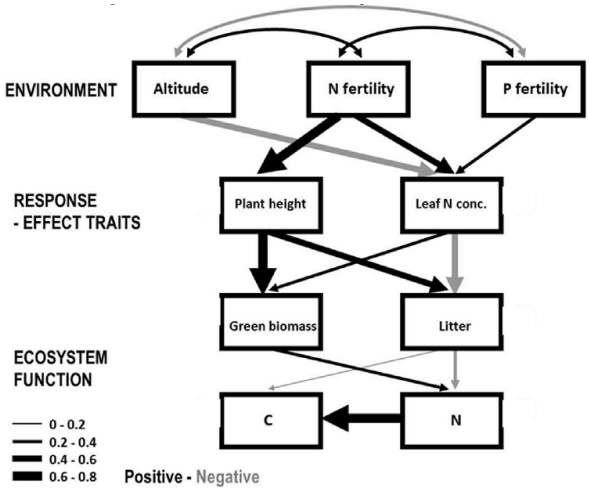
1) – Trois mécanismes d'effet de la diversité végétale sur le fonctionnement des écosystèmes

Les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes sont gouvernées par trois grand types de mécanismes : (1) **l'effet de masse**, selon lequel les caractéristiques fonctionnelles des espèces dominantes d'un écosystème déterminent son fonctionnement ; (2) **la complémentarité**, selon laquelle la présence d'espèces ayant des caractéristiques fonctionnelles différentes permet de maximiser l'accès et l'utilisation des ressources, ce qui permet d'augmenter différentes fonctions (par ex. production de biomasse, recyclage des nutriments, minéralisation du carbone…) ; (3) **l'effet d'identité**, selon lequel des espèces ou groupes fonctionnels particuliers déterminent le fonctionnement de l'écosystème de manière disproportionnée par rapport à leur abondance (par ex. organismes fixateurs d'azote) (Diaz et al. 2007).

2) – *Effets de masse et de complémentarité*

Très peu d'études ont testé ces mécanismes pour les écosystèmes de haute montagne. De manière générale, et en accord avec les études sur d'autres écosystèmes herbacés en particulier, **le mécanisme d'effet de masse semble dominant** pour les fonctions associées à la production de biomasse, à sa décomposition et au recyclage du carbone, des nutriments et de l'eau (Lavorel 2013). Ainsi, dans les prés de fauche et pâtures de l'étage subalpin, la production de biomasse ainsi que sa digestibilité (qui sous-tendent les services écosystémiques de quantité et de qualité des fourrages) ainsi que la quantité de matière organique des sols, le lessivage et la vitesse de recyclage de l'azote (associés aux services de régulation du climat, de la qualité des sols et des eaux) sont intimement liés aux **propriétés fonctionnelles des plantes dominantes**, elles-mêmes contrôlées par l'altitude et la fertilité des sols (Figure 28).

Figure 28 : Effets en cascade des paramètres abiotiques (altitude, fertilité des sols) sur les caractéristiques des plantes dominantes des prairies subalpines, et sur la production de biomasse, la décomposition des litières et les stocks de carbone et d'azote des sols. D'après Lavorel & Grigulis 2012.



Des effets de **complémentarité** ont été observés entre différentes espèces prairiales dans les Pyrénées. Par exemple, il a été montré que la quantité, la forme et la période d'acquisition de l'azote minéral du sol diffèrent chez quatre espèces subalpines structurantes (*Rhododendron ferrugineum, Vaccinium myrtillus, Festuca eskia, Nardus stricta*) (Pornon et al. 2007). Ces variations soutiennent la diversification des niches écologiques et la coexistence des espèces au sein de la communauté. D'autres exemples de complémentarité ont été mis en évidence par manipulations expérimentales, en particulier pour la fermeture des couverts lors de la restauration après des perturbations mécaniques (par exemple sur des pistes de ski) (Rixen et al. 2008).

3) – *Effets d'identité : les organismes ingénieurs*

Les **effets d'identité** sont connus en particulier pour les **espèces fixatrices d'azote** comme les légumineuses ou les aulnes, mais aussi pour des espèces ayant de **propriétés allélopathiques** telles que certaines graminées (la fétuque paniculée *Patzkea paniculata* dans les Alpes ou *Festuca eskia* dans les Pyrénées) et des espèces ligneuses de landes (la myrtille et autres espèces de la famille des Vacciniées, le rhododendron). Les espèces modifiant leur environnement et le fonctionnement de l'écosystème de par leur simple présence sont appelées des « organismes ingénieurs ». Leur rôle est particulièrement important dans les milieux fortement contraignants tels que les milieux de haute montagne. Nous détaillons ici trois groupes de mécanismes communs en haute montagne et critiques pour d'une part la **réponse aux changements environnementaux**, et d'autre part le **fonctionnement des écosystèmes**.

Ainsi que cela a déjà été mentionné précédemment, les **plantes en coussin** modifient la température du sol et de l'air à l'intérieur de l'hémisphère constitué par les tiges et les feuilles. Cette forme conduit également à une accumulation d'humus et de nutriments dans le coussin, ce qui, tout comme les modifications de température, influence la présence d'autres espèces végétales, pour qui les conditions de vie sont plus clémentes à l'intérieur et aux alentours immédiats du coussin (Figure 29). Année après année, un sol organique se met ainsi en place dans la petite zone constituée par la plante en coussin.

Figure 29 : Facilitation thermique au niveau d'un cousin de Sinene acaulis (Caryophllaceae), avec Cassiope tetragona (Ericaceae, 1), Salix polaris (Salicaceae, 2), Oxyria digyna (Polygonaceae, 3), Polygonum viviparum (Polygonaceae, 4), Carex rupestris (Cyperaceae, 5) et Dryas octopetalis (Rosaceae, 6). Longyearbyen, Spitzberg (Norvège).
Crédit photo : Serge Aubert, SAJF.

La mise en place d'un sol est importante car il existe de nombreux milieux alpins en étant dépourvus ou presque : les marges glaciaires, les éboulis, notamment les éboulis récents, et les milieux rocheux de façon générale. Des espèces se retrouvent toutefois sur ces milieux pauvres et contribuent à la pédogenèse : des lichens et des mousses, mais également des végétaux supérieurs comme les plantes en coussin.

Les **aulnes verts** sont un autre type d'organisme ingénieur. Grâce à la symbiose de cet arbre avec des actinomycètes du genre *Frankia* (nodules au niveau des racines), elle est capable de **fixer l'azote atmosphérique** (N_2) au lieu d'utiliser l'azote présent dans les sols (NO_3^-, NH_4^+, etc.). Cela a pour conséquence un **enrichissement du milieu en azote**, non seulement parce que celui déjà présent n'est pas utilisé, mais également via l'humus issu des aulnes. Par sa simple présence, cette espèce modifie ainsi la composition chimique de son environnement, et en se décomposant, elle constitue un engrais naturel pour d'autres plantes (Moiroud 1984, Fafleralp 2013, Hiltbrunner et al. 2014, Bühlmann et al. 2016). Cependant, il

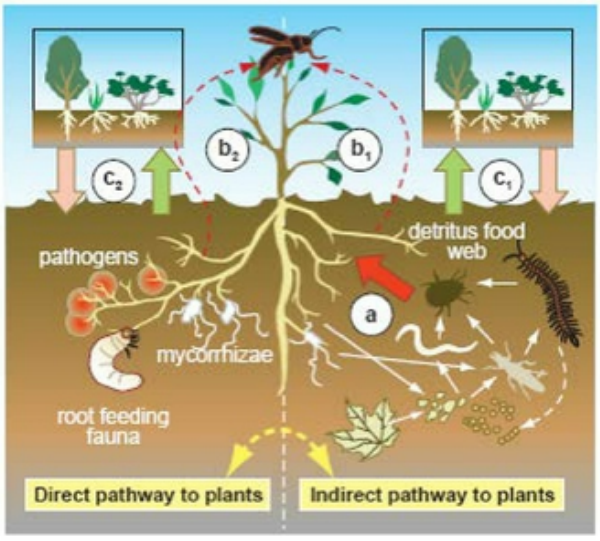
est à noter que cet enrichissement en azote n'est **pas nécessairement bénéfique**. La modification du milieu peut être fatale à des espèces y étant précédemment installées, l'aulne vert peut devenir envahissant et l'excès résultant en azote peut provoquer des pollutions des eaux. Ainsi, d'anciennes prairies subalpines peuvent s'enfricher et se transformer en aulnaies denses et quasiment impénétrables en quelques dizaines d'années, avec la perte des habitats pour de nombreuses espèces, par exemple le grand tétras (Hiltbrunner et al. 2014, Bühlmann et al. 2016). La fixation d'azote qui n'est pas entièrement métabolisé par l'écosystème peut même conduire à une dégradation de la qualité des eaux, générant ainsi une contrainte.

Le dernier exemple qui sera présenté ici est celui de **l'allélopathie**. Certaines espèces végétales sécrètent des composés **inhibant la germination et le développement** d'une ou de plusieurs autres espèces autour d'elles. La myrtille (*Vaccinium myrtillus*), de la famille des Ericacées, a ainsi un effet allélopathique sur le recrutement des arbres tels que l'épicéa (Gallet 2006). Les composés allélopathiques peuvent aussi être produits par des champignons vivant à l'intérieur des plantes (les endophytes). C'est par exemple le cas pour deux espèces de graminées, *Patzkea paniculata* dans les Alpes et *Festuca eskia* dans les Pyrénées. Pour *Patzkea paniculata* il a été démontré que ses effets allélopathiques sur la croissance des plantes voisines étaient liés, au moins en partie, à l'inhibition des champignons mycorhiziens par les alcaloïdes secrétés par un champignon endophyte trouvé à l'intérieur de ses feuilles (Binet et al. 2017).

4) – Effets couplés de la biodiversité des plantes et des sols sur le fonctionnement des écosystèmes

Le fonctionnement des écosystèmes, et en particulier les fonctions de recyclage du carbone et des nutriments, sont sous le contrôle non seulement de la **biodiversité des plantes**, mais aussi de **celle des sols**, celles-ci étant étroitement couplées via les apports de litière végétale, les exsudations de composés carbonés ou de composés allélopathiques par les plantes d'une part, et d'autre part via la fourniture de nutriments fixés ou minéralisés et l'absorption d'eau (dans le cas des mycorhizes) par les microorganismes de sols (Figure 30). Ce couplage est particulièrement important dans les écosystèmes de haute-montagne où l'activité des plantes est réduite saisonnièrement, et où a contrario les organismes sols peuvent rester actifs sous la neige (Figure 30). Le rôle de ces interactions, dont l'importance n'a commencé à être appréciée que depuis les années 2000, est détaillé ci-après concernant les spécificités des processus de recyclage du carbone et des nutriments dans les milieux de haute montagne.

Figure 30 : Interactions entre les plantes et la biodiversité des sols responsables des effets sur le recyclage du carbone et des nutriments. D'après Wardle et al. 2004.



4. – Les spécificités du fonctionnement des écosystèmes de haute-montagne

La précédente partie a traité des mécanismes génériques des effets de la biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes applicables aux écosystèmes de haute-montagne. Ci-après nous détaillons les aspects les plus marquants qui déterminent les principales fonctions des écosystèmes et les services écosystémiques des écosystèmes de haute-montagne.

1) – Décomposition de la matière organique

La décomposition de la matière organique est un processus pivot du **recyclage du carbone et des nutriments**, puisqu'il régit leur transfert depuis le compartiment végétal, et en particulier le compartiment aérien, vers les sols via les activités de la faune et des microorganismes des sols. La décomposition des matières végétales mortes (aériennes, en particulier les feuilles, et souterraines, les racines), la litière végétale, est principalement contrôlée par trois facteurs : (1) **les conditions microclimatiques** (température, humidité et rayonnement UV) ; (2) **la qualité de la litière** (ses caractéristiques chimiques et physiques) et (3) **l'abondance et la diversité fonctionnelle des communautés de décomposeurs**.

Dans les milieux de haute-montagne, la décomposition de la matière organique est généralement considérée comme lente du fait de deux facteurs principaux : les **conditions microclimatiques rudes** (faibles température en particulier, dont les effets sont aggravés par la sécheresse dans certains milieux et régions) et la **faible disponibilité en nutriments** qui favorise des tissus végétaux faiblement décomposables (rapport C/N élevé, rapport lignine/N élevé, présence possible de composés secondaires allélopathiques).

Par ailleurs, dans les écosystèmes de haute-montagne, la majeure partie des processus de décomposition se produisent **durant la période hivernale et par les micro-organismes**, la macrofaune (ex. lombrics) étant absente au-dessus de l'étage subalpin. Cette décomposition est permise par les propriétés isolantes du manteau neigeux qui maintiennent des températures proches de zéro à l'interface sol-neige et des températures positives dans les sols. Ceci permet aux micro-organismes du sol, et en particulier aux champignons microscopiques, d'être actifs pendant la période hivernale, et ainsi de procéder à la dégradation des litières sous le manteau neigeux (Figure 23). Ce rôle favorable de la neige résulte en une décomposition plus active dans les zones avec un enneigement tardif telles que les zones concaves et ombragées. A contrario les évènements de gel-dégel, plus fréquents dans les zones déneigées par exemple sous l'effet du vent (par exemple sur les crêtes) ou dans les fortes pentes exposées au sud, sont défavorables à la décomposition. De tels événements risquent de devenir plus fréquents suite à un déneigement précoce dans le cadre du **changement climatique**.

Comme nous le verrons dans les paragraphes qui suivent, ces effets de l'enneigement sur la décomposition induisent des **boucles de rétroaction sur les traits fonctionnels des plantes** et donc sur la qualité de leurs tissus via la disponibilité en nutriments : les situations enneigées favorisent des plantes avec des tissus plus riches en azote, donc plus facilement décomposables ; inversement les situations déneigées favorisent des plantes avec des tissus pauvres en azote, difficilement décomposables.

Enfin, dans tous les cas les **litières des plantes ligneuses**, que ce soit les ligneux nains des pelouses de haute altitude ou les arbustes des landes, ont une **décomposition significativement plus lente** que celles des plantes herbacées car elles ont des tissus riches en lignine et en polyphénols. Ceci implique que les changements de composition

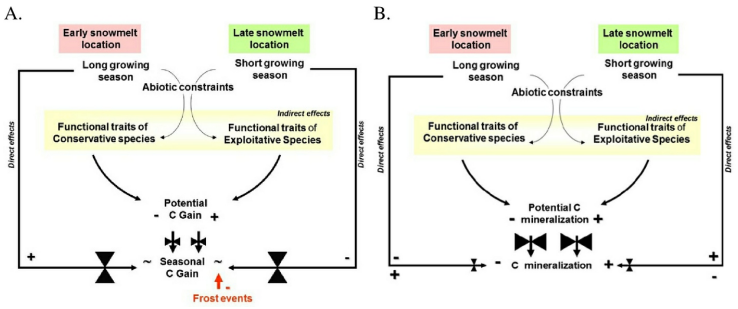
des communautés vers une plus grande abondance des ligneux, soit sous l'effet de la gestion (par ex. extensification ou abandon du pâturage) soit sous l'effet du climat, auront pour conséquence un ralentissement de la décomposition à l'échelle des communautés.

2) – *Cycle du carbone*

A l'instar de la décomposition, les processus de recyclage du carbone dans les milieux de haute-montagne sont donc marqués par (1) les effets directs des **contraintes climatiques et édaphiques**, (2) leurs effets indirects via la **composition fonctionnelle des communautés végétales et les communautés des sols**, qui sont ensuite modulés par (3) les variations spatiales selon **l'exposition et la méso-topographie**. Il en résulte de manière générale que : (1) les processus de recyclage du carbone sont plutôt lents, ce qui conduit à des **stocks de carbone** qui peuvent être loin d'être négligeables dans les sols des pelouses alpines, et (2) il existe une forte **variabilité spatiale** de ces processus et donc des stocks de carbone des sols. Cette variabilité spatiale peut être illustrée avec le cas des effets de la méso-topographie sur les processus de recyclage du carbone (Figure 31).

Ainsi, la **composition fonctionnelle** de la végétation (notamment concernant les traits foliaires et la teneur en azote des tissus) influe très significativement les gains de carbone via la photosynthèse et la vitesse de métabolisation. Ceux-ci sont donc plus élevés pour les situations plus enneigées favorables aux plantes à métabolisme plus rapide, et plus lentes pour les situations moins enneigées. Cependant, la durée de saison de végétation (plus courte en situation plus enneigée) vient moduler ces effets de la composition des communautés. Concernant la décomposition, les traits biochimiques des plantes (azote, lignine, polyphénols) ont un effet prédominant, alors que la longueur du couvert neigeux a un effet direct modéré (Baptist 2008).

Figure 31 : Effets de la méso-topographie via son impact sur l'enneigement sur les processus du cycle du carbone par leurs effets directs (contraintes abiotiques) et leurs effets indirects via la composition fonctionnelle des communautés végétales.



A. Processus de fixation du carbone dans les pelouses alpines selon la méso-topographie et son impact sur l'enneigement
B. Processus de minéralisation du carbone par la décomposition dans les pelouses alpines selon la méso-topographie et son impact sur l'enneigement.
D'après Baptist 2008.

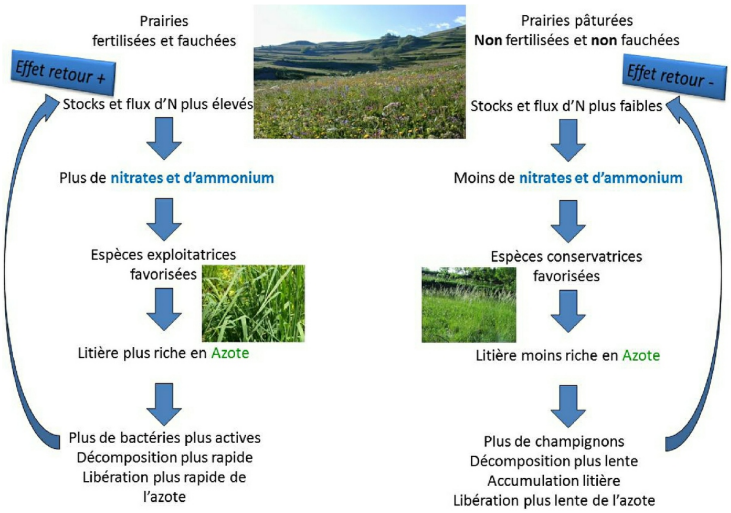
3) – *Cycle de l'azote et des nutriments*

Dans les écosystèmes de haute montagne, les cycles de l'azote et des nutriments sont influencés par les mêmes facteurs que le cycle du carbone, avec en particulier un rôle significatif de **l'enneigement**. Ainsi, on retrouve des dynamiques de recyclage plus rapides en conditions plus enneigées, avec un effet retour sur la composition fonctionnelle des communautés végétales (vers des plantes avec des tissus plus riches en azote et donc plus décomposables), et inversement pour les situations moins enneigées.

De plus, **la gestion des prairies d'altitude** en particulier à l'étage subalpin influe très significativement sur le cycle de l'azote (Figure 32). De manière générale, une gestion plus intensive avec la fertilisation (majoritairement organique dans les systèmes d'exploitation de haute-montagne) et la fauche favorise la dominance par des plantes dites

exploitatrices, c'est-à-dire avec une croissance plus rapide et des tissus plus riches en azote, qui stimulent des communautés des sols dominées par des bactéries à métabolisme rapide. Ceci accélère le recyclage de l'azote et des nutriments, et donc favorise la fertilité du sol avec un effet retour positif sur la composition des communautés végétales et des sols. Inversement, l'extensification de la gestion favorise des plantes dites **conservatrices**, c'est-à-dire avec une croissance plus lente et des tissus plus fibreux moins riches en azote, qui favorisent la dominance des communautés des sols par des champignons à métabolisme plus lent. Ceci ralentit le recyclage de l'azote et des nutriments, et donc réduit encore la fertilité du sol avec un effet de renforcement sur la composition des communautés végétales et des sols.

Figure 32 : Effets de la gestion des prairies de haute-montagne sur les processus du cycle de l'azote via leurs effets sur la composition fonctionnelle de la végétation et des sols.
© Jean-Christophe Clément.



4) – Cycle de l'eau

On réfère souvent aux massifs montagneux comme aux **châteaux d'eau** des continents, puisqu'ils sont responsables de la fourniture en eau pour la consommation humaine (eau potable, agriculture, industrie…) et pour les écosystèmes situés à leur aval (Messerli et al. 2004). Ce rôle est largement lié aux effets **d'interception des précipitations** par les chaines de montagne, au **stockage** sous forme de neige en hiver qui permet un relargage différé durant le printemps et surtout l'été, et aux réserves d'eau constituées par les glaciers. La contribution des écosystèmes de haute-montagne pour le cycle de l'eau est certes plus faible en termes de volumes concernés, mais elle est cependant significative. Le bilan hydrique dans les écosystèmes résulte : de l'interception des précipitations par la végétation (a contrario du ruissellement), du flux de transpiration par les plantes qui renvoie la vapeur d'eau à l'atmosphère, et de l'infiltration de l'eau restante vers le sol et le sous-sol. Ces processus sont sous le contrôle du climat, des paramètres du sol et de la composition de la végétation.

Des mesures *in situ* et des expérimentations ont été menées pour isoler et quantifier l'influence de la composition végétale pour les écosystèmes de haute-montagne, puisque c'est lui qui sera responsable des services écosystémiques tels que la limitation du ruissellement ou la fourniture d'eau. Il en ressort que l'effet principal de la végétation de haute-montagne sur le cycle de l'eau est lié à sa **biomasse** (Obojes et al. 2015). Ainsi pour des prairies et pelouses dans les Alpes françaises, suisses et autrichiennes, l'évapotranspiration augmente et la quantité d'eau infiltrée décroît pour une biomasse végétale croissante. Cet effet est d'autant plus fort que le climat est plus humide, alors que dans des climats avec des taux d'humidité de l'air plus secs (plus secs et/ou plus hauts en altitude), l'évapotranspiration est majoritairement contrôlée par les paramètres climatiques. Ce rôle de la biomasse implique que la gestion par le pâturage ou la fauche influence le bilan hydrique en diminuant la biomasse des couverts. Il en résulte que **les végétations exploitées par l'élevage**

participent plus à l'infiltration de l'eau vers les sols, alors que les végétations abandonnées, surtout dans des situations édaphiques productives, ont une forte évapotranspiration et limitent donc l'infiltration. A fortiori, la colonisation par les ligneux (par ex. l'aulne vert) réduit très significativement l'infiltration, et donc les quantités d'eau disponibles à l'exutoire des bassins versants (Inauen et al. 2013). Le rôle du climat quant à lui suggère qu'avec un assèchement potentiel du climat (au moins par augmentation des températures, sinon par diminution des précipitations), le rôle de la végétation *per se* pourrait devenir plus marginal.

Concernant le **ruissellement**, des expérimentations de simulation de précipitations intenses ont montré que le facteur principal contrôlant l'intensité du ruissellement dans les prairies et pelouses de haute-montagne était l'humidité initiale des sols et donc leur **réserve utile**, alors que dans les milieux humides l'infiltration était toujours faible et qu'elle était toujours élevée dans les sites forestiers (Ruggenthaler et al. 2015b). Au sein des communautés herbacées, cet effet de l'humidité initiale est plus marqué pour les pelouses (qui ont une biomasse aérienne plus faible) que pour les prairies (qui ont une biomasse aérienne plus élevée et une stature plus haute) (Ruggenthaler et al. 2015a).

CHAPITRE 4

Interactions (interrelations et interfaces) avec d'autres socio-écosystèmes

Les milieux de haute montagne occupent une position extrême le long des gradients altitudinaux, ce qui concentre généralement leurs interfaces physiques avec les autres grands types de milieux considérés dans l'EFESE à leur limite altitudinale basse, notamment pour ce qui concerne les interfaces avec les milieux forestiers. Toutefois, des interrelations entre milieux sont également présentes au sein de la haute montagne, par exemple avec les zones humides d'altitude. D'autres interactions s'exercent également à distance, notamment vis-à-vis des espaces urbanisés et des milieux agricoles de vallée dont l'influence conditionne pour partie le fonctionnement et la dynamique des milieux de haute montagne, et vice versa.

1. – Interactions avec les milieux humides et aquatiques

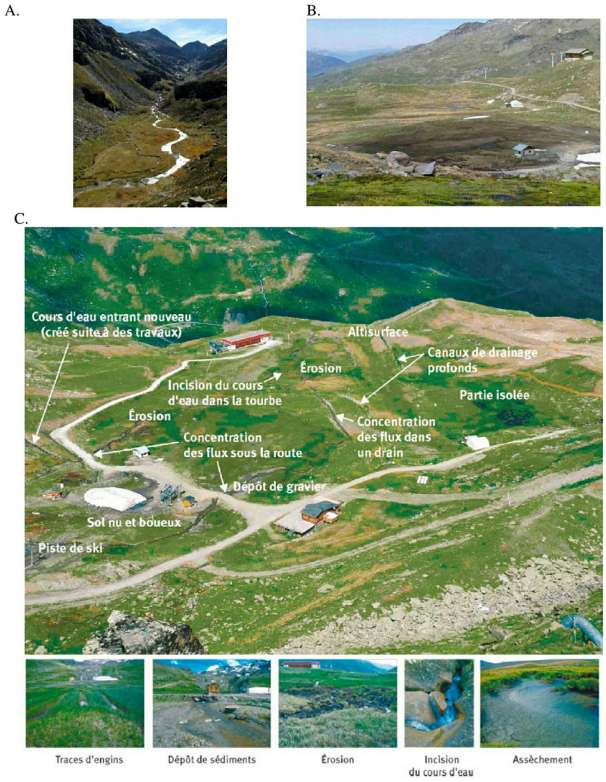
Les milieux de haute montagne comprennent de nombreuses **zones humides d'altitude**. On pourra citer notamment les marais issus du comblement de plans d'eau d'origine glaciaire, les mares ou lacs d'altitude oligotrophes, les sources, combes à neiges ou chapelets de prairies humides marécageuses ainsi que les tourbières d'altitude. Ces zones humides influent les cycles hydrologiques à l'échelle du bassin versant au travers de leur **capacité de rétention** des eaux ainsi que de leurs **propriétés de rétention et de filtration** des pollutions.

Les principales interactions entre les milieux de haute montagne et ces milieux humides d'altitude s'exercent au travers des **aménagements** mis en place dans les massifs, notamment pour permettre les activités récréatives hivernales sur domaines skiables. Les travaux (terrassements des pistes de ski, mise en place

de drains, installation de téléskis, installation de dispositifs pare-avalanche, création de retenues collinaires pour alimenter les canons à neige…) peuvent entraîner d'importantes modifications localement sur les flux sédimentaires, le niveau des cours d'eau (risques d'incision) ou encore le contrôle de l'érosion (Gaucherand et Isselin-Nondedeu 2011). Les modifications occasionnées sur le fonctionnement hydrologique local peuvent avoir des répercussions sur le cycle hydrologique en aval, bien que leur intensité à l'échelle du bassin versant soit délicate à déterminer avec précision (Magnier 2013).

De manière générale, la situation des milieux de haute montagne en **tête de bassin versant** fait porter une responsabilité forte à tout aménagement d'altitude sur milieux aquatiques et humides vis-à-vis de l'ensemble des espaces desservis en aval.

Figure 33 :
A. Tourbière dans la haute vallée d'Ars, commune d'Aulus-les-Bains (Pyrénées).
Crédit photo : Syndicat mixte du Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises.
B. Zone humide sur le domaine skiable de Val Thorens (Alpes).
C. Impacts observés en 2009 suite aux travaux d'aménagement sur la station de Val Thorens (Alpes)
Crédit photos B et C : IRSTEA – Gaucherand et Isselin-Nondedeu 2011.



2. – Interactions avec les milieux urbains et artificialisés

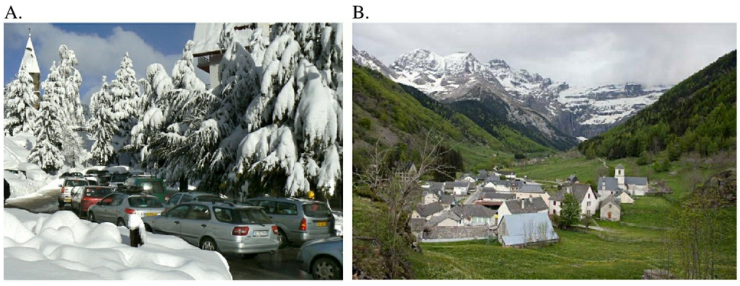
Dans les milieux de haute montagne, fortement contraints, les impacts de l'urbanisation et des aménagements sont particulièrement sensibles et peuvent engendrer des modifications non réversibles du fonctionnement des écosystèmes (voir Partie II).

Les **milieux urbains** tels que traités dans l'EFESE (*rapport Ecosystèmes urbains*) n'entretiennent en général pas d'interface physique avec les milieux de haute montagne. Leur **influence à distance** s'exerce essentiellement au travers de **flux de personnes**, liés à l'attractivité de la haute montagne pour les activités de pleine nature, au travers de **flux de polluants**, notamment par voie atmosphérique, et au travers d'une gouvernance pilotée par les acteurs des plaines (urbains ou agricoles).

D'autres **infrastructures** façonnent les interfaces entre milieux de haute montagne et espaces artificialisés par leur emprise physique localement d'une part, même si celle-ci demeure souvent restreinte, et également par les travaux d'aménagement et d'entretien occasionnés en périphérie d'autre part. Bien que non considérés en tant que milieux urbains dans la définition EFESE, leur mention paraît ici nécessaire à une bonne description des interactions entre milieux artificialisés et haute montagne.

Ainsi, les **villages d'altitude** et les **stations de ski-villages** maillent le territoire de la haute montagne et sont autant d'interfaces directes vis-à-vis des flux biotiques et abiotiques. Les activités touristiques, agricoles et sylvicoles à proximité des lieux d'habitation façonnent **les paysages et la dynamique des milieux** de haute montagne adjacents. **L'intensité et la saisonnalité marquées** de la fréquentation de la haute montagne par les publics urbains, dans les contextes socio-économiques et règlementaires actuels, expliquent le dimensionnement des villages station en fonction des pics de fréquentation et ont conduit à un étalement spatial qui peut être localement significatif.

Figure 34 :
A. Embouteillage sur la route d'une station de ski dans les Pyrénées, illustrant l'importance des flux de personnes entre milieux urbains et milieux de haute montagne.
Crédit photo : France3 Région ©MaxPPP
B. Interface entre un village de montagne (Gavarnie, Hautes-Pyrénées) et les écosystèmes de haute altitude adjacents, illustrant l'influence des activités humaines sur l'ouverture du paysage et les dynamiques des habitats.
Crédit photo : Patrimoines. MidiPyrénées.fr



Les **routes d'altitude**, dont certaines sont emblématiques (ex. : les lacets de l'Alpe d'Huez empruntés par le Tour de France), connectent les milieux de haute montagne aux étages inférieurs. Elles facilitent la **circulation des biens et des personnes**, mais sont la source également d'un certain nombre de **contraintes** sur les milieux de haute montagne, par exemple en favorisant la montée en altitude de plantes invasives (Lembrechts et al. 2017) ou en modifiant localement les patrons de limitation de l'érosion des sols par le couvert végétal.

Les flux d'énergie au sein du territoire national créent des connections entre milieux urbanisés et haute montagne. Ainsi, les **lignes à haute tension** et les **barrages hydroélectriques**, qui sont fréquents en haute montagne métropolitaine, permettent l'acheminement de l'énergie ou sa création via notamment les facteurs abiotiques de pente. Ces infrastructures sont dépendantes de la mise en œuvre de chantiers de grande ampleur, qui ont façonné les paysages et qui modifient le fonctionnement des écosystèmes. Le développement de l'hydro-énergie, que ce soit au travers de projets majeurs comme du développement croissant de la micro hydroélectricité, est ainsi un facteur important d'interaction entre la haute montagne et les milieux urbanisés. Il soulève de nombreux **enjeux économiques et environnementaux**, en lien par exemple avec à la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique national ou avec les questions de continuité sédimentaire et biotique (UICN France 2013).

De nombreux milieux artificialisés sont positionnés en **relation physique gravitaire** avec la haute montagne et sont donc à enjeu vis-à-vis de **risques naturels** qui pourraient s'y déclencher. Dès lors, la propension des milieux de haute montagne à **générer** et/ou **limiter** les aléas gravitationnels tels que les avalanches, les chutes de blocs ou les laves torrentielles devient un enjeu majeur dans leurs interactions avec les milieux urbanisés. De manière complémentaire ou substitutive, des ouvrages de protection peuvent être installés pour limiter les dégâts causés sur les infrastructures humaines en montagne (villages, routes, tunnels…).

Figure 35 :
A. Lacets de la route du Col de la Bonnette (Mercantour)
Crédit photo : Anthospace.
B. Complexe hydroélectrique de Roselend La Bâthie (Haute-Savoie), qui produit l'équivalent de la consommation en énergie domestique de 450 000 habitants.
Crédit photo : D. Dereani - Fondation Facim
C. A Vaujany (Oisans), pour lutter contre les avalanches, l'installation de tripodes et le reboisement ont été les deux mesures choisies pour diminuer la reptation du manteau neigeux.
Crédit photo et légende : RTM.

3. – Interactions avec les milieux marins et littoraux

Les interfaces entre milieux marins et haute montagne sont restreintes. Leurs influences mutuelles s'exercent essentiellement au travers des flux atmosphériques et de l'apparition de phénomènes climatiques particuliers. Ainsi, en favorisant la convection thermique le long des pentes, les reliefs sont particulièrement exposés à des évènements météorologiques de forte intensité tels que les orages. Les massifs à proximité du littoral (Pyrénées Atlantiques, Pyrénées Orientales, Corse, Réunion) subissent les influences combinées des vents marins et des courants thermiques de montagne. Il en résulte notamment des **orages**

particulièrement violents, donnant lieu à des précipitations majeures sur un temps réduit qui peuvent se traduire par des **crues** et laves torrentielles en aval.

4. – Interactions avec les écosystèmes forestiers

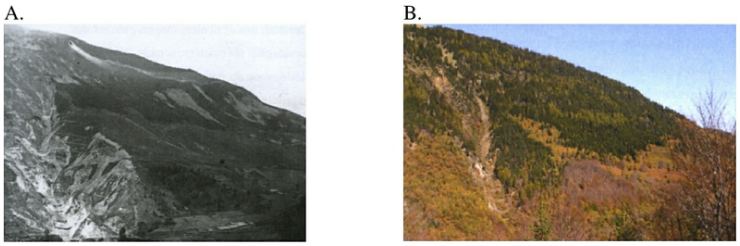
Les interfaces physiques entre écosystèmes forestiers et milieux de haute montagne se concentrent au niveau de la **zone de combat**, c'est-à-dire de la limite altitudinale haute de la forêt. Dans cette zone s'effectue la transition entre milieux forestiers et milieux ouverts, au travers d'une matrice combinant espaces herbacés, arbres isolés et arbustes en limite de possibilité de développement.

La position de la zone de combat traduit la combinaison de trois facteurs (Ozenda 2002) :

- des facteurs **abiotiques**, définissant les caractéristiques de la période de végétation et conditionnant la possibilité de croissance et de maintien des espèces arborées,
- des facteurs **biotiques**, expliquant la composition spécifique localement (présence/absence d'espèces, relations de compétition/facilitation interspécifiques…),
- des facteurs **anthropiques**, modifiant les patrons de colonisation arborée et limitant leur régénération. En particulier, lorsque les conditions biophysiques ne sont pas limitantes, les activités pastorales, sylvicoles et touristiques contraignent le développement de la strate arborée. Les patrons paysagers d'altitude reflètent ainsi l'équilibre entre la limite d'exploitation forestière, la pression de pâturage appliquée par les troupeaux en estive et les ouvertures mécaniques d'espaces à visée touristique notamment pour la pratique du ski de piste.

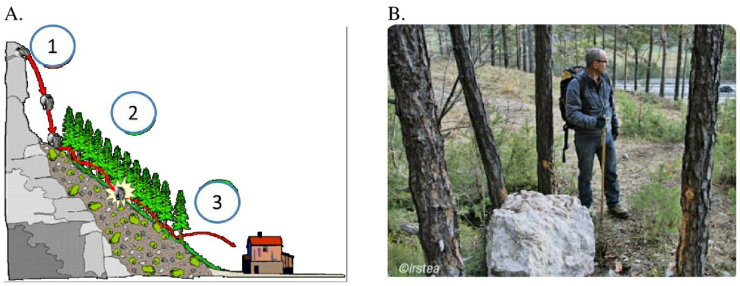
La position de la zone de combat est donc **contextuelle** et varie dans le temps (Figure 36). Le **changement climatique**, en modifiant les conditions de développement des espèces, est un facteur supplémentaire de changement de l'interface entre écosystèmes forestiers et milieux de haute montagne.

Figure 36 : Suivi diachronique de l'évolution du paysage de la soulane de l'Artigue, dans les Pyrénées : d'un paysage agro-pastoral (A. 1904 Crédit photo : RTM) à un paysage en voie d'enforestation (B. 2006 Crédit photo : J.P. Métailié). Photos issues de photothèque de l'Observatoire Homme-Milieu Pyrénées Haut-Vicdessos



Les interactions entre milieux de haute montagne et écosystèmes forestiers sont particulièrement à enjeu vis-à-vis de la problématique **risques naturels**. Les zones de haute montagne concentrent les **zones de départ** des aléas (zones de déclenchement d'avalanches, de départ de chutes de blocs…) tandis que les milieux forestiers constituent généralement les milieux **interceptant les matériaux ou atténuant leur vitesse et leur force d'impact** sur les zones à enjeu en aval. A ce titre, la gestion forestière en montagne intègre les enjeux de protection contre les risques naturels et prend en compte les caractéristiques de la haute montagne.

Figure 37 :
A. Relations gravitaires entre une zone de départ de blocs (1), une zone d'interception potentielle (2 – forêt de protection) et une zone à enjeu (3). Crédit : adapté d'une illustration IRSTEA.
B. Bloc de pierre arrêté par la forêt en amont d'une voie de circulation. Crédit photo : IRSTEA.



5. – Interactions avec les écosystèmes agricoles

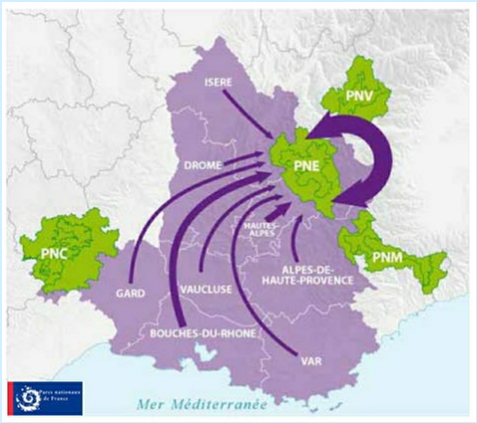
Les milieux de haute montagne contiennent les **estives et alpages** qui accueillent les troupeaux en pâture durant les mois d'été. Ces pâtures d'altitude sont en interaction directe avec les milieux agricoles des étages inférieurs, à proximité géographique ou à distance (Nettier 2016, voir Encadré 1 sur les troupeaux transhumants). En effet, le **dimensionnement** et le **mode de conduite** des exploitations agricoles conditionnent le chargement (densité d'animaux), le type de troupeaux pâturant (ovins, bovins…), la durée et le mode de gestion de l'estive. A leur tour, ces paramètres jouent sur les équilibres dynamiques et complexes des écosystèmes de haute altitude en termes de composition spécifique et de fonctionnalité, par exemple au travers de la pression de pâturage exercée ou de la charge azotée déposée (voir Partie II). Les changements de pratiques agricoles entraînant un **abandon** ou une **intensification** des modes de gestion de la ressource en herbe en altitude influencent donc à la fois la physionomie des paysages et les dynamiques écologiques des milieux de haute montagne. Ces modifications affectent la rugosité de surface des milieux, fonction de la composition et de la structure paysagère en espèces herbacées et arbustives, ce qui joue sur la **capacité de contrôle de certains risques naturels** comme les avalanches de fond (voir Partie III).

Localement, la **consommation des terres agricoles de vallée**, arbitrée par les documents d'urbanisme (PLU, SCOT…), conditionne la pérennité des espaces agricoles de basse altitude et donc la quantité de ressources fourragères disponibles pour entretenir les troupeaux hors période d'estive, dont dépend directement le dimensionnement des troupeaux présents sur l'estive. En parallèle, le **changement climatique** influe également sur la productivité fourragère en vallée comme en altitude et peut modifier la demande vis-à-vis des espaces pastoraux ainsi que leurs modalités de gestion.

Encadré 1

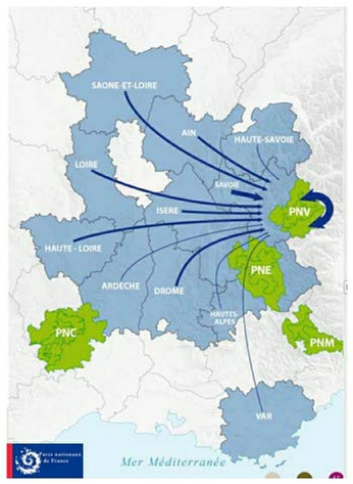
Importance des flux de transhumance estivales sur les alpages et estives de deux parcs nationaux d'altitude (A. Parc National des Ecrins, B. Parc National de la Vanoise)
Texte et illustrations directement extraits de : Parcs Nationaux de France, 2012

A. 127 000 ovins vont pâturer les alpages du Parc national des Écrins (PNE)



• 48 % proviennent des communes du PNE
• 52 % proviennent de l'extérieur :
- 20 % des départements concernés par le PNE, Hautes-Alpes et Isère, (la quasi-totalité des troupeaux étant issue des Hautes-Alpes),
- 32 % sont des troupeaux dits « grands transhumants » originaires de Provence-Alpes-Côte-D'azur (Bouches du Rhône, Var, Vaucluse, Alpes de Haute-Provence, Gard, Drome).

B. Le Parc national de la Vanoise accueille 12 800 bovins pour des animaux à finalité laitière prépondérante



- 74 % viennent de son territoire
- 26 % provenant d'une diversité de départements.

Dans l'EFESE, le lien de dépendance entre milieux agricoles de haute montagne et de plus basse altitude n'est qu'effleuré. Une vision systémique englobant les alpages et l'ensemble des exploitations agricoles associées, hors haute montagne, serait pertinente pour aborder les enjeux de gestion et de conservation des milieux herbacés d'altitude (Nettier 2016).

6. – Bilan sur les interfaces

Les sections précédentes font un bilan rapide des principales interactions entre milieux de haute montagne et autres milieux considérés dans l'EFESE. Nous insistons sur le **caractère fluctuant** de ces interfaces dans le temps et l'espace. En effet, sous les actions combinées de facteurs de changement (voir Partie II), les différentes classes de milieux évoluent et leurs frontières se déplacent. Dans le cas de notre étude, le changement climatique ainsi que les évolutions d'usages, liées par exemple aux modifications des pratiques agricoles ou touristiques, conditionnent ainsi la limite de la zone de combat, et donc le périmètre de la haute montagne.

Tableau 2 :

Principaux flux entre milieux en interactions avec les milieux de haute montagne

	Flux →	← Flux	
Milieux de haute montagne	Flux d'eau (en fonction du sens d'écoulement, du sous-sol, des aménagements anthropiques…)		Milieux humides et aquatiques
	Flux d'énergie hydro électrique Flux de matières causant des risques naturels (chutes de blocs, avalanches)	Flux de personnes attirées par les pratiques récréatives en altitude Flux de pressions : artificialisation / étalement périurbain, fréquentation humaine, pollutions, colonisation par des espèces généralistes Flux de pression pour réduire les risques naturels (vulnérabilité)	Ecosystèmes urbains
	Flux de matières causant des risques naturels (chutes de blocs, avalanches) Flux d'espèces (ex. grands ongulés)	Limitation des flux de matières causant des risques naturels Flux d'espèces arborées forestières (limite de la zone de combat) Flux d'espèces (ex. grands ongulés, galliformes)	Ecosystèmes forestiers
	Flux de matières causant des risques naturels (chutes de blocs, avalanches) Flux d'espèces (ex. grands prédateurs)	Limitation des flux de matières causant des risques naturels Flux de cheptels domestiques (système alpage – exploitation et dépendance altitudinale des pratiques de gestion agricole) Flux de pollution par voie atmosphérique (azote notamment)	Ecosystèmes agricoles

Bibliographie

Anthelme, F., Cavieres, L.A. & Dangles, O. (2014) Facilitation among plants in alpine environments in the face of climate change. *Frontiers in Plant Science*, 5, 387.

Aubert, S. (2013) *Jardin botanique Alpin du Lautaret* – Livret-Guide, éditions SAJF-UFF, 202 p.

Aubert, S. (s.d.) *Les plantes et le froid : adaptation obligée*. Société Nationale d'Horticulture de France http://www.jardinsdefrance.org/les-plantes-et-le-froid-adaptation-obligee

Aubert, S. Bec, S., Choler, P., Douzet, R., Michalet, R. & Thuiller, W. (2011) *Découverte botanique de la région du Lautaret et du Briançonnais. Partie 1 - Eléments d'écologie alpine à l'usage des curieux, amateurs et étudiants*. Cahiers illustrés du Lautaret. Ed. SAJF.

Aubert S, Choler P, Douzet R & Till-Bottraud I (2006) Les stratégoes de reproduction des plantes alpines en haute altitude. Conquérir l'espace. *Hommes et Plantes*, 57, 34-45.

Baptist, F. (2008) *Impact de la durée d'enneigement sur les cycles biogéochimiques dans les écosystèmes alpins*. Thèse de doctorat en biodiversité – écologie – environnement, sous la direction de Aubert S. & Choler P., Université Joseph-Fourier. pp. 262. https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/pdf/These_FBaptist.pdf

Bardgett, R.D., Bowman, W.D., Kaufmann, R. & Schmidt, S.K. (2005) A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 634-641.

Binet, M.-N., van Tuinen, D., Souard, F., Sage, L., Perigon, S., Gallet, C., Redecker, D., Legay, N., Lavorel, S. & Mouhamadou, B. (2017) Responses of above- and belowground fungal symbiots to cessation of mowing in a subalpine grassland. *Fungal Ecology*, 25, 14-21.

Bühlmann, T., Körner, C. & Hiltbrunner, E. (2016) Shrub Expansion of Alnus viridis Drives Former Montane Grassland into Nitrogen Saturation. *Ecosystems*, 19, 968-985.

Carlson, B.Z., Choler, P., Renaud, J., Dedieu, J.-P. & Thuiller, W. (2015) Modelling snow cover duration improves predictions of functional and taxonomic diversity for alpine plant communities. *Annals of Botany*, 116, 1023-1034.

Choler, P. (2005) Consistent shifts in alpine plants traits along a mesotopographical gradient. Arctic, *Antarctic, and Alpine Research*, 37, 444-453.

Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (52), 20684-20689.

Fafleralp (2013) *L'aulne vert, envahisseur des Alpes*. Le Temps. https://www.letemps.ch/sciences/2013/08/13/aulne-vert-envahisseur-alpes

Gallet, C. (2006) *Interactions biotiques et abiotiques dans les écosystèmes : le rôle des composés phénoliques dans les phénomènes allélopathiques et dans le cycle des nutriments*. Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Savoie. pp.68.

Gamisans, J. (1999) *La végétation de la Corse*, éditions Edisud, 392 p.

Gaucherand, S., Isselin Nondedeu, F. - 2011. Utilisation du système d'information géographique comme outil de gestion de zones humides d'altitude : le cas du domaine skiable de Val Thorens. *Sciences Eaux et Territoires*, 5 : 60-62.

Hiltbrunner, E., Aerts, R., Bühlmann, T., Huss-Danell, K., Magnusson, B., Myrold, D., Reed, S., Sigurdsson, B. & Körner, C. (2014) Ecological consequences of the expansion of N2-fixing plants in cold biomes. *Oecologia*, 176, 11-24.

Inauen, N., Körner, C. & Hiltbrunner, E. (2013) Hydrological consequences of declining land use and elevated CO2 in alpine grassland. *Journal of Ecology*, 101, 86-96.

Kikvidze, Z., Pugnaire, F.I., Brooker, R.W., Choler, P., Lortie, C.J., Michalet, R. & Callaway, R.M. (2005) Linking patterns and processes in alpine plant communities : a global study. *Ecology*, 86, 1395-1400.

Körner, C. (2003). *Alpine plant life*. Springer, pp. 338.

Körner, C., Jetz, W., Paulsen, J., Payne, D., Rudmann-Maurer, K. & Spehn E.M. (2016). A global inventory of mountains for bio-geographical applications. *Alpine Botany* 127 (1)

Körner, C., Paulsen, J., & Spehn, E.M. (2011). A definition of mountains and their bioclimatic belts for global comparisons of biodiversity data. *Alpine Botany*, 121 (2), 73-78.

Lavorel, S. (2013). Plant functional effects on ecosystem services. *Journal of Ecology*, *101* (1), 4-8.

Lavorel, S., & Grigulis, K. (2012). How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100 (1), 128-140.

Leguédois, S., Party, J. P., Dupouey, J. L., Gauquelin, T., Gégout, J.C., Lecareux, C.,… & Probst, A. (2011). La carte de végétation du CNRS à l'ère du numérique. La base de données géographique de la végétation de la France. Couverture vectorielle harmonisée à 1/1 000 000 et scan géoréférencé à 1/200 000. *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Lembrechts, J.J., Alexander, J.M., Cavieres, L.A., Haider, S., Lenoir, J., Kueffer, C., McDougall, K., Naylor, B.J., Nuñez, M.A., Pauchard, A., Rew, L.J., Nijs, I. & Milbau, A. (2017) Mountain roads shift native and non-native plant species' ranges. *Ecography*, 40, 353-364.

Marty, C., Pornon, A., Escaravage, N., Winterton, P., & Lamaze, T. (2009). Complex interactions between a legume and two grasses in a subalpine meadow. *American journal of botany*, 96 (10), 1814-1820.

Messerli B, Viviroli D, Weingartner R 2004. Mountains of the world : Vulnerable Water Towers for the 21st century. *Ambio*, 29-34.

Moiroud, A. (1984) Fixation biologique d'azote et évolution des marges glaciaires de haute altitude. *La Houille Blanche*, n°6/7.
http://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1984/04/lhb1984027.pdf

Nettier, B. (2016) *Adaptation au changement climatique sur les alpages. Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pastoraux*. Manuscrit de thèse. IRSTEA

Obojes, N., Bahn, M., Tasser, E., Walde, J., Inauen, N., Hiltbrunner, E., Saccone, P., Lochet, J., Clément, J.C., Lavorel, S., U.Tappeiner & Körner, C. (2015) Vegetation effects on the water balance of mountain grasslands depend on climatic conditions. *Ecohydrology*, 8, 552-569.

Ozenda, P. (2002). *Perspectives pour une géobiologie des montagnes*. PPUR presses polytechniques. Pp.195

Paulsen, J. & Körner, C. (2014) A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany* 124 (1) : 1-12. DOI 10.1007/s00035-014-0124-0

Pornon, A., Escaravage, N., & Lamaze, T. (2007). Complementarity in mineral nitrogen use among dominant plant species in a subalpine community. *American Journal of Botany*, 94 (11), 1778-1785.

Rameau, J-L, Mansion, D., Dumé, G. (2008) *Flore forestière française : guide écologique illustré. Montagnes*. Forêt privée française. pp.2421.

Rixen, C., Huovinen, C., Huovinen, K., Stöckli, V. & Schmid, B. (2008) A plant diversity×water chemistry experiment in subalpine grassland. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 10, 51-61.

Roy, J. (2014) *Microbiologie des plantes en coussin des milieux alpins : influence des facteurs biotiques et abiotiques dans l'assemblage des communautés microbiennes. Interactions entre organismes*. Thèse de doctorat en biodiversité – écologie – environnement, sous la direction de Geremia R., Université de Grenoble. pp.300.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01141406/file/manuscrit_these_JulienRoy_final.pdf

Ruggenthaler R, Meißl G, Geitner C, Leitinger G, Endstrasser N, Schöberl F 2015a. Investigating the impact of initial soil moisture conditions on total infiltration by using an adapted double-ring infiltrometer. *Hydrological Sciences Journal*, DOI : 10.1080/02626667.2015.1031758.

Ruggenthaler R, Schöberl F, Markart G, Klebinder K, Hammerle A, Leitinger G 2015b. Quantification of Soil Moisture Effects on Runoff Formation at the Hillslope Scale. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 141.

UICN France (2013). Les *montagnes et la transition énergétique : Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et enjeux de leur développement sur les territoires de montagne*. Paris, France

Väre, H., Lampinen, R., Humphries, C., & Williams, P. (2003). Taxonomic diversity of vascular plants in the European alpine areas. In Nagy, L., Grabherr, G., Körner, C., & Thompson, D.B. (Eds.). *Alpine biodiversity in Europe*. Springer Science & Business Media.

Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., Van der Putten, W.H. & Wall, D.H. (2004) Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304, 1629-1633

* * *

ETAT ET TENDANCES D'ÉVOLUTION DES « MILIEUX ROCHEUX ET DE HAUTE MONTAGNE »

Partie 2

Chapitre 5

Indicateurs d'état et de fonctionnement

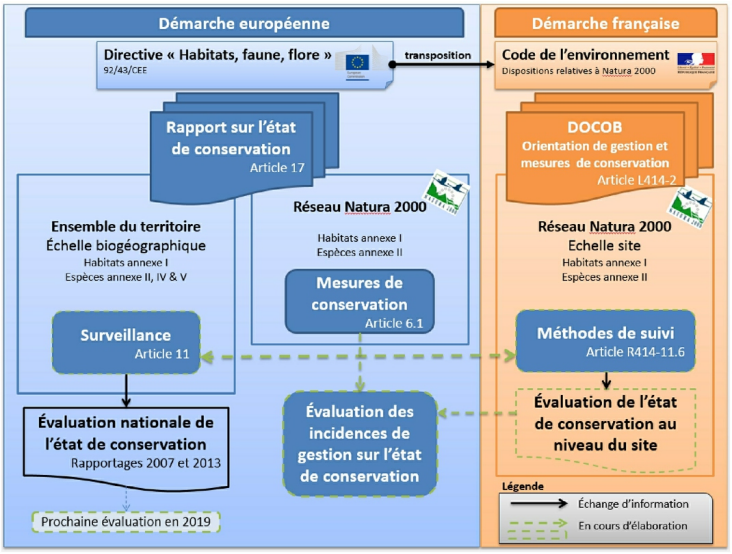
La perception de la haute montagne est souvent associée à son caractère naturel et unique. Comme mentionné au Chapitre 2 de la Partie I, plus de 90 % de la superficie de haute montagne métropolitaine est couverte par des statuts reconnaissant leur forte valeur patrimoniale. A ce titre, pour décrire l'état des milieux de haute montagne, nous mobilisons dans ce chapitre les indicateurs des **rapportages européens et nationaux** associés respectivement aux **Directives Habitats, Faune, Flore** (DHFF) et aux **dispositions Natura 2000** du Code de l'Environnement (Figure 1).

Au titre de la DHFF (article 17), tous les six ans, chaque État membre doit transmettre à la Commission européenne un rapport sur l'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire par région biogéographique sur l'ensemble du territoire métropolitain. La France compte **quatre régions biogéographiques terrestres** (atlantique, continentale, méditerranéenne et alpine), chacune abritant de nombreux habitats. Parmi ceux-ci, l'état de conservation des **habitats d'intérêt communautaire** est évalué par différents experts en fonction d'indicateurs liés à leur aire de répartition, à la surface qu'ils occupent, à leurs structures ainsi qu'à leur fonctionnement. Il est à noter que cette évaluation concerne des habitats inclus dans des sites Natura 2000 ou non.

En parallèle, les gestionnaires de sites Natura 2000 évaluent au titre du Code de l'Environnement **l'état des habitats présents sur chaque site du réseau**. Des indicateurs liés à la représentativité de l'habitat, à sa superficie relative ainsi qu'à son état (structure, fonctions, capacité de restauration) permettent d'aboutir à une catégorisation en trois classes de l'état de conservation sur chaque site (excellent, bon, moyen ou réduit). Les résultats consolidés de cette analyse sur l'ensemble du territoire national sont ensuite mis à disposition de la Commission européenne qui évalue l'état du réseau et l'atteinte des objectifs de chaque pays membre.

Le **Service du Patrimoine Naturel (SPN)**, affilié au Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et réorganisé depuis janvier 2017 en tant qu'Unité Mixte de Service « Patrimoine naturel » (**UMS PatriNat**) affilié également à l'Agence Française de la Biodiversité et au CNRS, est en charge du développement d'outils méthodologiques et de la coordination au niveau national de l'évaluation des milieux naturels d'intérêt communautaire. Il œuvre également à la **structuration des échanges entre rapportages** à l'échelle de la région biogéographique et à l'échelle des sites Natura 2000. Ce chapitre se base sur les résultats publics de ces évaluations d'habitats, qui sont disponibles au téléchargement auprès de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (https://inpn.mnhn.fr/accueil/index). Un travail similaire est mené sur les espèces d'intérêt communautaire mais n'a pas été mobilisé dans ce Chapitre.

Figure 1 : Suivi et évaluation de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire en UE et en France.
Crédit : SPN - MNHN

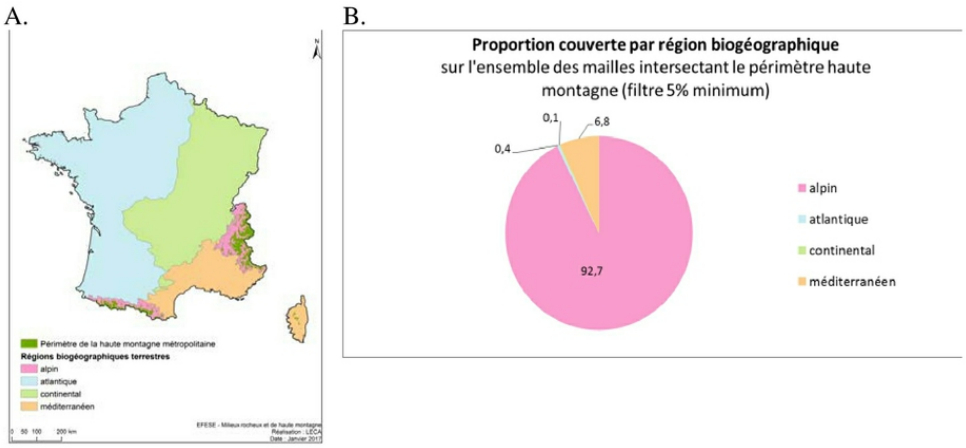


1. – A l'échelle de la région biogéographique

Notre travail repose sur un croisement entre i) les expertises sur l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire par région biogéographique, et ii) les informations spatialisées de répartition de ces habitats selon un maillage de référence à 10 km de résolution sur l'Europe.

La haute montagne métropolitaine telle que définie dans la Partie I de ce rapport intersecte 268 mailles de référence (sur au moins 5 % de la maille). Ces mailles sont, sur plus de 90 % de leur superficie, couvertes par la région biogéographique alpine (Figure 2).

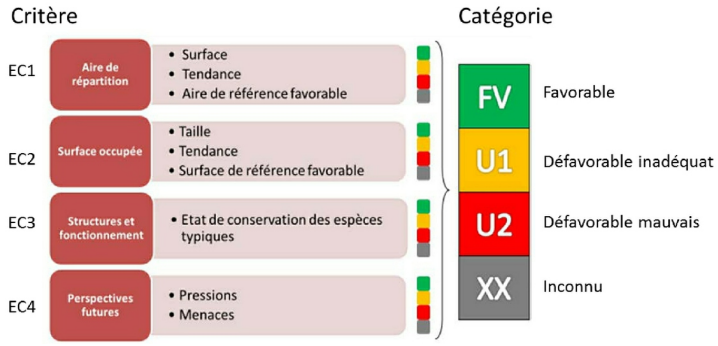
Figure 2 : Intersection entre les régions biogéographiques du rapportage DHFF et le périmètre de la haute montagne métropolitaine (A.) et le maillage de référence DHFF correspondant (B.).



Les résultats suivants se basent sur les scores des habitats obtenus pour la **région biogéographique alpine uniquement**. Notons que les mailles considérées couvrent plus de 70 % de la région biogéographique alpine nationale, ce qui est un **gage de représentativité** des résultats du rapportage vis-à-vis du périmètre de la haute montagne EFESE. De manière générale, seuls les habitats d'intérêt communautaire qui sont en cohérence avec la définition de la haute montagne proposée dans la Partie I ont été conservés. Une exception est faite pour les milieux forestiers de montagne, qui sont conservés au titre de l'intérêt des interfaces forêts-haute montagne, en particulier dans les contextes combinés du changement climatique et des changements d'usage des sols.

Le rapportage DHFF se base sur l'attribution d'un score pour chacun des quatre critères évalués par habitat (Figure 3). Trois de ces critères (aire de répartition, surface occupée, structures et fonctionnement) sont utilisés dans ce chapitre pour décrire l'état des habitats de haute montagne. Le quatrième critères, relatif aux perspectives futures de l'habitat, sera mobilisé dans le Chapitre 7.

Figure 3 : Critères utilisés pour le rapportage DHFF Article 17 – Habitats. Quatre catégories sont utilisées pour décrire l'état de conservation : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) et inconnu (XX).
Source : INPN-MNHN https://inpn.mnhn.fr/programme/rapportage-directives-nature/presentation



Selon l'évaluation DHFF, les habitats de haute montagne de la région biogéographique alpine sont généralement en **état favorable de conservation** (critères EC1, EC2 et EC3, Figure 4).

L'exception notable à ce constat est liée aux **glaciers permanents** (8340), dont l'aire de répartition, la surface et la structure et les fonctions sont dans un état défavorable mauvais. Du fait du changement climatique, la plupart des glaciers connaissent en effet un danger sérieux d'extinction à l'échelle nationale.

Les **milieux humides** (tourbières boisées ou non) font également exception à ce constat : l'état de leurs structures et fonctions (critère EC3) est jugé globalement défavorable inadéquat. Cela signifie que des changements dans la gestion ou les politiques sont nécessaires pour que ces habitats humides retrouvent un statut favorable, mais qu'ils ne sont pas considérés en danger d'extinction pour autant. De plus, deux habitats humides sont jugés dans un état défavorable inadéquat vis-à-vis de la surface qu'ils occupent (critère EC2) : les tourbières de transition et tremblantes (7140) et les formations pionnières alpines du Caricion bicoloris-atrofuscae (7240), car ils occupent des surfaces en décroissance.

Les **forêts alpines à Mélèzes ou Pins Cembro** (9420) présentent un état de conservation de leurs structures et fonctions jugé défavorable inadéquat. Les mélézins, au caractère patrimonial dans les Alpes du Sud, se sont développés à partir du milieu du XIXème siècle sous l'influence combinée de la déprise pastorale et des reboisements pour la restauration des terrains en montagne. Ces forêts alpines telles que nous les connaissons dépendent d'un entretien sylvicole spécifique visant à assurer leur régénération sur place. En l'absence de gestion, le mélézin évoluera naturellement vers la sapinière ou la pessière sur les ubacs et vers la pinède en versant plus chaud. Ces évolutions influencent directement le maintien des services écosystémiques associés aux mélézins, comme la production de bois de construction et de charpente, la contribution à l'esthétique du paysage ou encore leur valeur pastorale particulière. Des expérimentations en cours sur le territoire du Parc National des Ecrins visent à élaborer des modes de gestion favorisant le maintien des mélézins, compatibles avec la poursuite d'un pâturage et le respect de l'environnement et des paysages.

Figure 4 : Résultats du rapportage DHFF
pour la période 2007-2012 sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux).

			ALPN		
			EC1	EC2	EC3
Code UE	Prioritaire (*)	Intitulé de l'habitat	Aire de répartition	Surface	Structure et fonction
Landes et fourrés tempérés					
4030		Landes sèches européennes	FV	FV	FV
4060		Landes alpines et boréales	FV	FV	FV
4070	*	Fourrés à *Pinus mugo* et *Rhododendron hirsutum* (*Mugo-Rhododendretum hirsuti*)	FV	FV	FV
4080		Fourrés de *Salix* spp. subarctiques	FV	FV	FV
Formations herbeuses naturelles et semi-naturelles					
Pelouses naturelles					
6130		Pelouses calaminaires des *Violetalia calaminariae*	FV	FV	FV
6140		Pelouses pyrénéennes siliceuses à *Festuca eskia*	FV	FV	FV
6150		Pelouses boréo-alpines siliceuses	FV	FV	FV
6170		Pelouses calcaires alpines et subalpines	FV	FV	FV
Formations herbeuses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement					
6210	*	**Pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires (*Festuco-Brometalia*) (* sites d'orchidées remarquables)**	FV	FV	FV
6230	*	**Formations herbeuses à *Nardus*, riches en espèces, sur substrats siliceux des zones montagnardes (et des zones submontagnardes de l'Europe continentale)**	FV	FV	FV
Prairies humides semi-naturelles à hautes herbes					
6430		Mégaphorbiaies hydrophiles d'ourlets planitiaires et des étages montagnard à alpin	FV	XX	FV
Tourbières hautes, tourbières basses et bas-marais					
Tourbières acides à Sphaignes					
7110	*	**Tourbières hautes actives**	FV	FV	U1
7120		Tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle	XX	XX	U1
7140		Tourbières de transition et tremblantes	FV	U1	U1
Bas-marais calcaires					
7220	*	**Sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion*)**	FV	XX	XX
7230		Tourbières basses alcalines	FV	FV	U1
7240	*	**Formations pionnières alpines du *Caricion bicoloris-atrofuscae***	FV	U1	U1
Habitats rocheux et grottes					
Autres habitats rocheux					
8340		Glaciers permanents	U2	U2	U2
Forêts					
Forêts de l'Europe tempérée					
91D0	*	**Tourbières boisées**	FV	XX	U1
Forêts de conifères des montagnes tempérées					
9410		Forêts acidophiles à *Picea* des étages montagnard à alpin (*Vaccinio-Piceetea*)	FV	FV	FV
9420		Forêts alpines à *Larix decidua* et/ou *Pinus cembra*	FV	FV	U1
9430	*	**Forêts montagnardes et subalpines à *Pinus uncinata* (* si sur substrat gypseux ou calcaire)**	FV	FV	FV

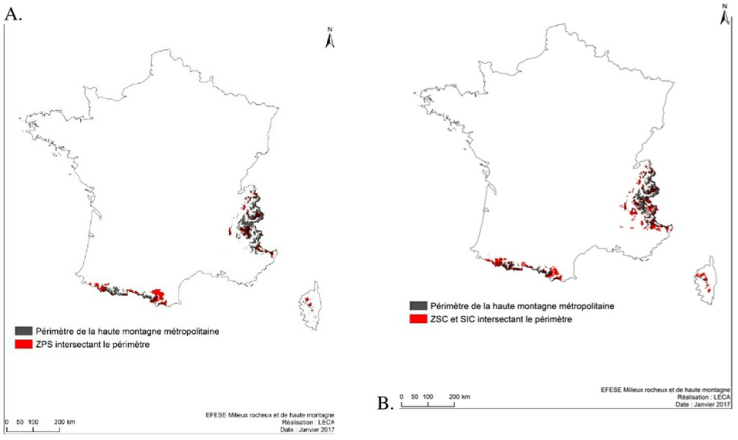
2. – A l'échelle du site Natura 2000

Le réseau des sites Natura 2000 a pour objectif d'assurer le maintien à long terme d'un ensemble de sites naturels, terrestres et marins, identifiés pour **la rareté ou la fragilité de la biodiversité et des milieux qu'ils abriten**t. En France, les sites Natura 2000 comprennent i) des **Zones de Protection Spéciales** (ZPS) liées à la conservation d'oiseaux sauvages et migrateurs, tel que défini par la Directive Oiseaux, et ii) des **Sites d'Importance Communautaire** (SIC) et des **Zones Spéciales de Conservation** (ZSC) visant la conservation des types d'habitats et des espèces animales et végétales figurant aux annexes I et II de la Directive Habitats, Faune, Flore.

Les habitats présents dans les sites Natura 2000 font l'objet d'une évaluation périodique permettant, entre autres, de renseigner leur degré de conservation. En fonction du degré de conservation de leurs **structures** et **fonctions**, ainsi qu'en prenant en compte leur susceptibilité à être **restaurés** le cas échéant, les habitats se voient attribuer un score de A (conservation excellente), B (conservation bonne) ou C (conservation moyenne ou partiellement dégradée).

Le périmètre de la haute montagne métropolitaine est **couvert sur environ sa moitié par des sites Natura 2000** (51 %). En particulier, il compte 45 % de ZSC et SIC et 31 % de ZPS (Figure 5).

Figure 5 : Sélection des sites Natura 2000 qui intersectent le périmètre de la haute montagne métropolitaine.
A. ZPS, B. ZSC et SIC.



Les sites Natura 2000 dont au moins 20 % de la superficie est comprise dans l'emprise de la haute montagne telle que définie dans l'EFESE sont inclus dans l'analyse (30 ZPS et 76 ZSC-SIC). En effet, pour chaque site, la proportion de chaque habitat d'intérêt communautaire est indiquée mais non sa localisation précise. Sont donc exclus les sites pour lesquels la probabilité est forte que l'habitat décrit n'appartienne pas au domaine de la haute montagne. Les résultats suivants font le bilan de l'état

de conservation et la superficie associée à chaque habitat alpin de ces sites (Figure 6, Figure 7).

Figure 6 : Degré de conservation des habitats de haute montagne des sites Natura 2000 intersectant le périmètre haute montagne (Nombre de sites concernés ; Superficie cumulée (km^2) par habitat et degré de conservation ; Superficie relative(%) par habitat et degré de conservation)

Habitat d'intérêt communautaire	Degré de conservation												Total général		
	A : excellent			B : bon			C : moyen ou réduit			inconnu					
	Nombre de sites	Superficie cumulée habitat (km²)	Superficie relative habitat (%)	Nombre de sites	Superficie cumulée habitat (km²)	Superficie relative habitat (%)	Nombre de sites	Superficie cumulée habitat (km²)	Superficie relative habitat (%)	Nombre de sites	Superficie cumulée habitat (km²)	Superficie relative habitat (%)	Nombre de sites	Superficie cumulée habitat (km²)
Forêts	84	55 960	72%	75	20 119	26%	5	903	1%	6	623	1%	147	77 614
Forêts acidophiles à Picea des étages montagnard à alpin (Vaccinio-Piceetea)	17	7 442	20%	22	7 526	20%			0%	1	7	0%	40	14 976
Forêts alpines à Larix decidua et/ou Pinus cembra	11	16 898	68%	12	2 707	13%	1	833	4%			0%	24	20 438
Forêts montagnardes et subalpines à Pinus uncinata (* si sur substrat gypseux ou calcaire)	32	31 511	79%	35	9 850	23%	2	50	0%	5	616	1%	74	42 026
Tourbières boisées	1	117	77%	6	34	23%	2	0	0%			0%	9	152
Formations herbeuses naturelles et semi-naturelles	96	58 852	33%	215	106 636	60%	35	7 669	4%	21	3 331	2%	367	176 507
Formations herbeuses à Nardus, riches en espèces, sur substrats siliceux des zones montagnardes (et des zones submontagnardes de l'Europe continentale)	14	9 474	28%	42	23 146	69%	5	1 704	5%	3	1 651	5%	64	35 976
Mégaphorbiaies hygrophiles d'ourlets planitiaires et des étages montagnard à alpin	31	3 608	53%	49	2 692	40%	3	161	2%	6	72	1%	89	6 753
Pelouses boréo-alpines siliceuses	4	1 902	45%	10	2 475	59%			0%	2	-	0%	16	4 377
Pelouses calaminaires des Violetalia calaminariae			0%			0%			0%	2	64	100%	2	64
Pelouses calcaires alpines et subalpines	31	33 531	41%	59	47 644	58%	3	1 129	1%	3	5	0%	90	82 309
Pelouses pyrénéennes siliceuses à Festuca eskia	11	8 530	38%	14	12 329	55%	1	308	1%	2	1 300	6%	28	22 518
Pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires (Festuco-Brometalia) (* sites d'orchidées remarquables)	5	1 805	7%	47	16 161	74%	23	4 367	18%	3	187	1%	78	24 510
Habitats rocheux et grottes	332	162 759	77%	139	42 723	20%	16	2 523	1%	20	3 830	2%	403	211 835
Éboulis calcaires et de schistes calcaires des étages montagnard à alpin (Thlaspietea rotundifolii)	33	45 032	68%	22	3 174	7%			0%			0%	55	48 206
Éboulis ouest-méditerranéens et thermophiles	41	13 378	66%	28	6 214	30%	1	103	1%	5	702	3%	73	20 397
Éboulis siliceux de l'étage montagnard à nival (Androsacetalia alpinae et Galeopsietalia laciani)	38	33 629	77%	14	7 670	18%	1	720	2%	3	1 596	4%	56	43 616
Glaciers permanents	3	9 018	69%	10	2 644	20%	10	1 303	10%			0%	23	13 015
Grottes non exploitées par le tourisme	14	269	14%	18	1 630	85%			0%	3	0	0%	33	1 901
Pavements calcaires	8	1 273	23%	7	3 870	70%			0%			0%	15	5 144
Pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique	53	30 603	75%	24	10 002	24%	3	172	0%	2	114	0%	82	41 122
Pentes rocheuses siliceuses avec végétation chasmophytique	39	29 329	76%	16	7 513	20%	1	176	0%	7	1 416	4%	63	38 434
Landes et fourrés tempérés	88	58 493	71%	30	16 332	20%	10	2 497	4%	6	654	1%	146	67 976
Fourrés à Pinus mugo et Rhododendron hirsutum (Mugo-Rhododendretum hirsuti)	2	83	81%	1	20	19%			0%			0%	3	103
Fourrés de Salix spp. subarctiques	5	670	49%	7	52	4%	2	42	3%	3	612	44%	17	1 376
Landes alpines et boréales	53	46 351	78%	31	11 202	19%	4	1 949	3%	4	42	0%	92	59 604
Landes sèches européennes	8	1 389	20%	21	4 898	72%	4	306	7%	1	-	0%	34	6 693
Tourbières hautes, tourbières basses et bas-marais	57	6 919	58%	88	3 356	28%	31	1 391	12%	23	309	3%	207	11 974
Formations pionnières alpines du Caricion bicoloris-atrofuscae	6	746	72%	8	145	14%	3	67	7%	1	74	7%	18	1 032
Sources pétrifiantes avec formation de tuf (Cratoneurion)	17	1 138	74%	15	224	15%	5	167	11%	5	5	0%	42	1 533
Tourbières basses alcalines	13	1 732	47%	39	1 652	45%	8	205	6%	7	80	2%	67	3 669
Tourbières de transition et tremblantes	10	1 586	69%	16	705	30%	4	90	4%	5	76	3%	35	2 518
Tourbières hautes actives	11	1 715	67%	17	497	19%	8	269	11%	4	74	3%	40	2 627
Tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle			0%	1	73	11%	3	583	89%	1	-	0%	5	666
Total général	514	332 991	67%	581	185 166	38%	97	15 902	3%	78	8 747	2%	1270	545 906

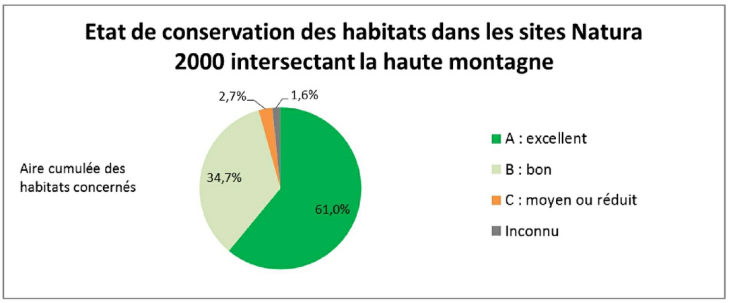
La plupart des habitats contenus dans les sites Natura2000 sont dans un état jugé excellent (A), à hauteur de plus de 70 % des superficies couvertes respectivement par les **forêts**, les **milieux rocheux et grottes**, ainsi que par les **landes et fourrés tempérés**.

Les **formations herbeuses naturelles et semi-naturelles** sont dans un état jugé globalement bon (B), sur environ 60 % des superficies qu'elles couvrent.

Plusieurs habitats soulèvent des inquiétudes vis-à-vis de leur état de conservation. En particulier, les milieux humides subissent fortement les impacts des activités humaines. Ainsi, 89 % des superficies couverts par les **tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle** (7120) sont dans un état de conservation moyen ou réduit (C). Cet état dégradé concerne également 11 %

des superficies couvertes par les **tourbières hautes actives** (7110) et les **sources pétrifiantes avec formation de tuf** (7220). En ce qui concerne les **glaciers permanents** (8340), 10 % des superficies qu'ils couvrent sont jugées dans un état de conservation moyen ou réduit. Quant aux **pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires** (6210), 18 % des surfaces qu'elles couvrent sont jugées dans un état de conservation moyen ou réduit, notamment en lien avec l'abandon des activités pastorales sur ces milieux (e.g., Hinojosa et al. 2016).

Figure 7 : Etat de conservation des habitats des sites Natura2000



CHAPITRE 6

Facteurs de changement directs et indirects

1. – Facteurs de changement sur les habitats d'intérêt communautaire (DHFF)

Les rapportages sur les habitats d'intérêt communautaires liés aux Directives Habitats, Faune, Flore (DHFF) font état des principales **activités, menaces et pressions** qui s'y exercent. Les facteurs de changement majeurs de la haute montagne (Figure 8) sont issus des expertises DHFF pour la **région biogéographique alpine**, qui couvre une superficie plus large que les milieux de haute montagne et qui inclut en particulier des espaces de plus basse altitude.

Figure 8 : Pressions, activités ou menaces s'exerçant sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux) – en nombre d'habitats concernés (attention, pas de lien avec la superficie couverte).

Catégorie	Pression forte	Pression modérée	Pression faible	Total pressions fortes et modérées	Total pressions
A. Agriculture	14	31	9	45	54
B. Sylviculture et opérations forestières	4	27	32	31	63
H. Pollution	4	16	4	20	24
G. Intrusions et perturbations humaines	1	16	22	17	39
K. Processus naturels biotiques et abiotiques (hors catastrophes)	8	8	18	16	34
J. Modification de processus naturels	9	4	5	13	18
E. Urbanisation, développement résidentiel et commercial		11	6	11	17
M. Changement climatique	5	5	9	10	19
D. Voies de transport et de service		10	14	10	24
I. Espèces invasives, autres espèces problématiques et introductions de gènes	2	4	4	6	10
C. Exploitation minière, extraction de matériaux et production énergétique		6		6	6
L. Evénement géologique, catastrophes naturelles		3	8	3	11
F. Utilisation des ressources biologiques (hors agriculture et sylviculture)		2	8	2	10
Total général	47	143	139	190	329

Une forte pression s'exerçant sur les habitats de la haute montagne est liée aux modalités de gestion et aux évolutions des **activités agricoles** (A). En particulier, ce sont les évolutions de la pression de pâturage qui apparaissent impactantes, directement ou via la fertilisation azotée liée. Les forêts de montagne de mélèzes et pin cembro (9420) mentionnées au Chapitre 5 comme ayant des structures et

fonctions dans un état défavorable inadéquat subissent une pression modérée principalement en lien avec les activités agricoles et sylvicoles (pâturage, sylvopastoralisme et modalités de gestion sylvicole).

Les **activités forestières** (B) ont un impact cumulé important, bien que la pression exercée par ces activités soit souvent faible.

La **pollution des eaux** (H), de surface en particulier mais souterraines également, est un facteur de pression important sur les habitats d'intérêt communautaire de haute montagne. Le développement des activités et infrastructures touristiques ainsi que le transport à distance de polluants atmosphériques, comme mentionné dans les sections suivantes, apparaissent comme des éléments déterminants dans la gestion de ce facteur de changement.

Les **activités sportives et de pleine nature** (G) affectent les habitats de haute montagne, et en particulier les milieux rocheux, mais les pressions exercées sont estimées modérées ou faibles, et souvent localisées dans l'espace. Les glaciers sont également affectés lorsqu'ils font partie des domaines skiables exploités (infrastructures, transport par câble, pistes, enneigement artificiel, bâche de protection, …) ou qu'ils se trouvent à proximité de lieux récréatifs (pollution par les effluents des refuges, des restaurants d'altitude…).

Les **évolutions naturelles des habitats** (K) induisent des changements notables dans les communautés végétales présentes. Ces répercussions concernent par exemple l'élévation de la limite de la forêt (ou zone de combat) sous l'effet du changement climatique ou le taux d'embroussaillement des milieux en réponse à la déprise pastorale.

Une autre cause de changement des milieux d'intérêt communautaire de haute montagne est liée à la **modification des processus naturels** (J) et en particulier aux changements des conditions hydrauliques induits par l'homme, notamment en lien avec la mise en œuvre de l'enneigement artificiel en stations de ski ou avec la consommation d'eau par ces mêmes stations.

2. – Facteurs de changement sur les sites Natura 2000

En complément des bilans proposés par les gestionnaires sur l'état des habitats d'intérêt communautaire compris sur les sites du réseau, les rapportages Natura 2000 font la liste des principales **activités, menaces et pressions** s'exerçant sur

ces sites. Ainsi, sur l'ensemble des sites Natura 2000 intersectant le périmètre de la haute montagne, il est possible d'identifier les facteurs majeurs de changement (Figure 9, Figure 10). Notons que ces sites couvrent des espaces hors haute montagne, en particulier à plus basse altitude.

Les deux principaux facteurs de changement s'exerçant sur les sites Natura 2000 intersectant le périmètre de la haute montagne sont liés aux **activités agricoles** (A) et aux **intrusions humaines** (G).

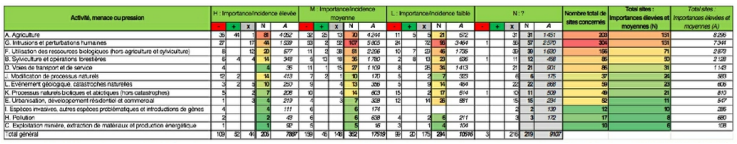
La **gestion de la pression de pâturage** est une question d'importance pour de nombreux sites, et des tendances contrastées s'expriment : si par endroit, c'est le surpâturage qui est préoccupant, à d'autres son abandon menace le maintien des habitats d'intérêt.

En ce qui concerne les intrusions humaines, les pratiques récréatives qui ont le plus d'impact sont celles qui occasionnent un **piétinement** et s'expriment sur des sites **sur-fréquentés**. La randonnée et les loisirs non motorisés (ex. : vélo), le ski (dont les pratiques hors-piste) et dans une moindre mesure en termes de surface impactée, l'alpinisme, l'escalade et la spéléologie ont également des impacts sensibles et négatifs.

Le rapportage signale que les **prélèvements biologiques** (F) dus aux activités de **chasse et pêche** récréatives ont une influence significative et généralement négative sur les habitats communautaires des sites Natura 2000.

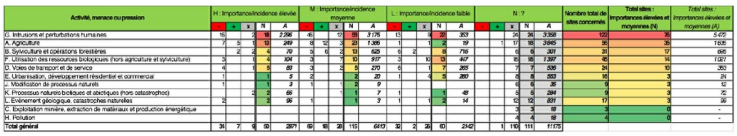
La **sylviculture et la gestion des activités forestières** (B) ont un impact fort sur les sites Natura2000. Toutefois, les impacts variables de ces activités ne concernent que marginalement les habitats liés à la haute montagne.

Figure 9 : Pressions, activités et menaces s'exerçant sur les habitats de haute montagne des sites Natura 2000 (ZSC SIC) intersectant le périmètre HM (N : nombre de sites concernés – A : aire cumulée des sites concernés, en km^2)



Activité, menace ou pression	H : Importance/incidence élevée				M : Importance/incidence moyenne				L : Importance/incidence faible				N : ?				Nombre total de sites concernés	Total sites : Importances élevées et moyennes (N)	Total sites : Importances élevées et moyennes (A)
	+	x	N	A	+	x	N	A	+	x	N	A	+	x	N	A			
A. Agriculture	39	46	85	4 062	34	22	56	4 240	11	5	16	522		2	35	1 621	203	124	8 284
C. Intrusions et perturbations humaines	27	11	45	1 337	24	8	32	2 403	24	7	31	2 464	1	24	37	2 270	208	108	7 241
F. Utilisation des ressources biologiques (hors agriculture et sylviculture)	8	12	20	677	11	5	16	2 036	10	7	17	1 739		33	30	1 620	156	71	3 870
B. Sylviculture et opérations forestières	6	4	10	349	5	12	17	1 760	2	6	8	1	1	11	12	498	64	33	2 128
D. Voies de transport et de service	4		4	36	11	1	12	37	1 109	8	25	36	1 413		21	21	903	86	38	1 145
I. Modification de processus naturels	10	2	12	413	2	2	4	170	4		4	2	123			6	6	175	27	24	583
L. Evénement géologique, catastrophes naturelles	3	2	5	10	257	1	6	13	208	5	9	14	464		22	22	668	58	25	606
K. Processus naturels biotiques et abiotiques (hors catastrophes)	5		5	7	228	10	5	16	403	15	2	17	814	1	10	11	509	48	21	810
E. Urbanisation, développement résidentiel et commercial	1		1	5	219	1		1	338	12	11	24	881		15	15	234	42	11	247
J. Espèces invasives, autres espèces problématiques et introductions de gènes	4		4	5	111	6		6	174						2	2	130	12	10	286
H. Pollution	2		2	5	45	6		6	439	4		4	211		3	3	172	17	6	660
C. Exploitation minière, extraction de matériaux et production énergétique	1		1	3	97	5		5	91	5	1	6	104					10	6	139
Total général	109	82	191	7697	134	76	210	17519	38	22	175	294	13766	3	216	219	3127			

Figure 10 : Pressions, activités et menaces s'exerçant sur les habitats de haute montagne des sites Natura 2000 (ZPS) intersectant le périmètre HM



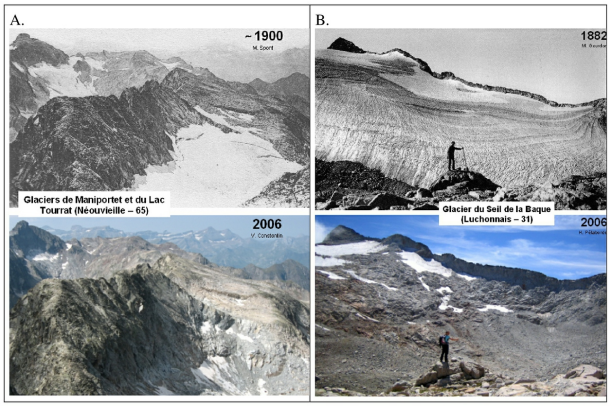
Activité, menace ou pression	H : Importance/incidence élevée					M : Importance/incidence moyenne					L : Importance/incidence faible					N : ?					Nombre total de sites concernés	Total sites : importances élevées et moyennes (N)	Total sites : importances élevées et moyennes (%)
		x	x	N	A		x	x	N	A		x	x	N	A		x	x	N	A			
G. Intrusions et perturbations humaines	16			16	7 296	40			72	36	7 179	10			10	353			34	34	3 068	120	36	6-25
A. Agriculture	7	5		12	249	6	12	3	20	1 305	1		1	2	19	1	17		18	3 845	36	17	1-35
B. Sylviculture et opérations forestières	2	2		4	79	3	6	2	10	629	1	2		3	116				6	307	23	17	6-65
F. Utilisation des ressources biologiques (hors agriculture et sylviculture)	3			3	104	3		1	10	917	3		1	13	407				15	1 307	46	16	1-27
D. Voies de transport et de service	4			5	69	3		2	5	270	6		1	7	269				7	538	24	13	3-53
E. Urbanisation, développement résidentiel et commercial	1			1	5	2			2	23	1		4	5	260				6	503	14	3	2-21
J. Modification de processus naturels	1			1	3	1			2	9									6	35	5	3	12
K. Processus naturels biotiques et abiotiques (hors catastrophes)	1		2	2	65			1	1	7	1			1	48	1			6	284	9	4	7-50
L. Evénement géologique, catastrophes naturelles	2			2	96	1			1	7	1		1	2	14				12	831	17	3	9-56
C. Exploitation minière, extraction de matériaux et production énergétique																			3	3	3	0	-
H. Pollution																			4	4	4	0	-
Total général	36	7	6	50	2871	69	18	29	115	6413	32	2	28	63	2342	1	110	111	111	11175			

3. – Changement climatique

1) – Quels changements climatiques en haute montagne ?

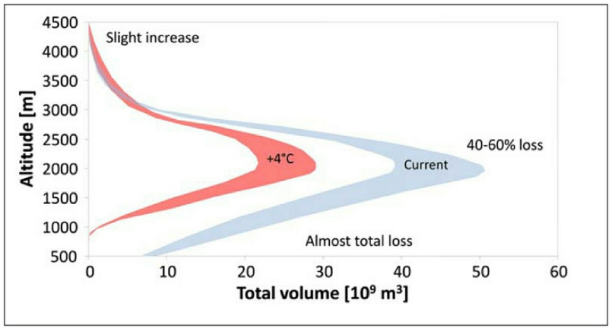
Les effets du changement climatique s'expriment de manière particulièrement marquée dans les territoires de montagne. Ainsi, la hausse des températures moyennes sur le siècle dernier est de l'ordre d'1°C en Europe, contre **2°C sur le massif alpin** (EEA 2009). Dans les Pyrénées, les températures connaissent une hausse sensible de **0.2°C en moyenne par décennie** depuis 1950 (OPCC). Les prévisions pour le siècle à venir sont comprises entre 2.6 et 3.9°C en moyenne. Le recul des glaciers offre une illustration marquante de ce réchauffement rapide. Depuis la fin du Petit Age Glaciaire (1550-1850), un retrait généralisé des surfaces glaciaires est observé. Dans les Pyrénées, les projections des tendances de recul rendent possible la disparition totale des glaciers d'ici 2050 (D'Amico 2013).

Figure 11 : Evolution de l'emprise des glaciers dans les Pyrénées.
Source : Moraine - L'association Pyrénéenne de Glaciologie http://asso.moraine.free.fr/



Des modèles climatiques régionaux projettent de plus une diminution significative dans le nombre de **jours de gel** ainsi que dans l'étendue et la durée de la couverture par la neige et la glace (EEA 2009). Le volume de précipitations sous forme de **neige** diminue globalement et ces tendances sont appelées à s'accentuer. En effet, il est généralement admis que la ligne altitudinale basse de couverture neigeuse remonte d'environ 150 mètre par degré Celsius. Les augmentations prévues de températures entre 2 et 4 °C en montagne d'ici 2100 devraient donc se traduire par une remontée de la zone enneigée de 300 à 600 mètres (Gobiet et al. 2014). Dans les Pyrénées, à 1500 mètres, la saison enneigée devrait ainsi passer de 3 mois actuellement à 2 mois d'ici 2100 (D'Amico 2013). Toutefois, ces estimations globales ne tiennent pas compte des effets climatiques locaux comme les inversions thermiques ni des effets de refroidissement liés à la fonte de la neige.

Figure 12 : Volume de neige projeté par altitude pour l'actuel (bleu) et pour un scenario de changement climatique (rouge) dans les Alpes suisses. Le scénario prévoit une augmentation de la température hivernale moyenne de 4°C, ce qui est légèrement supérieur à la médiane des estimations proposées pour la fin du 21ème siècle. Selon ce scénario, les très hautes altitudes (>3000m) recevraient un enneigement légèrement supérieur aux tendances actuelles (« Slight increase ») tandis que les altitudes inférieures sont marquées par une forte décroissance des niveaux d'enneigement (« 40-60 % loss »).
Source : Gobiet et al. 2014



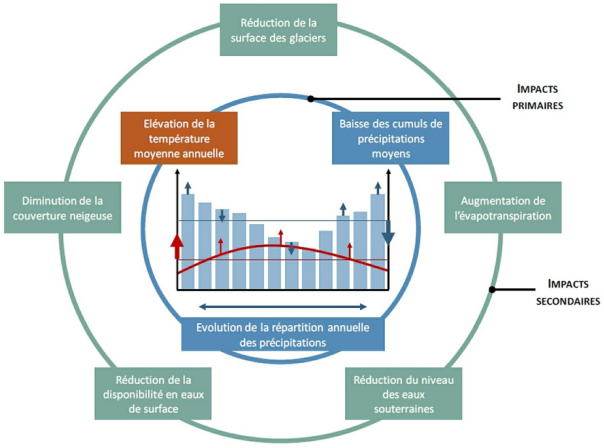
2) – Quels effets du changement climatique sur le cycle de l'eau en haute montagne ?

Les montagnes jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau (Zierl & Bugmann 2005) ; elles sont souvent considérées comme des **châteaux d'eau naturels** (Messerli et al. 2004). En effet, le taux de précipitations augmente généralement avec l'altitude, par effet orographique. En parallèle, la baisse des températures en altitude diminue les quantités d'eau évapotranspirées. Le **bilan hydriqu**e des montagnes est ainsi largement **positif**. Par ailleurs, le stockage temporaire d'eau sous forme de neige et de glace induit un décalage dans le ruissellement et contribue au soutien des débits hydrographiques. D'après l'évaluation mondiale des écosystèmes de montagne proposée en 2005 dans le contexte du *Millenium Ecosystem Assessment* (Körner 2005), les bassins versants de montagne contribuent ainsi à hauteur de 20 à 50 % au débit total des systèmes fluviaux et permettent de limiter les variabilités inter- et intra-annuelles des débits globaux. Par exemple, la contribution du massif alpin aux débits du Rhône est estimée à 41 % (EEA 2009).

Le changement climatique **modifie la quantité, l'intensité et la temporalité des précipitations.** En particulier, la proportion annuelle de précipitation **sous forme liquide** devrait s'accroître au détriment des précipitations sous forme solide (EEA 2009). La tendance globale des précipitations est à la baisse, notamment sur la période estivale. Par exemple, en fonction des modèles et des régions considérées, la **diminution des précipitations annuelles** sur le massif des Alpes européennes varie ainsi de 1 % à 11 % d'ici à 2100 (EEA 2009). A ce jour, les patrons fins de ces variations de précipitation demeurent difficiles à prévoir, notamment dans les Alpes. Le massif alpin se situe en effet dans une zone de transition entre le sud de l'Europe, où une baisse des précipitations estivales est projetée, et le nord de l'Europe, où une hausse des précipitations hivernales devrait se confirmer (Gobiet et al. 2014). De ce fait, les changements projetés de régimes de précipitation demeurent sujets à de **fortes incertitudes**. Des changements sont attendus sur les **débits de rivières**, dont le pic actuel marqué entre mai et juin devrait avoir lieu plus tôt dans l'année tout en s'aplatissant (décharge estivale minorée et décharge hivernale accrue) (ATEAM 2004). Dans les bassins versants de montagne, la décharge estivale apparaît comme étant la plus sensible au changement climatique car elle est très liée aux **patrons d'accumulation et de fonte de la neige**. En particulier, le rôle majeur de soutien d'étiage par les **fontes glaciaires** est largement remis en cause à moyen terme du fait du recul et de la disparition des glaciers (EEA 2009). L'augmentation de **l'évapotranspiration** liée à la hausse des températures contribuera également à la réduction du taux d'humidité des sols et par conséquent à

la diminution des débits estivaux (Zierl & Bugmann 2005). La **sévérité des étiages** pourrait donc s'accentuer.

Figure 13 : Principaux impacts physiques primaires et secondaires du changement climatique sur l'hydrologie – évolutions qualitatives (en rouge : températures ; en bleu : précipitations).
Crédit figure : ACTeon, 2012 dans OPCC-CTP 2013.



Le changement climatique impacte plus généralement l'ensemble des **processus hydrologiques** des bassins versants de montagne. Par exemple, la capacité de filtration des écosystèmes et leur contribution à fournir une eau de bonne qualité dépend entre autres du temps de transfert des particules dans le bassin versant. En diminuant les volumes d'eau en circulation dans l'écosystème, le temps de transfert des minéraux et des polluants par les eaux dans les bassins versants s'accroît, ce qui permet de projeter l'augmentation de leurs concentrations dans les milieux de montagne. Au-delà, les effets du changement climatique interagissent avec les conséquences des **changements d'utilisation des terres**, qui modifient les cycles hydrologiques en faisant évoluer les taux d'évapotranspiration et la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols. En particulier, les couverts forestiers augmentent la quantité d'eau transpirée, l'évaporation de la pluie interceptée ainsi que la sublimation de la neige interceptée (Zierl & Bugmann 2005). Les changements majeurs dans la couverture forestière des bassins versants de montagne peuvent donc avoir une influence significative sur leur bilan hydrique.

La **vulnérabilité de la ressource en eau** est une préoccupation croissante du fait des changements dans les régimes hydrologiques et de la diminution induite dans la recharge des nappes souterraines. A l'échelle des Pyrénées, la **disponibilité** des ressources en eau devrait ainsi connaître une forte baisse, estimée à -15 % environ à l'horizon 2021-2050 et à -36 % à l'horizon 2071-2100 (Miquel 2012, *in* OPCC-CTP 2013). Au-delà des impacts sur les écosystèmes, riverains ou non, des **répercussions significatives** sont attendues sur les activités humaines. En particulier, la temporalité et la répartition des prélèvements entre activités, par exemple entre production d'hydroélectricité, agriculture et tourisme, devrait faire l'objet de **tensions croissantes** (EEA 2009).

3) – Quels effets du changement climatiques sur les cycles des nutriments ?

Les principaux processus des cycles des nutriments sont sous le contrôle de la **température**. La température étant un facteur limitant principal dans les écosystèmes de haute montagne, son augmentation se répercute directement sur l'ensemble des processus biogéochimiques avec : une augmentation de la productivité primaire, une augmentation de l'activité microbienne des sols et une décomposition accrue de la matière organique. Cependant, les effets nets du changement climatique sur les cycles des nutriments sont plus complexes du fait : 1) de **l'interaction avec d'autres variables climatiques**, et 2) des **interactions entre cycles du carbone, de l'azote et du phosphore**.

Concernant la **productivité primaire**, à l'échelle régionale elle est également limitée par la durée d'enneigement (Choler 2015). De ce fait, le réchauffement pourrait augmenter la productivité primaire non seulement via les **effets directs de la température**, mais aussi par la **réduction de la durée d'enneigement** (ou a contrario l'allongement de la durée de la saison de végétation). Ces effets ne seront cependant pas uniformes dans l'espace, ni entre années car le **gel printanier** diminue la productivité primaire en cas de déneigement précoce. L'effet net de l'augmentation de température est donc moindre que l'effet direct de la température moyenne de la saison de croissance. Par ailleurs, on observe depuis le début des années 2000 une augmentation de la production de fin de saison du fait de l'augmentation des **températures automnales**. Enfin, les effets climatiques sur la production primaire sont modulés par la **disponibilité en nutriments**, et varient

donc entre sites, les sites les plus fertiles étant les plus sensibles, alors qu'inversement sur sol pauvre les effets sont limités. Par ailleurs, l'augmentation de l'activité microbienne sous l'effet de l'augmentation de la température augmente la disponibilité en azote du sol nécessaire à la croissance des plantes, au travers une minéralisation plus rapide. De même, la combinaison entre changement climatique et déposition atmosphérique d'azote serait favorable à une augmentation de la productivité primaire. Aujourd'hui, le programme Alpages Sentinelles (voir Encadré 1) observe, entre autres paramètres, les variations interannuelles de la production de fourrages dans l'objectif de comprendre ses déterminants climatiques selon les massifs des Alpes et les types de végétation.

Les effets de l'augmentation de la température se répercutent sur la dynamique des **stocks de carbone organique du sol**. Si l'accélération de la décomposition du carbone organique dans les sols n'est pas compensée par l'accroissement de la productivité primaire nette des végétaux et l'augmentation correspondante des apports de carbone au sol, alors on peut attendre une diminution des stocks de carbone organique des sols. Cependant, les effets de la température et de la disponibilité en eau sur chacun des processus impliqués dans le stockage du carbone sont complexes et interagissent entre eux, si bien que leur bilan est **très incertain**, et sera probablement très variable entre types de végétation, entre sites et entre années. Les connaissances actuelles ne permettent pas de dégager une prédiction des effets du changement climatique sur les stocks de carbone organique des sols de haute montagne.

A contrario de l'azote, la **disponibilité du phosphore** ne répond que peu aux variations de températures. Ces différences de réponses induisent un **découplage entre les cycles des nutriments azotés et phosphorés**. L'équilibre crucial entre ces deux nutriments qui soutiennent la croissance des plantes et les processus microbiens des sols pourrait être radicalement modifié dans les écosystèmes de haute montagne, si bien que le phosphore pourrait devenir limitant là où aujourd'hui c'est la disponibilité en azote qui contrôle les cycles biogéochimiques. La migration altitudinale attendue de la végétation, et en particulier de la limite forestière vers les zones de haute altitude en lien avec le changement climatique s'avère donc compliquée par la disponibilité en nutriments (Mayor et al. 2017).

Encadré 1

Zoom sur le programme Alpages Sentinelles

Le programme Alpages Sentinelles a pour objectif de mieux comprendre et d'anticiper les conséquences du changement climatique sur les alpages et les activités pastorales. Il s'appuie sur un vaste réseau de partenaires : organismes professionnels du pastoralisme et de l'élevage, territoires naturels protégés (Parcs Nationaux, Parcs Naturels Régionaux), organismes de recherche, ainsi qu'éleveurs et bergers des alpages étudiés. A l'interface entre recherche scientifique et actions de développement, ce programme vise à la concertation et aux échanges d'expériences autour des questions de modifications environnementales et d'adaptations pastorales aux variations climatiques. Un ensemble d'alpages répartis dans le massif alpin fait l'objet de suivis réguliers afin de caractériser les leviers d'adaptation mobilisables par différents systèmes pastoraux face aux changements climatiques. Des outils de diagnostic et de conseil sont également mis à disposition des partenaires pour accompagner ces adaptations.

Pour en savoir plus :

http://www.alpages38.org/-Alpages-sentinelles-.html

http://www.alpages38.org/IMG/pdf/comprendre_le_changement_climatique_en_alpage.pdf

4) – Quels effets du changement climatique sur la biodiversité en haute montagne ?

Les évolutions climatiques permettent de prévoir **l'augmentation de la durée de la période de végétation** avec pour conséquence la **remontée altitudinale de la limite forestière ainsi que de l'ensemble des étages de végétation**. Ces changements vont avoir des conséquences directes sur la phénologie des espèces (par exemple date de floraison) ainsi que sur leur aire de répartition favorable, tant pour la faune que la flore.

Des **remontées altitudinales d'espèces** sont constatées et devraient s'amplifier : les espèces natives présentes actuellement à des altitudes plus basses vont progressivement se déplacer vers les sommets. Par exemple, des études ont mesuré une remontée altitudinale de la végétation alpine européenne de l'ordre de 1 à 4 mètres par décade sur 30 ans (Rixen et al. 2014). Dans les Pyrénées, l'apparition en 2001 du passereau Monticole bleu (*Monticola solitarius*) dans les montagnes basques serait un indicateur de la thermophilisation en cours, c'est-à-dire d'un changement climatique favorisant les espèces affectionnant les températures élevées au détriment des espèces peu tolérantes à la chaleur (D'Amico 2013).

De nouvelles espèces colonisent donc les milieux de haute montagne et modifient les interactions actuelles au sein des communautés animales et végétales. Pour les espèces de haute altitude, les changements climatiques se traduisent par une **contraction** voire une **disparition** de leurs aires de répartition (Figure 15, Figure 16). En Corse, une hausse de 2 à 3 °C entraînerait probablement la **disparition de l'étage alpin**, particulièrement riche en espèces endémiques (CTC s.d.). **L'homogénéisation de la végétation** des sommets alpins en Suisse a ainsi déjà été observée (Pauchard et al. 2016), de même que dans le massif pyrénéen. En particulier, la colonisation des milieux ouverts par les broussailles et arbustes devrait changer l'aspect des paysages et le fonctionnement des milieux d'altitude de manière marquée. Une compétition accrue des espèces herbacées de milieux inférieurs est également constatée dans les Alpes suisses et a pour conséquence une diminution des performances des plantes alpines caractéristiques (Alexander et al. 2015).

Par ailleurs, le changement climatique modifie la répartition des **plantes fixatrice d'azote**. En conjonction avec des perturbations naturelles (avalanches, phénomènes érosifs) ou avec la déprise agricole (Hiltbrunner et al. 2014), la progression en altitude des Aulnes (*Alnus spp*.) augmente de manière significative les apports azotés dans les écosystèmes initialement relativement pauvres que sont les couloirs d'avalanche. Deux répercussions importantes de ces modifications géochimiques sont attendues : d'une part, une **modification des communautés végétales** vers des espèces plus eutrophes souvent associées à des altitudes inférieures, et d'autre part des **pertes azotées plus importantes** depuis les écosystèmes de haute montagne vers l'aval des bassins versants (Hiltbrunner et al. 2014). A l'inverse, la moindre adaptation au changement climatique d'une espèce prairiale fixatrice d'azote et largement distribuée comme *Trifolium alpinum* (Guisan & Theurillat 2000) pourrait avoir des répercussions importantes sur les relations de facilitation interspécifiques mentionnées dans la Partie I de ce rapport. L'augmentation de **la disponibilité en azote du sol** au travers d'une minéralisation plus rapide pourrait aussi favoriser la remontée d'espèces adaptées aux altitudes inférieures et engendrer une compétition accrue avec les espèces d'altitude (Mayor et al. 2017).

Si l'ensemble des habitats et des espèces associées à la haute montagne est menacé d'évolution par le changement climatique, on attend un impact particulièrement marqué sur la végétation des **combes à neige**, qui pourraient connaître une évolution particulièrement rapide de leurs conditions méso-climatiques (voir

D'Amico 2013 pour les Pyrénées). Une fonte des neiges plus précoce entraînerait des changements brusques de température et une dessiccation plus précoce et marquée du sol en période estivale. Cette fonte de la neige associée à l'augmentation des températures du sol favoriserait l'évolution écologique du milieu vers des communautés végétales opportunistes plus généralistes, au détriment des espèces spécialisées actuelles (voir aussi Carlson et al. 2015).

Figure 14 : Combe à neige acide.
Crédit photo : Peter Bolliger – Olivone (Info Flora)

Toutefois, les effets climatiques sont difficiles à discerner en particulier, car ils sont **en interaction forte avec les changements d'utilisation des sols**. En particulier, la remontée de la limite forestière ne peut être prévue sur la seule base de données climatiques car elle dépend fortement des facteurs de gestion sylvopastoraux (Carlson et al. 2014).

Figure 15 : Evolution modélisée de la distribution de la renoncule des glaciers sur le massif du Mont-Blanc. La renoncule des glaciers occupe les éboulis et les fissures de rochers sur des sols pauvres en calcaire entre 2 300m et 3 200m. Elle fait partie des plantes détenant des records d'altitude dans les Alpes. Peu d'espèces ont développé comme elle de telles adaptations au climat rigoureux d'altitude. Très dépendante de la température, son habitat est menacé par le changement climatique. *Source images et texte : Atlas du Mont-Blanc CREA* http://www.atlasmontblanc.org/fr/repartition-des-especes

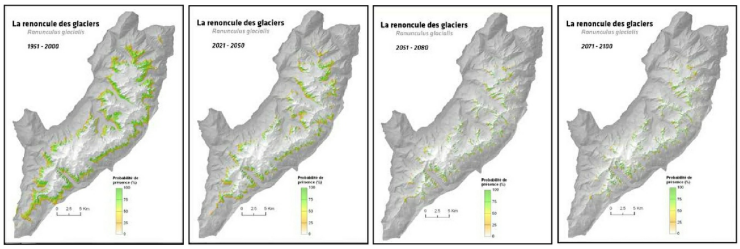
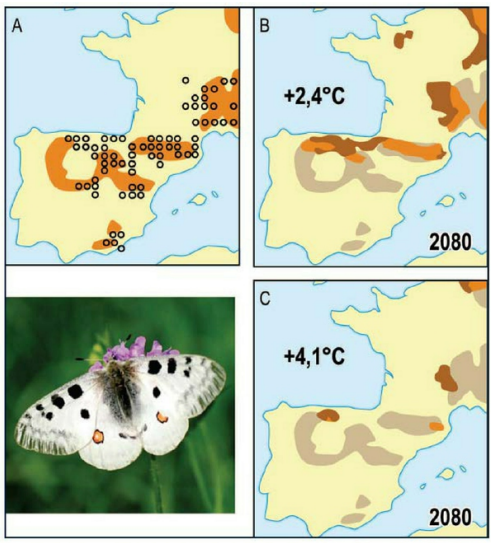


Figure 16 : Evolutions modélisées de la distribution de l'Apollon (Parnassius apollo), papillon emblématique des montagnes.
(a) Distribution observée (cercles noirs) et distribution obtenue par modélisation de la niche climatique (orange).
(b) et (c) Distribution modélisée en 2080 sous deux scénarios d'évolution climatique : (b) scénario modéré et (c) scénario extrême.
Légende : orange : pas de changement ; gris : perte prévisible ; marron : gain prévisible (source : Settele et al. 2008 in D'Amico 2013)



Les modifications climatiques perturbent également les **rythmes biologiques** des espèces, et à terme affectent leurs chances de survie. Par exemple, des suivis à long terme de populations de marmottes en Savoie ont mis en évidence les effets contrastés du changement climatique pour cette espèce. En hiver, la diminution régulière de la couverture neigeuse hivernale diminue le rôle isolant du manteau neigeux et induit un effet défavorable en augmentant les épisodes de froid ressentis. Au printemps, le déneigement plus précoce se traduit par une accessibilité à la ressource alimentaire plus précoce. Les résultats des études montrent que l'effet négatif hivernal l'emporte sur l'effet positif printanier. Sur les 20 dernières années, la condition corporelle des marmottes, et en conséquence la taille de portée des femelles, a en effet diminué régulièrement (Tafani et al. 2013). A l'inverse, d'autres espèces alpines connaissent des effets positifs des changements climatiques. C'est le cas par exemple des bouquetins, selon de récentes études portant sur la vitalité des populations des bouquetins dans le canton des Grisons en Suisse. La hausse des températures entre mars et mai entraîne une fonte des neiges précoce et une meilleure offre alimentaire pour ces animaux dont la croissance et la vitalité dépendent d'abord de la qualité et la quantité des herbes et plantes alpines (Buntgen et al. 2014). Les communautés animales et végétales des écosystèmes de haute montagne se voient donc modifiées par la conjonction de l'évolution des **pressions climatiques** et des **relations interspécifiques** par décalage temporel entre espèces associées, par exemple dans les cas de la pollinisation ou des pathogènes.

De nombreuses initiatives se développent pour suivre et tenter de prévoir les effets des changements climatiques sur les espèces et habitats de haute montagne. Elles impliquent les acteurs scientifiques et institutionnels mais également de manière directe les citoyens. Par exemple, des suivis de la faune et la flore sont menés de manière **participative et ouverte au grand public** depuis 10 ans sur le massif du Mont-Blanc (programme PhénoClim - CREA).

Encadré

Les marges proglaciaires : nouveaux milieux libérés par les glaciers

Le changement climatique affecte les territoires de haute-montagne et leurs glaciers Ces derniers connaissent un retrait conséquent depuis le Petit Age Glaciaire, accentué depuis une trentaine d'années (Moreau, 2010). Leur retrait libère de nouveaux espaces rocheux, qui seront par la suite recolonisés par la végétation.

Ces milieux rocheux sont éphémères à l'échelle de quelques décennies. Ces paysages récents sont relativement complexes dans leur organisation, et résultent des laisses produites par les glaciers. Ils se situent à l'aval du front de la langue glaciaire, et sont appelés « marges proglaciaires ». Les marges proglaciaires sont constituées de deux grands types de dépôts : les dépôts glaciaires constitués par les moraines (en sédimentologie le terme de till est communément employé), et les dépôts fluvio-glaciaires, résultats des activités de processus glaciaires et fluviatiles. Les moraines, créent des paysages qui peuvent sembler anarchiques de par l'absence de stratification et l'importante hétérogénéité de leur granulométrie (amas de roches, graviers, sable, …) (Société Suisse de Géomorphologie, 2009).

Le retrait glaciaire est un phénomène aisément observable grâce à l'abandon de la moraine frontale, qui correspond à la phase terminale de la langue glaciaire. En avançant, le glacier la pousse, et l'abandonne en cas de retrait, isolant dans le paysage cette moraine frontale qui servira de témoin de l'ancienne expansion du glacier) (Michel, 2016).

Comme beaucoup d'autres milieux rupestres, les sols libérés par les glaciers vont être reconquis par la végétation. La dynamique sera identique à celle d'autres milieux rocheux, avec l'installation dans un premier temps d'espèces pionnières, puis la formation de pelouses, pour arriver à la colonisation par les espèces ligneuses. Les espèces diffèreront en fonction de l'altitude et de la localisation géographique. Une dilatation progressive de la durée des stades successifs a été prouvée : les stades pionniers apparaissent relativement éphémères, contrairement à la formation du climax, beaucoup plus lente (Ozenda, 1985). La colonisation de ces milieux a fait l'objet de recherches scientifiques, particulièrement en Suisse et en Autriche : ces recherches ont démontré que le type de végétation est corrélé à l'âge des dépôts (Ozenda, 1985). Ainsi, les moraines les plus récentes sont constituées de végétation pionnière, et les plus anciennes d'un couvert végétal plus dense et continu, parfois même constitué de ligneux (Figure 18).

Figure 18 : **Etude de la dynamique de la végétation des différentes moraines du glacier d'Aletsch (Alpes suisses). Source : Ozenda 1985**

D'autres recherches sur les marges du glacier Rotmoosferner en Autriche, ont caractérisé la présence des espèces d'insectes qui colonisent ces milieux et ont montré que l'âge des moraines détermine le type d'insectes présent (Kaufmann et al. 2002a). Ainsi, sur les jeunes moraines seront trouvés des insectes prédateurs comme Nebria jockischii et Mitopus glacialis. Apparaissent par la suite des insectes herbivores, dont la présence est permise par le développement du couvert végétal (50-60 ans), puis les insectes décomposeurs, qui n'apparaissent qu'aux derniers stades lorsque le sol est formé.

Le retrait actuel des glaciers stimule l'intérêt croissant de la communauté scientifique, bien que peu de recherches aient été effectuées récemment sur les marges proglaciaires françaises. Ces milieux permettent notamment d'appréhender la sensibilité et la résilience des écosystèmes de montagne face aux changements environnementaux. Ils font donc figure de « laboratoire » pour l'analyse du processus de recolonisation, de formation du sol ou encore des stratégies de reproduction et colonisation des plantes (Kaufmann et al. 2002b).

Dans un contexte de changements climatiques, la colonisation végétale des marges proglaciaires pourrait constituer un soutien au pastoralisme en cas de sécheresse et de difficulté à mobiliser suffisamment de ressources en herbe. Ces milieux auparavant défavorables peuvent aujourd'hui représenter un exemple de service écosystémique d'adaptation au changement climatique. Il est cependant important de noter que ce service demeure actuellement marginal en termes de conduite pastorale.

Certains glaciers français représentent des facteurs d'attractivité majeurs pour les activités touristiques et récréatives, comme le glacier des Evettes (Savoie) ou celui des Bossons (Haute-Savoie). La question de la perception des milieux morainiques par rapport à l'ensemble du paysage de la haute-montagne, ainsi que la valeur esthétique que les pratiquants de la montagne y attachent, a récemment fait l'objet d'une enquête (Moreau, 2010). Cette enquête a permis d'identifier la perception du retrait glaciaire comme un phénomène récent. Elle prouve également de la forme d'« impopularité » dont souffre l'espace proglaciaire, 50 % des personnes interrogées le considèrent comme peu ou pas esthétique dans le paysage, contre seulement 25 % des répondants qui le considèrent esthétique ou très esthétique. Les 25 % restants ne l'identifiaient pas, ou le trouvaient seulement « original ». L'enquête ouvre de nombreuses perspectives pour ces milieux rocheux en termes de valorisation des héritages géomorphologiques proglaciaires, questionnant ainsi la construction future des valeurs culturelles et patrimoniales associées aux marges proglaciaires. La valorisation des espaces proglaciaires comme géomorphosites pour leur dimension historique, écologique et géomorphologique pourrait ainsi contribuer à maintenir l'attractivité des espaces glaciaires dans le contexte du recul généralisé des glaciers dans les paysages de haute montagne (Moreau, 2010).

Bibliographie

Kaufmann, R. ; Fuchs, M. & Gosterxeier, N. (2002a). The soil fauna of an alpine glacier foreland : Colonization and succession. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 34, 242-250

Kaufmann, R. (2002b). Glacier foreland colonisation : Distinguishing between short-term and long-term effects of climate change. Oecologia, 130, 470-475.

Michel F., 2016, Le Dico des mots de la géologie, Réserves Naturelles de France, 155p.
[en ligne] http://www.reserves-naturelles.org/sites/default/files/fichiers/dico_des_mots_de_geologie_rnf.pdf consulté le 09/05/2017

Moreau M., 2010, Visual perception of changes in a high moutain landscape : the case of the retrat of the Evettes Galcier (Haute-Maurienne, northern French Alps), Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol.16 – n°2.
[en ligne] https://geomorphologie.revues.org/7901#citedby consulté le 18/05/2017

Ozenda P., 1985, La Végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen, Masson, 330p.

Société Suisse de Géomorphologie, 2009, Les dépôts glaciaires, Fiches pour l'enseignant, Chapitre 2 : Les glaciers.
[en ligne] http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/glacier/2301.php consulté le 18/05/2017

5) – Quels effets du changement climatique sur les risques naturels en haute montagne ?

Le changement climatique a des incidences sur la fréquence et l'ampleur des **risques naturels** en haute montagne, par exemple au travers de la déstabilisation des sols rocheux actuellement maintenus par le permafrost. Les éléments mentionnés dans le Tableau 1 sont issus directement du rapport de synthèse produit par l'UICN France sur les changements climatiques et les risques naturels dans les montagnes tempérées (UICN France 2015).

L'ensemble de ces phénomènes affecte de nombreuses **activités humaines** (par exemple les activités sportives de montagne) mais induit également des craintes vis-à-vis des **infrastructures** qui pourraient connaître des risques accrus (par exemple, vidange de lac glaciaire). De plus, en conjonction avec les effets des changements d'utilisation des terres, les **paysages** de montagne seront affectés par le recul des neiges éternelles et des glaciers, la multiplication des instabilités rocheuses ou encore des effondrements.

6) – Recrudescence des incendies en haute montagne

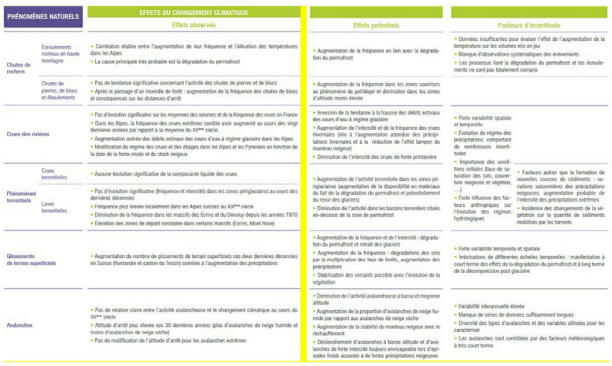
Les **changements climatiques**, et en particulier l'accroissement projeté de la fréquence des sècheresses, sont susceptibles d'augmenter les **risques d'incendie** affectant les forêts subalpines, en particulier dans un contexte de fermeture du paysage du fait de la **déprise agricole** (Blarquez & Carcaillet 2010) et d'une augmentation de la **pression touristique**. Les principales conséquences des feux sur les écosystèmes incluent une **perte de matière organique du sol**, une **diminution de la capacité d'infiltration** des eaux et une **augmentation des taux d'érosion** des sols, cette dernière s'exprimant de manière décroissante sur des pas de temps allant de quelques années à plusieurs décennies (Cerda & Lasenta 2005, Smith & Dragovitch 2008). Par ailleurs, des boucles de rétroaction positives entre **augmentation des températures, occurrence d'incendies et présence d'espèces ligneuses** ont été mises en évidence dans les milieux alpins, les sols laissés nus par les incendies semblant plus rapidement recolonisés par des arbustes que par les espèces herbacées qui les précédaient (Camac et al. 2017). Ces modifications des propriétés édaphiques et de composition de végétation font en cascade évoluer le bouquet des services écosystémiques fournis par la haute montagne. Plus généralement, la recrudescence des incendies abaisse la limite altitudinale de la couverture arborée et arbustive des milieux et augmente leur mise

à nu, ce qui favorise le déclenchement de **phénomènes avalancheux** à court terme (Germain et al. 2005, Bebi et al. 2009).

Les successions végétales qui s'installent suite à un incendie dépendent de la banque de graine enfouie dans les sols ainsi que des propagules présentes dans la couche organique du sol. Les incendies induisent en général une augmentation dans l'abondance des espèces vasculaires pionnières, notamment arbustives dans le subalpin (Girard et al. 2017). Une étude menée sur des charbons de bois et des restes végétaux contenus dans les sédiments de petits lacs subalpins des Alpes externes en France et en Italie (Blarquez & Carcaillet 2010) souligne l'influence de la fréquence de retour des incendies **sur la composition des forêts subalpines** (Erreur : source de la référence non trouvée). Suite à un incendie, une abondance d'espèces opportunistes comme les bouleaux puis les landes à éricacées (myrtilles, airelles, etc.) est observée. Plus de 75 ans après le feu, apparaissent des sous-bois dominés par des herbes. Au-delà de 100 ans, le mélèze est abondant ; il a un comportement neutre sur le risque de déclenchement d'incendie. Enfin, au bout de 150 ans, le pin cembro ne semble toujours pas aussi abondant qu'avant l'incendie. Or cette essence est l'espèce dominante de l'écosystème subalpin mature. C'est également elle qui sert de **combustible** aux incendies. Ces résultats soulignent que les écosystèmes dominés par le pin cembro, **fortement emblématiques**, risquent de disparaître si des feux se déclarent dans des intervalles inférieurs à 150 ans. La **présence d'habitats d'intérêt communautaire** apparait donc vulnérable au risque d'incendie en haute montagne.

Figure 19 : Forêt subalpine mixte à pin cembro et mélèze ayant brulé trois fois au cours des 200 dernières années et dont le sous-bois est dominé par les airelles et les herbes. Alpes externes.
Crédit photo et légende : O. Blarquez (Blarquez & Carcaillet 2010)

Tableau 1
Tendances renseignées sur l'évolution des risques naturels en montagne.
Source : UICN France 2015.



PHÉNOMÈNES NATURELS	EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE		
	Effets observés	Effets potentiels	Facteurs d'incertitude
Chutes de rochers	Corrélation établie entre l'augmentation de leur fréquence et l'élévation des températures dans les Alpes La cause principale très probable est la dégradation du permafrost	Augmentation de la fréquence en lien avec la dégradation du permafrost	Données insuffisantes pour évaluer l'effet de l'augmentation de la température sur les volumes mis en jeu Manque d'observations systématiques des événements Les processus liant la dégradation du permafrost et les écroulements ne sont pas totalement compris
Écroulements rocheux en haute montagne			
Chutes de pierres, de blocs et éboulements	Pas de tendance significative concernant l'activité des chutes de pierres et de blocs Après le passage d'un incendie de forêt : augmentation de la fréquence des chutes de blocs et conséquences sur les distances d'arrêt	Augmentation de la fréquence dans les zones soumises au phénomène de gel/dégel et diminution dans les zones d'altitude moins élevée	
Crues des rivières	Pas d'évolution significative sur les moyennes des volumes et de la fréquence des crues en France Dans les Alpes, la fréquence des crues extrêmes semble avoir augmenté au cours des vingt dernières années par rapport à la moyenne du XX*** siècle Augmentation avérée des débits estivaux des cours d'eau à régime glaciaire dans les Alpes Modification du régime des crues et des étiages dans les Alpes et les Pyrénées en fonction de la date de la fonte nivale et du stock neigeux	Inversion de la tendance à la hausse des débits estivaux des cours d'eau à régime glaciaire Augmentation de l'intensité et de la fréquence des crues hivernales (liée à l'augmentation attendue des précipitations hivernales et à la réduction de l'effet tampon du manteau neigeux) Diminution de l'intensité des crues de fonte printanière	Forte variabilité spatiale et temporelle Évolution du régime des précipitations comportant de nombreuses incertitudes Importance des conditions initiales (taux de saturation des sols, couverture neigeuse et végétale, ...) Forte influence des facteurs anthropiques sur l'évolution des régimes hydrologiques Facteurs autres que la formation de nouvelles sources de sédiments : variations saisonnières des précipitations neigeuses, augmentation probable de l'intensité des précipitations extrêmes Incidence des changements de la végétation sur la quantité de sédiments mobilisés par les torrents
Crues torrentielles	Aucune évolution significative de la composante liquide des crues		
Phénomènes torrentiels	Pas d'évolution significative (fréquence et intensité) dans les zones périglaciaires au cours des dernières décennies	Augmentation de l'activité torrentielle dans les zones périglaciaires (augmentation de la disponibilité en matériaux du fait de la dégradation du permafrost et potentiellement du recul des glaciers) Diminution de l'activité dans les bassins torrentiels situés en dessous de la zone de permafrost	
Laves torrentielles	Fréquence plus élevée localement dans les Alpes suisses au XX*** siècle Diminution de la fréquence dans les massifs des Écrins et du Dévoluy depuis les années 1970 Élévation des zones de départ constatée dans certains massifs (Écrins, Mont Rose)		
Glissements de terrain superficiels	Augmentation du nombre de glissements de terrain superficiels ces deux dernières décennies en Suisse (Romandie et canton du Tessin) corrélée à l'augmentation des précipitations	Augmentation de la fréquence et de l'intensité : dégradation du permafrost et retrait des glaciers Augmentation de la fréquence : dégradations des sols par la multiplication des feux de forêts, augmentation des précipitations Stabilisation des versants possible avec l'évolution de la végétation	Forte variabilité temporelle et spatiale Interactions de différentes échelles temporelles : manifestation à court terme des effets de la dégradation du permafrost et à long terme de la décompression post glaciaire
Avalanches	Pas de relation claire entre l'activité avalancheuse et le changement climatique au cours du XX*** siècle Altitude d'arrêt plus élevée ces 30 dernières années (plus d'avalanches de neige humide et moins d'avalanches de neige sèche) Pas de modification de l'altitude d'arrêt pour les avalanches extrêmes	Diminution de l'activité avalancheuse à basse et moyenne altitude Augmentation de la proportion d'avalanches de neige humide par rapport aux avalanches de neige sèche Augmentation de la stabilité du manteau neigeux avec le réchauffement Déclenchement d'avalanches à basse altitude et d'avalanches de forte intensité toujours envisageable lors d'épisodes froids accomplis à de fortes précipitations neigeuses	Variabilité interannuelle élevée Manque de séries de données suffisamment longues Diversité des types d'avalanches et des variables utilisées pour les caractériser Les avalanches sont contrôlées par des facteurs météorologiques à très court terme

4. – Fragmentation et destruction des habitats naturels

La haute montagne métropolitaine est caractérisée par un bon état général de ses milieux (voir sections précédentes) mais ce constat global ne doit pas masquer les pressions qui peuvent s'y exercer.

En particulier, les **aménagements** réalisés en haute montagne pour faciliter la circulation (routes, tunnels…) et les **activités humaines**, notamment récréatives, occasionnent des destructions de milieu, souvent très localisées. Les **milieux humides**, souvent situés sur des espaces relativement plats et donc favorables

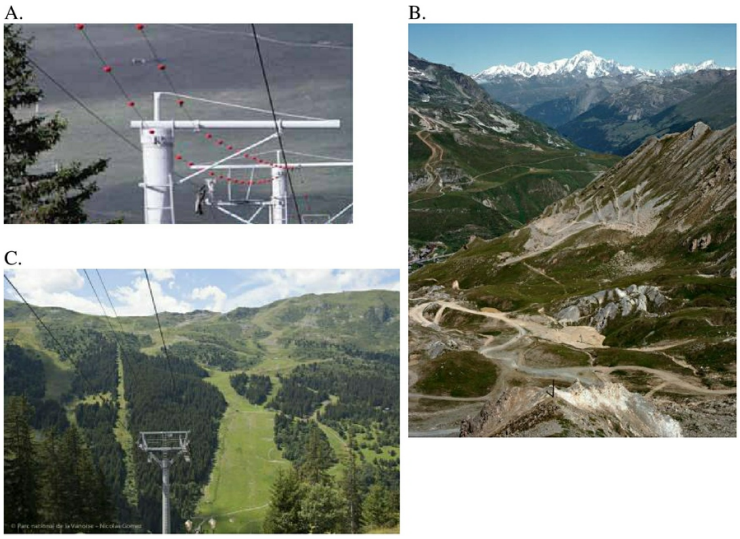
aux infrastructures humaines, subissent en particulier les impacts des aménagements autour des villages de montagne et des domaines skiables. **L'artificialisation** empêche la fourniture de nombreux services écosystémiques car elle détruit les ressources et habitats qu'ils abritent, limite leur capacité d'infiltration de l'eau ou encore génère une érosion des sols accrue ou une turbidité des eaux momentanément augmentée.

Les **changements d'utilisation des terres** ont une influence majeure sur la fragmentation des habitats. Ainsi, les activités pastorales et touristiques **ouvrent les paysages** en transformant des surfaces forestières en milieux ouverts. A l'inverse, les milieux maintenus ouverts par le pastoralisme au fil des siècles peuvent se voir fragmenter par **embroussaillement** suite à l'abandon de pratiques pastorales, ce qui modifie les conditions de vie des cortèges d'espèces associés. De manière générale, cette fragmentation est le témoin des activités humaines et est à l'origine du caractère mosaïqué des paysages, dont l'esthétique est généralement jugée positivement en montagne (Schirpke et al. 2013). Mais la fragmentation, en témoignant de l'empreinte humaine dans les paysages, peut diminuer auprès de certains publics l'idée de naturalité associée à la montagne, notamment à très haute altitude. Le **caractère culturel** des paysages de haute montagne est ainsi souligné (voir Partie III – Esthétique du paysage).

Les **aménagements** ont également un impact sur la fragmentation des milieux et sur le maintien des **corridors écologiques** associés. Ainsi, la présence de câbles aériens, qu'ils soient associés aux remontées mécaniques des domaines skiables ou aux lignes électriques, peuvent constituer des obstacles dans le paysage pour certaines espèces comme les rapaces ou les galliformes de montagne. Des aménagements spécifiques, par exemple des signalements physiques permettant un avertissement visuel du danger, peuvent être mis en place pour favoriser la circulation des espèces. Par ailleurs, les **infrastructures hydrauliques** comme les barrages fragmentent les milieux naturels aquatiques, segmentent les habitats de nombreuses espèces et limitent la libre circulation sédimentaire.

La **règlementation** apparaît comme un vecteur fort de contrôle sur la fragmentation et la destruction des habitats. Ainsi, les documents de **planification territoriale** (SCOT, PLU…), le principe d'extension de l'urbanisation en continuité (**Loi Montagne**) ou encore de nombreuses **lois environnementales** (séquence Eviter-Réduire-Compenser etc.) contraignent le type d'usage des terres et les aménagements réalisables en haute montagne.

Figure 20 :
A. Flotteurs de signalisation des câbles pour l'avifaune de montagne en station de ski. Crédit photo : ONCFS.
B. Destruction localisée des milieux ouverts d'altitude du fait des activités touristiques (pistes de ski et de VTT). Sur un substrat de gypse, l'érosion des sols est très rapide et difficile à contenir. Crédit photo : Parc national de la Vanoise — Beatrix Von Conta.
C. Impacts des activités humaines sur les paysages par fragmentation des espaces forestiers. Crédit photo : Parc national de la Vanoise - Nicolas Gomez.



5. – Impacts des pratiques agricoles

Les activités agricoles, notamment pastorales, influent la composition et la diversité spécifique des milieux de haute montagne. L'objet de cette section n'est pas de faire un état des lieux des pratiques et spécificités de l'agriculture de montagne (parmi les nombreuses synthèses disponibles, voir par exemple le dossier AGRESTE 2015 : *L'agriculture en montagne, Evolutions 1988-2010 d'après les recensements agricoles*). Cette section vise à mettre en évidence les **influences** que l'activité agricole peut exercer sur les écosystèmes de haute montagne et discute les **impacts des tendances d'évolution** des activités agricoles.

Le **pâturage** et la fauche exercent une forte influence sur les milieux naturels. A faible altitude, l'abroutissement peut maintenir les milieux ouverts dans une zone climacique forestière, entraînant une **modification profonde des paysages**. A l'étage alpin, le pâturage ne modifie pas la physionomie des paysages mais conditionne la **composition floristique** des pelouses : les modalités de gestion

du chargement animal dans le temps et l'espace conditionnent profondément les communautés végétales implantées. A ce titre, les activités agricoles sont considérées comme un facteur prépondérant de la **création et du maintien des paysages culturels** de la haute montagne et d'une partie de la biodiversité associée. L'Encadré 1, extrait d'un document réalisé par Parcs Nationaux de France en 2012, illustre les effets différenciés de la **pression de pâturage** sur les écosystèmes.

Encadré 1

Influence des modalités de pastoralisme sur la composition et la dynamique des milieux ouverts de haute altitude. Texte et illustrations directement extraits de : PNF 2012

Les nardaies : emblèmes des estives Pyrénéennes (Parc National des Pyrénées)

Les nardaies des Pyrénées représentent un ensemble de pelouses rases, denses, aux types très diversifiés, plus ou moins marqué par la présence du Nard raide. Ces pelouses se rencontrent principalement de l'étage montagnard à l'étage alpin dans des contextes écologiques variés oscillant entre les substrats calcaires ou acides, en situations humides ou sèches. Elles constituent la composante paysagère majeure et emblématique de l'étage subalpin. Le retrait tardif du manteau neigeux - dans le courant du mois de juin – laisse s'exprimer une flore discrète relativement appétente lorsque le nard ne domine pas. On y trouve la Fétuque rouge, le Trèfle alpin, la Benoîte des montagnes, le Liondent des Pyrénées, … souvent associées au Genévrier ainsi qu'au Rhododendron ferrugineux. Ces milieux constituent des parcours ovins et bovins séculaires inscrits dans une longue tradition pastorale. La nature de la gestion appliquée à ces pelouses détermine leur devenir ainsi que leur valeur fourragère. Le sous pâturage ou l'abandon favorisent la reprise des dynamiques naturelles et conduisent vers des milieux plus fermés de types landes. A contrario, le Nard raide étant peu appétant, un pâturage intensif mais lâche conduit à une extension de cette espèce au détriment des autres espèces. Un chargement important mais de courte durée est préconisé pour maintenir des nardaies qui allient diversité et valeur fourragère. Sur les estives, ces nardaies sont mélangées avec des zones de landes, des lacs et des tourbières. Cette mosaïque de milieux naturels permet d'offrir un éventail large de conditions de vie à la faune et à la flore de montagne.

Nardaie avec ovins, cirque de Troumouse ©Jean-Guillaume Thiebault - Parc national des Pyrénées

Les pelouses de mode nival (Parc National des Ecrins)

Des pelouses rases, dites nivales, enneigées 8 mois de l'année se développent à l'étage alpin. Elles fournissent une partie des ressources fourragères des quartiers d'août. Dans les combes à neige, les pelouses sont dominées par le Saule herbacé, l'Alchemille à 5 folioles, la Laiche fétide et le Gnaphale couché. Les fonds de vallon sont couverts par le Plantain alpin, la Fétuque violette, la Fléole alpine, le Vulpin gérard et le Trèfle thal… Les « plateaux » qui présentent un microrelief issu de phénomènes périglaciaires (les thüfurs ou buttes

gazonnées), hébergent des espèces de rochers comme la Fétuque de Haller et l'Agrostide des rochers. Le surpâturage élimine les fabacées (Trèfle, Lotier…) et provoque la mise à nu des racines et des phénomènes d'érosion. La diminution de la pression pastorale favorise des espèces non pastorales comme l'Alchemille (espèce refusée) et le Nard raide (peu appétante).

Pelouse alpine
© Jean-Pierre Nicollet - Parc national des Ecrins

Le **surpâturage** correspond au fait de plus de bêtes sur un pâturage que le milieu ne peut en supporter sans dommages, dépendant du nombre de bêtes en pâture mais également des dates et modes d'estives. Peu de sources ont pu être mobilisées pour caractériser avec précision l'ampleur et les impacts du surpâturage sur la haute montagne métropolitaine, nous soulignons les **lacunes de connaissances** associées. De manière générale, les impacts locaux du surpâturage s'exercent sur la composition du couvert végétal, qui s'enrichit en **espèces peu appétentes** (voir par exemple Encadré 1 ci-dessus), et sur la qualité structurelle des sols soumis à un piétinement intensif et à une mise à nu accrue. Les conséquences de ces modifications, par exemple sur **l'entomofaune floricole**, seraient à explorer de manière plus fouillée. A l'échelle du bassin versant, les espaces soumis au surpâturage présenteraient une **moindre capacité de contrôle de l'érosion** des sols et une **plus forte vulnérabilité aux évènements torrentiels** (Evin 2005).

En relation avec les impacts précédemment décrits sur les communautés végétales, les modalités de conduite pastorale influent sur la biodiversité animale des milieux ouverts d'altitude. Ainsi, il a été montré dans le Parc national des Alpes maritimes en Italie que les assemblages locaux d'espèces de bousiers (Coleoptera,

Scarabaeidae) dépendent de l'intensité du pâturage exercé sur les prairies. Ces insectes coprophages contribuent à différents processus et services écosystémiques, en particulier le **contrôle biologique** de différentes espèces de mouches et moucherons ainsi que de parasites entériques du bétail (Nichols et al. 2008) et le maintien de la **fertilité des sols**, dont la fourniture dépend donc de la pression pastorale et de son évolution temporelle. Le surpâturage, en favorisant une seule espèce de bousier au détriment de la diversité d'espèces rencontrée dans des contextes plus extensifs, apparaît ainsi défavorable au maintien de ces services écosystémiques (Negro et al. 2011). Les influences négatives du surpâturage sont également connues pour différentes espèces d'arthropodes, dont de nombreux **pollinisateurs** (papillons, diptères…) (voir par exemple le diagnostic des populations de syrphes des pelouses et landes subalpines en Haute-Savoie proposé par Speight & Castella 2005). Des suivis de l'entomofaune dans des contextes agro-environnementaux variés et en situation contrôlée (exclos) apporteraient des informations précieuses pour la compréhension des impacts de la pression de pâturage sur la biodiversité et les processus écosystémiques associés. Ces connaissances paraissent d'autant plus importantes à renforcer étant donné le rôle de **refuge** que peuvent constituer les milieux de haute montagne pour l'alimentation ou la reproduction de certains insectes floricoles, du fait de la phénologie retardée de la flore d'altitude. Certaines espèces de syrphe présentent ainsi des **capacités de migration** significatives à l'échelle du paysage (Speight & Castella 2005) et contribuent par ailleurs au contrôle biologique des ravageurs des cultures. L'intensité des pratiques pastorales en haute montagne peut donc avoir des **répercussions sur les services écosystémiques à distance**, par exemple sur ceux des zones cultivées de vallée.

Les **pratiques vétérinaires** sur les troupeaux présents en haute montagne ont des répercussions sur différents maillons de la chaîne trophique, au travers notamment des résidus des traitements antiparasitaires et des antibiotiques appliqués aux animaux. Ainsi, la présence d'ivermectine, une molécule antiparasitaire, dans les déjections du bétail peut inhiber le développement des larves de bousiers et à terme induire le déclin des populations de ces **insectes coprophages** aux rôles écologiques importants (Errouissi & Lumaret 2010). Les **charognards**, tels que les oiseaux nécrophages, sont quant à eux exposés aux résidus présents dans les carcasses des animaux. Par exemple, bien que résistants à de nombreux pathogènes, les vautours sont très sensibles à certaines molécules xénobiotiques présentes sur les carcasses, antibiotiques ou produits d'euthanasie (Joncour et al. 2010).

Les intoxications peuvent entraîner la mort du charognard ou des troubles comportementaux sévères. Au-delà des atteintes à la biodiversité et à certaines **espèces d'importance culturelle forte** (ex. : gypaète barbu), la gestion des traitements sanitaires du bétail en estive et des carcasses le cas échéant conditionne le maintien du rôle d'**équarrissage naturel** fourni par les charognards.

Différentes **mutations conjoncturelles** font évoluer les activités agricoles en montagne. Les principales sont rappelées ci-après, sur la base de l'analyse proposée par Garde et al. 2014 pour les Alpes du Sud mais dont les déterminants apparaissent transposables à la haute montagne métropolitaine de manière plus générale.

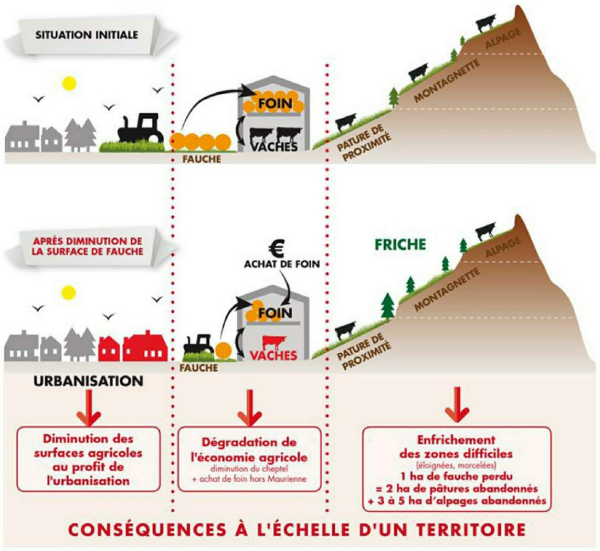
- La difficulté à **valoriser les productions agricoles**, bien que les **signes officiels de qualité** soient un gage de valeur ajoutée pour de nombreux produits agricoles liés à la haute montagne (Lamarque & Lambin 2015, Schermer et al. 2015), de même que l'attribution de marques de territoire (parcs nationaux et parcs naturels régionaux) (voir Partie III).
- Le recours à **l'autosuffisance fourragère**, pour limiter la dépendance économique aux intrants.
- L'évolution des **demandes sociétales**, avec une montée constatée de la demande en produits locaux et une exigence de qualité renforcée.
- La mobilisation du pâturage pour **répondre à des enjeux de biodiversité**, qui se traduit par exemple par une contractualisation élevée de mesures agro-environnementales et par des adaptations de pratiques.
- Le **changement climatique,** qui induit des effets contrastés :
  - De manière ponctuelle, la multiplication des accidents climatiques va solliciter toute la **capacité d'adaptation** des systèmes pastoraux. Elle peut se traduire par un **dimensionnement des surfaces pastorales** par référence aux années les moins favorables ou encore par la **mobilisation d'une grande diversité de formations végétales :** prairies permanentes, pelouses sur sols superficiels, landes, sous-bois… (Nettier et al. 2010).
  - De manière tendancielle, l'allongement des saisons de végétation devrait permettre un **temps de pâturage plus long** et donc une économie sur l'alimentation en bergerie. Les étés annoncés plus longs et chauds pourraient favoriser le développement du **sylvopastoralisme** et le recours aux parcours boisés.

- Le retour des **grands prédateurs** (loups, ours) induit une pression de prédation qui affecte les modalités de conduite pastorale. Les Alpes du Sud concentrent ainsi 70 à 80 % des effectifs de loups et des dégâts associés sur les troupeaux au niveau national (Garde et al. 2014). Dans les Pyrénées, la présence de **bergers** et de **chiens patous** sur les estives progresse largement sur la dernière décennie, en lien direct avec la pression de prédation notamment de l'ours et des chiens errants, et sous l'influence des aides apportées par le Plan de Soutien à l'Economie Montagnarde (Bozzolo 2012). Une grande variabilité est constatée dans les modes de gardiennage des troupeaux. Le rassemblement des troupeaux dans des **parcs de nuit** est un des aménagements proposés face à la prédation. Cette mesure concentre les animaux localement de manière répétée et modifie les parcours envisageables pour le pâturage en journée. La **modification des patrons de pâturage** entraîne des changements en termes de quantités d'azote restituées localement ainsi que de composition végétale des milieux d'altitude. La gestion du retour des grands prédateurs demeure à ce stade une question ouverte marquée par des **prises de position très fermes et contrastées** de la part des différents acteurs en présence dans un contexte de forte tension. Mené au niveau national, le Plan Loup 2013-2017 vise à mettre en place une gestion différenciée de l'espèce et des activités agricoles qui soit adaptée aux différents systèmes d'exploitation et à la pression de prédation. Les modalités d'adaptation des pratiques agricoles y sont discutées (mesures de protection, indemnisation) ainsi que les conditions des tirs d'effarouchement, des tirs de défense et des prélèvements. En 2017, la Stratégie Pyrénéenne de Valorisation de la Biodiversité développe actuellement des propositions pour son volet Ours Brun, notamment dans le cadre de l'accompagnement des activités pastorales en territoire de présence d'ours. Ces négociations complexes ont pour objectifs d'aboutir à la mise en œuvre de plans d'action efficaces et acceptables vis-à-vis des enjeux économiques et écologiques, notamment, portés par les différentes parties prenantes.

L'ensemble des contraintes exercées sur les activités agricoles entraîne une **déprise** aux caractéristiques spatiales hétérogènes. Dans les Alpes du Sud, l'abandon est paradoxalement moindre en haute qu'en moyenne montagne (Hinojosa et al. 2016). En particulier, les espaces pastoraux occupés par des **troupeaux transhumants** ou situés dans des espaces à **statut de protection** (ex. parc national) feraient preuve d'une plus grande persistance. Cette tendance a aussi été mise en relation avec

des éléments tels que la proximité aux grandes agglomérations (qui favorise la déprise en moyenne montagne de la région PACA) ou des facteurs sociaux (attachement familial, choix de vie) (Hinojosa et al. 2016). Dans les Alpes du Nord, le risque d'abandon concerne des espaces particulièrement riches en biodiversité, comme les prairies sèches ou les prairies d'altitude au-delà de 1700 mètres, avec comme déterminants principaux les **fortes pentes** ou encore le **manque d'accessibilité** (Masson et al. 2000). De manière générale, **l'urbanisation et les projets d'infrastructures** à basse et moyenne altitude conduisent à la perte de 78 000 hectares agricoles par an en France en moyenne entre 2006 et 2010, ce qui équivaut en surface à la perte d'un département tous les quatre ans (enquête Teruti-Lucas du Ministère de l'agriculture). Entre 2000 et 2010, les territoires de montagne sur le massif des Alpes ont perdu 22000 ha de surfaces agricoles, hors surfaces toujours en herbe peu productives, soit une baisse de 5 % sur ces territoires, contre une baisse de 3 % à l'échelle nationale (Suaci Montagn'Alpes et al. 2017). La pression foncière en vallée menace donc indirectement l'entretien des espaces pastoraux de haute montagne, car le **dimensionnement des troupeaux** se raisonne sur un cycle annuel qui dépend, entre autres, de la quantité de fourrage qui peut être produite et stockée en vallée pour la période hivernale. Ainsi, dans le massif de Belledonne (Alpes du Nord), il a été estimé que 1,5 hectares sont nécessaires pour assurer l'alimentation annuelle d'une vache ou de six brebis. Compte tenu de la morphologie du territoire, du climat et du rendement fourrager moyen des parcelles, 45 % de ces surfaces doivent permettre d'assurer la pâture des animaux en été (alpages, terrains en pente) et 55 % de ces surfaces doivent être mécanisables pour permettre la récolte de foin nécessaire à l'alimentation hivernale du troupeau (Adabel). **La perte d'espaces mécanisables en vallée fait donc courir aux espaces exclusivement pâturés un fort risque d'abandon et d'embroussaillement** (Figure 21).

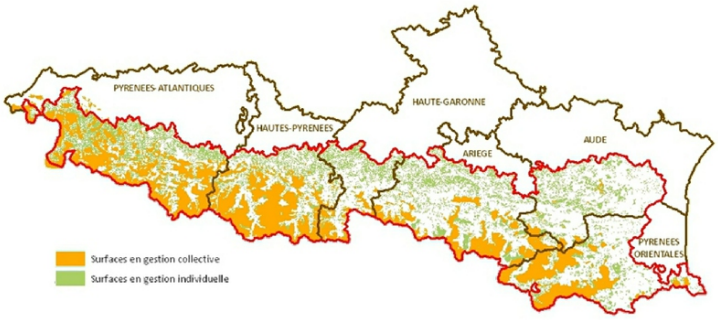
Figure 21 : La diminution des surfaces de fauche en vallée impacte la taille des cheptels et le chargement des alpages. Crédit figure : Suaci Montagn'Alpes et al. 2017



En termes de gouvernance des milieux, une part élevée des espaces pâturés de haute montagne (estives) est gérée collectivement (Figure 22). La loi pastorale de 1972 a entraîné une modernisation des structures en charge de la gestion de ces espaces (PNF 2012) :

- les **Associations Foncières Pastorales** (AFP), destinées à regrouper les propriétaires et cadrer l'usage de leurs terres par des troupeaux, permettent souvent de faire face à un foncier très morcelé,
- les **Groupements Pastoraux** (GP) regroupent les éleveurs souhaitant pâturer une même zone et organiser le pâturage de façon collective,
- les **Conventions Pluriannuelles de Pâturage** (CPP) mettent à disposition un fond pour le pâturage sous une forme allégée par rapport au bail rural et prévoient les aménagements nécessaires.

Figure 22 : Surfaces en gestion collective ou individuelle sur le massif pyrénéen (délimité en rouge) : sur les 915 000 ha de surface agricole utile recensés, la moitié est gérée collectivement (estives).
Source : RPG - ACAP Pyrénées Les chiffres clés de l'agriculture.
http://www.agriculturepyrenees.fr/l-agriculture-pyreneenne/chiffres-cles



La Politique Agricole Commune affecte le montant des primes perçues par les éleveurs en montagne, à titre collectif et individuel, et donc la viabilité de leur système d'exploitation. Ces aides peuvent représenter une part importante, voire majoritaire, du produit brut d'exploitation (exemple de certaines exploitations en ovin-viande dans les Pyrénées, Bozzolo 2012). Il s'agit notamment des **indemnités compensatoires de handicaps naturels** (ICHN) et des **mesures agro-environnementales et climatiques** (MAEC) attribuables aux estives (ex. mesure entités collectives pastorales). Par exemple, de nombreuses surfaces en herbe d'altitude sont contractualisées en utilisant l'engagement unitaire « herbe-09 gestion pastorale ». Cet engagement a pour but de favoriser l'adaptation des conditions de pâturage à la spécificité des milieux, sur la base d'un **diagnostic croisé entre les enjeux environnementaux présents sur l'alpage et le fonctionnement pastoral**. Les enjeux environnementaux sont définis vis-à-vis des milieux (zones humides, habitats sensibles à l'érosion…) et des espèces (tétras-lyre, lagopède alpin, perdrix bartavelle, bouquetin des Alpes, chamois, chardon bleu…). Pour répondre aux objectifs de maintien des milieux, les mesures mises en place par les éleveurs peuvent inclure, entre autres, des reports de pâturage dans le temps, des ouvertures de zones embroussaillées ou à l'inverse des mises en défens ou des limitations de pâturage sur des milieux fragiles ou sensibles à l'érosion (PNF 2012). Les évolutions dans les conditions d'attribution et dans les montants des aides européennes sont un des leviers d'influence majeur sur les activités agricoles de montagne et donc sur les écosystèmes associés. Par exemple,

des inquiétudes persistent quant à la prise en compte des parcours embroussaillés en tant que **surfaces agricoles primables** ou encore relativement aux modalités futures d'accès aux aides pour les **groupements collectifs** (Garde et al. 2014).

6. – Pratiques récréatives de haute montagne

1) – Principales conséquences environnementales de l'attractivité touristique

La France compte plus de 6000 communes en zone de montagne, sur un périmètre plus large que celui de la haute montagne tel que défini selon l'EFESE. Plus de la moitié d'entre elles est caractérisée par une **haute fonction touristique**, c'est-à-dire que ces communes présentent une attractivité touristique susceptible de doubler au moins leur population (Figure 23, Gauche 2017). L'intensité touristique, particulièrement marquée dans les **Alpes** (Figure 24), est à mettre en relation avec une hétérogénéité temporelle forte de la densité de population, la fréquentation touristique étant concentrée sur quelques semaines par an.

Figure 23 : Taux de fonction touristique en 2016. Les communes concernées par la haute montagne présentent fréquemment une fonction touristique marquée.
Crédit figure : Gauche 2017 (carte 1)
Sources : Insee, DGE, fichiers capacité d'hébergements touristiques, 2016 ; Insee, recensement de la population 2012 (résidences secondaires).
Traitements : SOeS, 2016 Figure 23 : classe 1 = < 50 lits touristiques pour 100 habitants / classe 5 = > 1000 lits touristiques pour 100 habitants.
Crédit figure : Gauche 2017

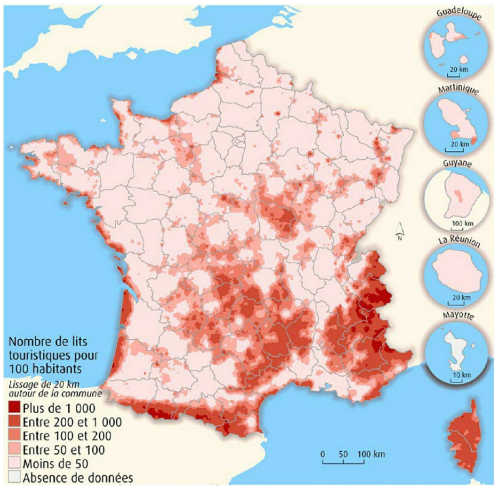
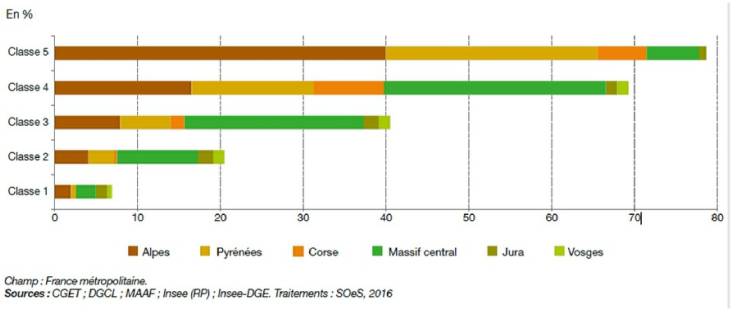


Figure 24 : Répartition des communes en zones de montagne, par massif, selon leur taux de fonction touristique. Les classes réfèrent aux catégories mentionnées



D'après les statistiques ministérielles (Gauche 2017), les communes à forte attractivité touristique, dont notamment font partie celles couvrant le périmètre de la haute montagne, **surreprésentent les milieux naturels et les milieux protégés** par rapport à la moyenne nationale. Elles connaissent pourtant une **artificialisation des sols** en progression à un rythme proche de la moyenne nationale, comprise entre

+2 et +2.6 % de sols artificialisés sur six ans depuis l'an 2000. La fragmentation induite par cette artificialisation, dont une partie a vocation à fournir des résidences secondaires d'agrément, fragilise les fonctions et services écosystémiques des milieux d'altitude. Par ailleurs, l'attractivité touristique s'accompagne d'un accroissement dans la **consommation d'eau potable** par habitant. Les volumes prélevés dans les communes où l'intensité touristique est supérieure à 1 000 lits pour 100 habitants (classe 5) sont ainsi trois fois supérieurs à la moyenne nationale (265 m^3/ habitant versus 85 m^3/habitant).

De manière générale, la concentration touristique dans le temps et l'espace engendre des pressions environnementales de deux ordres (Gauche 2017) :

- des **pressions sur la disponibilité et/ou la qualité des ressources** (eau, énergie) et sur les milieux naturels (artificialisation des sols dimensionnée en fonction du pic de fréquentation touristique ; forte fréquentation de sites fragiles, en particulier dans les espaces protégés) ;
- des **pressions sur la gestion de l'environnement par les collectivités touristiques**, les variations de population nécessitant souvent un surdimensionnement des services en période saisonnière (accroissement de la quantité de déchets et du volume d'eaux usées).

Ces pressions s'exercent de manière **locale** sur les écosystèmes impactés par les activités humaines et les infrastructures associées. En particulier, le **piétinement de la végétation** et l'érosion des sols qui peut en résulter (par exemple, par sur fréquentation des sentiers de randonnée ou de VTT), le **dérangement de la faune** (notamment par les pratiques hors-pistes, mais également sur itinéraires balisés, par exemple en escalade) et les **pollutions accrues** liées à la présence humaine font partie des principales conséquences de l'attractivité touristique et récréative sur les milieux naturels (Mounet 2007). Ces pressions en haute montagne peuvent également avoir des impacts **à distance** (flux hydrologiques, sédimentaires, de pollution…).

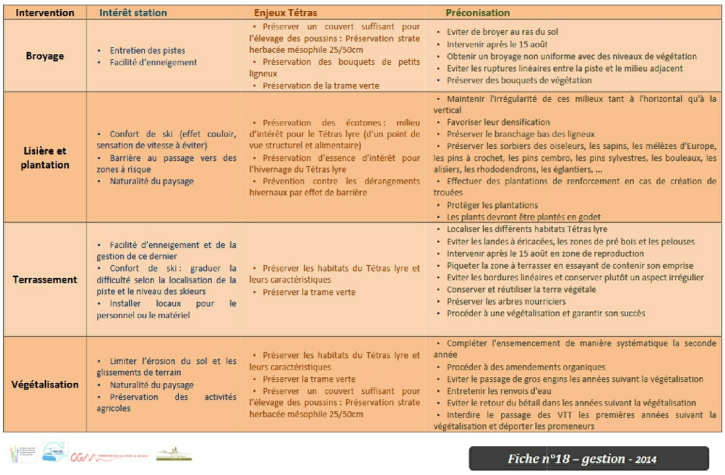
2) – Pressions engendrées par les domaines skiables

En milieux de haute montagne, de nombreuses pressions sont liées à la présence de domaines skiables. Ces domaines sont constitués d'une **partie urbanisée**, avec logements et commerces, et d'une **partie artificialisée** contenant les infrastructures de loisir (pistes de ski et remontées mécaniques essentiellement). A l'échelle

nationale, 250 stations de ski réparties sur six massifs ont vendu pour l'hiver 2015/2016 l'équivalent de 52 millions de journées-skieur à 10 millions de touristes (DSF 2016). En plus de l'empreinte des pistes de ski en tant que telles, ces stations mobilisent plus de 3 300 installations de remontées mécaniques qui couvrent près de **3 000 km de longueur développée cumulée** (données 2012 – Domaines Skiables de France).

Ces domaines skiables se déploient sur des milieux fragiles : l'impact des travaux d'aménagement ainsi que de la fréquentation concentrée des pratiquants et touristes peuvent détériorer de manière durable les milieux de haute montagne (Roux-Fouillet et al. 2011). La construction des pistes perturbe fortement le **sol** et entraine fréquemment la destruction du **couvert végétal** sur la surface des pistes nouvellement créées ou reprises (aplanissement pour enneigement artificiel par exemple). Il en va de même le long des pistes de ski pour l'installation et le renouvellement des câbles nécessaires au réseau d'enneigeurs et autres installations électriques. Depuis les années 1990, des techniques de conservation de la terre végétale sont souvent mises en œuvre avant terrassement lorsque le site s'y prête, mais la structure du sol s'en trouve malgré tout modifiée. Dans beaucoup de stations, la **revégétalisation** des pistes de ski se fait en utilisant des **mélanges d'espèces standardisés** et rarement de semences locales (Malaval et al. 2015). Toutefois, des réseaux de semences locales issues de collectes en montagne se structurent (voir par exemple la marque collective pyrénéenne « Pyrégraine de nèou », créée en 2010 – Granjou et al. 2010, Malaval et al. 2015). Ces réseaux fournissent aux aménageurs des semences **adaptées aux conditions écologiques** de l'altitude, **capables de s'implanter** durablement et de réaliser un **cycle de végétation** complet, contrairement aux espèces des mélanges commerciaux classiques. L'utilisation de telles semences évite les risques de **compétition ou d'hybridation** avec la flore locale. Les **modalités de gestion du domaine skiable** conditionnent également la qualité des habitats qu'il abrite pour de nombreuses espèces animales (avec des possibilités de synergies, par exemple, vis-à-vis des enjeux Tétras Lyre, Figure 25).

Figure 25 : Extrait du « Guide d'Aménagement - Domaines Skiables et Tétras lyre » (GADT), édité en 2014 : Fiche 18 - Gestion des pistes – Préserver la qualité des habitats. Ce guide est le fruit de la collaboration entre les fédérations départementales des chasseurs des Alpes du Nord, l'Observatoire des Galliformes de Montagne, la DREAL-Rhône-Alpes et Domaines Skiables de France.
Crédit figure : GADT 2014, http://fcs.domaines-skiables.fr/index.htm

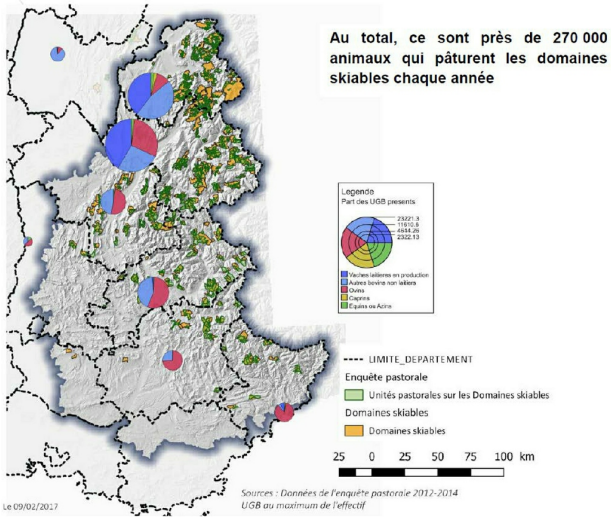


Intervention	Intérêt station	Enjeux Tétras	Préconisation
Broyage	• Entretien des pistes • Facilité d'enneigement	• Préserver un couvert suffisant pour l'élevage des poussins : Préservation strate herbacée mésophile 25/50cm • Préservation des bouquets de petits ligneux • Préservation de la trame verte	• Eviter de broyer au ras du sol • Intervenir après le 15 août • Obtenir un broyage non uniforme avec des niveaux de végétation • Eviter les ruptures linéaires entre la piste et le milieu adjacent • Préserver des bouquets de végétation
Lisière et plantation	• Confort de ski (effet couloir, sensation de vitesse à éviter) • Barrière au passage vers des zones à risque • Naturalité du paysage	• Préservation des écotones : milieu d'intérêt pour le Tétras lyre (d'un point de vue structurel et alimentaire) • Préservation d'essence d'intérêt pour l'hivernage du Tétras lyre • Prévention contre les dérangements hivernaux par effet de barrière	• Maintenir l'irrégularité de ces milieux tant à l'horizontal qu'à la vertical • Favoriser leur densification • Préserver le branchage bas des ligneux • Préserver les sorbiers des oiseleurs, les sapins, les mélèzes d'Europe, les pins à crochet, les pins cembro, les pins sylvestres, les bouleaux, les alisiers, les rhododendrons, les églantiers, ... • Effectuer des plantations de renforcement en cas de création de trouées • Protéger les plantations • Les plants devront être plantés en godet
Terrassement	• Facilité d'enneigement et de la gestion de ce dernier • Confort de ski : graduer la difficulté selon la localisation de la piste et le niveau des skieurs • Installer locaux pour le personnel ou le matériel	• Préserver les habitats du Tétras lyre et leurs caractéristiques • Préserver la trame verte	• Localiser les différents habitats Tétras lyre • Eviter les landes à éricacées, les zones de pré bois et les pelouses • Intervenir après le 15 août en zone de reproduction • Piqueter la zone à terrasser en essayant de contenir son emprise • Eviter les bordures linéaires et conserver plutôt un aspect irrégulier • Conserver et réutiliser la terre végétale • Préserver les arbres nourriciers • Procéder à une végétalisation et garantir son succès
Végétalisation	• Limiter l'érosion du sol et les glissements de terrain • Naturalité du paysage • Préservation des activités agricoles	• Préserver les habitats du Tétras lyre et leurs caractéristiques • Préserver la trame verte • Préserver un couvert suffisant pour l'élevage des poussins : Préservation strate herbacée mésophile 25/50cm	• Compléter l'ensemencement de manière systématique la seconde année • Procéder à des amendements organiques • Eviter le passage de gros engins les années suivant la végétalisation • Entretenir les remois d'eau • Eviter le retour du bétail dans les années suivant la végétalisation • Interdire le passage des VTT les premières années suivant la végétalisation et déporter les promeneurs

Fiche n°18 – gestion - 2014

Les domaines skiables présentent une proportion significative de **surfaces pastorales**. Ainsi, sur le massif des Alpes, 36 % de l'enveloppe spatiale des domaines fait l'objet d'un usage pastoral (Suaci Montagn'Alpes et al. 2017, Figure 26). Eleveurs et exploitants de domaines skiables cohabitent donc sur des espaces communs, et parfois sur les mêmes périodes également. Les modalités de gestion des activités pastorales et récréatives s'influencent mutuellement, positivement ou négativement. La biomasse fourragère consommée au sein du périmètre des domaines skiables constitue une **ressource attractive** en termes quantitatifs et qualitatifs pour le système agro-pastoral. En parallèle, l'entretien de la strate herbacée par le pastoralisme contribue au maintien de **l'ouverture des milieux**, nécessaire aux activités récréatives des domaines skiables. Mais une polarisation de la gestion vers l'une de ces activités peut déstabiliser la capacité du milieu à supporter les deux usages (par exemple, développement des aménagements skiables sur des milieux à forte valeur fourragère). Les **espaces de dialogue** entre leurs gestionnaires se développent pour favoriser la prise en compte des enjeux liés aux différents usages présents (Suaci Montagn'Alpes et al. 2017).

Figure 26 : Taille et composition des cheptels pâturant sur domaines skiables dans le massif des Alpes (enquête pastorale 2012/2014).
Crédit figure : Suaci Montagn'Alpes et al. 2017



Un nombre croissant de démarches environnementales est mis en œuvre par les stations de ski pour limiter les impacts environnementaux (Bourdeau 2008). Les enjeux d'action concernent par exemple i) les **transports individuels**, qui représentent 57 % des gaz à effet de serre émis par une station de montagne, ii) la gestion de **l'immobilier** et des lits froids, utilisés moins de quatre semaines par an mais consommateurs d'espace, iii) le développement des **énergies renouvelables** ou encore iv) la gestion des **ressources en eau** dans le temps et en fonction de différents usages (Bourdeau 2008, Mountain Riders 2014). Différentes **certifications** permettent aux stations de formaliser leur démarche environnementale, parmi lesquelles la norme ISO 14001, qui reconnaît le système de management environnemental de 51 domaines skiables en 2016 (DSF 2016), ou encore le Flocon Vert, proposé par l'association Mountain Riders pour souligner les engagements des acteurs publics et semi publics des stations pionnières de la transition écologique et sociale (http://www.flocon-vert.org/).

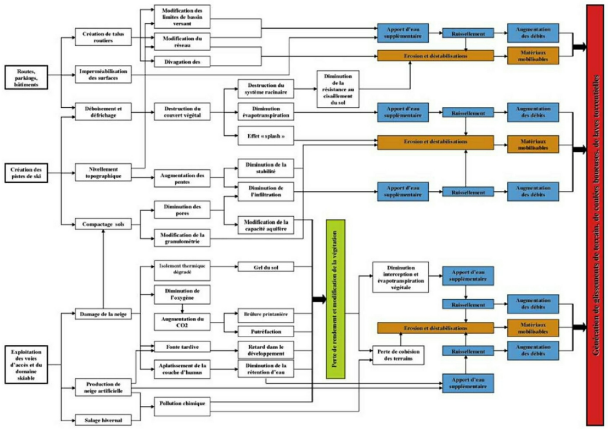
Les principales perturbations induites par les aménagements des domaines skiables sur les cycles hydrologiques peuvent être synthétisées comme suit (Kolscielny 2008 – voir également le zoom sur l'enneigement artificiel) :

- **Modification des propriétés du couvert végétal :** du fait des aménagements routiers, immobiliers et touristiques, le couvert végétal est fortement modifié par l'implantation d'un domaine skiable. Par exemple, dans la station des Arcs (Alpes),

en plus des parcelles boisées artificialisées, 31 % de la surface forestière d'altitude a été transformée en landes et pelouses sur les 26 premières années d'installation du domaine (Kolscielny 2008). La diminution de la part du couvert forestier dans le bassin versant modifie les conditions d'interception de l'eau par la canopée, le contrôle de l'érosion des sols ainsi que la capacité de stabilisation des terrains par les écosystèmes. Par ailleurs, le damage des pistes de ski diminue la vitalité des communautés végétales des milieux ouverts notamment par une plus forte exposition au gel, aux dommages mécaniques et aux maladies.

- **Modification des propriétés des formations superficielles des sols :** les engins nécessaires aux différents travaux sur le domaine skiable (terrassement, nivellement, damage) induisent par leurs passages répétés une compaction des couches superficielles des sols. Les sols, en fonction de leur nature, voient leur perméabilité diminuer, ce qui affecte les taux de ruissellement et d'infiltration et tend à favoriser les phénomènes érosifs et la formation de déblais mobilisables.
- **Imperméabilisation des surfaces en amont des zones sources :** la multiplication des surfaces imperméables ou compactées (routes, toitures, pistes de ski…) limite l'infiltration de l'eau, génère du ruissellement et modifie *in fine* les débits à l'exutoire. La répartition spatiale des surfaces aménagées sur le bassin versant constitue un facteur susceptible d'intensifier certains risques naturels comme la susceptibilité aux laves torrentielles.

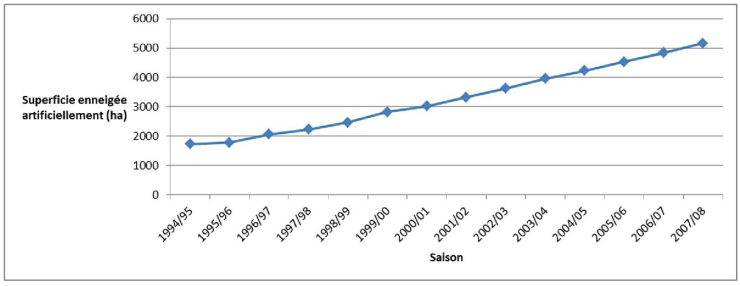
Figure 27 : Impacts de l'aménagement et de l'exploitation des domaines skiables sur les processus hydrologiques et géodynamiques des versants (Koscielny 2008)



Zoom sur l'enneigement artificiel

L'enneigement artificiel consiste à utiliser des enneigeurs, ou canons à neige, pour produire de la neige à partir d'eau liquide à des températures proches de 0°C. Il faut environ 1 m^3 d'eau liquide pour produire 2 m^3 de neige, soit entre 3000 et 4000 m^3 d'eau liquide pour couvrir un hectare de piste de ski (Evette et al. 2011). Depuis le milieu des années 1970, les superficies couvertes progressent à un rythme rapide à l'échelle nationale, jusqu'à couvrir en 2007/2008 plus de 5000 hectares sur la France entière (DDT73 2009). Le taux de couverture des domaines skiables en neige de culture a été estimé à 30 % en 2016 (DSF 2016). A titre de comparaison, en 2009, l'enneigement artificiel concerne 23 % des pistes françaises, 70 % des pistes italiennes, 59 % des pistes autrichiennes et 23 % des pistes suisses (Paccard 2010).

Figure 28 : Evolution des surfaces équipées (en ha) en neige de culture.
Source : Atout France, 2009 in DDT73 2009



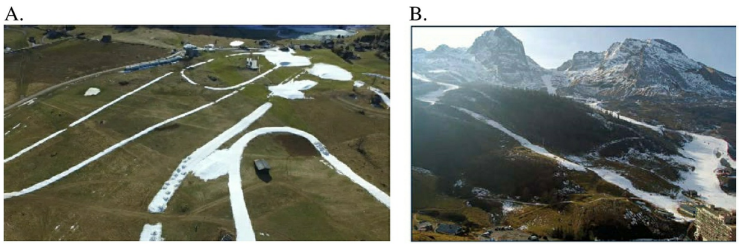
Les retenues d'altitude sont de petits barrages permettant de stocker de l'eau liquide à proximité des pistes de ski, dans le but de produire de la neige artificielle et ainsi d'assurer l'enneigement du domaine skiable. Le parc français de ces retenues d'altitude comptait en 2008 **105 ouvrages** réalisés essentiellement dans les Alpes (85 %) et les Pyrénées (15 %), suite à leur développement spectaculaire depuis les années 1990 (Peyras et al. 2010). La moitié de ces retenues représente un **enjeu de sécurité publique** dans la mesure où leur rupture ou l'expulsion du volume d'eau qu'elles contiennent aurait des conséquences graves sur la sécurité des biens et personnes en aval (Peyras et al. 2010). Par ailleurs, les retenues d'altitude induisent différents impacts sur leur environnement.

- **Impacts sur les écoulements superficiels :** certaines retenues d'altitude sont alimentées en hiver, de manière continue ou ponctuelle, et prélèvent ainsi de l'eau en pleine période d'étiage hivernal. Une étude présentée en 2002 par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse estime ainsi que 60 % environ des prises d'eau pour l'enneigement artificiel affectent le débit d'étiage jusqu'à hauteur

de 10 % tandis que 30 % environ des prises d'eau prélèvent de 10 à 50 % des débits d'étiage (Dugleux, 2002). Les impacts quantitatifs sur les torrents et écoulements superficiels de l'enneigement artificiel peuvent donc être significatifs et limiter les possibilités de survie de la faune piscicole (Peyras et al. 2010). A l'inverse, la fonte retardée jusqu'à quatre semaines des espaces couverts par la neige de culture au printemps (Rixen 2002) induit une augmentation de la lame d'eau traversant les sols déjà gorgés. Les apports aux torrents s'en trouvent gonflés à une période où les débits sont déjà maximaux (Koscielny 2008).

- **Impacts sur les zones humides et les tourbières :** une enquête menée par le Cemagref sur 65 ouvrages en France conclut qu'en 2008 environ 1/3 des retenues est installé sur des zones humides (Evette et al. 2011). A la destruction de ces milieux s'ajoutent les impacts liés à la circulation d'engins ou du stockage de matériaux lors de la phase travaux. Des impacts indirects liés à la mise en suspension de sédiments ou à des modifications hydrologiques affectant les zones humides à distance ont également été observés.
- **Impacts sur les eaux souterraines :** L'eau qui alimente les retenues est issue d'eaux de surface, plus minéralisée que les eaux météoriques. Ces eaux peuvent parfois être contaminées par des polluants issus d'activités humaines (assainissement, élevage…). Du fait de a forte perméabilité générale des sols de montagne, la possibilité de contamination des captages d'eau potable par une neige de culture doit être étudiée (Evette et al. 2011). Dans ce contexte, le rejet de culot de vidange dans le milieu peut poser des problèmes qualitatifs vis-à-vis de la ressource en eau.
- **Impacts sur les milieux terrestres :** les conséquences sur la végétation de la neige de culture demeurent mal connues. Un apport accru de nutriments par la neige artificielle (en comparaison avec la neige météoritique) pourrait affecter les communautés végétales à moyen terme (Rixen et al. 2008). Mais ces milieux subissant par ailleurs de nombreuses pressions, il est délicat à ce jour d'établir de manière certaine les conséquences particulières de la neige artificielle. L'impact paysager de la neige artificielle est spectaculaire, notamment les années souffrant d'un enneigement très déficitaire (Evette et al. 2011, Figure 29).

Figure 29 :
A. Un serpent de neige pour accueillir la coupe du monde de ski de fond en décembre 2016 à La Clusaz, en Haute-Savoie. Crédit photo + légende : France 3 Auvergne-Rhône-Alpes
B. Recours à la « neige de culture » pour compenser les aléas climatiques, domaine skiable de Gourette dans les Pyrénées (1350-2350 m, décembre 2007). Crédit photo : F. D.Amico (D'Amico 2013).



Zoom sur les impacts sur les zones humides

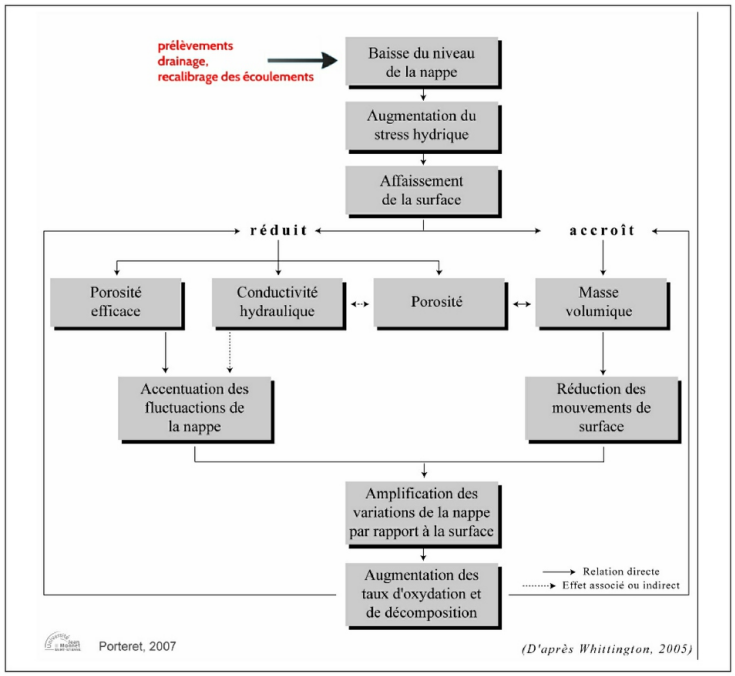
En altitude, les aménagements et l'exploitation des infrastructures touristiques sont à l'origine de nombreuses atteintes sur les zones humides de montagne (Figure 30).

Figure 30 : Atteintes aux zones humides occasionnées par les activités touristiques en montagne.
Source : Soureillat 2015

Au-delà de la destruction des milieux par comblement ou artificialisation, le court-circuitage de méandres et le surcreusement du lit majeur peuvent modifier les écoulements, entrainant d'une part l'assèchement des cours d'eau temporaires qui alimentaient la zone humide en surface et déclenchant d'autre part une érosion des sols sur les berges du cours d'eau principal. Différents stress sont à l'origine d'une baisse du niveau de la nappe et de l'augmentation du stress hydrique sur les zones humides. Ils ont pour conséquences principales la **réduction du rôle**

des zones humides dans la régulation des flux ainsi que l'**augmentation de la sensibilité du sol à l'érosion** (Porteret 2015, Figure 31).

Figure 31 : Vision d'ensemble des conséquences des activités humaines sur le fonctionnement des zones humides.
Source : Porteret 2015



7. – Développement des énergies renouvelables

La **loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte** (LTECV) de 2015 ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent visent à « permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif » (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer). Dans ce contexte, les montagnes sont appelées d'une part à jouer un rôle croissant dans la **production d'énergies renouvelables** et d'autre part constituent des territoires privilégiés pour des initiatives de **diminution de la consommation** et de **substitution des énergies fossiles** (UICN 2013). En particulier,

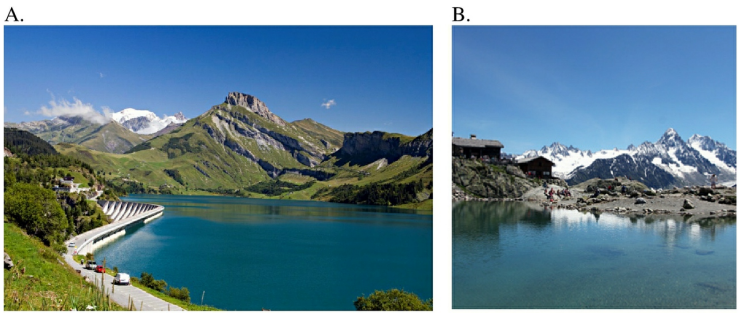
l'hydroélectricité, l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont les énergies renouvelables qui concernent la haute montagne métropolitaine.

1) – L'hydroélectricité

Comme déjà mentionné dans ce rapport, les montagnes jouent un rôle clé dans le cycle hydrologique et sont de véritables châteaux d'eau à l'échelle européenne. Dans le contexte d'un développement des énergies renouvelables, les territoires de montagne présentent donc un **intérêt stratégique** particulier à développer et à maintenir une capacité de fourniture d'hydroélectricité élevée (Share 2013). La **flexibilité** et la **maturité** de la technologie hydroélectrique, couplée aux très faibles émissions de gaz à effet de serre associées, en sont les principaux atouts. Toutefois, les installations hydroélectriques s'accompagnent **d'impacts environnementaux significatifs** qui en font un enjeu majeur d'aménagement de l'espace et de gestion des milieux naturels et de la biodiversité, notamment dans des environnements sensibles comme en haute montagne. Les atteintes aux zones humides d'altitude peuvent avoir des répercussions significatives sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant. De manière très synthétique, ces impacts incluent les perturbations pour le **déplacement des espèces** aquatiques, les ruptures de **continuités sédimentaires**, les modifications des **régimes hydrologiques** localement et à distance, les **modifications physico-chimiques** des masses d'eau concernées (voir détails dans UICN 2013).

Les orientations des directives européennes sont perçues comme potentiellement contradictoires vis-à-vis du développement de l'hydroélectricité. D'une part, la **directive européenne sur les énergies renouvelables** (Directive 2009/28/EC et actualisations du paquet climat-énergie de 2016) soutient l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, faisant largement appel à l'hydroélectricité existante et à son développement. D'autre part, le respect des **normes européennes de la directive cadre sur l'eau** (Directive 2000/60/CE), déclinées nationalement dans les schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE et SAGE), s'oppose à la création de discontinuités hydrologiques telles qu'induites par les aménagements hydroélectriques.

Figure 32 :
A. Grande hydroélectricité : le barrage de Roselend (Savoie) fait partie des 10 barrages les plus hauts de France (150 mètres de hauteur pour une retenue de 185 millions de m3). Crédit photo : Valroc.
B. Petite hydroélectricité : le refuge du lac Blanc, sur le secteur des Aiguilles Rouges (Haute-Savoie), est alimenté par une pico-centrale hydroélectrique de 6 kW reliée au torrent du Lac Blanc. Crédit photo : Savoie Mont Blanc



De nombreux **grands aménagements hydrauliques** de lac ou de haute chute se trouvent en haute montagne, comme par exemple le barrage de Roselend en Savoie (1550m d'altitude). La puissance fournie repose sur un **dénivelé très fort** entre la zone d'accumulation des eaux (lacs de retenue) et le bas de l'installation, avec une chute des masses d'eau supérieure à 300 mètres et pouvant dépasser 1000 mètres sur certains sites (UICN 2013). Le lac de retenue est alimenté par l'eau des torrents, la fonte des neiges et des glaciers. Le potentiel d'implantation de nouveaux grands ouvrages en France paraît **très limité**, voire **nul**, une fois intégrées les contraintes actuelles socio-économiques et environnementales. C'est donc vers la **modernisation des installations existantes** que se portent les enjeux de la grande hydroélectricité, en vue d'une meilleure intégration environnementale et d'un meilleur rendement (UICN 2013).

La petite hydroélectricité représente environ 95 % des installations hydroélectriques en montagne en France (UICN 2013). Ces installations fonctionnent en majorité au fil de l'eau, leur production est continue et ne peut pas participer à la régulation du réseau électrique comme la grande hydroélectricité. Les impacts de ces installations sont moins sévères que ceux de la grande hydroélectricité mais les **effets cumulatifs** liés à la multiplication des sites d'installation perturbent de manière croissante les réseaux hydrographiques (UICN 2013). Une approche des impacts **par bassin versant** et non par installation est alors recommandée. En site isolé, c'est-à-dire pour des sites non raccordés au réseau électrique général,

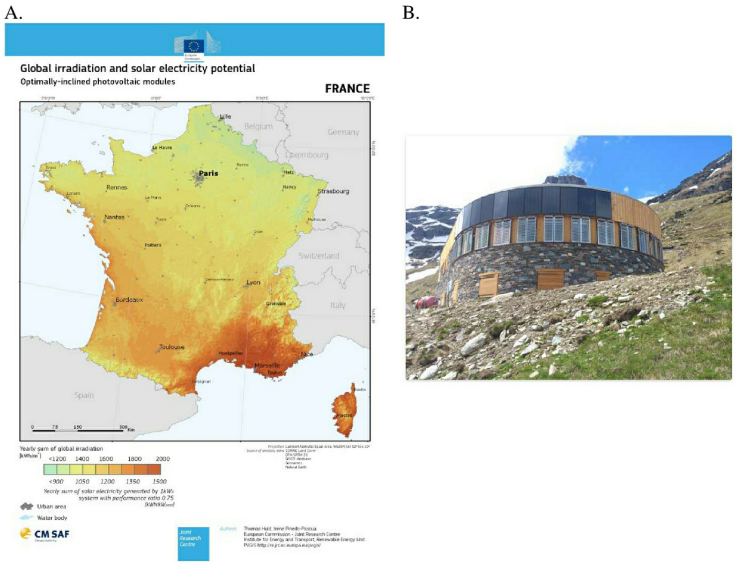
la **micro-hydroélectricité** apparaît opportune (UICN 2013), voire est présentée comme le **meilleur compromis puissance fournie / impacts environnementaux** par comparaison avec le photovoltaïque et l'éolien (Nicoud 2008).

De manière générale, le développement de l'hydroélectricité pose la question des **compromis** à trouver vis-à-vis de **multiples services écosystémiques** comme les activités récréatives de plein air, la valeur esthétique des paysages, la protection des habitats de différentes espèces patrimoniales ou encore la limitation des risques naturels (crues, glissements de terrain) (Share 2013).

2) – L'énergie solaire

Les territoires de montagne métropolitains reçoivent un fort ensoleillement qui peut dépasser 1700 kWh/m^2/an dans les Alpes, les Pyrénées et la Corse quand l'énergie reçue à Paris est de l'ordre de 1300 kWh/m^2/an (UICN 2013) (Figure 33). En haute montagne, le solaire apparaît comme une opportunité pour la consommation de proximité, au travers de l'équipement des **infrastructures individuelles**, que ce soient des habitations, des installations de domaines skiables ou encore des sites non raccordés au réseau comme les refuges (Nicoud 2008). Les **centrales solaires**, qui requièrent de grands espaces d'implantation sur des terrains relativement plats, ne semblent pas vouées à se développer en haute montagne, sauf de manière très ponctuelle sur de grands espaces de toiture (rentabilité estimée à partir de 1000 m^2 de surface couverte). De manière générale, la **non-consommation d'espaces naturels** supplémentaires pour l'implantation des systèmes solaires doit rester une priorité (ADEME 2016).

Figure 33 :
A. Irradiation solaire globale et potentiel électrique solaire annuels pour des modules photovoltaïques inclinés de manière optimale. Données : PVGIS © European Union, 2001-2012.
B. Panneaux solaires en site isolé sur le Refuge de l'Arpont (Vanoise). Crédit photo : DualSun, PNV.



3) – *L'énergie éolienne*

Les massifs français se situent globalement dans des zones où les vitesses de vent sont assez faibles, mais l'effet de relief peut augmenter localement ce potentiel de manière importante (UICN 2013). Le **grand éolien** (> 350 kW) est très peu développé à ce jour en altitude, notamment du fait des **contraintes mécaniques** associées (gel, difficulté d'accès…) et des risques d'atteinte à **l'environnement** et au **paysage** pour l'implantation des éoliennes (RAEE 2005). Ce faible taux d'implantation devrait se maintenir à l'avenir, les zones de développement de l'éolien (ZDE) étant limitées en territoire de montagne (UICN 2013). Le **petit et micro-éolien** (< 36 kW), à destination des particuliers, offre des sources d'énergie intéressantes en altitude, de manière couplée avec un parc de batteries de stockage notamment dans des zones non connectées au réseau (Nicoud 2008). Le développement du petit et micro-éolien, à ce jour limité à haute altitude, pourrait connaître un essor relatif auprès de sites isolés.

Figure 34 : Une éolienne à axe vertical et géométrie variable tourne à vitesse constante, sa voilure s'ouvrant lorsque le vent diminue, pour contribuer à l'alimentation du refuge de Sarenne en énergie (Isère). Crédit : Refuge de Sarenne, www.connaissancedesenergies.org.

8. – Espèces exotiques envahissantes

Les milieux de haute montagne hébergent **relativement moins de plantes invasives que les milieux de plus basse altitude**, mais ils n'en sont toutefois **pas exempts** (Alexander et al. 2016). La plupart des plantes invasives proviennent et ont été introduites dans les milieux de basse altitude. Elles sont caractérisées par une **large niche écologique**, c'est-à-dire qu'elles peuvent s'adapter à des conditions abiotiques assez diverses en termes de températures, précipitations etc. Les conditions limitantes des milieux d'altitude (températures basses, saisons de végétation courtes et conditions de sécheresse) sont de ce fait un filtre avéré mais non suffisant pour contenir l'invasion le long des gradients altitudinaux.

Ces caractéristiques permettent à certaines espèces invasives de plaine de s'adapter aux conditions des milieux d'altitude, auxquels elles accèdent principalement par **transport le long des routes et des chemins**. La capacité de dispersion des propagules est en effet donnée comme le facteur limitant principal à l'invasion dans les milieux d'altitude. L'invasion est également favorisée par les perturbations anthropiques des milieux comme l'agriculture ou le développement urbain. La gestion de la **végétalisation des domaines skiables** est un enjeu majeur vis-à-vis de l'introduction puis la dispersion d'espèces non-natives et potentiellement invasives. Des démarches de restauration écologique durables, fondées sur l'utilisation de semences locales, se mettent progressivement en place (Gaucherand 2014, Dupin et al. 2014).

Les **interactions** entre communautés végétales natives et invasives sont un facteur d'influence sur le taux et la vitesse de colonisation des milieux d'altitude. Dans les milieux de haute altitude, les communautés natives semblent faire preuve d'une **bonne résistance à l'invasion** tant que leur habitat est dans un bon état de conservation. Les perturbations qui modifient les conditions d'habitat tendent donc généralement à favoriser l'invasion des milieux de montagne, mais des patrons d'invasion contrastés ont été constatés. Ainsi, des études ont montré une difficulté des plantes invasives à remplacer par simple avantage compétitif les communautés natives dans certains milieux.

Peu de sources sont disponibles pour dresser un état des lieux précis de la présence et du taux de colonisation des milieux de haute montagne par les espèces végétales invasives. Dans les Alpes françaises, 142 espèces végétales invasives ont été identifiées depuis 1980 (source : CBN Alpes et CBN Med in Gallien et al. 2012), mais ce chiffre important concerne un large gradient allant de la plaine à la haute montagne. Une étude spécifique menée sur l'étage alpin en Suisse y dénombre par exemple seulement sept espèces invasives (Alexander et al. 2016).

Figure 35 : Le brome inerme (Bromopsis inermis), largement utilisé pour la restauration et la stabilisation des pentes, est considéré comme une plante envahissante dans les Alpes. D'autres espèces non natives peuvent s'implanter localement mais ne sont pas considérées comme invasives (par exemple : le pavot d'Islande (Papaver croceum) ou le trèfle bâtard (Trifolium hybridum)).
Crédit photo : Tela Botanica.

Le **changement climatique** devrait accroître la pression d'invasion des milieux de haute montagne de deux manières. Premièrement, la hausse des températures moyennes va rendre **moins contraignants les filtres climatiques** qui maintiennent actuellement de nombreuses espèces invasives à des altitudes basses. Toutefois, il semblerait qu'un réchauffement substantiel soit nécessaire pour que les étages alpins soient réellement affectés par les invasions, les modifications attendues pour le siècle à venir concernant davantage les étages montagnards et subalpins (Petit-Pierre et al. 2015 in Alexander et al. 2016). Le second effet majeur prévu du changement climatique est lié à une **diminution de la capacité de résistance** des communautés natives vis-à-vis de l'implantation d'invasives. Le changement climatique pourra accroître deux facteurs favorables à l'implantation d'espèces invasives : les ressources disponibles, par exemple à travers une minéralisation accrue de la matière organique des sols alpins, ainsi que les perturbations liées à des évènements extrêmes. Par ailleurs, la diminution de l'abondance et des performances compétitives des communautés natives pourrait créer des opportunités accrues d'établissement pour les espèces invasives.

De manière globale, les préoccupations liées aux espèces envahissantes végétales semblent relativement marginales car très localisées dans l'espace à ce stade en haute montagne. La situation concernant les **espèces invasives animales** semble également favorable et l'absence générale de source d'information à ce sujet est constatée.

9. – Pollution

1) – Déposition atmosphérique d'azote

L'azote est globalement présent dans la biosphère sous la forme non réactive de diazote gazeux (N_2), une forme peu biodisponible mis à part pour quelques bactéries et cyanobactéries fixatrices (ex. *Azotobacter vinelandii, Rhizobium*). La transformation du diazote en formes réactives largement utilisables par le vivant (nitrate, nitrite, ammoniac) est un facteur limitant principal de la croissance des espèces végétales. Depuis quatre décennies, les activités anthropiques sont à l'origine d'une **production sans précédent d'azote sous des formes réactives** qui sont mises en circulation dans la biosphère. En particulier, les **activités agricoles**, à travers par exemple la culture de légumineuses fixatrices d'azote

atmosphérique et la production d'engrais azotés, ainsi que la **combustion d'énergies fossiles** sont des sources majeures d'émission d'azote réactif. En particulier, le **fret routier** (poids lourds) en montagne est responsable d'une part importante des émissions de polluants : à nombre de véhicules lourds égal, la pollution en montagne peut atteindre des concentrations 3 à 4 fois plus élevé qu'en plaine (Etchélécou et al. 2001). Cela tient d'abord à l'accroissement de la consommation de carburant du fait de la pente mais également à plusieurs facteurs physiques propres aux milieux de montagne : faible potentialité de dispersion latérale de la pollution bloquée par les flancs de vallée, probabilité de dépôts des polluants par adsorption accrue en altitude (en relation avec la diminution des températures et la diminution de la pression saturante en vapeur d'eau), circulation atmosphérique complexe (brises amont/aval et inversions thermiques) qui conditionnent les concentrations et déplacements des polluants.

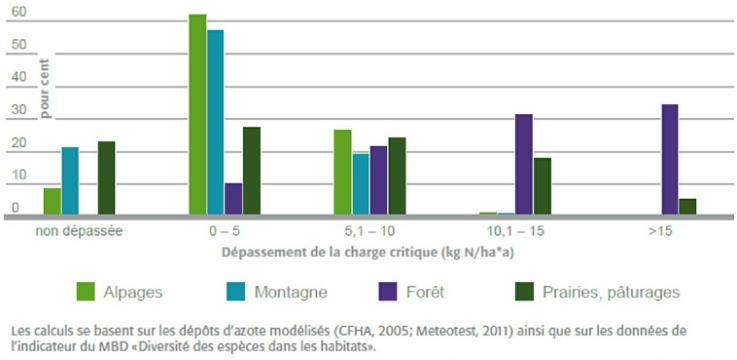
Des scénarios de croissance démographique et économique mondiale projettent un accroissement de 70 % des pertes azotées globales vers l'environnement entre 2000 et 2050 (Sutton & Bleeker 2013). Ces émissions altèrent profondément la composition atmosphérique terrestre ainsi que les processus de déposition liés, et elles sont à l'origine de **nombreuses répercussions sur l'homme et l'environnement** (Galloway et al. 2008). Ainsi, certains auteurs estiment qu'à l'horizon 2100, les taux d'azote atmosphérique déposés dans l'environnement seront la **troisième cause principale de perte de biodiversité** (Sala et al. 2000).

La circulation atmosphérique permet le **transport à longue distance** des composés azotés : les milieux de haute montagne, bien qu'éloignés des sources directes principales d'émission, sont également concernés par cet enjeu global (Boutin et al. 2017). Une étude a ainsi modélisé les impacts de l'accroissement prévu des dépositions azotées sur les sites protégés au sens de la Convention sur la Diversité Biologique à l'échelle mondiale et à l'horizon 2030 (Bleeker et al. 2011). Un seuil de 10 kg N/ha/an a été utilisé pour détecter les effets négatifs de cette déposition sur le fonctionnement des écosystèmes. Les auteurs estiment qu'à l'échelle mondiale d'ici 2030, **15 % de la superficie couverte par les prairies et milieux arbustifs de montagne sur des sites protégés** sera sous influence négative des dépositions azotées. Par ailleurs, d'autres études récentes ont prouvé **la sous-estimation des quantités d'azote** proposées par la modélisation, qui servent à ce jour d'étalon pour caractériser les flux azotés, par rapport aux quantités estimées par des mesures de terrain dans des milieux ouverts subalpins des Pyrénées (Boutin

et al. 2015). Enfin, la distribution des dépositions azotées est très hétérogène au sein des massifs, selon la proximité aux sources et les circulations atmosphériques dominantes.

Le fonctionnement des milieux de haute montagne est intimement lié à des températures basses ainsi qu'à une limitation marquée des processus biologiques par la disponibilité faible en azote (voir Chapitre 3). De ce fait, les effets combinés du changement climatique et de l'accroissement des dépositions azotées font attendre des **modifications significatives de la richesse et de la composition des communautés végétales en altitude**. La charge critique, en dessous de laquelle la fonction et la structure de l'écosystème ne sont pas perturbées, varient en fonction des habitats. Une étude menée en Suisse par l'Observatoire fédéral de l'Environnement souligne le dépassement fréquent de ces charges sur l'ensemble des habitats, y compris en altitude (Figure 36, OFEV 2011). Des processus d'eutrophisation, d'acidification et de perte de cations basiques sont également projetés (Boutin et al. 2017) et auront des répercussions sur la capacité des écosystèmes à maintenir la qualité des eaux.

Figure 36 : Dépassement des charges critiques par habitat, étude Suisse. Proportion des valeurs mesurées des différents habitats divisée en classes en fonction du dépassement de la « charge critique » en kilogrammes d'azote par hectare et année. Dans les prairies alpestres, les dépôts d'azote sont inférieurs à la charge critique sur 9 %, dans les montagnes sur 22 %, dans les prairies sur 23 % et dans la forêt sur seulement 1 % des surfaces d'échantillonnage. Dans la forêt, les « charges critiques » sont souvent massivement dépassées.
Crédit illustration et légende : OFEV 2011.



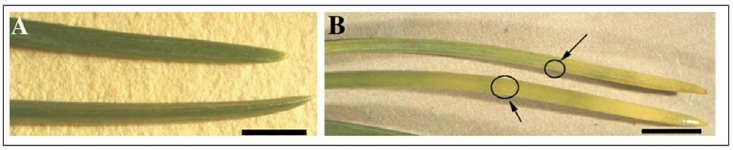
Les patrons de réponse de la **diversité végétale** sont plus contrastés. Une étude récente porte sur les effets combinés du changement climatique et de l'accroissement des dépôts azotés sur les prairies pâturées d'altitude dans les Pyrénées (Boutin et al. 2017). Les auteurs montrent une augmentation significative de la richesse végétale ainsi qu'un changement dans la composition de ces prairies vers des **communautés végétales plus thermophiles et moins oligotrophes** avec l'accroissement des dépositions azotés et des températures. Ainsi, ces prairies évoluent depuis des communautés de plantes spécialistes des milieux de haute altitude, bien adaptées aux faibles températures et / ou à la faible disponibilité en nutriments (ex. : trèfle alpin, plantain des Alpes), vers des communautés d'espèces généralistes aux optimums altitudinaux plus bas et aux aires de distributions importantes (ex. : céraiste commun). L'accroissement des teneurs en azote peut ainsi induire une augmentation de la richesse en favorisant l'établissement de plus d'espèces nitrophiles par migration altitudinale. D'autres études ont montré que l'accroissement des teneurs en azote peut également faire diminuer la richesse végétale par **exclusion compétitive** des communautés oligotrophes tolérantes au stress à cause de l'augmentation de la biomasse des espèces eutrophes, qui limitent l'accès à la lumière et/ou causent une acidification du sol. De manière générale, c'est donc une **altération de la composition des communautés vers des espèces plus eutrophes et souvent plus thermophiles** qui est observée et attendue, l'effet net sur la richesse spécifique dépendant de l'équilibre entre pertes d'espèces spécialistes de la haute altitude et gains d'espèces plus banales. Dans le cas de l'étude des prairies d'altitude pyrénéennes, **le pâturage des prairies** a été avancé comme un des facteurs d'explication de l'augmentation de la richesse végétale sous les effets combinés du changement climatique et des dépositions accrues d'azote. En augmentant le prélèvement de biomasse, le pâturage permettrait d'atténuer à court terme les effets d'exclusion par compétition, notamment par une diminution de la compétition pour la lumière.

Enfin, des expérimentations sur les prairies subalpines combinant manipulation climatique (sécheresse estivale et déneigement précoce) et usages, dont la fertilisation, suggèrent que ceux-ci peuvent avoir des effets dominants par rapport à celui du changement climatique, dans la mesure où la fertilité (affectée par la déposition atmosphérique azotée) est le principal déterminant de la composition et du fonctionnement de ces écosystèmes et donc de leurs services écosystémiques (Bernard 2017).

2) – *Pollutions atmosphériques à l'ozone*

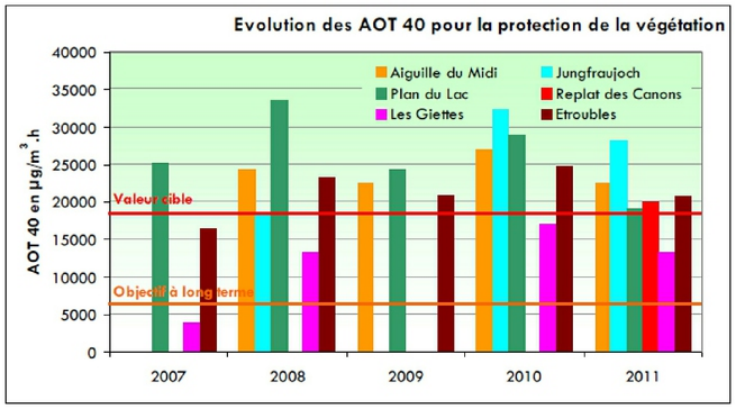
L'ozone (O_3) est un **polluant secondaire**, formé par réaction primaire à partir de polluants précurseurs sous l'action du **rayonnement solaire**. Parmi les polluants précurseurs, on trouvera les oxydes d'azote (NOx) et le monoxyde de carbone (CO) produits par le **trafic routier**, et des composés organiques volatils (COV) aux origines plus diverses : trafic routier, mais aussi certains **procédés industriels**, l'usage de **solvants** ainsi que des **émissions naturelles par la végétation**. La présence d'ozone à de fortes concentrations a des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Chez l'homme, une exposition prolongée à de fortes concentrations d'ozone induit des irritations des yeux et des voies aériennes. Dans l'environnement, les effets des fortes concentrations d'ozone sont particulièrement visibles chez les végétaux au travers de nécroses provoquant des décolorations des feuilles et une sénescence prématurée (Air-APS 2011, Figure 37).

Figure 37 : Symptômes visibles d'ozone chez le pin cembro (Parc national du Mercantour).
A. Aiguilles asymptomatiques à la fin de la première saison de végétation.
B aiguilles symptomatiques après 3 saisons de végétation : les aiguilles sont jaunissantes et présentent un mottling caractéristique, i.e. des marbrures aux contours diffus de couleur vert clair ou jaune vert. Barres : 1 cm.
Crédit photo et légende : Dalstein et al. 2002



L'ozone est présent naturellement dans les couches hautes de l'atmosphère et joue un rôle protecteur de filtration des rayons ultraviolets. Dans les couches basses de l'atmosphère (troposphère – aux environs immédiats du sol), l'ozone est issu en grande partie des activités humaines : il est considéré comme un très bon indicateur de la **pollution photochimique**, c'est-à-dire de l'ensemble des polluants formé chimiquement dans la troposphère sous l'effet du rayonnement solaire. L'ozone est **détruit la nuit par les oxydes d'azote**, à savoir NO (puits permanent) et NO_2 (source d'ozone le jour grâce à la photolyse et puits la nuit).

Les zones de haute montagne, bien qu'éloignées des sources de polluants primaires, sont soumises aux pollutions à l'ozone du fait de la **dispersion atmosphérique à grande échelle** de ses précurseurs. Par exemple, la présence significative d'ozone à l'échelle locale dans le Parc national du Mercantour a été reliée au transfert d'une pollution générée au niveau régional par le trafic automobile et les rejets industriel émis au niveau du littoral de la Côte d'Azur en France (agglomération marseillaise notamment) et de la plaine du Pô en Italie (Sicard et al. 2010). En journée, ces précurseurs contribuent à faire augmenter légèrement les concentrations d'ozone, notamment du fait du fort rayonnement solaire, mais leur effet est généralement limité. La nuit, à l'inverse des phénomènes connus en plaine, la concentration en oxydes d'azote va être trop faible pour détruire efficacement l'ozone. Le phénomène caractéristique des hautes montagnes va donc être une teneur en ozone **relativement stationnaire**. Un suivi pluriannuel de la qualité de l'air sur plusieurs sites d'altitude en Vanoise (Air-APS 2011) montre que les concentrations d'ozone en altitude ne constituent pas un risque pour la santé humaine. A l'inverse, ce suivi met en évidence le **dépassement fréquent** des seuils fixés relativement à la protection de la végétation et de la forêt entre 2007 et 2011. De même dans le Parc national du Mercantour, les valeurs cibles retenues pour la protection de la végétation sont **largement dépassées** sur deux stations suivies à 1500 mètres d'altitude entre 2006 et 2008 (Sicard et al. 2010). Ces dépassements induisent des altérations sur **la végétation d'altitude durant la période estivale** et peuvent concerner les strates herbacées, arbustives et arborées (Air-APS 2011, Sicard et al. 2010).



Altitude des sites :
Aiguilles du Midi : 3842m
Jungfraujoch : 3578 m (Alpes suisses)
Plan du Lac : 2422m
Replat des Canons : 2375 m
Etroubles : 1330 m (Alpes italiennes)
Les Giettes : 1140 m

Figure 38 : Suivis de la concentration en ozone atmosphérique sur six sites d'altitude. L'AOT 40 est un indicateur de la qualité de l'air vis-à-vis de la végétation qui rend compte de la dose d'ozone accumulée pendant le printemps et l'été, au moment où la plante croît.
Crédit : Air-APS Bilan 2011 de la qualité de l'air dans le Parc Naturel de la Vanoise

CHAPITRE 7

Tendances d'évolution

1. – Evolution récente de l'occupation des sols

L'évolution récente des données d'occupation des sols peut être analysée à l'échelle nationale grâce aux données Corine Land Cover existant pour 1990, 2000, 2006 et 2012. Les éléments suivants concernent les évolutions constatées entre 1990 et 2012.

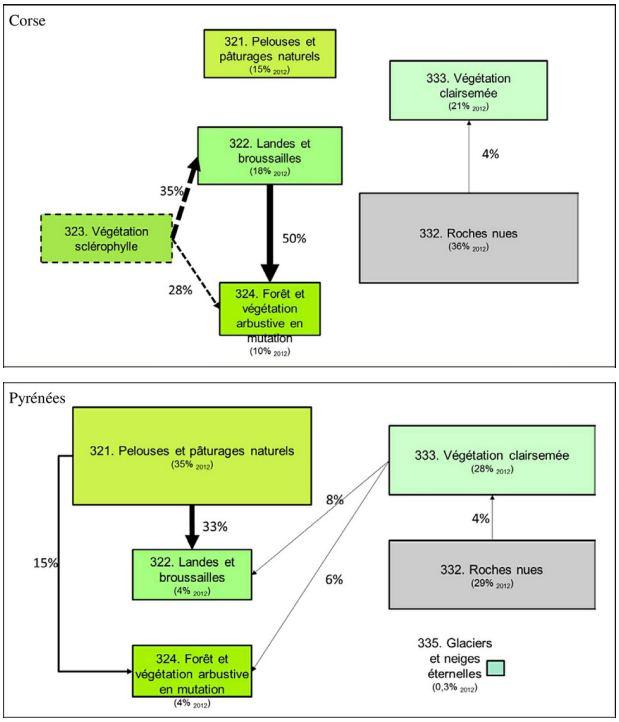
En **Corse**, les changements d'occupation des sols les plus marqués concernent la forêt et la végétation arbustive en mutation (324). La moitié de la superficie occupée en 2012 par cette classe provient d'anciens espaces de landes et broussailles, tandis que près de 30 % étaient auparavant occupés par de la végétation sclérophylle. On constate donc un **patron d'embroussaillement**. Les landes et broussailles (322) connaissent également une évolution significative, avec 35 % de leur superficie en 2012 anciennement couverts par de la végétation sclérophylle.

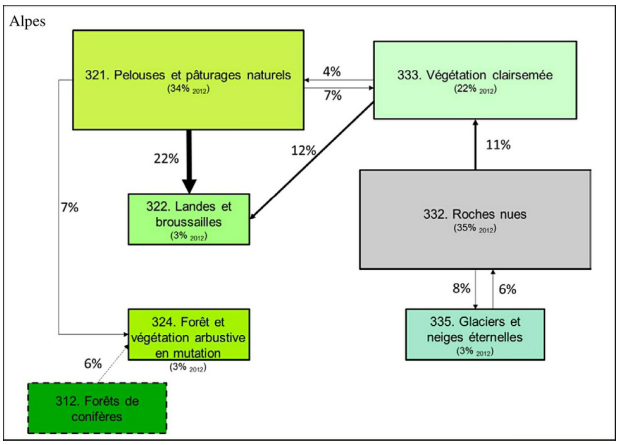
Dans les **Pyrénées**, l'évolution la plus importante concerne les landes et broussailles (322), dont un tiers de la superficie en 2012 provient d'anciennes pelouses et pâturages naturels, preuve possible de leur **abandon**. Ces anciennes pelouses et pâturages naturels ont également évolué en forêt et végétation arbustive en mutation (324), à hauteur de 15 % de la superficie occupée en 2012 par ces dernières. Enfin, d'anciens espaces de végétation clairsemée se sont également

densifiés et transformés en landes et broussailles (322) ainsi qu'en forêt et végétation arbustive en mutation (324), respectivement sur 8 et 6 % de leurs superficies de 2012.

Des patrons comparables sont observables dans les **Alpes**. Notamment, on retrouve le signe d'un **abandon** de certaines pelouses et pâturages naturels, qui ont évolué depuis 1990 vers des landes et broussailles (322), de la forêt et la végétation arbustive en mutation (324) et de la végétation clairsemée, à hauteur respectivement de 22 %, 7 % et 7 % de leurs superficies en 2012. Parmi les **signaux d'embroussaillement**, on notera qu'un dixième environ de la superficie couverte par de la végétation clairsemée en 2012 (333) était en 1990 occupée par des roches nues, tandis qu'un dixième également de la superficie des landes et broussailles (322) de 2012 consistait en de la végétation clairsemée auparavant. Ces tendances sont confirmées par une analyse fine sur base d'images satellitaires pour le Parc National des Ecrins de 1984 à 2015. Celle-ci démontre une augmentation de la couverture végétale pour 56 % de la surface du Parc pour la période concernée, avec une augmentation particulièrement marquée pour les surfaces rocheuses, et pour la période 1984-2000 (alors qu'elle a ralenti depuis) (Carlson et al. 2017). Deux évolutions notables diffèrent des patrons précédemment décrits. Le premier concerne les forêts et la végétation arbustive en mutation (324), dont 6 % de la superficie en 2012 provient **d'anciennes forêts de conifères**. Le second concerne l'évolution des superficies couvertes par les glaciers et neiges éternelles. Si 8 % de leur superficie en 2012 provient d'anciennes roches nues, signe d'une détection nouvelle de neige ou glace pérenne à ces endroits, les glaciers et neiges éternelles ont perdu une superficie bien plus importante au profit de ces mêmes roches nues (332). En effet, entre 1990 et 2012**, les glaciers et neiges éternelles perdent** globalement dans les Alpes près de 150 km^2, soit environ 37 % de leur surface de 1990.

Figure 39 : Changements d'occupation des sols entre 1990 et 2012 selon CLC. Le référentiel est l'occupation des sols de 2012 (superficie 2012 par classe CLC entre parenthèse dans chaque boîte colorée). Les flèches indiquent la proportion de chaque classe en 2012 qui était classée différemment en 1990. Par exemple, en Corse, les forêts et végétations arbustives en mutation occupent en 2012 10 % du territoire de haute montagne. Sur cette surface, 50 % proviennent d'espaces qui étaient considérés en 1990 comme des landes et broussailles. Les boîtes colorées encadrées en pointillés indiquent que la classe CLC n'est pas considérée dans la définition de la haute montagne.





2. – Bilan sur les habitats d'intérêt communautaire

Le bilan sur les habitats d'intérêt communautaire provient des résultats du rapportage DHFF – Article 17 (voir Chapitre 5). Nous mobilisons ici le quatrième critère proposé à l'évaluation, concernant les perspectives futures, ainsi que le critère bilan, obtenu par synthèse des quatre critères selon la démarche présentée Figure 40.

Figure 40 : Démarche de synthèse des critères mobilisés pour le rapportage DHFF Article 17 – Habitats. Quatre catégories sont utilisées pour décrire l'état de conservation : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) et inconnu (XX). L'agrégation des critères EC1 à EC4 permet de conclure sur l'état de conservation (critère bilan EC. G).
Source : INPN-MNHN https://inpn.mnhn.fr/programme/rapportage-directives-nature/presentation

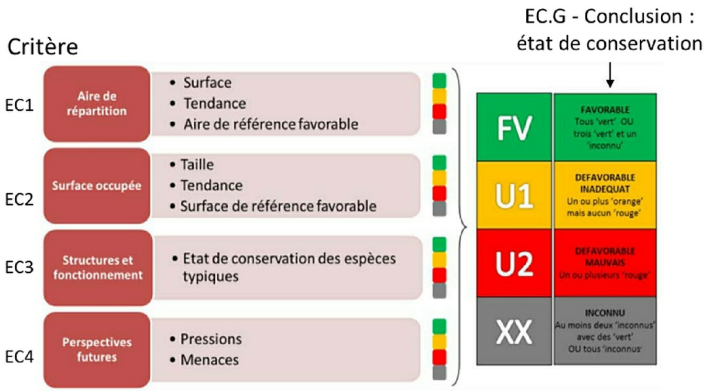


Figure 41 : Résultats du rapportage DHFF pour la période 2007-2012 sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux).

			ALPN	
			EC4	EC.G
Code UE	Prioritaire (*)	Intitulé de l'habitat	Perspectives futures	Conclusion : état de conservation
Landes et fourrés tempérés				
4030		Landes sèches européennes	U1	U1 (=)
4060		Landes alpines et boréales	FV	FV (=)
4070	*	Fourrés à *Pinus mugo* et *Rhododendron hirsutum* (*Mugo-Rhododendretum hirsuti*)	FV	FV (+)
4080		Fourrés de *Salix* spp. subarctiques	FV	FV (=)
Formations herbeuses naturelles et semi-naturelles				
Pelouses naturelles				
6130		Pelouses calaminaires des *Violetalia calaminariae*	FV	FV (=)
6140		Pelouses pyrénéennes siliceuses à *Festuca eskia*	FV	FV (=)
6150		Pelouses boréo-alpines siliceuses	FV	FV (=)
6170		Pelouses calcaires alpines et subalpines	FV	FV (=)
Formations herbeuses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement				
6210	*	Pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires (*Festuco-Brometalia*) (* sites d'orchidées remarquables)	U1	U1 (-)
6230	*	Formations herbeuses à *Nardus*, riches en espèces, sur substrats siliceux des zones montagnardes (et des zones submontagnardes de l'Europe continentale)	FV	FV (=)
Prairies humides semi-naturelles à hautes herbes				
6430		Mégaphorbiaies hydrophiles d'ourlets planitiaires et des étages montagnard à alpin	FV	FV (=)
Tourbières hautes, tourbières basses et bas-marais				
Tourbières acides à Sphaignes				
7110	*	Tourbières hautes actives	U1	U1 (=)
7120		Tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération naturelle	U1	U1 (-)
7140		Tourbières de transition et tremblantes	U2	U2 (=)
Bas-marais calcaires				
7220	*	Sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion*)	U1	U1 (=)
7230		Tourbières basses alcalines	U1	U1 (=)
7240	*	Formations pionnières alpines du *Caricion bicoloris-atrofuscae*	U1	U1 (-)
Habitats rocheux et grottes				
Autres habitats rocheux				
8340		Glaciers permanents	U2	U2 (-)
Forêts				
Forêts de l'Europe tempérée				
91D0	*	Tourbières boisées	U1	U1 (=)
Forêts de conifères des montagnes tempérées				
9410		Forêts acidophiles à *Picea* des étages montagnard à alpin (*Vaccinio-Piceetea*)	FV	FV (=)
9420		Forêts alpines à *Larix decidua* et/ou *Pinus cembra*	U1	U1 (=)
9430	*	Forêts montagnardes et subalpines à *Pinus uncinata* (* si sur substrat gypseux ou calcaire)	FV	FV (=)

A l'exception notable des glaciers permanents et des zones humides, la plupart des habitats d'intérêt communautaire intéressant la haute montagne connaissent des **perspectives futures favorables (FV)**. Le bilan porté sur leur état de conservation générale est bon avec des tendances d'évolutions stables, y compris pour les milieux rocheux. Notons ici le cas particulier des **fourrés à *Pinus mugo* et *Rhododendron hirsutum*** (4070) pour lesquels les perspectives d'évolution sont positives. En effet, ces habitats sont favorisés par la déprise agricole en cours et ne connaissent pas de menaces particulières par ailleurs.

La situation critique des **zones humides** apparaît largement, tous les habitats présentant des perspectives d'évolution **défavorables (U1 ou U2)**. L'importance des pressions que ces habitats subissent ainsi que la diminution constatée de leur aire de répartition rendent **prioritaires la conservation** des zones humides encore présentes.

Les **landes sèches européennes** (4030) sont présentes surtout dans les Pyrénées à l'étage subalpin ; leurs perspectives futures sont **défavorables (U1)**. Ces landes sont un état intermédiaire entre la déprise agricole et l'absence de reforestation naturelle. Cet état par essence instable est, dans les sites protégés qui visent à conserver cet habitat, entretenu par des mesures pastorales pour maintenir ou augmenter la surface en herbe ; elles correspondent le plus souvent à de la destruction de lande par brûlage ou girobroyage. Les perspectives futures de cet habitat en haute montagne sont donc liées à la pérennité des mesures d'entretien associées.

Les évolutions des pratiques sylvopastorales conditionnent le maintien de plusieurs habitats de la haute montagne. En particulier, les **pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaire** (6210) subissent la baisse des activités pastorales qui les maintenaient ; leurs perspectives futures sont **défavorables (U1)**. La déprise agricole devant à minima se maintenir dans le futur, les tendances d'évolution projetées de ces habitats sont à ce stade négatives. Par ailleurs,

les perspectives futures des **forêts alpines à *Larix decidua* et/ou *Pinus cembra*** (9420) sont **défavorables (U1)**. Comme discuté plus haut, ces milieux dépendent d'un entretien sylvicole spécifique visant à assurer leur régénération sur place et à éviter leur évolution naturelle vers d'autres groupements forestiers

En ce qui concerne les **glaciers permanents** (8340), la conclusion du rapportage est extrêmement négative et les tendances d'évolution sont **défavorables (U2)**. L'aire de répartition des glaciers est en récession sous l'influence directe des **changements climatiques**, notamment à **altitude modérée** et bien qu'avec un **décalage temporel** dans la diminution de surface qui soit propre à chaque glacier (entre 1 à 30 ans, voire au-delà pour les glaciers rocheux). Cette diminution tendancielle aura des répercussions sur les **bilans hydrologiques** en aval, notamment dans les hautes vallées de montagne.

Bilan de la Partie 2

Les milieux de haute montagne présentent encore **de manière globale un bon état écologique**. Cependant les impacts conjoints des différents facteurs de changement qui les affectent doivent faire relativiser ce bilan.

Les **changements climatiques** affectent l'ensemble des milieux de haute montagne de manière significative, ainsi que les espèces et fonctions associées. Les **glaciers** apparaissent particulièrement vulnérables à ces changements, leur régression modifiant l'intensité et les patrons spatiaux et temporels des cycles hydrologiques en altitude et à distance. Les **milieux humides** d'altitude présentent également un état préoccupant, notamment du fait des aménagements à visée touristique mais aussi de production d'hydro-énergie.

Par ailleurs, le **pastoralisme** joue un rôle clé en haute montagne, non seulement vis-à-vis des **pelouses et pâturages naturels** mais également des milieux vers lesquels ces espaces évoluent en cas de changements de pratiques (déprise agricole ou intensification). Les modalités de gestion pastorale induisent en effet des changements quantitatifs et qualitatifs sur la ressource en herbe et sur la biodiversité, ce qui influence de nombreux services écosystémiques et affecte la valeur patrimoniale associée aux milieux d'altitude. Il conditionne également la position de la zone de combat ainsi que la densité et la localisation des espaces arbustifs et arborés, eux aussi déterminants essentiels des services écosystémiques et de la biodiversité.

Les facteurs de changement qui affectent la demande en services écosystémiques peuvent donner naissance ou renforcer les **conflits d'usage** de la haute montagne. Par ailleurs, les **évolutions sociologiques** des individus qui fréquentent et utilisent la haute montagne modifient la perception du milieu, les connaissances associées ainsi que les demandes vis-à-vis de son fonctionnement et de ses services écosystémiques.

Les **politiques publiques** sont un facteur indirect de changement essentiel, par exemple au travers des objectifs de limitation des infrastructures ou d'instauration de zonages de protection (voir Partie V).

Les différents facteurs de changement présentés dans cette partie (Tableau 2) agissent souvent de manière **combinée**. Leurs impacts sur la biodiversité et les services écosystémiques sont donc parfois difficiles à démêler précisément, d'autant plus que les services écosystémiques affectés entretiennent des **relations d'influence** entre eux.

Tableau 2 :

Facteurs de changement associés aux milieux d'altitude et tendances d'évolution liées.

		Facteurs de changement									
		Changements climatiques	Fragmentation et destruction d'habitats	Pratiques agricoles	Pratiques récréatives	Développement des énergies renouvelables	Espèces envahissantes	Pollutions	Surexploitation des ressources biologiques	Politiques Publiques	
Degré de confiance		***	***	***	***	**	*	*	*	**	**Tendance d'évolution**
Haute Montagne Métropole	Pelouses et pâturages naturels	***	***	***	**	*	*	**	**	***	↘
	Landes et formations buisson nantes	***	*	**	*	*	*	*	*	**	↗
	Formations arborées très peu denses	***	*	***	*	*	*	*	*	*	↗
	Végétation clairsemée et roches	***	**	*	**	*	*	*	*	*	→
	Milieux humides	***	***	**	**	***	*	***	*	***	↘
	Glaciers et neiges éternelles	***	*	*	**	*	*	**	*	***	↘
Haute Montagne Outre-Mer (voir rapport dédié)		***	**	***	***	*	***	**	**	**	**?**

Légende

Confiance	***	Elevée	**	Modérée	*	Faible
Fourniture	***	Elevée	**	Modérée	*	Faible
Evolution	↗	Augmentation	↘	Diminution	→	Stable

Bibliographie

Adabel. L'agriculture de Belledonne.
http://www.adabel.fr/-L-agriculture-de-Belledonne-.html (consulté le 10/07/2017)

ADEME (2016) *Le solaire photovoltaïque*. Les avis de l'ADEME. pp.9

Air-APS (2011) Bilan 2011 de la qualité de l'air dans le parc naturel de la Vanoise et dans les territoires d'altitude. Rapport L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie. pp. 25.

Alexander JM, Diez JM, Levine JM (2015) Novel competitors shape species' responses to climate change. *Nature* 525 : 515 – 518.

Alexander, J. M., Lembrechts, J. J., Cavieres, L.A., Daehler, C., Haider, S., Kueffer, C.,… & Rew, L. J. (2016). Plant invasions into mountains and alpine ecosystems : current status and future challenges. *Alpine Botany*, *126* (2), 89-103.

ATEAM (2004) *Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling Final Report -Section 5 and 6*. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany

Badre, M., Prime, J-L., Ribiere, G. (2009) *Neige de culture : état des lieux et impacts environnementaux - Note socio-économique*. Rapport n°6332-01 Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable. pp.162.

Bebi, P., Kulakowski, D., & Rixen, C. (2009). Snow avalanche disturbances in forest ecosystems — State of research and implications for management. *Forest ecology and Management*, *257* (9), 1883-1892.

Bernard (2017) Mécanismes fonctionnels de résilience des prairies subalpines au changement global. Thèse LECA Université Grenoble Alpes.

Blarquez, O., & Carcaillet, C. (2010). Fire, fuel composition and resilience threshold in subalpine ecosystem. *PLoS One*, *5* (8), e12480.

Bleeker, A., Hicks, W. K., Dentener, F., Galloway, J., & Erisman, J. W. (2011). N deposition as a threat to the World's protected areas under the Convention on Biological Diversity. *Environmental pollution*, *159* (10), 2280-2288.

Bourdeau, P. (2008). Les défis environnementaux et culturels des stations de montagne. Une approche à partir du cas français. *Téoros. Revue de recherche en tourisme*, *27* (27-2), 23-30.

Boutin, M., Lamaze, T., Couvidat, F., & Pornon, A. (2015). Subalpine Pyrenees received higher nitrogen deposition than predicted by EMEP and CHIMERE chemistry-transport models. *Scientific reports*, *5*.

Boutin, M., Corcket, E., Alard, D., Villar, L., Jiménez, J. J., Blaix, C.,… & Pornon, A. (2017). Nitrogen deposition and climate change have increased vascular plant species richness and altered the composition of grazed subalpine grasslands. *Journal of Ecology*.

Bozzolo, G. (2012) Coup d'œil sur l'évolution de l'agriculture montagnarde en Pyrénées. *La Buvette des alpages*

Büntgen, U., Liebhold, A., Jenny, H., Mysterud, A., Egli, S., Nievergelt, D.,… & Bollmann, K. (2014). European springtime temperature synchronises ibex horn growth across the eastern Swiss Alps. *Ecology Letters*, *17* (3), 303-313.

Camac, J. S., Williams, R.J., Wahren, C.-H., Hoffmann, A.A. and Vesk, P.A. (2017), Climatic warming strengthens a positive feedback between alpine shrubs and fire. *Glob Change Biol*, 23 : 3249 – 3258.

Carlson, B.Z., Choler, P., Renaud, J., Dedieu, J.-P. & Thuiller, W. (2015) Modelling snow cover duration improves predictions of functional and taxonomic diversity for alpine plant communities. *Annals of Botany*, 116**,** 1023-1034.

Carlson, B.Z., Corona, M.C., Dentant, C., Bonet, R., Thuiller, W. & Choler, P. (2017) Observed long-term greening of alpine vegetation — a case study in the French Alps. *Environmental Research Letters*, 12, 114006.

Carlson, B. Z., Renaud, J., Biron, P. E., & Choler, P. (2014). Long-term modeling of the forest – grassland ecotone in the French Alps : implications for land management and conservation. *Ecological Applications*, *24* (5), 1213-1225.

Cerdà, A., & Lasanta, T. (2005). Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees : 1. Water and sediment yield. *Catena*, *60* (1), 59-80.

Choler, P. (2015) Growth response of temperate mountain grasslands to inter-annual variations in snow cover duration. *Biogeosciences*, 12**,** 3885-3897.

CTC (s.d.) Réalités, caractéristiques, conséquences du réchauffement et du changement climatiques en Corse – Préconisations. Rapport du Conseil Economique, Social et Culturel de Corse – Collectivité Territoriale de Corse. pp.27.

D'Amico F. (2013) Chapitre 7 - La Montagne *in* Le Treut H. *Prévoir pour agir – La Région Aquitaine anticipe le changement climatique*.

Dalstein, L., Vollenweider, P., Vas, N., & Günthardt-Goerg, M. S. (2002). L'ozone et les coniferes du Sud-Est de la France. *Forêt méditerranéenne*, *23* (2), 105-116.

DDT73 (2009) *Gestion durable des territoires de montagne - la neige de culture en Savoie et Haute-Savoie*. pp.88.
http://www.observatoire.savoie.equipement-agriculture.gouv.fr/PDF/Etudes/Rapport_NeigeDeCulture_v27092011.pdf

DSF (2016) Indicateurs et analyses 2016 – L'observatoire des Domaines Skiables de France. pp.8.
http://www.domaines-skiables.fr/fr/smedia/filer_private/ab/b2/abb2010a-b368-4e2e-8cf1-ed54e9ac8abd/indicateurs-et-analyses-2016.pdf

Dugleux E., 2002. – « Impact de la production de neige de culture sur la ressource en eau. », Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Lyon. pp.7.

Dupin B., Malaval S., Couëron G., Cambecedes J., Largier G. (2014). Comment reconstituer la flore en montagne pyrénéenne ? : un guide technique de restauration écologique, Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Bagnères de Bigorre, pp.116.

EEA. (2009) *Regional Climate Change and Adaptation - The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources*. Copenhagen.

Etchélécou, A., Deletraz, G. & Elichegaray, C. (2001) Programme Ecosystèmes – Transprts – Polutions 1998-2001. Rapport de synthèse. pp. 82.

Errouissi, F., & Lumaret, J.P. (2010). Field effects of faecal residues from ivermectin slow-release boluses on the attractiveness of cattle dung to dung beetles. *Medical and veterinary entomology*, 24 (4), 433-440.

Evette, A., Peyras, L., François, H., & Gaucherand, S. (2011). Risques et impacts environnementaux des retenues d'altitude pour la production de neige de culture dans un contexte de changement climatique. *Journal of Alpine Research| Revue de géographie alpine*, (99-4).

Evin, M. (2005) Les effets du surpâturage dans les Alpes du Sud : impacts sur la biodiversité et la torrentialité. *La voie du loup*, 22, pp.4.

Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N.E., & Thuiller, W. (2012). Invasive species distribution models – how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography*, *21* (11), 1126-1136.

Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R.,… & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle : recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, *320* (5878), 889-892.

Garde, L., Dimanche, M., & Lasseur, J. (2014). Permanence et mutations de l'élevage pastoral dans les Alpes du Sud. *Journal of Alpine Research| Revue de géographie alpine*, (102-2).

Gauche, M. (2017) *La fonction touristique des territoires : facteur de pression ou de préservation de l'environnement ?* Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer -service de l'observation et des statistiques (SOeS). pp. 56.

Gaucherand, S. (2014). Les enjeux de la revégétalisation de 1970 à aujourd'hui dans les Alpes françaises : vers davantage de biodiversité. Journée d'échange sur la récolte et l'utilisation des semences locales de montagne, IRSTEA, 13/06/2014, la Plagne (France)

Germain, D., Filion, L., & Hétu, B. (2005). Snow avalanche activity after fire and logging disturbances, northern Gaspé Peninsula, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, *42* (12), 2103-2116.

Girard, F., Payette, S., & Delwaide, A. (2017). Patterns of Early Postfire Succession of Alpine, Subalpine and Lichen-Woodland Vegetation : 21 Years of Monitoring from Permanent Plots. *Forests*, *8* (9), 346.

Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps — a review. *Science of the Total Environment*, *493*, 1138-1151.

Granjou, C., Gaucherand, S., & Chanteloup, E. (2010). De la réparation à la restauration. La revégétalisation des pistes de ski à l'Alpe d'Huez. *Journal of Alpine Research - Revue de géographie alpine*, (98-3).

Guisan, A., & Theurillat, J. P. (2000). Assessing alpine plant vulnerability to climate change : a modeling perspective. *Integrated assessment*, *1* (4), 307-320.

Hiltbrunner, E., Aerts, R., Bühlmann, T., Huss-Danell, K., Magnusson, B., Myrold, D.D.,… & Körner, C. (2014). Ecological consequences of the expansion of N2-fixing plants in cold biomes. *Oecologia*, *176* (1), 11-24.

Hinojosa, L., Napoléone, C., Moulery, M., & Lambin, E.F. (2016). The "mountain effect" in the abandonment of grasslands : Insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *221*, 115-124.

Irl SDH, Jentsch A, Walther G-R (2013) Papaver croceum Ledeb : a rare example of an alien species in alpine environments of the Upper Engadine, Switzerland. *Alp Bot* 123 : 21 – 30.

Joncour, G., Le Dréan-Quénec'hdu, S., Vilagines, L., Guiraud, C., & Razin, M. (2010). Exposition de la faune sauvage aux traitements vétérinaires ou phytosanitaires et ses conséquences, à travers quelques exemples. *Journées Nationales GTV, Lille*.

Körner, C. & Ohsawa, M. (2005) *Chapter 24 – Mountain Systems*. Millenium Ecosystem Assessment Report. pp.36.

Koscielny, M. (2008). Impacts des aménagements en montagne sur les processus hydrologiques et l'évolution géodynamique des versants (Les Arcs, Savoie, France). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *67* (4), 585-595.

Lamarque, P. & Lambin, E.F. (2015) The effectiveness of marked-based instruments to foster the conservation of extensive land use : The case of Geographical Indications in the French Alps. Land Use Policy, 42, 706-717.

Malaval, S., Dupin, B., & Dantin, G. (2015). Conservation et restauration de la flore dans un contexte anthropisé, quelles solutions ?. *Sciences Eaux & Territoires*, (1), 70-75.

Masson, N., Fleury, P., Plaige, V. (2000) *Alpages et prairies de montagne – Un patrimoine biologique et agricole*. Parc National de la Vanoise / SUACI Alpes du Nord. pp.60.

Mayor, J. R., Sanders, N. J., Classen, A. T., Bardgett, R. D., Clément, J. C., Fajardo, A.,… & Cieraad, E. (2017). Elevation alters ecosystem properties across temperate treelines globally. *Nature*, *542* (7639), 91-95.

Messerli B, Viviroli D, Weingartner R 2004. Mountains of the world : Vulnerable Water Towers for the 21st century. *Ambio*, 29-34.

Mounet, J. P. (2007). La gestion environnementale des sports de nature : entre laisser-faire, autorité et concertation. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*.

Mountain Riders (2014) L'écoguide des stations de montagne 2014-2015. 7ème édition. pp.18. http://www.mountain-riders.org/upload/editor/files/Ecoguide_stations_2014-min %281 %29.pdf

Negro, M., Rolando, A., & Palestrini, C. (2011). The impact of overgrazing on dung beetle diversity in the Italian Maritime Alps. *Environmental entomology*, 40 (5), 1081-1092.

Nettier, B., Dobremez, L., Coussy, J.-L. & Romagny, T. (2010) Attitudes des éleveurs et sensibilité des systèmes d'élevage face aux sécheresses dans les Alpes françaises. *Revue de Géographie Alpine / Journal of Alpine Research*, 98

Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezquita, S., & Favila, M.E. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological conservation*, *141* (6), 1461-1474.

Nicoud, G. (2008) *Guide technique – Energie en site isolé d'altitude*. Qualification de l'offre des refuges de montagne pour un tourisme durable en Vallée d'Aoste et Pays de Savoie. Programme Interreg IIIa ALCOTRA – Projet Refuges n°192. pp.44.

OFEV (2011) Le niveau d'azote de l'air influence la biodiversité. *MDB – Facts* n°3, pp.4.

OPCC (s.d.) Rapport Exécutif Action 1 - Climat http://www.opcc-ctp.org/images/images_2014/actions/Resumen_CLIMA_FR.pdf

OPCC-CTP (2013) *Etude sur l'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées* -Synthèse du rapport final. pp.51

Paccard P., 2010. – « Gestion durable de l'eau en montagne : le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver », Thèse de doctorat de géographie, Université de Savoie, 482 p.

Pauchard A et al (2016) Non-native and native organisms moving into high elevation and high latitude ecosystems in an era of climate change : new challenges for ecology and conservation. *Biol. Invasions* 18 : 345 – 353.

Peyras, L., Mériaux, P., Degoutte, G., Deroo, L., Évette, A., Girard, H., Laigle, D. & Lefranc, M. (2010). Retenues d'altitude pour la production de neige de culture : recommandations pour la conception, la réalisation, la surveillance et la réhabilitation. *Sciences Eaux & Territoires*, (2), 92-100.

PNE (s.d.) Mélézins et pratiques pastorales. Fiche produite par le Parc National des Ecrins http://www.ecrins-parcnational.fr/sites/ecrins-parcnational.com/files/fiche_doc/12078/ft-pasto-melezinsetpratiquespastorales.pdf

PNF (2012) *Alpages et estives dans les parcs nationaux métropolitains de montagne*. Parcs Nationaux de France. pp.24.

Porteret, J. (2015) *Fonctionnement hydrologique des zones humides de montagne*. Journée technique d'échanges du Réseau Eau en Montagne. (16/10/2015). https://prezi.com/9rj0aflevfde/fonctionnement-hydrologique-des-zones-humides-de-montagne/

RAEE (2005) *Potentiels de développement de l'énergie éolienne, contraintes techniques, environnementales, réglementaires, et socio-économiques en zone alpine - Traitement de la problématique dans les zones alpines de la région Rhône-Alpes*. Document de Synthèse du projet Interreg Alpine WindHarvest. pp.43.

Rixen C (2002) Artificial snow and snow additives on ski pistes : interactions between snow cover, soil and vegetation. PhD thesis, University of Zurich, pp.162.

Rixen, C., Huovinen, C., Huovinen, K., Stöckli, V. & Schmid, B. (2008) A plant diversity×water chemistry experiment in subalpine grassland. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 10, 51-61.

Rixen, C., Wipf, S., Frei, E. & Stöckli, V. (2014) Faster, higher, more ? Past, present and future dynamics of alpine and arctic flora under climate change. *Alpine Botany*, 124, 77-79.

Roux-Fouillet, P., Wipf, S. & Rixen, C. (2011) Long-term impacts of ski piste management on alpine vegetation and soils. *Journal of Applied Ecology*, in press.

Sala, O. E. et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770 – 1774 (2000).

Schermer, M., Darnhofer, I., Daugstad, K., Gabillet, M., Lavorel, S. & Steinbacher, M. (2015) Factors impacting reflexivity and adaptability of European permanent mountain grassland farms to global change. *Mountains of our Future Earth*. Perth, Scotland.

Schirpke, U., Tasser, E. & Tappeiner, U. (2013) Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning*, **111**, 1 – 12. Share (2013) *Handbook. A problem solving approach for sustainable management of hydropower and river ecosystems in the Alps*. SHARE - Sustainable Hydropower in Alpine River Ecosystems. pp.92.

Sicard, P., Vas, N., Calatayud, V., Garcia-Breijo, F. J., Reig-Armiñana, J., Sanz, M.J., & Dalstein-Richier, L. (2010). Dommages forestiers et pollution à l'ozone dans les réserves naturelles : le cas de l'arolle dans le sud-est de la France. *Forêt Méditerranéenne*, *31*, 273-286.

Smith, H. G., & Dragovich, D. (2008). Post-fire hillslope erosion response in a sub-alpine environment, south-eastern Australia. *Catena*, *73* (3), 274-285.

Soureillat, A. (2015) *Zones humides de montagne*. Journée technique d'échanges du Réseau Eau en Montagne. (16/10/2015).

Speight, M.C.D. & Castella, E. (2005) Diagnostic de pelouses et landes sub-alpines, à l'aide des Diptères Syrphidae. In Speight, M.C.D., Castella, E., Sarthou, J.-P. and Monteil, C. (eds.) *Syrph in the Net, the database of European Syrphidae*, vol. 47, 57 pp. Syrph the Net publications, Dublin.

Suaci Montagn'Alpes, Fédération des Alpes d'Isère, Société d'Economie Alpestre de Savoie et Société d'Économie Alpestre de Haute-Savoie (2017) Foncier agripastoral en station ; Premiers éléments quantitatifs et qualitatifs sur les interfaces entre activités agripastorales et stations. Rapport CGET. pp. 105.

Sutton, M. A., & Bleeker, A. (2013). Environmental science : the shape of nitrogen to come. *Nature*, *494* (7438), 435-437.

Tafani, M., Cohas, A., Bonenfant, C., Gaillard, J. M., & Allainé, D. (2013). Decreasing litter size of marmots over time : a life history response to climate change ?. *Ecology*, *94* (3), 580-586.

UICN France (2013) *Les montagnes et la transition énergétique – Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et enjeux de leur développement sur les territoires de montagne*. Paris, France.

UICN France (2015). *Changement climatique et risques naturels dans les montagnes tempérées*. Paris, France.

Zierl, B., & Bugmann, H. (2005). Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resources Research*, *41* (2).

* * *

BIENS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES, PATRIMOINE NATUREL

Partie 3

Préambule

Les sociétés humaines dérivent différents types d'avantages de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes, auquel il est référé dans l'EFESE comme les « biens et services écosystémiques ». Par ailleurs, le cadre conceptuel de l'EFESE reconnait la dimension identitaire de la nature et de la biodiversité, au titre du « patrimoine naturel ». L'objet de cette partie est de caractériser ces trois catégories dans le cas des milieux de haite montagne..

Différentes approches peuvent être mobilisées pour évaluer les avantages que les sociétés retirent du fonctionnement des écosystèmes. Il existe trois grands types d'évaluation qui caractérisent différentes dimensions de ces avantages et fournissent des résultats complémentaires (Martin-Lopez et al. 2014) :

- Les **évaluations biophysiques** caractérisent la capacité des écosystèmes à fournir un bien, un service ou un élément du patrimoine naturel (par exemple, capacité à produire de la biomasse herbacée pour la production de fourrage ou capacité à retenir les particules de sol pour le contrôle de l'érosion),
- Les **évaluations socio-culturelles** rendent explicite la demande exprimée par différents groupes d'acteurs vis-à-vis du bien, service ou élément du patrimoine naturel (par exemple, caractéristiques et localisation des bassins de vision pour les aménités paysagères ou définition des zones à enjeu pour la protection contre les risques naturels),

- Les **évaluations économiques** traduisent en termes souvent monétaires la valeur accordée par la société à un bien, service ou élément du patrimoine naturel (par exemple, consentement à payer pour protéger une espèce patrimoniale ou bénéfice économique issu des activités de cueillette de plantes sauvages).

Dans le cadre de l'évaluation des milieux de haute montagne, la partie III de ce rapport se concentre sur des évaluations biophysiques permettant de caractériser le fonctionnement des milieux d'altitude support de biens, services écosystémiques et patrimoine naturel. Des éléments de définition de la demande sont proposés en termes qualitatifs (voir schémas de synthèse pour chaque service présenté). Un prolongement souhaitable de ce travail consisterait à combiner les différents types d'évaluation des biens, services ou éléments du patrimoine naturel. De telles **évaluations intégrées** permettraient notamment de mettre en regard la capacité de fourniture des écosystèmes avec les demandes exprimées par la société et avec l'usage effectif de ces milieux d'altitude.

Une **grande variété de méthodes** a été mobilisée dans ce rapport pour renseigner la capacité des écosystèmes de haute montagne à fournir différents biens, services et éléments du patrimoine naturel (Tableau 1). En cohérence avec les **moyens disponibles lors de sa réalisation**, certains services font l'objet d'une description détaillée alors que d'autres ne sont que succinctement abordés. Une **description générale** des services écosystémiques montagnards a été proposée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et complète utilement les éléments proposés dans ce rapport (UICN France 2014).

Tableau 1 :

Biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel considérés par le Groupe de Travail Haute Montagne de l'EFESE.

Catégorie	Variable	Méthode
Biens produits	Production de fourrage	- Echelle nationale : production de biomasse estimée par télédétection (Choler et al. en préparation) - Echelle locale (Parc National des Ecrins) : modélisation basée sur les traits fonctionnels des espèces prairiales (travaux originaux -Zawada 2016)
	Cueillette de plantes sauvages	Liste des principales espèces de plantes sauvages cueillies (travaux originaux issus du traitement spatial de données nationales (Lescure et al. en cours, CBNA) et de l'expertise du CBNPMP + contributions projet FloreS - Université de Lausanne)
Services de régulation	Régulation du climat global – Stocks de carbone	- Synthèse qualitative sur la base de la bibliographie et de données préexistantes - Illustration méthodologique à différentes échelles par des travaux préexistants
	Contribution des écosystèmes à la régulation hydrologique	- Synthèse qualitative originale (contributions IRSTEA Grenoble, ASTERS, CEN Savoie, Pole Relai Tourbière, CREA) - Modélisation originale des capacités d'infiltration (WaterWorld -King's College of London)
	Contribution des écosystèmes au contrôle de l'érosion des sols	- Synthèse qualitative sur la base de travaux préexistants - Modélisation originale de la contribution du couvert végétal en place (données JRC)
	Rôle des écosystèmes dans la protection contre les risques naturels	- Synthèse qualitative sur la base de travaux préexistants (contributions IRSTEA Grenoble, PARN)
Services culturels et récréatifs	Attractivité des écosystèmes pour les activités sportives de pleine nature	- Modélisation originale (inspirée de Byzcek et al. *soumis*, données CampToCamp)

Catégorie	Variable	Méthode
	Aménités paysagères	- Synthèse qualitative sur la base de travaux préexistants - Echelle nationale : diversité des paysages par basin de vision (modélisation originale) - Echelle locale (Parc National des Ecrins) : modélisation basée sur les traits fonctionnels des espèces prairiales (travaux originaux -Zawada 2016)
	Chasse récréative	- Synthèse qualitative sur la base de travaux préexistants (contributions ONCFS, OGM)
	Soutien aux activités de recherches scientifiques	(non développé)

Tableau 2 (suite)

Biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel considérés par le Groupe de Travail Haute Montagne de l'EFESE.

Catégorie	Variable	Méthode
Patrimoine naturel	Espèces patrimoniales	- Synthèse qualitative sur la base de travaux préexistants - Parcs Nationaux / Flore : cartographie de données d'inventaires (données SILENE, PIFH, Parc National des Pyrénées) - Alpes / Flore : modélisation des habitats favorables (travaux originaux, données Thuiller et al. 2009, 2014) - Echelle nationale / Faune : modélisation des habitats favorables pour les espèces identifiées a dires d'experts (travaux originaux, contributions EPHE, PNE, EGIS, LECA, données Maiorano et al. 2013) - Echelle locale / Faune et Flore (Parc National des Ecrins) : identification des espèces patrimoniales et emblématiques (travaux originaux - Lyonnard 2016, Zawada 2016)
	Paysages patrimoniaux	Utilisation de l'indicateur "Sites classes" (données CARMEN)
	Labels de reconnaissance patrimoniale	(non développé)
	Inspiration pour l'art et la littérature	(non développé)

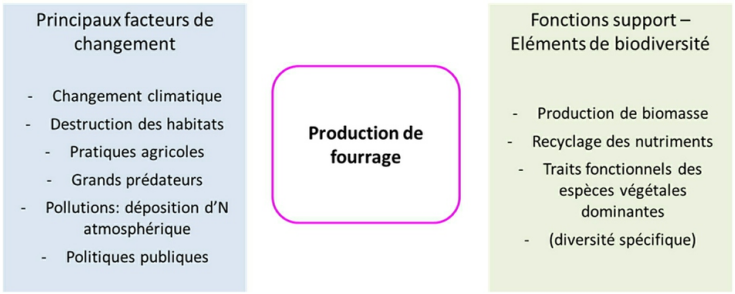
CHAPITRE 8

Biens produits

1. – Production de fourrage

1) – Description du service

Figure 1 : Production de fourrage – Synthèse



Les activités agropastorales en haute montagne reposent sur la production de fourrage (i.e. de biomasse herbacée) par les écosystèmes. Alors qu'à plus basse altitude, les prairies peuvent être semées, fertilisées chimiquement voire labourées périodiquement, en haute montagne la gestion des espaces en herbe, souvent protégés et subventionnés par des **mesures agro-environnementales**, repose essentiellement sur la **productivité des écosystèmes** et sur les **modalités de conduite des troupeaux** (voir Partie II). A ce titre, la caractérisation du service écosystémique de production de fourrage passe par la caractérisation de la production de biomasse par les écosystèmes ainsi que par l'intégration

des effets des pratiques agricoles sur celle-ci. Les modifications dans la gestion de ces espaces induites par les **grands prédateurs**, couplées aux pressions exercées par les **changements climatiques** et les **dépositions atmosphériques d'azote**, modulent la production de biomasse par les écosystèmes herbacés, voire leur composition (Figure 1). Ce bien revêt une importance majeure pour les **acteurs de la filière agricole**, dont la sécurité économique dépend de la qualité et de la quantité de fourrage consommé par les troupeaux, ainsi que pour les **populations locales**, consommateurs directs des biens produits et bénéficiaires indirects du cadre de vie et des interactions auxquelles contribue cette activité agropastorale structurante des milieux d'altitude. Les avantages de la production de fourrage dépassent cependant largement les bénéficiaires directs et locaux, et concernent plus globalement l'ensemble des **consommateurs des biens agricoles** associés à la haute montagne.

Au-delà de la biomasse produite, qui reflète le service écosystémique potentiel fourni par les milieux d'altitude, son utilisation effective par les troupeaux constitue un indicateur du service écosystémique réel. La **quantité de biomasse exportée** ou encore le **chargement en bétail** correspondent ainsi au croisement entre le service potentiel et la demande exprimée vis-à-vis de la localisation et de la productivité des zones en herbe. Un tel indicateur permettrait de mieux approcher la part de la productivité primaire appropriée par les troupeaux. Toutefois, ces informations n'ont pas pu être mobilisées dans le cadre de ce rapport, de même que les éléments économiques issus des bilans comptables des exploitations agricoles, et seraient à ajouter dans une itération ultérieure.

2) – Approche quantitative par modélisation à l'échelle nationale

A l'échelle nationale, il n'existe pas de données spatiales caractérisant les espaces en herbe en fonction de leur productivité. Des **guides de végétation** ont été proposés à l'échelle de la région biogéographique (par exemple, Alpes du Nord ou Vanoise) : ils décrivent les principaux types de végétation pâturés et les caractéristiques associées en termes de rendement et de temporalité. Toutefois ces informations ne sont que très rarement reliées à des données cartographiées. Les **statistiques agricoles**, dont de nombreux éléments sont disponibles en libre accès (par exemple, données AGRESTE), présentent un degré d'agrégation spatiale et typologique peu adapté à la caractérisation du service de production fourragère en haute montagne. La **télédétection** offre une méthode alternative pour une représentation spatialement explicite des caractéristiques des écosystèmes en altitude à large échelle. En particulier une extrapolation spatiale des données telles que celles des guides de végétation, ou de données locales sur la production de fourrage, nécessiterait une cartographie complète des différents habitats prairiaux, telle que celle projetée dans le cadre du programme de cartographie nationale des habitats terrestres (CARHAB).

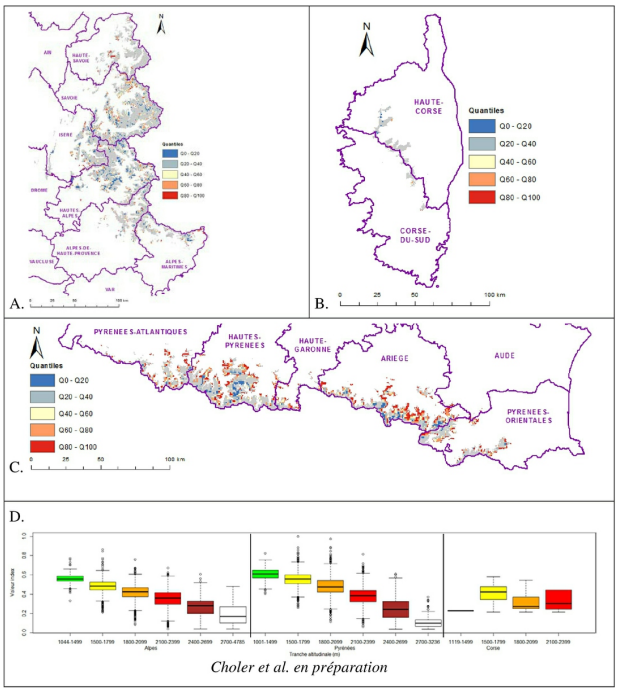
L'approche proposée ici repose sur l'utilisation directe de la télédétection pour caractériser la biomasse produite par les milieux prairiaux à l'échelle nationale (travaux en cours – Choler et al. en préparation). La méthodologie proposée repose sur le calcul de la **productivité primaire brute** (*GPP – gross primary productivity*), qui représente la quantité d'énergie mobilisée par les végétaux au travers de la photosynthèse pour produire de la biomasse. Cette productivité dépend de la radiation photosynthétique active reçue par les plantes (déterminée par télédétection à partir du produit MODIS NDVI), de la fraction de cette radiation absorbée par la végétation (produit Météo France SAFRAN) ainsi que d'un coefficient d'efficacité d'utilisation des radiations, qui est fonction du type végétal, de contraintes thermiques et hydriques (Running et al. 2004) (modèle de Monteith – voir Choler et al. *en préparation* pour plus

de détails). Ce modèle a été appliqué à l'échelle nationale selon une grille kilométrique sur les **prairies permanentes** identifiées par combinaison des données de Corine Land Cover et du registre parcellaire graphique (RPG). Ces données permettent de renseigner environ un quart de la superficie de la haute montagne : 21 % dans les Alpes dont 36 % des pelouses et pâturages naturels et 27 % des végétations clairsemées ; 46 % dans les Pyrénées dont 57 % des pelouses et pâturages naturels et 51 % des végétations clairsemées ; et 7 % en Corse dont 19 % des pelouses et pâturages naturels et 14 % des végétations clairsemées. La **production annuelle totale de biomasse** est, en accord avec les guides de végétation estimée à 1 à 7,5 t/ha pour les Alpes, et jusqu'à 9 t/ha pour les Pyrénées. Une **validation par des données de terrain** (mesure de la biomasse au pic de végétation) permettrait d'assurer la robustesse des résultats proposés. Une telle campagne de validation nécessiterait des moyens coordonnés au niveau d'un programme national, en particulier au sein des espaces protégés. Par ailleurs, l'utilisation de données de télédétection pourrait être élargie pour considérer l'ensemble des milieux pâturés dans une prochaine itération de l'évaluation.

Les résultats représentent la productivité primaire brute des espaces considérés comme prairies permanentes sur le territoire de la haute montagne (Figure 2). Nous soulignons le fait que la productivité primaire brute des milieux en herbe ne représente pas la quantité de fourrage consommée par les troupeaux. Ainsi, environ **30 %** de la productivité primaire brute pourraient être considérés comme disponibles pour les animaux et donc contribuer au service écosystémique de production de fourrage (Choler et al. *en préparation*). Les analyses mettent en évidence la **décroissance attendue de la productivité primaire brute avec l'altitude** avec des valeurs similaires pour les Alpes et les Pyrénées (légèrement plus élevées), alors qu'elles sont plus faibles à altitude égale pour la Corse, et peu variables avec l'altitude. Du fait du décalage des distributions d'altitudes entre les Pyrénées et les Alpes (Figure 2),

les Pyrénées présentent plus de surfaces à productivité relativement élevée. Par ailleurs, on observe comme attendu une plus forte productivité sur les pelouses et pâturages naturels que dans les milieux couverts par une végétation clairsemée (résultats non détaillés).

Figure 2 : Productivité brute de biomasse. Distribution des résultats sous forme de quintiles pour les valeurs standardisées (0-1) sur l'ensemble des trois massifs pour les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction de l'altitude (D.). Seuls les espaces considérées comme prairies permanentes sont traités dans l'analyse, les autres apparaissent en gris sur les cartes. Données issues de Choler et al. en préparation.



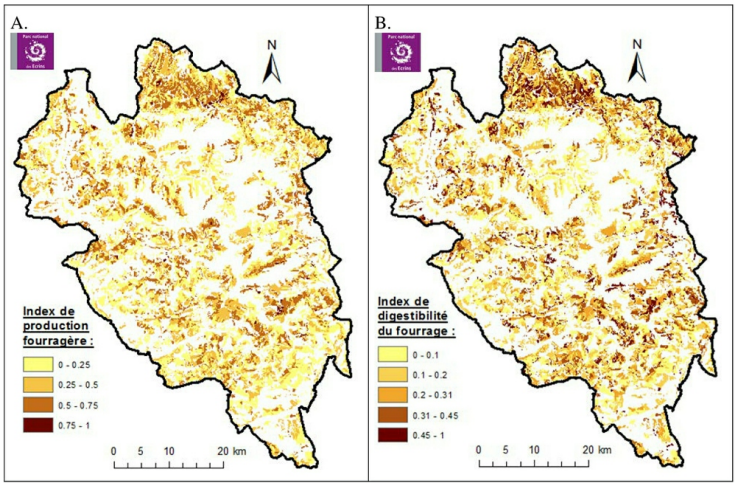
3) – Approche quantitative par modélisation à l'échelle locale : zoom sur le Parc National des Ecrins

Lorsque des données précises sur la composition spécifique des prairies sont disponibles, il est possible d'améliorer la caractérisation du service de production de fourrage. Les données d'inventaires botaniques et de cartographie du Parc National des Ecrins (PNE – données DELPHINE) ont ainsi été mobilisées pour appliquer des **modèles basés sur les traits fonctionnels** des espèces. Ces modèles associent les différentes

caractéristiques mesurables des espèces, par exemple leur taille, le contenu en azote ou en matière sèche de leurs feuilles ou encore leur date de floraison, aux fonctions qu'elles remplissent dans l'écosystème (Lavorel et al. 2011). Ils permettent donc une **représentation fine de la contribution de la biodiversité** à la fourniture des services écosystémiques (Lavorel et al. 2017).

Deux modèles développés dans le cadre des travaux à long terme du Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA) au Col du Lautaret ont été mobilisés (Devaux 2016). Ils décrivent la **quantité de biomasse produite** par les prairies et pelouses du PNE ainsi que leur digestibilité moyenne, qui est considérée comme un indicateur de la **qualité du fourrage** (Figure 3) (Zawada 2016). Au-delà de leur interprétation contextuelle, non développée ici mais déjà mobilisée par le PNE, ces résultats mettent en évidence la variabilité à échelle fine du niveau de fourniture de ces deux services au sein des prairies et pelouses qui est masquée par des modélisations plus grossières. Une telle analyse met en évidence **l'impact de l'hétérogénéité spatiale des conditions pédoclimatiques et des modalités de gestion** sur les services écosystémiques. En effet, les conditions pédoclimatiques locales et la gestion modifient la composition des communautés végétales, et la représentation de la diversité de types de prairies et pelouses dans la modélisation se traduit directement pour la fourniture des services écosystémiques associés (Lavorel et al. 2011). Une telle cartographie est un apport important pour la gestion d'un espace naturel pour lequel des données spatialement explicites de la production de fourrage n'existent pas.

Figure 3 : Modélisations de la quantité de biomasse fourragère (A.) et de la digestibilité de la biomasse produite (B.) par les prairies et pelouse de la zone d'adhésion optimale du Parc National des Ecrins.



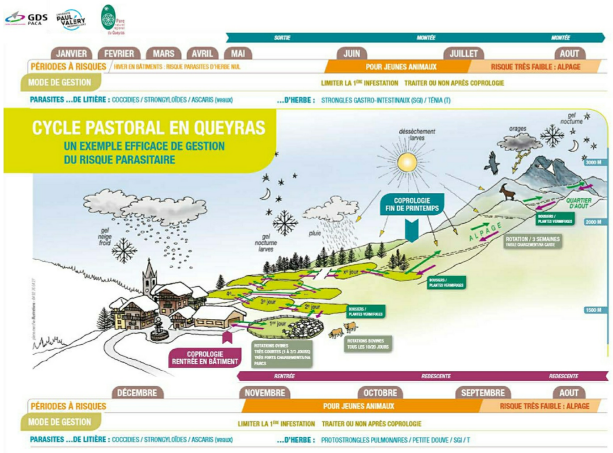
4) – Co-bénéfice sur le contrôle des parasites internes du bétail

Au-delà des aspects strictement nutritionnels développés précédemment, les espaces pâturés de haute montagne peuvent contribuer au contrôle des **parasites internes** du bétail, tels que les strongles gastro-intestinaux ou les petites douves. En effet, les milieux ouverts de montagne sont l'habitat d'un certain nombre de **plantes aux vertus vermifuges** du fait des **tanins** qu'elles contiennent. Parmi celles-ci, citons par exemple l'armoise-absinthe, l'ail des ours, le chénopode Bon-Henri, la moutarde des champs, différentes orties et lotiers alpins, le sainfoin montagnard ou encore le serpolet et la valériane de montagne (Carlier & Cornille 2012). La consommation de ces espèces fourragères semble affecter négativement la biologie des parasites et la dynamique des infestations, comme cela a été mis en évidence chez les caprins

et ovins (Peyraud et al. 2015). Les tanins pourraient aussi directement stimuler les réponses immunitaires des animaux. Les mécanismes spécifiques de ces actions demeurent toutefois à expliciter, de même que

l'ampleur de l'effet de la consommation des plantes vermifuges en haute montagne. Plus largement, la mise en estive, dépendante de la production de fourrage en altitude, permet d'extraire les animaux des **parcelles de vallée** et donc d'assainir ces dernières en y **interrompant le cycle des parasites** (Figure 4).

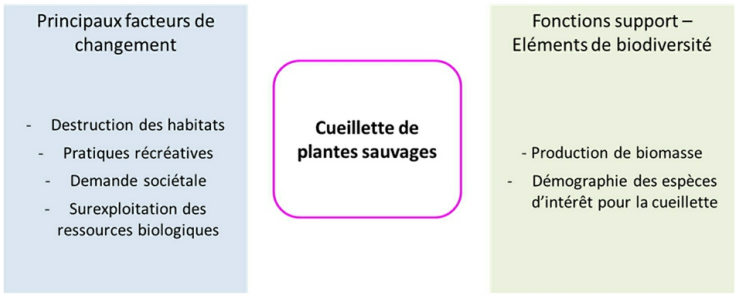
Figure 4 : Contribution de la haute montagne au contrôle du risque parasitaire. Deux effets sont mis en avant : i) l'action vermifuge de certaines espèces fourragères, et ii) l'interruption du cycle parasitaire en vallée permise par la montée en estive. Figure extraite de la brochure « Gestion du risque parasitaire interne des ruminants dans le Queyras ».
Crédit : Carlier, J. & Cornille, Y. (2012)



2. – Cueillette de plantes sauvages

1) – Description du service

Figure 5 : Cueillette de plantes sauvages – Synthèse



La cueillette de plantes sauvages dépend de la capacité des milieux de haute montagne à **constituer un habitat** pour les espèces d'intérêt. Celle-ci est fonction de leur état écologique, soumis localement aux pressions exercées par les **aménagements** d'une part et par les **pratiques de cueillette** (modalités de prélèvement, volumes) d'autre part (Figure 5). Les acteurs de la filière cueillette sont les principaux bénéficiaires des **avantages économiques** associés à ce bien, y compris en termes de valorisation touristique. Les populations locales, et dans une moindre mesure les pratiquants de la haute montagne de manière générale, bénéficient des aspects **sociaux et sanitaires** de la cueillette non commerciale, dont certaines espèces sont utilisées dans un objectif médicinal.

Deux dimensions principales sont associées à la cueillette de plantes à haute altitude et placent cette activité à la fois en tant que bien écosystémique et en tant que service culturel. La **cueillette à visée commerciale** vise à alimenter en produits bruts de nombreuses filières, entre autres médicinales, aromatiques, cosmétiques et alimentaires. Elle concerne des cueilleurs de métier, dont la **structuration professionnelle est en pleine croissance.** Par exemple, en 2011 a été créée l'Association Française des professionnels de la Cueillette de plantes sauvages (AFC) qui a pour buts de construire la reconnaissance de la profession de cueilleur dans sa diversité, de promouvoir le développement de bonnes pratiques et d'assurer le dialogue avec

les gestionnaires des milieux. Sur les territoires de montagne, le Syndicat des Simples est un syndicat inter-massifs pour la production et l'économie des simples qui regroupe une centaine de producteurs-cueilleurs de plantes médicinales aromatiques, alimentaires, cosmétiques et tinctoriales. Les ressources financières associées à la cueillette commerciale, bien que particulièrement complexes à déterminer, contribuent au dynamisme économique des régions de montagne. Les revenus issus de cette activité ne sont pas quantifiés, et le faire représenterait un défi considérable du fait de la dispersion des acteurs et de la diversité des produits. En parallèle, la **cueillette non commerciale** regroupe des amateurs aux **objectifs** variés en termes d'espèces et de quantités récoltées et dont les **connaissances** du milieu et des espèces peuvent différer fortement. La contribution de la cueillette à **l'alimentation** demeurant généralement limitée, les bénéfices associés à cette activité tendent alors vers des **composantes culturelles**, récréatives et identitaires.

La cueillette en altitude requière un **effort** particulier du fait des contraintes climatiques et d'accessibilité associées aux milieux de haute montagne. Les plantes dont la cueillette est significative seraient donc celles qui ne se retrouvent **pas à plus basse altitude**, où leur récolte serait moins difficile. Par exemple, il est probable que des espèces communes comme les menthes ou la grande ortie soient davantage récoltées en quantité à moyenne et basse altitude qu'en haute montagne. La cueillette en haute montagne peut par ailleurs concerner des plantes dont les **propriétés** recherchées, par exemple anti-oxydantes, sont conditionnées à la haute altitude et aux facteurs de stress abiotique liés (par exemple, l'Edelweiss). Par ailleurs, certaines espèces font l'objet de **mises en culture** par les professionnels de la filière, ce qui représente une possibilité de gestion durable de la ressource mais qui augmente la part de capital humain nécessaire à la récolte du produit final.

Figure 6 : Cueillette de l'Alchémille dans les Alpes.
Crédit photo : FloreS http://wp.unil.ch/flores/

Il n'existe à ce jour que très **peu de connaissances synthétiques et disponibles** sur la cueillette en haute montagne sur le territoire national. La collecte et la structuration des informations liées aux espèces cueillies, à leur répartition ainsi qu'aux volumes concernés mobilisent actuellement de nombreux efforts. Le projet de recherche-action **FloreS** (http://wp.unil.ch/flores/), actuellement en cours, a pour but d'accompagner les cueilleurs dans leur démarche de cueillette responsable à travers notamment l'élaboration d'une Charte nationale de la cueillette professionnelle de plantes sauvages et d'un guide de bonnes pratiques. Au-delà des objectifs de reconnaissance du métier de cueilleur de plantes sauvages, ce projet veut favoriser le dialogue entre cueilleurs professionnels, opérateurs économiques des filières et acteurs de la conservation et la gestion de nature. Les résultats du projet sont attendus dans le courant de l'année 2018 et devraient contribuer à une meilleure connaissance de cet enjeu à l'échelle nationale. Une **liste des principales espèces cueillies** au niveau national est en cours de consolidation (Lescure et al. en cours) ; elle synthétise les contributions de nombreux acteurs, notamment cueilleurs individuels, CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées, CBN Massif Central, agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) et partenaires du projet FloreS. Des **fiches techniques sur les bonnes pratiques** associées à la cueillette de plantes à enjeu sont également prévues. En parallèle,

les **Conservatoires Botaniques Nationaux (CBN)**, en particulier le pôle d'ethnobotanique du CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées (CBNPMP) et le CBN Massif Central, participent à la structuration des connaissances relatives à l'activité de cueillette et aux enjeux liés. Le CBNPMP contribue par exemple au projet Interreg **ValuePAM** (http://www.valuepam.eu/), qui regroupe différents partenaires de la filière pour concilier la mise en valeur économique des espèces cueillies avec la gestion durable de la ressource et des milieux associés. La question de la **construction des prix de vente** apparaît en effet comme un élément majeur pour la structuration et la pérennité des filières de cueillette et le maintien de la ressource. Aux niveaux nationaux, régionaux et départementaux, des **arrêtés** sont régulièrement prononcés afin de règlementer la cueillette de différentes espèces sensibles à la pression d'exploitation. Ces arrêtés, pour lesquels les connaissances des CBN sont souvent mobilisées, pourraient constituer une source intéressante de données sur les espèces à enjeu sur des périmètres donnés.

2) – Vers une liste des principales espèces cueillies en haute montagne

Nous présentons dans le cadre de ce rapport **une liste originale des principales espèces cueillies en haute montagne métropolitaine** (nnexe 1). Cette liste correspond à la sélection des principales espèces i) pour lesquelles la haute montagne peut constituer un habitat et ii) qui font l'objet de cueillette actuellement sur le territoire métropolitain. Deux approches ont été menées en parallèle grâce aux contributions volontaires de différents partenaires et sont présentées ici. Elles représentent deux voies prometteuses à explorer dans une optique d'approfondissement de la thématique cueillette.

1. **Sur le massif alpin**, la sélection des plantes sauvages cueillies a été réalisée par recoupement entre la liste des espèces cueillies sur l'ensemble du territoire national (Lescure et al. en cours) et les données d'inventaire du CBNA. Parmi les 781 espèces faisant l'objet de cueillette à l'échelle nationale, sur le massif des Alpes **486 espèces** présentent au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne tel que défini dans l'EFESE. Ces espèces contribuent ainsi à la liste des plantes susceptibles d'être cueillies en haute montagne, bien qu'elles puissent également être présentes à plus basse altitude.
2. **Sur le massif pyrénéen**, le Pôle Ethnobotanique du CBNPMP met à disposition de l'EFESE une sélection à dires d'experts des principales espèces exclusivement de montagne, présentes dans le massif et qui font l'objet de cueillette commerciale actuellement. **50 espèces** sont concernées par cette sélection. La quasi-totalité des espèces sélectionnes sur le massif pyrénéen appartiennent également à la sélection effectuée sur le massif alpin (47 espèces sur 50).

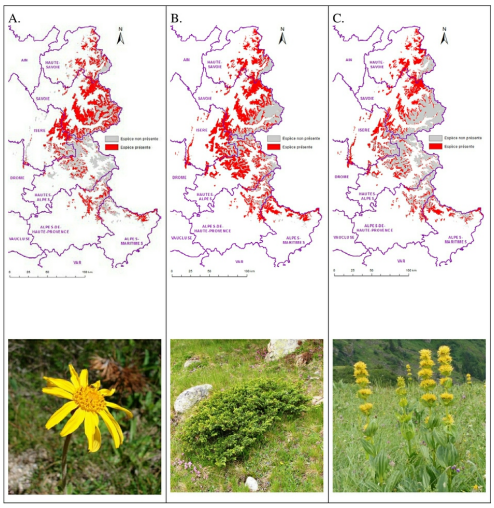
Nous insistons sur le **caractère préliminaire** de cette liste, qui recense les espèces fréquemment cueillies et appartenant à la haute montagne, selon dires d'experts ou par recoupement spatial avec son périmètre.

Par ailleurs, l'information unique des espèces concernées ne suffit pas à faire un bilan complet de la pratique et des enjeux associés, qui nécessiterait de collecter des informations sur les parties cueillies, la rareté de la ressource, les volumes concernés etc. Les résultats présentés ici sont donc un premier pas vers la caractérisation de la fourniture du service écosystémique de cueillette de plantes sauvages en montagne, mais ne sauraient constituer un bilan complet des enjeux liés. En particulier, les **volumes** concernés par ces cueillettes n'ont pas pu être recensés dans le cadre de l'EFESE, de même que les **valeurs économiques** associées.

Une représentation du service écosystémique potentiel peut être fournie par la **cartographie des habitats favorables** aux différentes espèces cueillies (voir Figure 7 pour un exemple sur les Alpes). Toutefois, cette

représentation ne saurait garantir la présence effective des espèces concernées et n'informe pas sur leur taux de cueillette réel. Des **enquêtes de terrain** couplées avec des informations sur les **quantités transformées commercialement** complèteraient utilement les données préliminaires présentées.

Figure 7 : Distributions sur les Alpes françaises des habitats potentiels de trois espèces fréquemment cueillies :
A. Arnica des montagnes (Arnica montana),
B. Genévrier nain (Juniperus nana),
C. Gentiane jaune (Gentiana lutea).
Crédits photos : Tela-botanica. Crédit cartes : Thuiller et al. 2009, 2014.



3) – Enjeux liés à la cueillette des plantes sauvages en haute montagne

De nombreux enjeux sont liés à la pratique de la cueillette en haute montagne. Ils concernent **le maintien des populations** de plantes pour des espèces à faibles effectifs, particulièrement convoitées, ou dont les modalités de cueillette détériorent les capacités de survie, par exemple la Gentiane jaune (*Gentiana lutea*) dans les Pyrénées ou le Génépi (*Artemisia spp.*) dans les Alpes (voir Figure 8, extraite de la revue Faune Sauvage

de l'ONCFS). A titre d'exemple, la gentiane jaune a fait l'objet en 2015 d'une étude de FranceAgriMer visant à caractériser la production française, les utilisations ainsi que les marchés liés (FranceAgriMer 2015). La récolte de la plante est **destructrice** dans la mesure où la racine de la plante intéresse l'industrie agroalimentaire et notamment les liquoristes. Chaque année, environ 1 500 tonnes de racines fraîches sont ainsi extraites des estives et prairies d'altitude du Massif Central, principal site d'exploitation, mais plusieurs centaines de tonnes supplémentaires sont issues des Alpes (massifs de la Chartreuse et du Vercors, département de la Savoie) et des Pyrénées (principalement dans le département de l'Ariège). Environ 80 % de la production française de gentiane dépend de la cueillette de plantes sauvages, ce qui souligne l'enjeu de gestion durable des ressources en stations non cultivées. Créée en 2014, l'Association Interprofessionnelle de la Gentiane Jaune « Gentiana Lutea » (http://www.cpparm.org/la-gentiane/) a pour objectifs la sauvegarde de la ressource, le développement de la filière et la valorisation de la gentiane et ses produits. Elle a rendu public en 2015 un « **Guide de bonnes pratiques de production de gentiane** », document pédagogique à destination des arracheurs, des exploitants en gentiane et des propriétaires ou gestionnaires d'estives. Le marché de la gentiane demeure mal connu, au-delà par exemple des quelques éléments économiques suivants (FranceAgriMer 2015) :

- Achat sur pied au propriétaire du terrain : 0,30 à 0,45 €/kg en 2015 (sondage auprès des professionnels),
- Prix de vente des collecteurs et exploitants de gentiane (prix de gros en 2014/2015) : 1,45 à 2 €/kg de racines fraîches, 8 à 8,50 €/kg de racines sèches.
- Pas d'informations sur les flux liés au commerce international du fait de l'absence d'une rubrique douanière spécifique.

Un **observatoire économique** de la filière gentiane en France est actuellement à l'étude pour contrer la méconnaissance de ce marché et informer la gestion de la ressource à l'échelle nationale

(FranceAgriMer 2015).

Figure 8 : Enjeux autour de la cueillette du génépi - Extrait de Limon, S. 2011.
Revue Faune Sauvage (2011 – n°290)

La cueillette du génépi

Stéphanie Limon (ONCFS/SD 05)

Sous le terme générique de génépi se cachent plusieurs espèces d'armoises, plantes appartenant à la famille des astéracées. Affectionnant les rochers, falaises, éboulis et moraines, les génépis sont des plantes de haute montagne, adaptées pour résister au froid, au vent et à la sécheresse. Le site du col Agnel abrite trois de ces espèces : le génépi jaune (*Artemisia umbelliformis*), le génépi des glaciers (*Artemisia glacialis*) et le génépi noir (*Artemisia genipi*).

La renommée du génépi pour ses vertus aromatiques très appréciées en liqueur, tisane ou diverses préparations culinaires a induit une forte pression de récolte. Pour limiter les pratiques abusives, sa cueillette est réglementée dans le département des Hautes-Alpes par un arrêté préfectoral, qui interdit notamment de prélever une quantité de fleurs supérieure à 100 brins et d'arracher les parties souterraines de la plante. Il est également fait obligation « *de couper les brins avec sécateur, couteau ou ciseaux ; et de laisser quelques hampes florales par touffe, pour permettre la dissémination.* »

En outre, dans le périmètre de la Réserve de chasse et de faune sauvage de Ristolas, la cueillette du génépi devrait normalement être quasi inexistante, du fait de l'interdiction de sortir des sentiers balisés. Malheureusement, pour diverses raisons, cette réglementation n'est pas respectée. Le site du col Agnel est l'endroit le plus fréquenté pour la cueillette du génépi dans le département. En effet, l'accès routier jusqu'à 2 700 mètres d'altitude permet aux cueilleurs de rejoindre les stations de génépi très rapidement et pratiquement sans effort. Si l'on ajoute à ceci la beauté du site, la relative abondance des fleurs convoitées et le relief peu accidenté pour accéder aux stations, on peut expliquer le fort engouement des habitués hauts-alpins mais aussi des touristes de passage pour ce lieu de récolte.

La sur-fréquentation de ces espaces sensibles n'est pas sans conséquence pour les écosystèmes. Les nombreux cueilleurs, en explorant les éboulis, arrêtes et affleurements rocheux altèrent ces milieux fragiles. Le piétinement amplifie l'érosion des sols et dégrade la flore qui y est associée. La période de floraison du génépi correspond à celle de couvaison et d'élevage des jeunes du lagopède alpin. Les ramasseurs qui parcourent en tous sens les habitats rocheux hors des sentiers contribuent au dérangement des poules de lagopèdes et menacent ainsi la survie des nichées. En effet, les résultats des comptages de l'OGM sur le site de référence du col Vieux indiquent un indice de reproduction en constante diminution, de manière inversement proportionnelle à l'augmentation de la fréquentation.

Durant les étés 2009 et 2010, les agents du Service départemental des Hautes-Alpes ont effectué plusieurs opérations de contrôle concernant le respect de la réglementation préfectorale sur la cueillette du génépi. Malgré l'assez bonne connaissance de la réglementation par les usagers, de nombreuses infractions ont été relevées.

En 2009, le bilan de l'opération qui s'est déroulée durant un week-end de fin juillet est assez démonstratif. Sur deux jours, près de 40 cueilleurs ont été contrôlés par les agents de l'ONCFS, 6 procès-verbaux ont été dressés pour des récoltes largement supérieures aux 100 brins autorisés (avec un maximum d'environ 1 100 brins pour une seule personne). Certains avaient également déraciné des pieds entiers, soit en vue de les replanter, soit par négligence dans un souci de rapidité et de rentabilité, en omettant de couper les tiges avec un objet tranchant (le système racinaire étant peu développé, la plante s'arrache facilement). Cette pratique encore trop souvent observée est à bannir : elle peut entraîner à terme la disparition de ces végétaux et, de plus, les plants déracinés ont beaucoup de mal à repousser hors de leur habitat naturel ; ils sont condamnés à mourir. Deux procès-verbaux d'avertissement ont également été dressés pour des infractions de plus faible ampleur. Au total, ce sont plus de 5 000 brins illégaux de fleurs de génépi qui ont été saisis (soit près de 2 kg).

En 2010, les conditions météorologiques défavorables lors des opérations de contrôle n'ont pas permis de rencontrer beaucoup de cueilleurs. Un procès-verbal a néanmoins été dressé (plus de 800 brins cueillis) ainsi qu'une dizaine d'avertissements ont été donnés (cueillettes d'environ 200 brins). Ces quelques chiffres laissent imaginer la pression que subissent les stations de génépi du site du col Agnel, que ce soit de façon légale comme illégale, par des centaines de cueilleurs, durant tout l'été…

© ONCFS, SD 05

Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

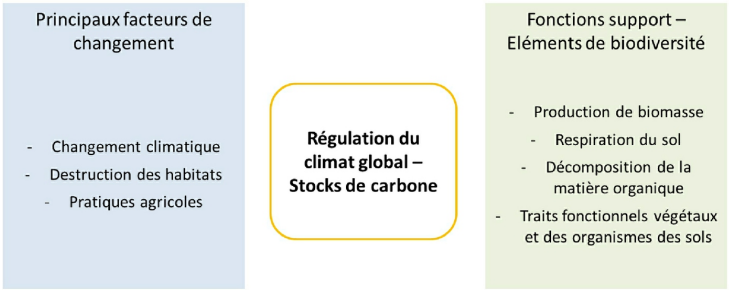
CHAPITRE 9

Services de régulation

1. – Régulation du climat global - Stocks de carbone

1) – Description du service

Figure 9 : Régulation du climat global – Synthèse



La **régulation du climat global** est un enjeu à large échelle aux déterminants multiples. Bien que différents gaz à effet de serre contribuent à la variation du forçage radiatif, la caractérisation du stockage de carbone organique dans les écosystèmes, et dans une moindre mesure de ses flux, focalise la plupart des efforts dans les évaluations de services écosystémiques (voir par exemple à ce sujet la discussion proposée par Paillet & Bouleau 2016).

La principale contribution des écosystèmes de haute montagne à la régulation du climat global **pour lesquelles des données semblent mobilisables** actuellement est relative aux stocks de carbone qu'ils piègent, en particulier dans les sols des prairies et des landes. Le stock de carbone se divise principalement en quantité de carbone organique compris dans la **biomasse aérienne**, dans la **biomasse souterraine** et dans le **sol**. La **litière** n'apparait pas comme un compartiment de stockage significatif a priori en altitude. La capacité des écosystèmes de haute montagne à contribuer à la régulation du climat global dépend des **paramètres climatiques** eux-mêmes (températures, précipitations…), soumis à des déterminants globaux, et de paramètres locaux affectant directement les fonctions écologiques tels que **l'intégrité écologique** des milieux et les **pratiques agricoles** (Figure 9). Les bénéfices issus de la régulation du climat sont **globaux**, bien que des avantages directs soient également localement ressentis, notamment en termes de maintien d'un **cadre de vie souhaité** et de limitation des **risques physiques et sanitaires** induits par les changements climatiques (par exemple, instabilités rocheuses accrues et à risque pour les pratiquants de la haute montagne).

Il est important de noter que les **flux de carbone** (séquestration – relargage) sont déterminants dans les dynamiques de régulation du climat. Cependant, du fait de la difficulté à mobiliser les données, les évaluations font a minima état des **stocks de carbone** dans différents compartiments des écosystèmes. Les données de flux ne sont pas traitées dans ce rapport qui se concentre en première approche sur la description des stocks. Ceux-ci sont particulièrement importants en ce qui concerne les sols des écosystèmes de haute-montagne, dont la perturbation par le surpâturage, les aménagements ou le changement climatique est un enjeu méconnu. La mobilisation de produits issus des **mesures de flux en continu**, de la **télédétection** (par exemple, productivité primaire nette ou productivité en matière sèche disponibles grâce aux satellites

Copernicus), ainsi que des évaluations par la **modélisation** pourraient permettre l'estimation des flux de carbone lors d'un prochain exercice de l'EFESE.

Enfin, **l'albédo** contribue également à la régulation du climat, mais ne sera pas traité ici. Les changements de durée d'enneigement et de couverture des neiges éternelles et des glaciers ont des conséquences importantes pour l'albédo. De plus le développement des algues glaciaires modifie l'albedo, déterminant une contribution biotique des glaciers à la régulation du climat.

2) – Quantifications biophysiques

Nous présentons ici différentes approches permettant de cerner les stocks et flux de carbone des écosystèmes de haute montagne.

Une étude menée à l'échelle des Alpes françaises avait cartographié la répartition des stocks de carbone contenus dans les écosystèmes (Crouzat et al. 2015). Ces résultats, basés sur la combinaison des stocks de carbone contenus dans la biomasse aérienne, racinaire et dans les sols (Figure 10A, B), ont mobilisé des jeux de données trop grossiers pour l'étude spécifique de la haute montagne. En effet, ces travaux permettaient de distinguer les caractéristiques des grands types d'écosystèmes (par exemple, milieux forestiers versus milieux agricoles) mais ne sont pas adaptés à l'exploration ciblée des caractéristiques des milieux de haute montagne du fait de leur forte variabilité spatiale à échelle fine.

Dans les végétations herbacées, les stocks de carbone contenus dans les parties aériennes et renouvelés chaque année sont faibles et souvent négligeables par rapport aux stocks souterrains. Sur la base de la production de biomasse aérienne estimée pour le fourrage, et de mesures de biomasse souterraine (Tappeiner et al. 2008, Grigulis et al. 2013), ceci correspond à des quantités allant de moins d'1 t C / ha à de l'ordre de 8 t / ha. Concernant les végétations ligneuses basses des landes et broussailles,

des mesures réalisées dans les Alpes autrichiennes ont estimé des stocks aériens de 5 à 6 t C / ha et souterrains de 8 à 13 t C/ha (Tappeiner et al. 2008), soit un total de 14 à 18 t C / ha. Enfin, les aulnaies contenaient en moyenne 8,4 t C / ha dans leur biomasse aérienne, et 10,4 t C / ha dans leur biomasse souterraine, soit un total de presque 19 t C / ha.

Les stocks de carbone des sols sont cartographiés à une résolution kilométrique à l'échelle européenne (UE 26) par extrapolation statistique des mesures de terrain disponibles dans la base de données LUCAS (Yigini & Panagos 2016 ; base de données de l'ESDAC). Par intersection avec le recouvrement selon CORINE Land Cover 2012 il est possible d'obtenir une cartographie grossière des stocks de carbone des sols des prairies naturelles (Figure 10C, D pour les Alpes et les Pyrénées respectivement). Ces données indiquent des stocks en moyenne de 102 t/ha pour les Alpes, contre 94 t/ha pour les Pyrénées. Ce sont surtout les valeurs fortes qui sont plus élevées (Q4 = 126 vs. 110 t/ha et max = 244 vs. 176 t/ha) pour les Alpes vs. les Pyrénées. On note aussi un fort gradient latitudinal au sein des Alpes. Le même type d'extraction de données a été réalisé pour les landes et broussailles, et pour les végétations de transition, mais la maille grossière des données de sols (1 km^2) n'est pas compatible avec la petite taille de la plupart des patchs de ces végétations. Cette échelle est bien entendue également trop grossière pour rendre compte des sagnes, tourbières et autres milieux humides.

Figure 10 : Variabilité des résultats de modélisation en fonction de l'échelle considérée et du type de modèle employé.

A. Valeurs relatives de stocks totaux de carbone à l'échelle des Alpes françaises. Le périmètre rouge marque l'emprise de la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors (cf. C. D. E.).

B. Zoom sur les valeurs de stocks de carbone sur le périmètre de la haute montagne. Le périmètre rouge marque l'emprise de la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors (cf. C. D. E.).

C. Valeurs modélisées de stocks de carbone des sols des prairies naturelles sur le périmètre de la haute montagne pour les Alpes.

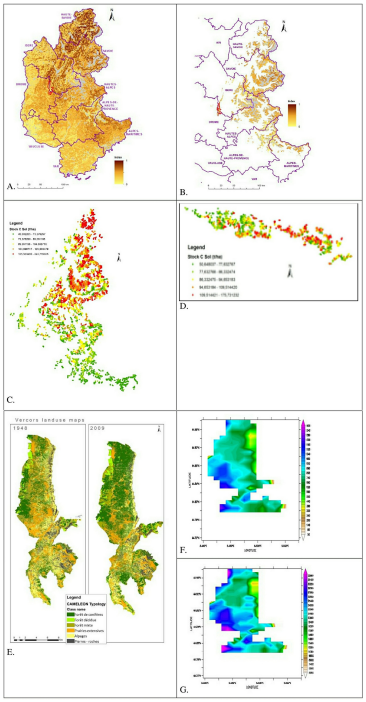
D. Valeurs modélisées de stocks de carbone des sols des prairies naturelles sur le périmètre de la haute montagne pour les Pyrénées.

E. Utilisation des sols sur la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors en 1948 et 2009.

F. Productivité primaire annuelle nette moyenne (NPP gC/m^2/an) simulée par le modèle ORCHIDEE pour la période 1950-2010 sur la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors.

G. Stock total moyen de carbone des sols (gC/m^2) simulée par le modèle ORCHIDEE pour la période 1950-2010 sur la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors.

Sources : A. B. : Projet CONNECT (Crouzat et al. 2015), C. D : base de données ESDAC ;. E., F., G. : projet CAMELEON (Chang et al. 2015, CAMELEON 2013)



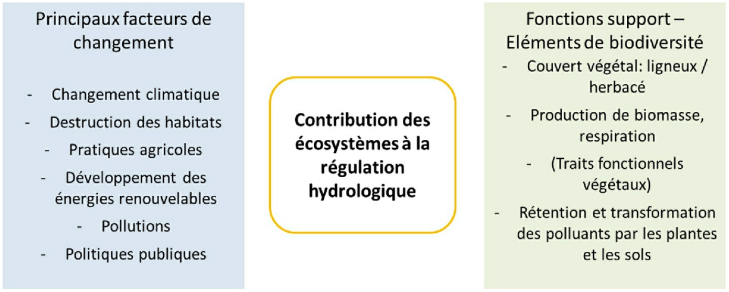
Les travaux de modélisation à échelle fine avec des modèles mécanistes tels qu'ORCHIDEE-GM (Chang et al. 2015) ne sont pas disponibles pour l'ensemble du massif alpin (ni pour les Pyrénées). Ce modèle mécaniste a été utilisé pour estimer les stocks et flux de carbone pour la Réserve Nationale des Hauts Plateaux du Vercors pour la période 1950-2010 sur la base d'une série historique de cartographie de la couverture des sols (Figure 10 E.). Les variations spatiales de la productivité primaire sont principalement liées à l'altitude et à la température (Figure 10 F.). Ce gradient altitudinal est moins prononcé pour le stock de carbone des sols car les faibles taux de décomposition de la matière organique des sols à faibles températures compensent la baisse de productivité (Figure 10 G.).

De manière générale, l'estimation des flux de carbone par les mesures en continu (Eddy flux) reste problématique pour les écosystèmes de haute montagne. D'une part la topographie, et ses effets de perturbations des flux rendent ces mesures et leur interprétation extrêmement délicates. D'autre part, à ce jour seules quatre stations sont équipées dans l'ensemble du massif alpin, au col de la Furka en Suisse, sur le site de Torgnon dans le Val d'Aoste (Italie), dans le massif de la Stubai en Autriche et au Col du Lautaret (France). Les mesures disponibles indiquent une forte variabilité annuelle liée en particulier à la date de déneigement, et des bilans pouvant être neutres, légèrement positifs ou légèrement négatifs.

2. – Contribution des écosystèmes de haute montagne à la régulation hydrologique

1) – Description du service

Figure 11 : Régulation hydrologique quantitative et qualitative – Synthèse



Maintien du cycle hydrologique et des flux d'eau- Une remise en contexte par Wal-ES, la plateforme wallonne d'évaluation des services écosystémiques

Les écosystèmes influencent le cycle de l'eau en participant à la formation des nuages via l'évapotranspiration des végétaux et du sol, en stockant l'eau dans leurs sols et rivières et en induisant son transfert à travers l'infiltration et le ruissellement. Cette régulation du cycle de l'eau est à la base de l'ensemble des services liés à l'eau (fourniture en eau, services de récréation liés à l'eau comme le kayak, contrôle des inondations, etc.). Ce service peut être quantifié à travers la mesure des flux d'eau issus des rivières, de l'évapotranspiration, de l'infiltration dans le sol, etc. L'ensemble des écosystèmes participe à la régulation du cycle hydrologique et des flux d'eau avec une intensité variable notamment en fonction des conditions environnementales (type de sols, température, humidité, topographie, etc.).

Plus de détails sont disponibles sur le site de la plateforme Wal-ES :
http://webserver.wal-es.be/fr/maintien-du-cycle-hydrologique-et-des-flux-d-eau.html ?IDD=3973&IDC=5910

Les écosystèmes modulent les volumes d'eau qui s'infiltrent dans les sols ou qui ruissellent à leur surface, en fonction de la **rugosité** du couvert végétal en place, au travers à la fois des **flux d'évapotranspiration** qui exportent de l'eau vers l'atmosphère et au travers d'une **infiltration gravitaire** favorisée par les réseaux racinaires. La vitesse de circulation de ces flux conditionne la capacité des écosystèmes à maintenir la **qualité des eaux**, au travers de leurs propriétés de **rétention** des particules et d'**accumulation** et de **transformation** des nutriments ou polluants tels que les métaux lourds. Le service écosystémique de régulation hydrologique représente la contribution des écosystèmes de haute montagne, et du couvert végétal en particulier, à la modulation des flux d'eau (aspects quantitatifs) ainsi qu'à l'épuration des eaux.

L'intégrité des sols et couverts végétaux nécessaire à l'expression de ces fonctions est soumise aux perturbations diffuses du **changement climatique** ainsi qu'aux impacts locaux des **aménagements** et des **pratiques agricoles**. Les **pollutions** (azote, métaux, matières organiques…) augmentent la demande en service, et affectent la capacité des milieux à fournir le service (Figure 11). La ressource en eau, en termes de **volumes disponibles**, constitue un **enjeu multisectoriel** qui implique la **filière agricole** (irrigation, abreuvement des troupeaux), les **populations** locales et à distance (consommatrices directes), la filière **tourisme** (pratiques de loisirs et consommation directe) ainsi que les **industries** exploitant la ressource (filière hydroélectrique et centrales nucléaires par exemple). Le rôle des **politiques publiques** apparait déterminant à la fois dans l'arbitrage entre les différentes demandes ainsi que dans la préservation de la capacité des écosystèmes à contribuer à la régulation hydrologique.

2) – Rôles des zones humides d'altitude sur les ressources en eau

En haute montagne, l'approvisionnement en eau est fortement conditionné par les **contributions des glaciers et du manteau neigeux** (voir Partie II, voir par exemple Pritchard et al. 2017 sur l'influence fondamentale des glaciers en Asie dans la régulation des flux hydrologiques). Cette contribution ne constitue cependant pas un service écosystémique en tant que tel, du fait de la nature principalement abiotique de ces milieux et des processus concernés. Etant donnée la nature souvent peu profonde des sols ainsi que la couverture végétale peu dense des milieux de haute montagne par comparaison aux étages inférieurs, le rôle des **zones humides d'altitude** dans la régulation hydrologique des milieux subalpins et alpins doit être souligné (voir Partie I pour leur description et des exemples de typologie). Nous insistons malgré tout sur la faible disponibilité d'études et de publications scientifiques à ce sujet ; ce champ demeure donc à approfondir au moment de l'écriture de ce rapport. Toutefois, comme c'est le cas pour l'ensemble des zones humides continentales, la **nature** des services écosystémiques rendus ainsi que **l'ampleur de cette contribution** dépendent des caractéristiques particulières à chaque zone humide et bassin versant associé (voir par exemple Bernard 2016 pour une synthèse sur les services écosystémiques rendus par les tourbières et les incertitudes associées). Les zones humides d'altitude peuvent contribuer notamment à la dissipation des forces érosives de l'eau, à la recharge des débits solides, à la limitation des crues et dans certains cas au soutien d'étiage. Par ailleurs, elles peuvent participer au maintien de la qualité des eaux grâce à leur capacité d'épuration. Du fait de leur position en **tête de bassin versant**, le fonctionnement des zones humides d'altitude est susceptible d'avoir des répercussions directes sur la qualité et les volumes d'eau en aval. Leur dégradation ou destruction a donc des conséquences négatives à distance dans le bassin versant.

Les zones humides permettent l'expression de nombreuses fonctions écosystémiques en relation avec le maintien de la qualité et des volumes d'eau (Gayet et al. 2016). Ces fonctions s'expriment différemment

en fonction de la nature de chaque zone humide et de son contexte : par exemple, une zone humide formée dans une cuvette imperméable ne jouera pas de rôle dans la recharge des nappes, une tourbières strictement ombrotrophe, i.e. non alimentée par une nappe phréatique mais seulement par des eaux issues de précipitations, ne participera pas à la rétention des sédiments, etc. Les informations suivantes sont donc des généralités à mettre au regard des conditions locales. D'un point de vue des flux hydrologiques, les zones humides d'altitude assurent le **ralentissement des ruissellements** en surface, la **recharge des nappes** en profondeur par infiltration de l'eau dans les sols, le **soutien d'étiage** des cours d'eau en aval ainsi que la **rétention des sédiments** et des particules solides dans la zone humide. Elles contribuent également à l'épuration des eaux par **l'assimilation végétale des nutriments** (azote, phosphore) et leur **transformation** (dénitrification par exemple). Les **effets cumulatifs** du fonctionnement de plusieurs zones humides interconnectées en tête de bassin versant sont peu développés dans la synthèse proposée ci-après, et de manière générale, peu d'études les abordent de manière approfondie. Les aspects de **fonctionnalité en réseau** apparaissent donc comme un besoin de recherche à approfondir à moyen terme.

3) – *Influence sur les volumes d'eau*

En montagne, les zones humides jouent un rôle majeur dans la **dissipation des forces érosives** des cours d'eau, rôle appréciable en altitude où les fortes pentes sont fréquentes. En effet, la présence de végétation au sein des zones humides et la complexité topographiques de ces milieux (chenaux temporaires, dépressions…) contribuent à ralentir les flux d'eau, entrainant la **sédimentation** des matières en suspension transportées. Ceux-ci s'accumulent et sont à leur tour colonisés par les végétaux. Ces processus offrent une protection contre les forces érosives liées au courant pour les milieux naturels ou aménagés localisés à l'aval.

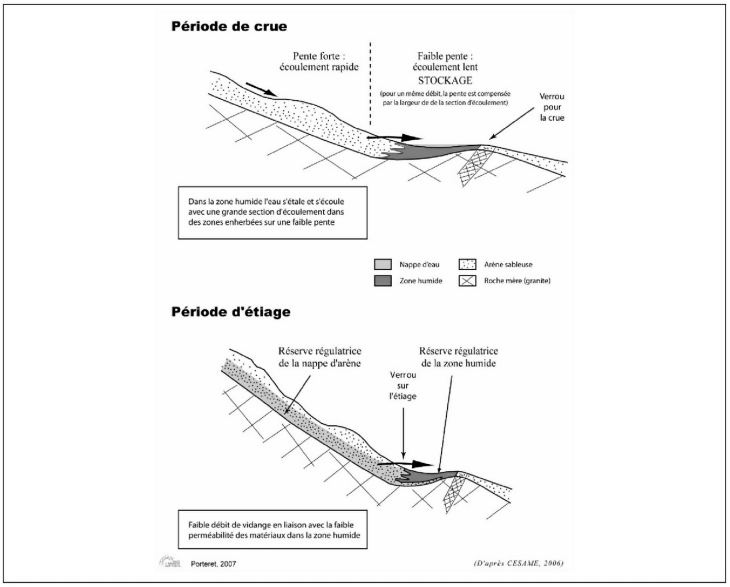
Une partie des sédiments déposés pourront également être remobilisés lors d'une prochaine crue, permettant la **recharge du débit solide** du cours d'eau, consommant une partie de l'énergie des écoulements et réduisant leur vitesse (Barnaud & Fustec 2007). Le ralentissement des flux d'eau occasionné par les zones humides est particulièrement favorable aux phénomènes de **purification** de l'eau.

Le rôle des zones humides dans les cycles hydrologiques est également lié au **stockage** de volumes d'eau significatifs à leur surface et dans leurs sols ainsi qu'aux **vitesses de circulation** très lentes de l'eau dans ces milieux. Tous les milieux humides constituent des réservoirs où les eaux provenant des pluies sur le bassin versant, de nappes ou de cours d'eau voisins, s'accumulent pendant des temps plus ou moins long (Barnaud & Fustec 2007). Par exemple, dans les tourbières ombrotrophes, la conductivité hydraulique est de l'ordre de quelques centimètres par jour dans la couche de sol qui est saturée en permanence (catotelme) et de quelques décimètres à un mètre par jour dans la couche de sol non saturée (zone de fluctuation de la nappe, ou acrotelme) (Porteret 2015). Du fait de la saturation permanente du catotelme, ces tourbières présentent des capacités de stockage assez faibles comparées à d'autres zones humides. Bien que le Massif Central ne fasse pas strictement partie du périmètre de la haute montagne selon l'EFESE, les exemples ci-après illustrent les capacités de régulation des zones humides d'altitude (Porteret 2015). Ainsi, la tourbière de la Prénarde (Mont du Forez – 1100m à 1240 m d'altitude), qui couvre 13 ha, correspond à un volume de 2500 m^3 permettant un stockage rapide de l'eau : 64.5 mm de précipitations peuvent être stockés dans l'acrotelme pendant la moitié de l'année.

Dans le cas où la zone humide est non saturée avant un évènement pluvieux important, cette capacité de stockage peut jouer un rôle dans la **régulation des crues** à l'échelle du bassin versant, par écrêtage des débits vers l'aval. Le ralentissement des écoulements de surface induit

par la présence de la zone humide peut permettre une **désynchronisation des pics de crues** entre les bassins versants, évitant une arrivée massive d'eau à l'exutoire en aval. En parallèle, la lente circulation des eaux dans la tourbe **soutient les débits** dans le réseau hydrographique en aval. A ce titre, les zones humides de montagne jouent un **double rôle de verrou** vis-à-vis des flux hydrologiques (Porteret 2015)**,** contribuant à la régulation des crues et au soutien aux débits d'étiage (Figure 12). Elles participent à faire des montagnes des « châteaux d'eau naturels » (EEA 2010), qui contribuent de manière significative à **l'approvisionnement en eau** des populations bien au-delà des frontières de leurs massifs. Par exemple, dans la zone humide de la Prénarde, 500 m^3 d'eau circulent très lentement dans la masse de tourbe, qui stocke un volume quasi-permanent de 4500 m^3. A proximité, la tourbière de la Gourgon (Mont du Forez), qui correspond à un volume de 725 000 m^3 sur 63ha assure un débit de base du ruisseau de 10 l/s dans un bassin versant de 200 ha. Toutefois, la capacité de stockage et de soutien d'étiage est à nuancer en fonction des **types de zones humides** et de leur **connectivité hydrologique** au bassin versant (Soureillat 2015). Ainsi, les capacités de stockage à court terme des eaux de crues des milieux humides de bordure de cours d'eau dans les secteurs montagnards restent limitées en raison de la **pente** et de **l'étroitesse des rives** d'une part (Barnaud & Fustec 2007), et de la tendance des zones humides de tête de bassin versant à être **saturées** en eau d'autre part (Bullock & Acreman 2003).

Figure 12 : Rôle d'une zone humide en montagne.
Source : Porteret 2015



Influence sur la qualité des eaux

Les zones humides d'altitude contribuent également à la **purification de l'eau**. La végétation présente des **capacités d'assimilation** vis-à-vis de divers polluants, métaux, éléments radioactifs et nutriments, notamment en période de croissance végétative (Gayet et al. 2016, Bernard 2016). Cette fonction s'exerce de manière variable en fonction du degré de connectivité de la zone humide avec le réseau hydrographique et avec les nappes phréatiques. Le stockage des nutriments (azote, phosphore) dans la biomasse est **temporaire :** les nutriments sont soit restitués au milieu lors de la décomposition végétale soit exportés si la biomasse est mobilisée par les activités pastorales (pâture). De manière générale, la rétention dans la biomasse permet de limiter les flux d'azote et de phosphore vers l'aval en **période de croissance végétale**, ce qui limite pendant cette période les risques d'eutrophisation à distance. Le cycle des nutriments est également régulé par le fonctionnement des **micro-organismes des sols,** par exemple au travers de

la dénitrification qui conduit à un export d'azote sous forme gazeuse. En montagne, la rugosité du couvert végétal et le ralentissement des écoulements qu'il induit est un facteur favorable au maintien de la qualité de l'eau (Gayet et al. 2016).

4) – Rôles des végétations terrestres d'altitude

De manière complémentaire aux fonctions décrites pour les zones humides, les **formations végétales d'altitude** contribuent également à la fourniture des services hydrologiques en haute montagne. Ainsi, il a été montré dans les Alpes que l'évapotranspiration des prairies subalpines et alpines dépend non seulement des déterminants climatiques et de la quantité de biomasse présente, mais également de la composition structurale et fonctionnelle de la végétation, c'est-à-dire **des espèces présentes et de leurs types fonctionnels** (Obojes et al. 2015). En d'autres termes, la diversité végétale des milieux ouverts influence le bilan hydrique des milieux ouverts d'altitude, et ce d'autant plus que les conditions climatiques sont humides et non limitantes vis-à-vis de la croissance végétale. De manière générale en montagne, il est considéré que l'évapotranspiration diminue avec l'accroissement du taux **d'arbustes** et, dans une moindre mesure, du taux **d'espèces dicotylédones** par comparaison au taux de graminées (Obojes et al. 2015). Toutefois, les conclusions définitives quant à l'influence des types fonctionnels de la végétation sur les bilans hydriques en milieux ouverts comme en milieux humides d'altitude restent à consolider. Dans l'objectif de caractériser l'influence de la gestion des terres sur les bilans hydriques, des expérimentations dans les Alpes autrichiennes ont mis en évidence un **ruissellement accru des précipitations sur les prairies d'altitude actuellement pâturées** par comparaison avec les quantités ruisselées sur des prairies d'altitude abandonnées depuis 20 à 30 ans (Leitinger et al. 2010). Ces expérimentations soulignent de plus que

le ruissellement sur prairies pâturées apparaît particulièrement prononcé en **automne**, lorsque le piétinement du bétail entraîne une compaction marquée des sols. Dans des bassins versants caractérisés par un chargement en bétail important en fin de saison de végétation, le fort taux de ruissellement induit par la présence des troupeaux couplé aux débits torrentiels généralement importants à cette époque pourraient accroître localement le risque d'inondation (Leitinger et al. 2010). Toutefois, la modification de la structure des sols induite par le piétinement du bétail serait temporaire et réversible, suivant un cycle annuel marqué par des cycles de gel et dégel diminuant leur compaction.

Le fonctionnement hydrologique des milieux de haute montagne a des conséquences sur la fourniture *in situ* ou à distance d'autres services écosystémiques. Ainsi, les modifications induites par la végétation d'altitude sur les quantités d'eau évapotranspirées et ruisselées ont des conséquences sur la rétention des sédiments et donc sur le service écosystémique de **contrôle de l'érosion des sols** (voir chapitre suivant). Par ailleurs, le stockage de carbone, la productivité fourragère ou la présence d'habitats favorables à la biodiversité patrimoniale sont sous influence de la régulation hydrologique. Par exemple, dans un contexte de changement climatique, les milieux humides présents sur les alpages constituent un soutien à la **capacité d'adaptation** des systèmes pastoraux aux aléas climatiques, en proposant une **ressource fourragère** alternative en cas de sècheresse. Ce service accru lié au pâturage des zones humides se trouve en compromis avec le **maintien d'habitats favorables à certaines espèces patrimoniales,** associées aux microclimats existants sur les zones humides et sensibles aux augmentations du piétinement, de l'abroutissement et des concentrations en nutriments associées au pâturage.

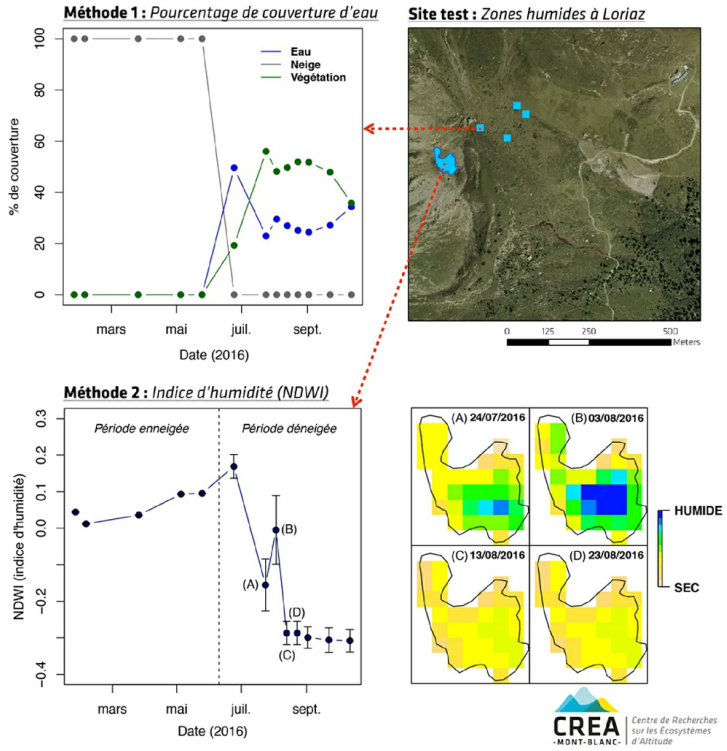
Les avancées récentes dans le domaine de la télédétection ouvrent de nouvelles méthodes de **suivi à haute résolution spatiale et temporelle** de certaines des propriétés hydrologiques des milieux

d'altitude. Ainsi, le Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA) mobilise différents indices spectraux fournis par les satellites Sentinel-2 (https://sentinel2.cnes.fr/) pour suivre le développement de la végétation et l'évolution des indices hydriques de surface sur le site de la Loriaz (massif du Mont-Blanc). Ces informations ont pour objectif de relier la variabilité interannuelle de l'enneigement et du climat à la productivité des écosystèmes et au succès reproducteur de certaines espèces cibles de zones humides de montagne, comme la grenouille rousse (Figure 13).

Figure 13 : Suivi de la dynamique hydrique des zones humides de montagne par utilisation des images satellitaires Sentinel-2 (Loriaz – Massif du Mont-Blanc).

Ces données permettent de relier la vitesse de déneigement, l'évolution de la surface en eau et la dynamique de la végétation.

Crédit illustration : B. Carlson, CREA Mont-Blanc (2017).



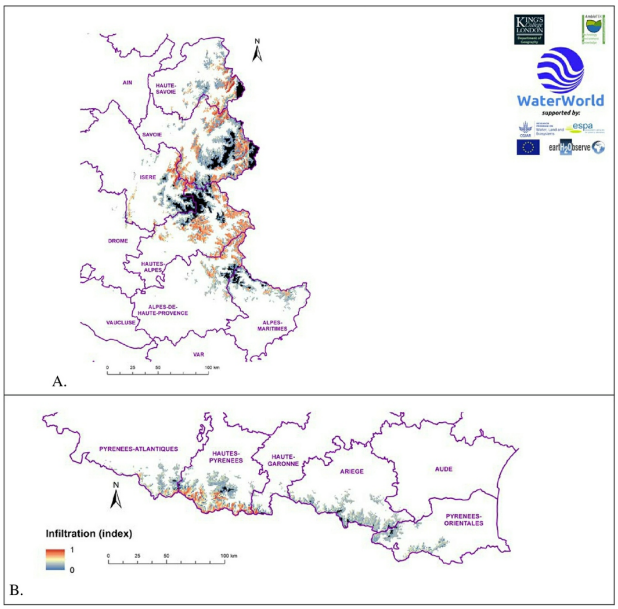
5) – *Approche quantitative par modélisation à l'échelle régionale*

Le modèle mécaniste simple **WaterWorld**, développé par le King's College of London (Version 3 - http://www.policysupport.org/waterworld), est libre d'accès en ligne. Il permet d'inclure la dimension 'eau' dans un contexte de manque de données et d'expertise spécifique en hydrologie (Mulligan 2013, 2015). Bien que **ne représentant que partiellement le service de régulation hydrologique** (cf. introduction de ce chapitre), un indice d'**infiltration** de l'eau dans les sols est fourni par ce modèle et constitue le choix d'indicateur dans le cadre ce rapport. La résolution spatiale du modèle est légèrement inférieure au kilomètre. Le modèle représente les caractéristiques hydrologiques du territoire en fonction de facteurs **climatiques**, **topographiques, pédo-géologiques** et de **couverture des sols**. L'indicateur d'infiltration est calculé annuellement sur la base des quantités d'eau **ruisselées** ainsi que des caractéristiques du **sol** (perméabilité), de la **topographie** et de la **végétation** (évapotranspiration du couvert végétal). De manière générale, on attend un rôle de la végétation (et donc un service d'infiltration rendu) dans le cas où 1) le bilan hydrique climatique est positif, c'est-à-dire qu'après évapotranspiration potentielle il reste de l'eau à infiltrer dans les sols ; et 2) le sol est perméable. Par définition, les sols nus et les glaciers ou zones enneigées en permanence ne rendent pas de service du fait de leur caractère majoritairement abiotique.

Le modèle ne prévoit pas la calibration des résultats sur les bassins versants 'de terrain' ; ils sont donc conçus pour être interprétés en termes **relatifs** uniquement. Il n'intègre pas les **spécificités du sous-sol** (par exemple, les réseaux karstiques) et ne permet pas de quantifier localement leur influence exacte sur les flux d'eau. En revanche le modèle prend en compte via les données climatiques la **nature neigeuse ou pluvieuse**

des précipitations, critère essentiel pour son application aux écosystèmes de haute-montagne.

Figure 14 : Quantité annuelle d'eau infiltrée les sols (valeur relative). Les valeurs de forte infiltration sont symbolisées en tons orange à rouge, tandis que les valeurs faibles sont représentées en bleu. Les zones d'infiltration nulle (glaciers, roches nues) sont symbolisées en noir. Distribution des résultats sur les Alpes (A.) et les Pyrénées (B.). Crédit : Mulligan, M. 2017 Results from the WaterWorld Policy Support System Version3.
http://www.policysupport.org/links/waterworld.



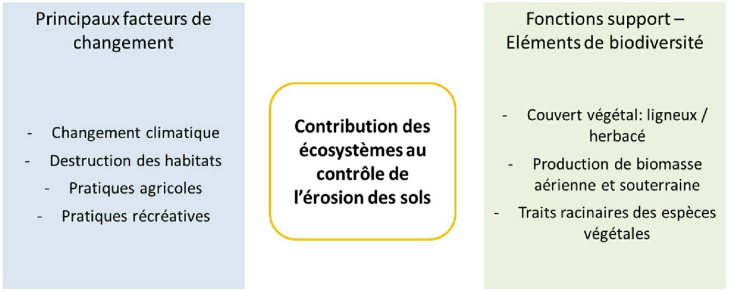
Les résultats de la modélisation concernent les massifs des Alpes et des Pyrénées (Figure 14), les faibles superficies concernées en Corse rendant complexe l'interprétation des patrons sur ce massif à ce stade. L'infiltration plus élevée dans les Préalpes du Nord que dans le reste des Alpes coïncide avec un **gradient de continentalité**, qui induit des précipitations plus marquées à l'ouest du massif qu'en son cœur. Dans les zones où les précipitations sont moindres, la **pente** et la **perméabilité des sols** discriminent de manière combinée les faibles et fortes valeurs

d'infiltration. Par exemple, le massif de la Vanoise et le sud des Ecrins, qui présentent une perméabilité moyenne, infiltrent un volume d'eau plus important lorsque les pentes sont modérées. Les Alpes internes du sud (département des Alpes de Haute-Provence) présentent une **forte hétérogénéité géologique** à petite échelle demeurant dans des gammes de perméabilité généralement moyennes à fortes, ce qui explique les valeurs relativement élevées d'infiltration des eaux constatées. L'ouest des Pyrénées est quant à lui caractérisé par de fortes précipitations sur des substrats à forte perméabilité, conduisant à des valeurs élevées d'infiltration modélisées. Cet effet est accentué en **altitude** où la saison de végétation plus courte et les températures plus basses font diminuer les quantités d'eau transpirées par la végétation. L'est du massif présente des gradients inverses, et logiquement coïncide avec des valeurs plus modérées d'infiltration. De manière générale, la résolution du modèle ainsi que la précision des données d'entrée ne permettent pas de discriminer le rôle des différents **types de végétation** au sein des écosystèmes de haute montagne relativement à leur rôle dans la régulation hydrologique. Ces résultats constituent une première approche du service écosystémique de régulation hydrologique qui appelle à être renforcée par des données plus précises, des modèles plus sophistiqués ainsi que par des validations de terrain sur différents bassins versants. Ils doivent donc être interprétés avec précaution.

3. – Contribution de l'écosystème au contrôle de l'érosion des sols

1) – Description du service

Figure 15 : Contrôle de l'érosion des sols - Synthèse

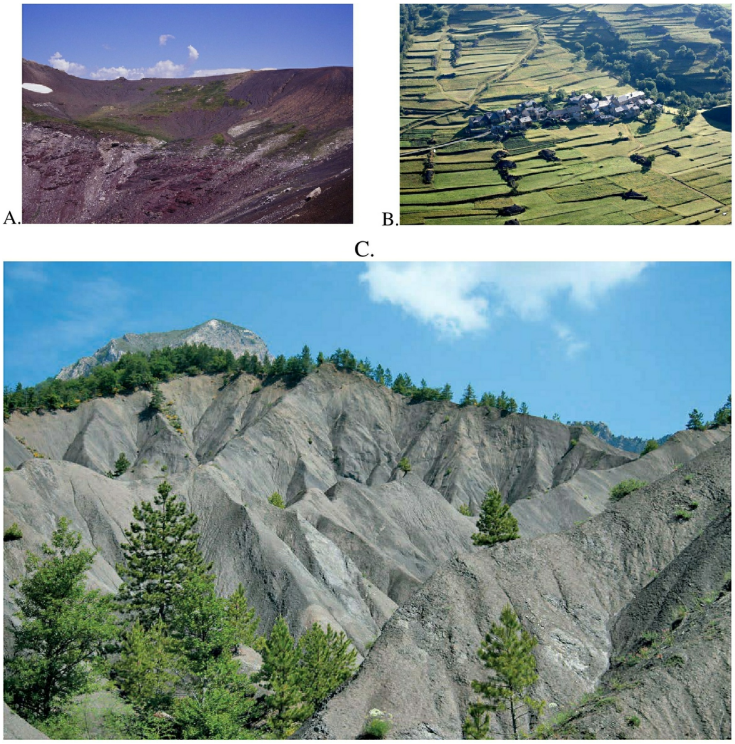


L'érosion des sols par l'eau comprend deux phases successives : i) l'ablation du substrat, et ii) le transport et le dépôt des sédiments érodés (Rey et al. 2004). L'érosion des sols par l'eau est une **menace croissante** à l'échelle de l'Europe, et ce d'autant plus dans les régions de montagne sous les influences combinées de changements dans les **pratiques agricoles**, des évolutions **climatiques** et de l'augmentation localement de la **fréquentation touristique** (Bosco et al. 2009) (Figure 15). Le maintien des paysages et la limitation des risques permis par la fourniture de ce service bénéficient directement aux **populations locales**, mais ces avantages sont aussi perçus, dans une moindre mesure, par les **populations distantes** de la haute montagne ou par ses **pratiquants plus occasionnels**. La rétention des particules de sol contribue à la sécurité économique de différentes filières, notamment énergétique (limitation de l'ensablement des ouvrages hydroélectriques), agricole (maintien de la fertilité des sols) et touristique (maintien de l'intégrité des sentiers et des paysages).

Les écosystèmes contribuent au contrôle de l'érosion en limitant la **force d'impact des précipitations** sur les sols ainsi qu'en **piégeant et retenant les particules de sol** via le réseau racinaire. La production sédimentaire d'un bassin versant à son exutoire dépend ainsi pour partie de son **taux de végétalisation**. Par exemple, dans les Alpes du Sud, le bassin versant du Brusquet, d'une superficie de 108 ha et végétalisé à 87 %, a une production sédimentaire spécifique à son exutoire 220 fois

moins importante que celle du bassin versant du Laval, d'une superficie de 86 ha et végétalisé à 32 % (Rey et al. 2001). Il est estimé que le pourcentage de recouvrement végétal influe directement sur la stabilité des ravines marneuses : à partir de 50 % de couverture végétale des sols, les ravines sont généralement éteintes et l'érosion contrôlée ; en dessous de 30 % de couverture végétale des sols, la plupart des ravines sont actives et les phénomènes d'érosion intenses (Rey et al. 2001). De manière générale, une valeur de 40 % a été avancée comme couverture végétale minimale à maintenir ou installer sur des terrains érodables pour une maîtrise significative de l'érosion (Rey et al. 2004). Par ailleurs, la **distribution spatiale de la végétation** au sein des pentes érodables conditionne la réduction de la production sédimentaire en raison des processus de piégeages des sédiments qui s'y déroulent. Différents types d'écosystèmes, en fonction de leur couverture végétale et des caractéristiques des espèces présentes, c'est-à-dire de leurs **traits fonctionnels**, contribueront de manière variable dans le temps et dans l'espace au contrôle de l'érosion des sols (Burylo et al. 2012). La complémentarité entre strates végétales (arborée, arbustive et herbacée) apparaît comme un facteur favorable au contrôle de l'érosion (Rey et al. 2004). Par ailleurs, le taux d'érosion dépend de **facteurs abiotiques** comme la pente ou l'intensité des précipitations. Les **activités humaines** peuvent moduler l'érosion des sols au travers de pratiques favorisant l'érosion des sols (par exemple, sur-fréquentation, sols agricoles laissés nus en hiver) ou à l'inverse la réduisant (par exemple, cultures en terrasse brisant l'effet de pente, voir également les travaux du service de Restauration des Terrains en Montagne).

Figure 16 :
A. Influence du couvert végétal sur les figures d'érosion des sols (Pyrénées). Source : AgroParisTech
B. Prairies gérées en terrasse à Villar d'Arène (Alpes). Source : Bernard Nicollet - Parc national des Ecrins.
C. Terrains marneux érodés (badlands) dans les Alpes du Sud (Draix). Le taux d'ablation annuel est de l'ordre d'un centimètre par an (Rey et al. 2001). Crédit photo : F. Rey issue de Rey et al. 2015

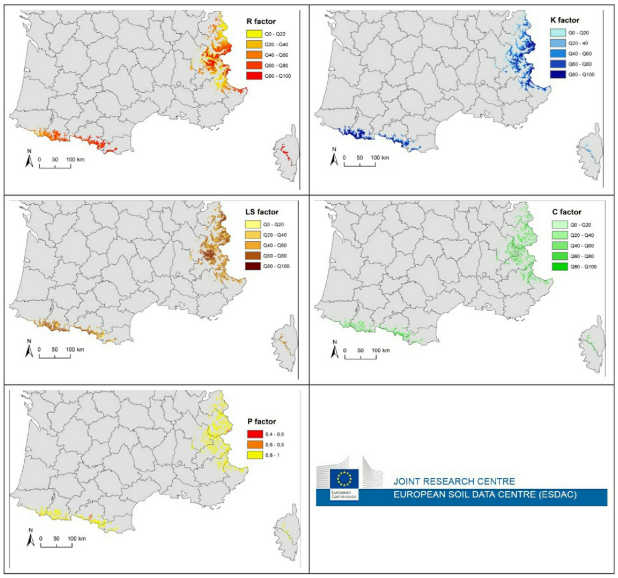


2) – *Approche quantitative par modélisation à l'échelle nationale*

Différents modèles ont été proposés pour représenter les taux d'érosion des sols sous l'influence des précipitations. Notre approche se base sur l'évaluation la plus récente menée par le **Centre commun de recherche** (*Joint Research Centre*, le laboratoire de recherche scientifique et technique de l'Union européenne), à l'échelle européenne et à une résolution de 100*100 mètres (Panagos et al. 2015). Cette évaluation met en œuvre **l'équation universelle de perte des sols**, sous sa forme révisée (*RUSLE - revised universal soil loss equation*), et mobilise des jeux de données actualisés pour chacun des cinq paramètres qui la composent, à savoir (Figure 17) :

- **l'érosivité** de la pluie (R),
- **l'érodibilité** du sol (K),
- le facteur de **pente** (L.S),
- la **couverture** du sol (C) - des données issues de la télédétection pourraient avantageusement affiner cet aspect,
- les **aménagements** favorables (P).

Figure 17 : Facteurs individuels de l'équation universelle de perte des sols. Données mises à disposition par le European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre (Panagos et al. 2015).



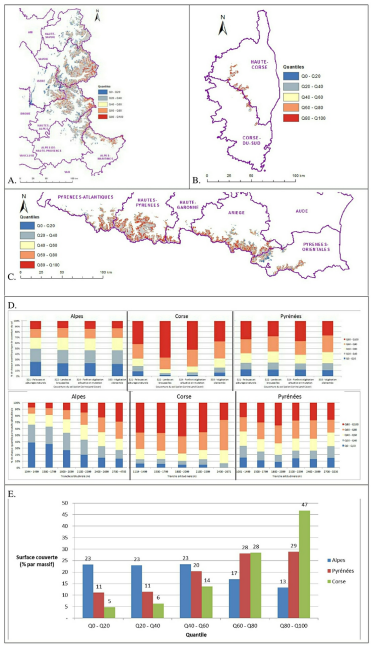
Notre démarche consiste à modéliser le taux d'érosion simulé sur sol nu d'une part, et en conditions actuelles de couverture des sols d'autre part. La **différence entre les deux simulations** permet de mettre en évidence la contribution du couvert végétal à la limitation de l'érosion des sols. Les espaces couverts par de la roche nue ou des glaciers ne sont pas considérés dans l'évaluation, qui porte de ce fait sur environ 60 % de la superficie de la haute montagne (59 % dans les Alpes, 71 % dans les Pyrénées et 61 % en Corse).

Les résultats soulignent les **différences entre massifs** (Figure 18) : la haute montagne corse, et dans une moindre mesure pyrénéenne, concentre les valeurs élevées du service de contrôle de l'érosion des sols, probablement en lien avec les patrons de précipitations intenses en particulier sur la Corse. La contribution des écosystèmes alpins demeure plus modeste, notamment en périphérie de notre zone d'étude. Le **gradient altitudinal** n'a d'ailleurs d'influence notable que dans

le massif alpin. Les **types de couverts végétaux** ne ressortent pas comme des facteurs déterminants du contrôle de l'érosion des sols dans les Alpes, où l'opposition se fait majoritairement entre sols nus d'une part et sols couverts d'autre part. En revanche, en Corse, et à un moindre titre dans les Pyrénées, les végétations ligneuses (landes et broussailles et marges forestières) contribuent plus significativement que les milieux ouverts.

De manière générale, des opérations de **génie végétal** pourraient avantageusement être mises en œuvre dans de nombreux secteurs à fort risque d'érosion et peu couverts actuellement pour assurer un piégeage efficace et durable de sédiments (voir par exemple Rey et al. 2015).

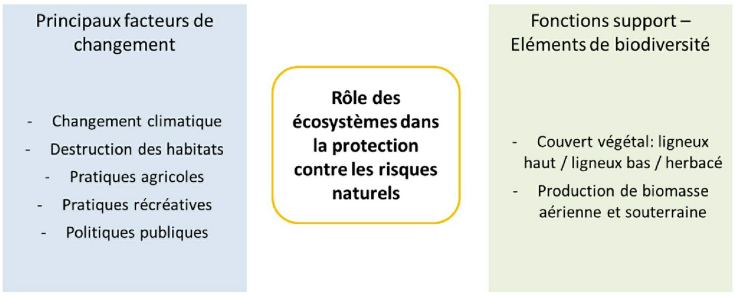
Figure 18 : Contribution de l'écosystème au contrôle de l'érosion des sols. Les valeurs proposées sont classés par quintile (tranches de 20 % des effectifs). Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) et de l'altitude (D.), et superficies concernées par les quintiles par massif (E.).



4. – Rôle des écosystèmes dans la protection contre les risques naturels

1) – Description du service

Figure 19 : Protection contre les risques naturels - Synthèse



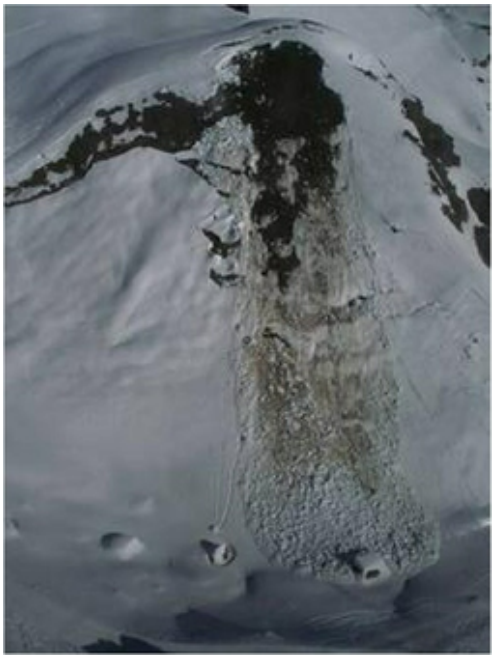
La haute montagne est un **espace à fort enjeu** vis-à-vis des risques naturels, notamment par rapport aux mouvements gravitaires. Les milieux d'altitude représentent une zone préférentielle de **départ des aléas** de par les caractéristiques topographiques qu'elles présentent et les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises. En parallèle, ces milieux, selon les **modalités de gestion** qu'ils connaissent et les types de **couverts végétaux** en place, peuvent constituer un vecteur de **contrôle** de ces risques. Dans un contexte de changement des conditions climatiques et des activités humaines (gestion pastorale, activités récréatives – voir Partie II), il apparaît nécessaire de comprendre la manière dont différentes composantes de l'écosystème contribuent à l'aléa et son contrôle. De nombreux travaux portent sur les fonctions des **milieux forestiers** (forêts de protection), traitées par un groupe de travail dédié dans l'EFESE. La haute montagne est concernée par le rôle des **milieux ouverts ou à faible densité ligneuse** (landes et broussailles) dans le contrôle des risques naturels. Nous soulignons

le **manque de connaissances** à cet égard, ce qui explique que le traitement de ce service écosystémique proposé ci-après soit exclusivement **qualitatif**. Le changement climatique, couplé avec l'évolution des pratiques pastorales, modifie la limite altitudinale de la **zone de combat** (limite entre zone forestière dense et milieux plus ouverts) et donc les patrons spatiaux de déclenchement et de contrôle des aléas naturels (Figure 19). La limitation des risques naturels concerne un **large ensemble de bénéficiaires**, notamment *in situ*, qui y trouvent des avantages évidents et cruciaux en termes de **sécurité physique et économique**.

2) – *Régulation des avalanches de fond*

La végétation basse des milieux de haute montagne joue un rôle de contrôle vis-à-vis de la reptation du manteau neigeux et du départ des **avalanches dites de fond** (Figure 20). Ces avalanches, qui peuvent entraîner d'importants volumes de neige sèche comme humide, concernent l'intégralité de l'épaisseur du manteau neigeux, jusqu'au sol. Difficiles à prévoir et à contrôler par les techniques classiques de déclenchement artificiel, elles constituent le principal type d'avalanche sur lequel le couvert végétal peut exercer une influence directe en haute montagne et rend un service écosystémique de protection. Il faut cependant noter que seule une fraction des avalanches, a fortiori à haute altitude, sont des avalanches de fond. On les observera plutôt, en moyenne, en fin de saison, même si sous l'effet du réchauffement climatique il s'en produit de plus en plus aussi en début d'hiver et au cœur de l'hiver.

Figure 20 : Avalanche de fond, ou de glissement. Une énorme "gueule de poisson" ou "gueule de baleine" s'est ouverte et est encore visible en haut à gauche. Dans la partie droite, le manteau neigeux qui se trouvait sous cette ouverture s'est soudainement décroché jusque sur le sol sous forme d'avalanche de glissement. Montana, VS.
Crédit photo : F. Meyer, 20.02.2008 – Crédit légende : WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF (http://www.slf.ch)



Un des principaux facteurs discriminants dans l'occurrence des avalanches de fond est ainsi le **facteur de glissement**, qui combine des informations sur les classes de couverture des sols avec l'exposition des pentes enneigées (Peitzsch et al. 2015, Figure 21). Les paramètres discriminants abiotiques mis en évidence dans la littérature internationale comprennent **l'angle et la courbure maximaux de pente**, la somme saisonnière de **radiations solaires** et la **température à l'interface neige-sol** (Newesely et al. 2000, Peitzsch et al. 2015). Cependant, ils jouent un rôle secondaire par rapport aux paramètres biotiques. En modifiant la **rugosité de surface**, les différentes classes de couverture fournissent une densité et une qualité de points d'ancrage variables. A l'échelle du paysage,

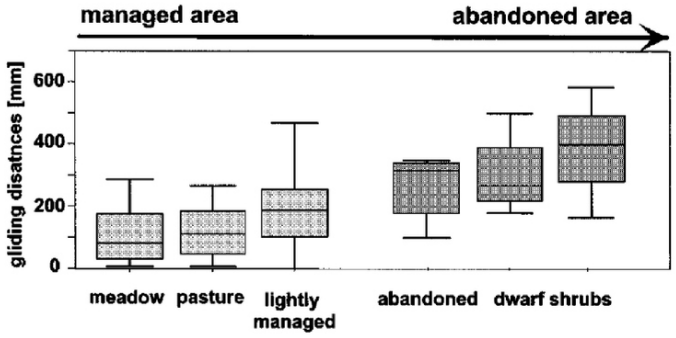
les végétations herbacées et arbustives basses apparaissent particulièrement favorables au déclenchement d'avalanches par comparaison avec les milieux forestiers (Feistl et al. 2014). Au sein des milieux à couverture végétale basse, des différences significatives apparaissent en termes de friction de surface et donc de contrôle des départs d'avalanche. En particulier, les milieux ouverts à couverture herbacée compacte et à feuilles longues, facilement couchée par le poids et la reptation du manteau neigeux, sont particulièrement propices aux phénomènes avalancheux (Feistl et al. 2014, Peitzsch et al. 2015).

Figure 21 : Facteur de glissement associé à différentes classes de couvertures des sols, en fonction de leur exposition. Les classes de couvertures de sols sont issues d'observations de terrain couplées à des imageries aériennes. Les auteurs de cette étude insistent sur la nécessité d'affiner la discrimination entre les types de couverture de la classe 4 pour améliorer les capacités de prédiction du risque d'avalanche et de son contrôle.
Crédit figure : Peitzsch et al. 2015.

Ground Classes	Glide Factor	
	Aspect	Exposure
	WNW-N-ENE	ENE-S-WNW
Class 1		
• Coarse scree (d* ≥ 30 cm)	1.2	1.3
• Terrain heavily populated with smaller and larger boulders		
Class 2		
• Areas covered with larger alder bushes or dwarf pine at least 1 m in height	1.6	1.8
• Prominent mounds covered with grass and low bushes (height of mounds over 50 cm)		
• Prominent cow trails		
• Coarse scree (d* ca. 10–30 cm)		
Class 3		
• Short grass interspersed with low bushes (heather, rhododendron, bilberry, alder bushes and dwarf pine below approx. 1 m in height)	2.0	2.4
• Fine scree (d* ≤ 10 cm) alternating with grass and low bushes		
• Smallish mounds of up to 50 cm in height covered with grass and low bushes, and also those alternating with smooth grass and low bushes		
• Grass with shallow cow trails		
Class 4		
• Smooth, long-bladed, compact grass cover	2.6	3.2
• Smooth outcropping rock plates with stratification planes parallel to the slope		
• Smooth scree mixed with earth		
• Swampy depressions		

En modifiant la diversité et les fonctions du couvert végétal, l'abandon du **pastoralisme** en haute montagne influence les phénomènes de glissement de plaques de neige. Les distances de reptation du manteau neigeux dépendent ainsi de différents paramètres environnementaux et des conditions de gestion ou d'abandon pastoral (Newesely et al. 2000, Figure 22). De manière générale, l'absence de fauche, lorsqu'elle est associée à une pression de pâture légère à modérée, crée des conditions favorables aux glissements du fait des **matelas d'herbes longues** qui se forment en automne. Les formations végétales qui s'implantent suite à la déprise pastorale (buissons nains de type callune ou busserole) ne peuvent pas agir comme des points d'ancrage pour le manteau neigeux car elles sont **facilement comprimées** par celui-ci, ce qui favorise les glissements. Lorsque la durée suite à la déprise pastorale augmente, des buissons ligneux plus robustes s'implantent (rhododendrons, genévriers ou petits arbres), ce qui contribue à stabiliser le manteau neigeux, crée des **obstacles** à sa reptation et fait diminuer de manière drastique les phénomènes de glissement (Newesely et al. 2000, Feistl et al. 2014).

Figure 22 : Distances de reptation du manteau neigeux en fonction de l'intensité de gestion pastorale dans les Alpes (Tyrol). On constate l'augmentation de la susceptibilité du manteau au glissement avec l'abandon du pastoralisme. Cette tendance s'inverse lorsque la durée suite à l'abandon augmente et que des ligneux plus robustes s'implantent et permettent l'ancrage du manteau (phase non représentée sur la figure). Crédit illustration : Newesely et al. 2000



La reptation du manteau neigeux a des conséquences négatives sur le service de contrôle de l'érosion des sols. Des traces de lissage de surface, de griffure et d'arrachage du couvert végétal (Figure 23) sont fréquemment visibles à la fonte des neiges et témoignent de **l'interaction mutuelle entre contrôle du risque érosif et du risque d'avalanche de fond** (Newesely et al. 2000, SSGM 2009).

Une gestion proactive des zones de transition (zone de combat) dans une optique de changements climatiques et de gestion pastorale apparaît particulièrement importante à encourager (voir par exemple les travaux de l'Office National des Forêts et les éléments de politique forestière proposées dans les Orientations Régionales Forestières à ce sujet).

Figure 23 : Effet érosif marqué (griffure, arrachement et lissage) sur un versant par la reptation de la neige (Bachtal, VS).
Crédit photo et légende : Société Suisse de Géomorphologie (SSGM 2009)

3) – *Régulation des crues torrentielles*

Les **crues torrentielles** sont des phénomènes gravitaires rapides très destructeurs en zones de montagne, où des matériaux solides (branches, arbres entiers, rochers…) sont déplacés par des flux torrentiels. En fonction de la concentration des matériaux solides, le transport peut

se faire par charriage sur le fond (moins de 50 % de matériaux solides) ou en masse (au-delà de 50 % de matériaux solides), ce dernier cas donnant naissance à des phénomènes de **lave torrentielle**. Extrêmement difficiles à prévoir, ces écoulements **rapides** (jusqu'à plus de 10 mètres / seconde) sont constitués d'un mélange d'eau, de débris organiques et de sédiments de toutes tailles (Bertrand et al. 2017). Les coulées dévalent des chenaux préexistants (ravines, torrents) et pentus, arrachant sur leur passage les matériaux solides présents sur les berges. La **forte densité** des boues les rend aptes à entraîner arbres, pans entiers de versant et blocs de très grande taille (SSGM 2009).

Figure 24 : Débris et dégâts de lave torrentielle (Savoie - 2006).
Crédit photo : Alain Delaune www.toraval.fr

Le facteur discriminant principal vis-à-vis de l'occurrence des laves torrentielles semble être lié au **caractère nu ou couvert des sols** (Bertrand et al. 2017). Quel que soit le type de végétation, tout couvert apparaît ainsi comme un facteur réduisant le risque de lave. A l'opposé, la présence de sol nu soumis à des phénomènes d'érosion d'origine naturelle ou anthropique (aménagements de pistes de skis, sur-fréquentation…) est un facteur de prédisposition pour le déclenchement des laves torrentielles. Des approches de modélisation reposant sur

l'intégration de différents facteurs de prédisposition aux laves torrentielles ont été proposées. Elles reposent en particulier sur les **caractéristiques du bassin versant** (dénivelé, surface drainée, pente) et sur la **présence de zones en érosion** susceptibles d'alimenter en sédiments le réseau hydrographique (Bertrand et al. 2017). Les mêmes conclusions semblent s'appliquer aux crues torrentielles avec **transport par charriage**, pour lesquelles la couverture végétale joue un rôle également sur les coefficients de ruissellement donc sur les dynamiques de crue.

L'étude du rôle de la végétation sur différents bassins versants des Alpes du Sud et du Massif Central souligne également le caractère discriminant du critère sol nu versus sol couvert, que le couvert soit herbacé ou arboré, sur les dynamiques de crues non torrentielles (Cosandey et al. 2005). Ainsi, **services écosystémiques de contrôle de l'érosion des sols, de protection contre les crues torrentielles et de protection contre les crues sont intimement liés et fortement dépendants du caractère couvert ou non des sols**.

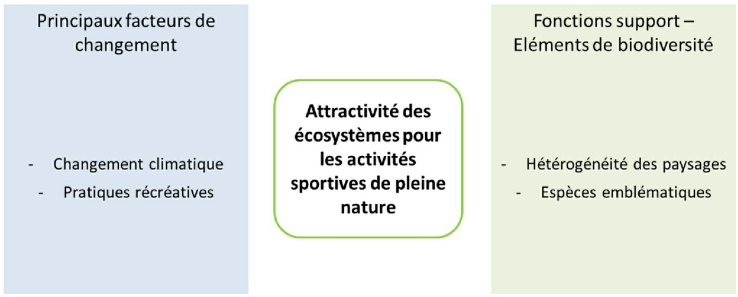
CHAPITRE 10

Services culturels et récréatifs

1. – Attractivité des écosystèmes pour les activités sportives de pleine nature

1) – Description du service

Figure 25 : Attractivité pour les activités sportives de pleine nature - Synthèse



La pratique d'activités de loisirs de pleine nature a un effet bénéfique sur la **santé physique et mentale** des individus (ten Brink et al. 2016). Du fait de l'éloignement des sources de pressions anthropiques ainsi que du bon état général de conservation de ses milieux, la haute montagne est un cadre privilégié pour la fourniture de services culturels. Ainsi, une enquête menée auprès des visiteurs du Parc National des Pyrénées en 2011 détaille les **critères les plus importants** dans le choix de leur lieu d'activité : 75 % des répondants associent le choix du site à son **esthétique** et 71 % à la **qualité de l'environnement naturel** (PNP 2011). Toutefois, cette attractivité est soumise aux influences des changements climatiques et des aménagements anthropiques (Figure 25). La demande en termes de pratiques récréatives en haute montagne est soumise à des **cycles temporels** (attractivité estivale versus hivernale). Les avantages directs issus de ce service tiennent

au maintien d'un **cadre de vie ou de pratique attractif** ainsi qu'aux **aspects sociaux et sanitaires** des activités pratiquées. Indirectement, l'attractivité de la haute montagne pour les pratiques de pleine nature revêt une **importance économique majeure** pour de nombreux acteurs (filières touristiques et agricoles, transports etc.).

L'évolution des pratiques sportive en haute montagne questionne le **rôle du milieu** dans la pratique sportive et donc le degré effectif de contribution biotique dans la fourniture du service. Ce n'est pas forcément le milieu qui est attractif : il peut être simplement le **support des pratiques**. Par exemple, le fait de préparer une course d'alpinisme ou de ski de randonnée en fonction de la technicité et des conditions de pratique de l'itinéraire diminue l'importance relative de l'attractivité biotique du milieu en tant que tel par rapport aux conditions techniques de pratique de l'activité. De plus, les activités de pleine nature sont inscrites dans un cycle aux déterminants complexes qui incluent, au-delà de l'attractivité biotiques des milieux, différentes variables liées aux **évolutions techniques** et aux **orientations sociétales** qui favorisent périodiquement certaines pratiques au détriment d'autres.

2) – Approche quantitative par modélisation à l'échelle nationale

Notre approche repose sur la caractérisation de l'attractivité de la haute montagne vis-à-vis des **activités sportives en nature**. Elle identifie en trois étapes les opportunités de pratiques sportives de pleine nature (adapté de Byczek et al. *soumis*, Maes et al. 2013) :

1. Modélisation d'un **indice de pratique potentielle** représentant la qualité des espaces pour les pratiques sportives de plein air sur la base des **caractéristiques locales de l'environnement.** Cet indice est fonction des **préférences sociales** pour des types ou qualités de paysages et représente un service potentiel. Il intègre des informations sur l'évitement des nuisances urbaines, le degré de conservation des milieux et la proximité à des milieux favorables (milieux aquatiques et (semi-) naturels).
2. Modélisation d'un **indice de possibilité de pratique**, permettant d'intégrer la demande en service. Cet indice considère **l'accessibilité** pour des loisirs d'extérieur (accessibilité par la route) et se base sur l'identification des **itinéraires** fréquentés par les pratiquants. Les itinéraires considérés sont extraits des suivis par

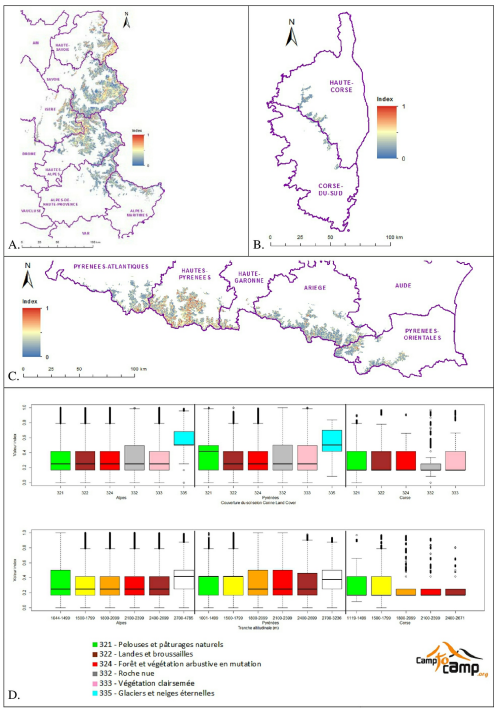
GPS réalisés par les pratiquants et mis en ligne sur le site spécialisé CampToCamp. Ils représentent donc les tracés effectivement suivis par les sportifs, enregistrés lors de leurs sorties en montagne. Nos résultats sont issus d'une **collaboration avec l'Association Camptocamp**, que nous tenons à remercier ainsi que l'ensemble des contributeurs au site www.camptocamp.org. Les itinéraires extraits sont liés à une **diversité d'activités sportives en haute montagne** et incluent notamment randonnée, trail, ski, alpinisme et escalade.

3. Combinaison des deux indices pour déterminer la **gamme de possibilités d'activités sportives de pleine nature**, représentant le service écosystémique.

Nous soulignons que la démarche cible spécifiquement les pratiques sportives et qu'elle ne concerne pas les **pratiques contemplatives, artistiques et spirituelles** en haute montagne. Une approche plus **sociologique** des motivations et bénéfices des activités de loisir en haute montagne complèterait utilement nos résultats. En effet, les aspects contemplatifs demeurent un élément essentiel de l'attractivité de la haute montagne. La **qualité paysagère** perçue de ces espaces constitue donc un facteur déterminant dans l'attractivité de la haute montagne, créant des synergies fortes entre ces deux services écosystémiques culturels. Toutefois, les sentiers et itinéraires balisés ont généralement été conçus selon des critères d'accessibilité et de sécurité et non en raison de seuls critères esthétiques. Il n'y a donc pas de recouvrement complet entre ces deux facettes de l'attractivité culturelle de la haute montagne. Cette démarche n'évalue pas non plus la **fréquentation.**

Différents **zonages** considérés dans la modélisation ont des composantes positives et négatives vis-à-vis de leur attractivité pour les sports de nature. Ainsi, la présence **d'espaces protég**és est attractive de par la qualité environnementale qu'elle offre mais elle peut être également limitante vis-à-vis de la pratique d'un certain nombre d'activités sportives et à ce titre constituer un facteur défavorable. De même, les **stations de ski**, facilement accessibles et points de départ de nombreux itinéraires, présentent un caractère facilitant pour certains pratiquants alors que leur présence, l'artificialisation et la fréquentation associées constituent un frein pour d'autres.

Figure 26 : Opportunités de pratiques sportives de pleine nature en haute montagne (adapté de Byczek et al. en préparation). Les valeurs élevées (proches de 1 – en rouge) représentent la conjonction d'un environnement favorable à la récréation et d'opportunités de pratiques sportives accessibles. Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes couleurs en dessous - et de l'altitude (D.). Résultats issus d'une collaboration avec l'Association Camptocamp, que nous tenons à remercier ainsi que l'ensemble des contributeurs au site www.camptocamp.org.



Les résultats de modélisation mettent en évidence la répartition des opportunités de pratiques sportives : en Hautes-Pyrénées, les massifs du Néouvielle et du Vignemale apparaissent particulièrement favorables aux activités sportives de pleine nature, de même que, dans les Alpes, les massifs des Ecrins, de la Vanoise et du Mont-Blanc. Ce sont donc ces massifs emblématiques, atteignant les plus hautes altitudes, qui concentrent le plus d'opportunités de pratiques sportives de montagne. En effet, dans les Alpes et les Pyrénées, les **glaciers et neiges éternelles** présentent des valeurs particulièrement élevées d'opportunités de pratique sportive, mettant en avant les spécificités et l'attractivité de la très haute montagne dans les pratiques récréatives. L'analyse par type de couverture des sols ne fait pas ressortir de type de végétation particulièrement favorable ou défavorable

aux pratiques, probablement du fait de l'imbrication spatiale fine des végétations, et du fait que nombre d'itinéraires couvrent un gradient d'altitude, ce qui contribue à leur attractivité sportive et esthétique (Schirpke et al. 2016). Les opportunités sur le massif Corse ressortent moins nettement que sur les massifs alpins et pyrénéens du fait notamment de la limitation des données disponibles sur les itinéraires (peu de traces GPS disponibles).

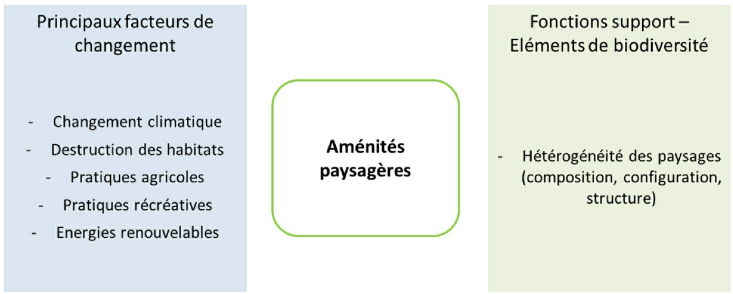
La démarche présentée ici peut servir de base à une réflexion sur les **conflits d'usage et synergies** entre activités sportives de pleine nature et d'autres activités telles que la chasse ou le pastoralisme.

Nous soulignons le fait que les itinéraires représentés ne représentent qu'une fraction, non caractérisée, de l'ensemble des itinéraires empruntés par les pratiquants : seuls les itinéraires ayant fait l'objet d'un enregistrement et d'une trace GPS mis en ligne sur le site de Camptocamp sont ici considérés. Cette limitation concerne en particulier la Corse, où peu de traces GPS sont disponibles. Par ailleurs, nous insistons sur le fait que les traces GPS représentent en elles-mêmes la **résultante d'indicateurs composites ayant abouti au choix des sorties**, liés par exemple à l'accessibilité des différents massifs, aux conditions d'entretiens des sentiers ou à la fréquentation estimée des itinéraires.

2. – Aménités paysagères

1) – Description du service

Figure 27 : Aménités paysagères - Synthèse



Les paysages constituent un atout majeur pour les territoires de montagne. Co-construits au fil des siècles par les **activités agricoles, forestières et plus récemment touristiques**, ces paysages mosaïqués sont porteurs d'un **fort héritage culturel** auquel la société porte un attachement particulier (EEA 2010). En plus des impacts cumulés de l'urbanisation et du développement des infrastructures, les **changements climatiques** et le **développement des énergies renouvelables**, éoliennes notamment, modifient les caractéristiques de ces paysages (Figure 27). Les avantages associes au maintien de paysages de haute montagne de qualité sont perçus *in situ* et à distance et bénéficient à une vaste palette d'acteurs, touchant à la fois aux **dimensions sociales, sanitaires et économiques du bien-être humain**.

La Figure 28, extraite d'une documentation sur les grandes familles de paysages de Rhône-Alpes, propose une description de deux grands types de paysages qui se côtoient en haute montagne (DIREN RA 2005).

Figure 28

Description de deux paysages caractéristiques de haute montagne.
Source texte : Les 7 familles de paysages en Rhône-Alpes - Des paysages pluriels pour un territoire singulier (DIREN RA 2005)

Les paysages naturels

Un précieux espace de liberté

Les deux grandes caractéristiques associées généralement à ces paysages sont d'une part l'impression visuelle ou sensitive d'être dans une nature vaste et sauvage, d'autre part un sentiment plus intellectualisé que ces pans de territoires ont une valeur naturaliste précieuse ou menacée. L'appréciation des paysages naturels est liée à des notions de nature « sauvage », de liberté et d'aventure, souvent associées à la pratique de sports extrêmes. Les activités de l'homme restent discrètes mais perceptibles. Ce sont des architectures spécifiques : chalets d'alpage, maisons forestières, cabanes de bergers, ou des traces particulières : pistes, clairières… La demande de protection des paysages naturels est très forte et répond au souci de voir subsister des "paysages vierges", mot introduit dans la loi Montagne. L'équilibre écologique et la biodiversité induisent une valeur supplémentaire de ces paysages. La présence d'une flore et d'une faune sauvages emblématiques contribue à cette représentation.

Des tendances contrastées d'évolution

La valeur esthétique de ces paysages, de notoriété parfois internationale, attire depuis plus d'un siècle une fréquentation spécifique, de tourisme ou de loisirs sportifs, qui génère une activité économique notable. L'attente des usagers vis-à-vis de ces paysages naturels n'est pas exempte de contradictions ; ils souhaitent une nature vierge et sauvage à contempler, mais revendiquent des conditions toujours meilleures d'accès, de confort, de sécurité. Le développement des zones d'accueil, parkings, aires de pique-nique et les re-calibrages routiers banalisent ces paysages et sont les témoins de cette volonté grandissante d'appropriation comme cadre de loisirs. Une partie de ces espaces évolue même vers de nouveaux types de paysages de loisirs. L'abandon de l'entretien traditionnel de certains paysages « vierges » peut conduire à une modification de leur aspect. Par exemple, il s'agit des résineux qui gagnent du terrain sur les alpages ou encore des broussailles qui colonisent les bordures des petites routes de découverte et ferment les vues. Cette évolution du semi-naturel vers un naturel trop « spontané » peut être également préjudiciable à la diversité des paysages et à leur connaissance.

Vue stylisée des 'paysages naturels'
Crédit : DIREN RA 2005

Massif de la Dent d'Oche.
Crédit photo : www.geol-alp.com

Les paysages naturels de loisirs

Un paysage sous influence urbaine

Il s'agit d'abord de paysages de superposition : à un socle naturel se superposent des activités artificielles de loisirs qui génèrent des modes d'occupation des sols et des architectures bien spécifiques. Une ambiance de modernité et d'activité se dégage de ces espaces fonctionnalistes. Cette modernité devient plus prégnante que le paysage de montagne lui-même et les anciennes activités montagnardes. Dans certaines grandes stations, on peut même considérer qu'un type de paysage d'influence urbaine (vastes parkings, ronds-points, terrassements, déboisements massifs et rectilignes, …) se constitue. La particularité de ces paysages naturels de loisirs tient aussi à leur caractère variable et saisonnier ; à un paysage hivernal, enneigé, animé et bruyant, succède un paysage estival différent qui peut être perçu comme dégradé. Les stations dites « intégrées », prototypes de développement urbain, présentent des formes architecturales nouvelles issues d'une tradition moderne mais spécifique à la montagne. Ces « villes des neiges » peuvent être protégées en tant que patrimoine du XXème siècle : ZPPAUP de Courchevel, monuments historiques à Flaine…

Une montagne convoitée mais sensible

Les stratégies d'interconnexions entre les domaines skiables ou les vallées pourraient continuer à se mettre en place. Le quadrillage de l'espace montagnard par des réseaux pourrait altérer des sites restés « vierges » jusqu'à aujourd'hui. Ces sites constituent pourtant un élément essentiel de l'image positive de la région. Les changements de pratiques constituent également un enjeu en ce qui concerne la mutation des paysages. D'abord la fréquentation estivale croissante induit de nouveaux types d'aménagement liés à des activités ludiques différentes. Ensuite, l'extension des domaines skiables sur des territoires de moyenne-montagne à l'enneigement aléatoire induit des pratiques particulières (neige artificielle, retenues d'eau). Enfin, la perspective d'un réchauffement climatique et le développement de nouvelles formes de glisse conduisent aujourd'hui les aménageurs à investir des espaces situés de plus en plus haut et exceptionnels, tels que les glaciers par exemple. On trouve désormais des voies d'accès rapide et sécurisé, des parcours organisés sur des sommets réputés autrefois impraticables. Les sites touristiques en friche ont tendance à se multiplier et le démontage des installations obsolètes est rendu difficile par les conditions d'accès. Enfin, l'occupation à l'année des stations, prévues au départ pour être saisonnières constitue également un enjeu en terme d'urbanisme, de déplacements et de développement durable. Ces nouvelles villes alpines voient s'installer des populations à demeure en relations économiques avec les métropoles.

Vue stylisée des 'paysages naturels de loisirs'
Crédit : DIREN RA 2005

Vue sur la station de l'Alpe d'Huez en été.
Crédit photo : Raphodon (Wikipedia)

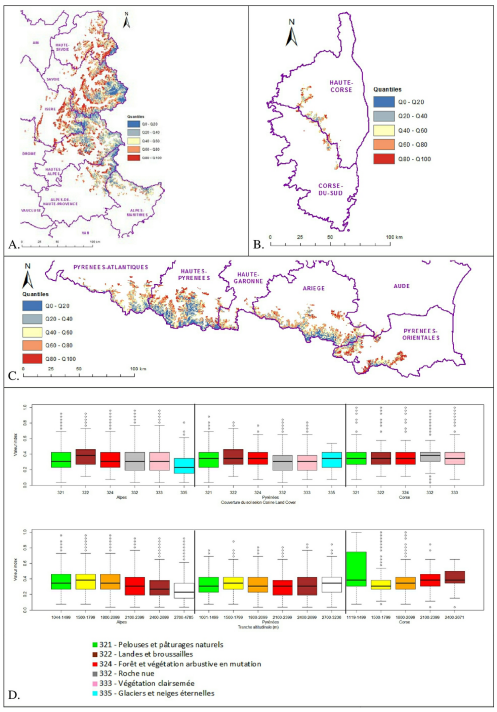
Le caractère esthétique des paysages provient de **l'interaction entre des éléments biophysiques et l'observateur humain**. Deux grands types de méthodes ont été formulées pour évaluer ce service écosystémique (Schirpke et al. 2013) : i) des évaluations **à dires d'experts**, où des métriques paysagères sont calculées puis associées à un gradient d'esthétisme (ex. : diversité d'utilisations des sols, taille du bassin de vision, relief, nombre de plans visibles…), et ii) des **évaluations participatives**, souvent localisées, où les différentes **perceptions** des observateurs vis-à-vis des paysages sont collectées sur site ou sur base photographique (voir par exemple Hunziker et al. 2008 pour une étude de la perception des trajectoires de paysages dans les Alpes suisses). Une combinaison

des deux types d'approches permet d'accroître la robustesse des liens établis entre métriques et préférences paysagères. Une troisième méthode reposant sur les **caractéristiques des espèces végétales** est développée dans la seconde section à une échelle plus restreinte.

2) – Approche quantitative par modélisation à l'échelle nationale

La haute montagne est caractérisée par une **topographie** complexe, qui découpe les bassins de vision en différents plans (du premier à l'arrière-plan) et qui induit une perspective visuelle étendue du fait du gradient altitudinal. Notre approche spatialement explicite s'intéresse à la **diversité des paysages qui peut être perçue par l'observateur**. En tout point du paysage, le **bassin de vision** accessible du fait de la topographie est calculé sur la base d'un modèle numérique de terrain. Sur ce bassin de vision, le nombre de différentes classes d'utilisation des sols (CLC 2012 niveau 3) est obtenu en limitant l'analyse à un seuil de distance maximale de 20 km (distance linéaire depuis l'observateur). Le résultat obtenu assigne à chaque point du territoire de haute montagne la diversité des paysages contenus dans le bassin de vision accessible (Figure 29).

Figure 29 : Diversité paysagère des bassins de vision en haute montagne. Les valeurs sont classées en cinq quantiles (classes de 20 % du nombre de valeurs). Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes couleurs en dessous - et de l'altitude où se trouve l'observateur (D.).



Les patrons de diversité paysagère sont **homogènes** sur les trois massifs : les bassins de vision comprenant le plus grand nombre de classes d'utilisation des sols différentes sont situés en **périphérie** de la haute montagne. Le **relief** qui limite les bassins de vision ainsi que le **nombre restreint de classes typologiques** en haute montagne sont deux facteurs explicatifs des valeurs globalement faibles associées aux zones internes du périmètre de haute montagne. A l'inverse, les zones périphériques bénéficient de **bassins de vision étendus**, à la fois vers la plaine et vers le cœur des massifs, et composés de **classes de couverture des sols variées**.

Cette approche se base sur une **métrique paysagère brute :** elle n'intègre **pas d'élément subjectif** sur la qualité esthétique du paysage. Par exemple, les classes urbanisées ne sont pas jugées négativement et contribuent à la diversité paysagère au même titre que les forêts ou prairies. Par ailleurs, nous négligeons **l'impact de**

la distance sur la capacité de perception des classes d'utilisation des sols. En effet, jusqu'à une distance linéaire de 20 km depuis l'observateur, la même catégorisation d'usage des sols est utilisée : il aurait été possible d'utiliser le niveau typologique le plus fin à courte distance puis de dégrader progressivement le niveau typologique en augmentant la distance à l'observateur (par exemple : CLC niveau 3 jusqu'à 5 km, puis CLC niveau 2 entre 5 et 15 km, puis CLC niveau 3 au-delà et jusqu' un seuil donné). Bien que potentiellement plus robuste, cette approche n'est pas proposée ici du fait de la longueur de sa mise en œuvre, incompatible avec les échéances du présent rapport. Enfin, notre approche ne considère pas les **patrons spatiaux de configuration** en termes de taille et agencement des patchs paysagers.

D'autres variables auraient également pu être intégrées dans cette analyse, comme le **gradient altitudinal** visible, le dynamisme des **activités pastorales** locales ou encore le **caractère sommital** du point de vue considéré (Schirpke et al. 2016). Nous soulignons la nécessité de conduire une **comparaison des différentes approches possibles** pour en souligner les spécificités et accroître la robustesse des résultats préliminaires présentés dans ce rapport. L'utilisation de **données photographiques** mises à disposition sur des sites collaboratifs tels que Flickr ou Panoramio complèterait utilement cette analyse, même si cette approche comporte aussi des limites importantes intrinsèques (impossibilité d'attribuer le choix de prises de vue aux éléments naturels et non anthropiques) et contextuelles (accessibilité des différentes classes de population) (Tenerelli et al. 2017, Martinez-Harms 2017).

Par ailleurs, les documents d'urbanisme tels que les Plans Locaux d'Urbanisme mentionnent la notion de **cônes de vision à préserver**, témoins de la valeur des aménités paysagères associées. Leur intégration dans la modélisation pourrait être pertinente, bien que l'étendue spatiale concernée n'ait pas été caractérisée à ce stade.

Enfin, il serait judicieux d'intégrer la **variabilité temporelle de la qualité paysagère**, notamment dans un contexte de haute montagne marqué par une **saisonnalité prononcée** et un **cycle d'enneigement annuel**.

3) – Approche quantitative par modélisation à l'échelle locale : zoom sur les prairies du Parc National des Ecrins

Lorsque des données précises sur la biodiversité sont disponibles (diversité voire abondance des espèces), la valeur esthétique des paysages peut cibler spécifiquement la **contribution biotique** à ce service culturel (Lindemann-Matthies et al. 2010).

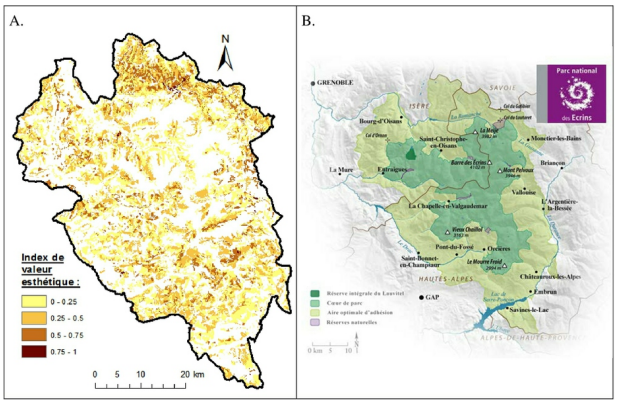
Ainsi, sur le Parc National des Ecrins (PNE), des données d'inventaire sont disponibles et permettent de lister les espèces végétales associées aux différentes prairies du territoire. En fonction des **caractéristiques des espèces (phénologie de floraison, couleur des fleurs)**, la valeur esthétique des prairies a été déterminée sur le PNE en combinant quatre variables renseignées par différentes flores de montagne et connaissances expertes (Devaux 2016, Lyonnard 2016, Zawada 2016) :

- Nombre de couleurs différentes par parcelle,
- Durée de floraison la plus longue observée sur la parcelle,
- Somme des abondances relatives des espèces colorées de la communauté,
- Indice de Simpson (indice de diversité).

Les résultats mettent en avant la **variabilité spatiale à échelle fine** de la valeur esthétique des prairies selon leur composition botanique (Figure 30). En particulier, de fortes valeurs sont concentrées au nord-est du territoire, à proximité du col du Lautaret. La **très forte richesse spécifique** des milieux ouverts du Lautaret contribue ainsi directement à la fourniture locale d'aménités paysagères et à l'attractivité culturelle du site. Les modalités de gestion agropastorale des milieux en herbe conditionnent la diversité et l'abondance des espèces végétales dans le paysage. Le maintien des paysages culturels dépend donc pour partie des modalités de conduite des exploitations agricoles et de leur pérennité. En particulier, la conversion de prairies de fauche vers des prairies pâturées diminue la diversité spécifique des prairies et l'abondance des espèces à fleurs, et donc leur valeur esthétique selon les critères utilisés ici.

Un complément à notre approche pourrait être apporté par une vision dynamique de la valeur esthétique des prairies au fil du temps. En effet, d'importants décalages temporels peuvent apparaître **entre espèces**, du fait de leurs phénologies respectives, et **entre sites**, sous l'influence de contraintes micro- ou méso-climatiques (Graves et al. 2016). Un suivi spatialement et temporellement explicite des variables de diversité et de floraison permettrait de mettre en évidence la dynamique temporelle des paysages et de leur attractivité de manière plus réaliste que l'approche statique proposée ici.

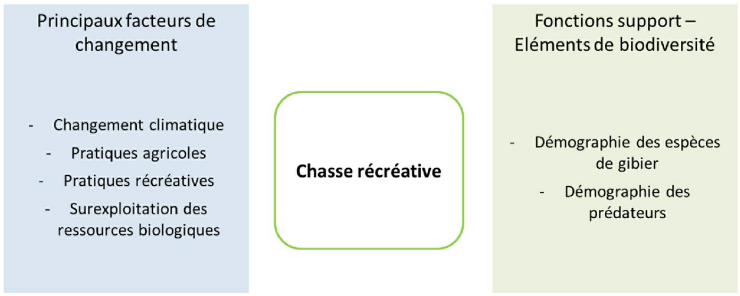
Figure 30 : Modélisation de la qualité esthétique des prairies du Parc National des Ecrins (A.) et éléments de situation (B.).
Crédit carte de situation : PNE.



3. – Chasse récréative

1) – Description du service

Figure 31 : Chasse récréative - Synthèse



La chasse récréative en haute montagne présente des **spécificités fortes** liées à une pratique dans un environnement souvent difficile mais attractif ainsi qu'à la recherche d'espèces particulières à ces milieux. Les **équilibres interspécifiques** modulent la fourniture de service et sont soumis à la capacité des milieux à fournir des ressources et des habitats pour les espèces de gibier (Figure 31). Les **modalités de pratique** de la chasse récréative en montagne, ainsi que les **arbitrages** avec les autres activités en place sur ces milieux, notamment récréatives, font l'objet de réflexions collectives multisectorielles. Les principaux bénéficiaires de ce service

sont les **pratiquants locaux**, qui en retirent des avantages sociaux et en soulignent la valeur culturelle et patrimoniale.

Dans le cadre de ce rapport, le chapitre « Chasse récréative » n'a pas pu être développé de manière extensive et ne présente que **quelques éléments généraux** sur les principales espèces concernées ainsi que sur certains enjeux lies. De plus amples travaux seraient à encourager dans un prochain exercice, à mener par exemple en collaboration avec l'Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) ainsi qu'avec des représentants des pratiquants de l'activité tels que l'Association Nationale des Chasseurs de Montagne.

2) – Grand gibier de montagne

Les **ongulés** sont une part majeure du tableau de chasse en haute montagne. Les espèces emblématiques de ces milieux, **chamois des Alpes, isards des Pyrénées et mouflons méditerranéens**, seront chasses en général à l'approche. Dans une moindre mesure, la chasse en haute montagne concerne également les **cerfs** (chasse à l'approche ou en battue) et les **sangliers** (plutôt en battue), ces deux espèces ayant colonisé les milieux de montagne au cours des dernières décennies.

La description de **l'état des populations** de chamois, d'isards et de mouflons et des enjeux associés, proposée ci-après, est issue directement de l'inventaire des populations françaises d'ongulés sauvages (Corti 2012, Figure 32). Les sources de données mobilisées par cet exercice reposent sur les contributions suivantes : Cnera Faune de Montagne / Réseau Ongulés Sauvages / ONCFS / FNC / FDC. Ces informations sont complétées par un bilan sur les **tableaux de chasse départementaux** pour ces trois espèces (ONCFS 2017, Figure 33). De manière générale, pour ces trois espèces, les effectifs et aires de présence ont progressé ces dernières décennies. Les prélèvements sont également en augmentation sur les vingt dernières années à l'échelle nationale (isards : +30 %, chamois : +80 %, mouflons : +70 %). Toutefois, ces tendances sont à mettre en regard de facteurs de changement qui s'exercent sur les populations d'ongulés. En particulier, **l'arrivée des ongulés dits "de plaine"** (cerfs et sangliers) peut engendrer des modifications dans les **interactions interspécifiques** en haute montagne, influençant la qualité des habitats, dont il serait utile de considérer en détail les conséquences dans une prochaine itération de l'exercice EFESE. Par ailleurs, les influences conjointes

des **changements agro-pastoraux**, du développement des **activités et des infrastructures anthropiques** ainsi que du **changement climatique** demeurent également à renseigner dans le cadre de ce rapport.

Ces ongulés ne sont **pas des hôtes exclusifs** des milieux de haute altitude, les espaces forestiers offrant des conditions plus favorables à leur maintien notamment durant la période hivernale. Toutefois, les escarpements rocheux et le relief accidenté de la haute montagne représentent pour ces animaux un moyen d'assurer leur **sécurité** face aux prédateurs et aux dérangements, entre autres lors de la mise bas. Par ailleurs, la diversité de milieux présents en haute montagne fournit des **ressources alimentaires** adaptées au régime de ces animaux. La végétation d'altitude, soumise à des stress abiotiques plus forts qu'en plaine, présente une qualité supérieure pour l'alimentation des herbivores : certaines espèces végétales peuvent y contenir jusqu'à 50 % de protéines et 100 % de phosphore de plus qu'en plaine pour un même stade phrénologique (source ONCFS).

Figure 32 : Inventaire des populations françaises d'ongulés sauvages.
Source : Corti 2012 (Première de couverture)

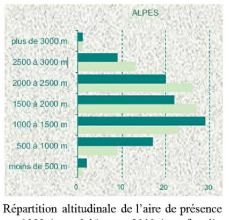
Le Chamois des Alpes (*Rupicapra rupicapra*) (Corti 2012)

Au rythme moyen de 433 km^2 colonisés chaque année, le Chamois des Alpes avait considérablement étendu son emprise dans les Alpes, le Jura, les Vosges et le Massif Central entre 1988 et 2005. Ses effectifs avaient également beaucoup progressé durant cette période, le nombre minimum de ses représentants étant trois fois plus élevé en 2005 qu'en 1988. L'expansion géographique de l'espèce s'est poursuivie de 2005 à 2010, mais elle est beaucoup moins importante (137 km^2/an) qu'auparavant et localisée pour plus de 9/10^e sur la chaîne alpine et les Monts d'Auvergne. Ses effectifs, en progression dans les Alpes et le massif vosgien, sont demeurés stables dans le Jura et le Massif Central. Avec 97 365 chamois, soit 94,2 % de l'effectif national, les Alpes rassemblent l'essentiel du peuplement. Les effectifs de l'espèce ont été multipliés par 3,3 sur le massif depuis 1988, bien que cette tendance soit en ralentissement depuis 2005.

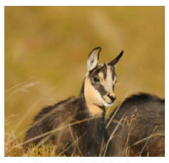
L'accroissement remarquable de l'aire de distribution et des effectifs du Chamois des Alpes résulte des mesures de protection et de gestion qui ont été développées depuis le début des années 1950 :

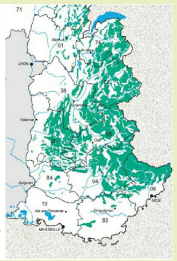
- création d'un important réseau de réserves (suivant les départements, 15 à 20 % de biotopes favorables ont été progressivement soustraits à la chasse, dont 2 250 km^2 d'espaces entièrement protégés dans les parcs nationaux de la Vanoise, des Ecrins et du Mercantour) ;
- mise en œuvre de mesures coercitives destinées à limiter les prélèvements sur les territoires ouverts à la chasse (réduction progressive de la période d'ouverture, interdiction de la chasse en temps de neige, du tir de certaines catégories d'individus et de la chevrotine, interdiction de la vente des trophées et de la venaison, obligation d'avoir un permis de chasser, etc.) ;
- introductions (Vosges, Massif Central, Sainte-Beaume), renforcements de populations par des lâchers d'animaux ;
- instauration, en 1989, du plan de chasse au chamois sur l'ensemble du territoire national. Déjà institué dans les Vosges, le Jura, le Massif Central et, de façon contractuelle, sur quelques territoires alpins, il est appliqué depuis 1990 à toutes les populations chassées de l'espèce.

De plus, et tout particulièrement dans les Alpes, l'espèce a bénéficié d'une évolution favorable du milieu naturel, conséquence de l'importante déprise agricole et de la régression démographique qui se sont opérées à partir de la seconde moitié du 19e siècle. De même, dans le Jura, sa protection totale jusqu'au début des années 1980 (1980 dans l'Ain, 1981 dans le Jura, 1982 dans le Doubs) a favorisé une colonisation rapide de la chaîne. Son introduction dans le Cantal en 1978 lui a ouvert de nouvelles possibilités d'extension dans le Massif Central, qui viennent s'ajouter à celles demeurant encore dans le sud des Alpes et le Jura. Il dispose ainsi d'un réservoir d'habitats potentiels important qui laisse présager de futurs élargissements de son aire de distribution. Au point de ne pouvoir exclure un contact avec l'Isard des Pyrénées dans un avenir plus ou moins proche.



Répartition altitudinale de l'aire de présence en 1988 (vert clair) et en 2010 (vert foncé).


Chamois © P. Matzke

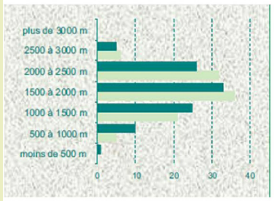

Aire de répartition en 2010 dans les Alpes (figure de droite).

L'Isard des Pyrénées (*Rupicapra pyrenaica*) (Corti 2012)

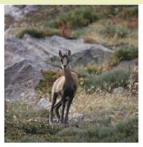
L'Isard a également progressé en France. Mais l'accroissement de son aire de distribution s'est ralenti depuis le début des années 1990, après une phase de forte croissance au cours des décennies 1970 et 1980. L'espèce ayant aujourd'hui colonisé la plupart des habitats dont elle dispose dans les Pyrénées françaises, ses possibilités d'extension sont désormais réduites. De même, ses effectifs ont augmenté de façon soutenue jusque vers le milieu des années 1990. Depuis, leur croissance a significativement ralenti (1,7 % par an en moyenne depuis 1995 au lieu de 10 % de 1978 à 1994), en particulier à l'est et au centre de la chaîne. Le nombre minimum d'isards présents avant chasse sur le territoire national en 2010 a été estimé à près de 31 200 têtes. Les effectifs d'Isard dans les Pyrénées françaises ont régulièrement progressé jusqu'au milieu des années 1990, puis se sont stabilisés, l'accroissement annuel moyen n'étant plus que de 3 % de 2005 à 2010.

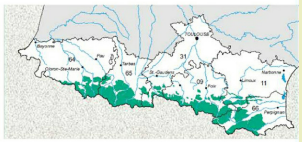
Comme son homologue alpin, l'Isard a bénéficié, depuis le début des années 1950, de diverses mesures qui ont favorisé le développement de ses populations :

- création d'un important réseau de réserves dont la superficie, pour l'ensemble de la chaîne, atteignait 1 385 km^2 en 1991, soit un sixième des terrains situés au-dessus de 500 m d'altitude (Catusse, 1992) ;
- mise en œuvre de mesures réglementaires pour limiter les prélèvements sur les territoires ouverts à la chasse ;
- réintroductions (Estibète, Jaut, Hourmigue) et renforcements de populations par des lâchers ;
- mise en place de quota de tir dès 1969 dans les terrains domaniaux de l'Ariège (qui couvrent près de la moitié de l'espace montagnard), 1977 en Haute-Garonne et 1978 dans les Pyrénées-Orientales ;
- instauration, en 1989, du plan de chasse qui est appliqué depuis 1990 à toutes les populations chassées de l'espèce.



Répartition altitudinale de l'aire de présence en 1988 (vert clair) et en 2010 (vert foncé).


Isard © D. Maillard

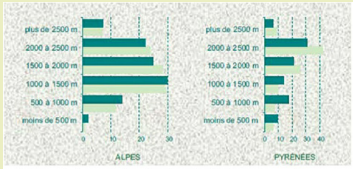

Aire de répartition en 2010 dans les Pyrénées

Le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini musimon x Ovis sp.*) (Corti 2012)

Depuis la première introduction en nature, réalisée en 1950 dans le massif du Mercantour, l'aire de répartition et les effectifs du Mouflon méditerranéen ont, dans l'ensemble, régulièrement progressé. Des disparités importantes existent cependant entre les régions qu'il occupe. Elles opposent les Alpes sèches et les montagnes méditerranéennes (Provence, Languedoc, Pyrénées orientales), où il a nettement progressé, au reste de l'aire de présence, où l'accroissement est beaucoup plus modeste. Les premières abritent d'ailleurs les dix plus importantes populations qui rassemblent à elles seules 52 % de l'effectif national. L'amélioration globale du statut de l'espèce ne doit donc pas masquer le fait que de nombreuses colonies végètent : un quart de celles créées il y a plus de 20 ans comptent moins de 50 individus et occupent moins de 5 000 ha.

La variété corse (*Ovis gmelini musimon var. corsicana*)

En Corse, une chasse excessive et le braconnage ont entraîné une importante diminution de l'aire de distribution et des effectifs du Mouflon de Corse jusqu'au milieu du 20 e siècle. L'interdiction de sa chasse depuis 1953 et la création de réserves ont permis d'éviter la disparition de l'espèce. Pendant une quarantaine d'années, on a assisté à une lente progression de l'aire occupée par les deux populations présentes sur l'île, dans les massifs du Cinto et de Bavella, et de leurs effectifs. À défaut d'une estimation récente de ces derniers, on peut seulement avancer que leur aire vitale est stable depuis 2005. La faible reproduction, les pressions sur l'habitat (grands incendies, fermeture de milieux consécutive à la déprise pastorale, dérangements causés par les activités de loisirs et les battues au sanglier), le braconnage et la propension limitée de l'espèce à coloniser de nouveaux territoires expliqueraient la lenteur de leur développement (Dubray et Roux, 1990 ; Dubray, 2007). Dans ce contexte, la réintroduction du Mouflon de Corse dans de nouveaux massifs apparaît comme le seul moyen d'aboutir à une recolonisation rapide de l'aire de distribution historique en Corse (Cugnasse, 1997, 2000). Sur le continent, l'espèce compte deux populations, l'une dans les Alpes de Haute-Provence, l'autre dans les Pyrénées-Orientales. Toutes deux sont établies à proximité de colonies de Mouflon méditerranéen et il ne peut être exclu que des échanges puissent se produire dans les prochaines années entre populations des deux espèces.



Répartition altitudinale de l'aire de présence en 1988 (vert clair) et en 2010 (vert foncé).

Mouflon méditerranéen © D. Maillard

Aire de répartition en 2010

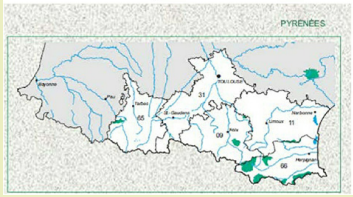
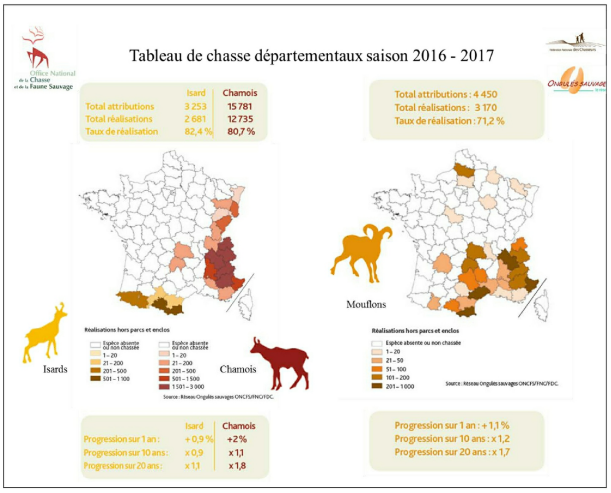


Figure 33 : Tableaux de chasse départementaux pour le chamois, l'isard et le mouflon. Source images : ONCFS 2017



3) – *Petit gibier de montagne*

En haute montagne, la chasse concerne également du **petit gibier :** la gélinotte des bois (*Bonasa bonasia*), le grand tétras (*Tetrao urogallus*), le tétras-lyre (*Tetrao tetrix*), la perdrix bartavelle (*Alectoris graeca saxatilis*), le lagopède alpin (*Lagopus mutus*), la perdrix grise de montagne (*Perdix perdix hispaniensis*), le lièvre variable (*Lepus timidus*) et la marmotte (*Marmotta marmotta*) (ONCFS 2011). Les distributions de ces espèces, les quotas prélevables et les périodes de chasse autorisées varient selon les départements. Le texte de la Figure 34, rédigé sur la base de données collectées et mises à disposition par l'ONCFS et l'Observatoire des Galliformes de Montagne (OGM), présente les enjeux liés à trois espèces de galliformes de montagne.

Figure 34

Galliformes de montagne – A la croisée des enjeux patrimoniaux et cynégétiques.

L'Observatoire des Galliformes de Montagne (OGM) s'intéresse aux populations de galliformes de montagne tels que les tétras-lyre, grand tétras ou lagopèdes alpins sur les massifs des Alpes, des Pyrénées et des Vosges. La collaboration de plus de 50 structures partenaires à l'échelle nationale au sein de l'OGM (fédérations de chasse, ONCFS, ONF, espaces protégés (PNR, PN, RN) et diverses associations) conduit à la constitution de séries temporelles de comptage de ces espèces, au suivi de leur succès reproductif et à la caractérisation des conditions favorables à leur maintien. Dans le cadre de l'EFESE milieux rocheux et de haute montagne, certaines espèces de galliformes de montagne aux tendances démographiques en déclin font l'objet d'une attention particulière de par les **enjeux patrimoniaux et cynégétiques** qu'ils suscitent. Les trois exemples ci-dessous en sont l'illustration.

Le massif des **Pyrénées** abrite une sous-espèce de **grand tétras** aux caractéristiques génétiques et écologiques spécifiques, issue de l'isolement glaciaire des populations et suscitant une forte volonté de conservation (*Tetrao urogallus aquitanicus*). Les grands tétras pyrénéens occupent les forêts claires d'altitude ainsi que des milieux ouverts de landes et prairies jusqu'à 2400 mètres d'altitude. Cette espèce très sensible subit la **détérioration de ses habitats** du fait des changements de gestion sylvo-pastorale en montagne et connaît en parallèle une augmentation des **pressions directes** liées au dérangement par l'homme, notamment en hiver et au printemps, ou encore à l'augmentation de la prédation. De plus, le **changement climatique** est soupçonné de diminuer le succès de la reproduction chez les grands tétras. La conjonction de ces facteurs d'influence se traduit par une **baisse significative d'environ 20 % des effectifs de coqs sur les sites de référence échantillonnés entre 2000 et 2009**. Depuis 2010, une stratégie d'échantillonnage probabiliste conduite par l'OGM permet d'estimer les effectifs de mâles chanteurs sur le massif des Pyrénées. Sur l'hypothèse d'un sex ratio équilibré chez cette espèce, l'effectif des grands tétras est ainsi estimé à **3700 adultes** en 2013, avec une fourchette d'estimation comprise entre 3200 et 4400 individus. Bien que les séries temporelles liées au nouveau protocole de suivi des populations demeurent relativement courtes, **la population pyrénéenne apparaît globalement stable depuis 2010**, même si des disparités existent entre les piémonts où les populations régressent et la haute chaine où elles apparaissent stables, voire localement en légère augmentation. Dans ce contexte, six départements pyrénéens autorisent actuellement la **chasse** des grands tétras, qui doit se conformer à des restrictions précises limitant la durée de la saison de chasse (environ 10 jours par an) et les quotas de prélèvement. Le nombre de coqs pouvant être prélevés est déterminé chaque année en fonction du stock d'adultes et de l'indice de reproduction. Depuis 2010, le nombre total d'oiseaux prélevés annuellement sur le massif pyrénéen est de l'ordre **d'une vingtaine de coqs**, ce qui représente une baisse significative d'environ 50 % depuis le début des années 2000. Ces prélèvements sont effectués essentiellement dans les deux départements les plus riches : l'Ariège et les hautes Pyrénées, les autre départements ayant des prélèvements nuls ou de quelques unités.

Les **Alpes** et les **Pyrénées** abritent des populations de **lagopèdes alpins**, des oiseaux de petite taille dont le plumage estival gris-brun mue en blanc en hiver. Le lagopède vit entre 1800 m et 3000 mètres sur des pelouses rases parsemées d'arbrisseaux nains et de pierriers, jusqu'en limite des glaciers. Ses populations sont soumises à de **multiples facteurs de déclin**, tels que les grands aménagements touristiques de montagne et le changement climatique. Pour cette espèce, l'OGM ne dispose pas d'estimation globale de population mais, sur une vingtaine de sites, des comptages printaniers permettent le suivi du nombre de mâles chanteurs tandis que des comptages au chien d'arrêt en août estiment la qualité de la reproduction. Sur ces sites, le **succès reproducteur est faible :** l'indice de reproduction annuel moyen est de 0,3 jeune par

adulte pour les Alpes et de 0,4 pour les Pyrénées sur la période 2000-2009, étant établi qu'en-deçà de 0,4 la reproduction ne permet pas de compenser la mortalité. Ce mauvais bilan reproductif soulève des **inquiétudes sur l'évolution démographique** des lagopèdes, notamment dans le massif des Alpes. Sur la base des critères de succès reproducteur établis par l'ONCFS, des mesures de gestion cynégétique restrictives ont été mises en œuvre : en 2009, seuls les départements de Savoie, Haute-Savoie, Isère et Ariège autorisent les prélèvements. Les carnets de prélèvements attestent ainsi d'une **baisse importante des prélèvements au cours de la décennie 2000, de l'ordre de 69 % pour les Alpes et de 59 % pour les Pyrénées.**

En France, le **tétras lyre** est présent uniquement dans le massif des **Alpes** aujourd'hui. Il occupe les habitats d'interface entre la forêt et les milieux ouverts entre 1400 et 2300 mètres d'altitude. A ce titre, il est particulièrement soumis aux conséquences de la **déprise pastorale** qui altère ses habitats. De plus, le développement des **loisirs de montagne**, tant au travers des infrastructures touristiques que des pratiques hors-pistes occasionnant un dérangement hivernal croissant, affectent la condition physique des oiseaux. Les effectifs de tétras lyre, estimés en 2009 à 16 600 adultes, sont **en baisse** de 11 % par rapport à la décennie précédente. Les tendances varient cependant selon les régions, avec un déclin très marqué dans les Préalpes du sud en limite d'aire (-30 %), un déclin moins marqué dans les Préalpes et Alpes internes du nord (environ -10 %) et une population stable dans les Alpes internes du sud. Depuis 2009, plusieurs dizaines de sites sur le massif alpin sont prospectés chaque année pour estimer le succès de la reproduction sur environ 700 poules, ce qui sert de base à la détermination des quotas de chasse. **La chasse au tétras lyre demeure très populaire dans les Alpes, où les prélèvements de** coqs maillés **sont possibles** dans tous les départements alpins sauf le Var. Le cadre règlementaire s'est progressivement mis en place à la fin des années 1990 et généralisé depuis 2012 autour de plans de chasse légaux. Cette réglementation a conduit à une **baisse importante du tableau de chasse** qui est passé de plus de 1000 coqs au début des années 2000 à 400 à 500 individus ces dernières années.

Figure 35 : A. Lagopède alpin en plumage d'hiver Crédit photo : Jean Guillet, OGM. B. Habitat pyrénéen à nichées typique du Grand tétras Crédit photo : Emmanuel Menoni, OGM C. Parade de coqs de Tétras lyre
Crédit photo : Bernard Bellon, OGM.

A.

B.

C.

De manière globale, les espèces de galliformes de montagne présentées ici connaissent des **tendances démographiques peu favorables** qui soulèvent des inquiétudes sur leur capacité de maintien à moyen terme. En parallèle, ces espèces font l'objet de pressions cynégétiques encadrées qui correspondent à des **taux de prélèvement relativement faibles, co-établis par les fédérations de chasse et l'ONCFS**. De l'ordre de quelques pourcents pour les lagopèdes et grands tétras, ils atteignent environ 5 % des effectifs automnaux de mâles chez le tétras lyre.

Le caractère patrimonial très marqué des galliformes de montagne les place au cœur d'enjeux de gestion de la haute montagne métropolitaine. Les **associations de protection de la nature** mettent en avant la difficulté de survie d'une espèce déjà menacée et appuient généralement pour une interdiction totale de la chasse sur cette espèce. A l'inverse, de nombreux **acteurs du monde cynégétiques** évoquent le caractère culturel de leurs pratiques et insistent sur les impacts marginaux occasionnés. Au-delà de la question de l'impact biologique de prélèvements cynégétiques restreints, le débat porte actuellement sur des aspects d'éthique environnementale : l'entretien d'un dialogue constructif entre ces groupes d'acteurs ainsi que la mise en œuvre de plans d'action consensuels apparaissent à ce stade comme des éléments clés de la gestion des populations de galliformes à l'échelle du massif. A ce titre, rappelons que d'autres espèces de galliformes que celles présentées ici, en particulier les **perdrix grises de montagne** et les **perdrix bartavelles,** soulèvent moins d'inquiétudes dans la mesure où leurs effectifs peuvent fluctuer à court terme mais apparaissent stables sur le long terme.

De nombreuses **lacunes** dans la **connaissance** de ces espèces ainsi que dans leur **suivi** demeurent et rendent complexe la compréhension des tendances démographiques et reproductrices. L'OGM constitue **un espace privilégié d'animation collective** autour des enjeux de connaissance des galliformes de montagne (répartition des espèces, cartographie de leurs habitats, suivi démographique…), le développement et la mise en œuvre de plans de gestion étant de la responsabilité de ses différentes structures membres. Parmi les pistes

actuellement développées à l'OGM, la nouvelle **stratégie d'échantillonnage probabiliste,** qui se déploie notamment pour le grand tétras et le tétras lyre, représente une voie prometteuse pour une estimation plus robuste du statut numérique des populations. Par ailleurs, plusieurs travaux de thèse sont en cours en collaboration avec différentes universités avec pour objectifs par exemple d'améliorer les capacités de **cartographie d'habitats** par l'utilisation de méthodes de télédétection par laser (lidar) ou encore d'exploiter de manière approfondie le jeu de données diachroniques de suivi des populations pour en caractériser les **déterminants** principaux.

4. – Soutien aux activités de recherches scientifiques (non développé)

La haute montagne offre un support privilégié pour la recherche scientifique en raison de la richesse des processus socio-écologiques qui s'y déroulent. Bien que non développé dans le cadre de ce rapport, nous soulignons l'importance de ce service écosystémique. Il pourrait être caractérisé dans une première approche au travers du suivi du **nombre de publications scientifiques et de thèses** liées aux écosystèmes, et plus largement aux socio-écosystèmes, de haute montagne. Par ailleurs, ces indicateurs numériques pourraient être complétés par une synthèse sur la **valeur historique des savoirs acquis en haute montagne** dans la mise en place des connaissances générales en écologie.

Chapitre 11

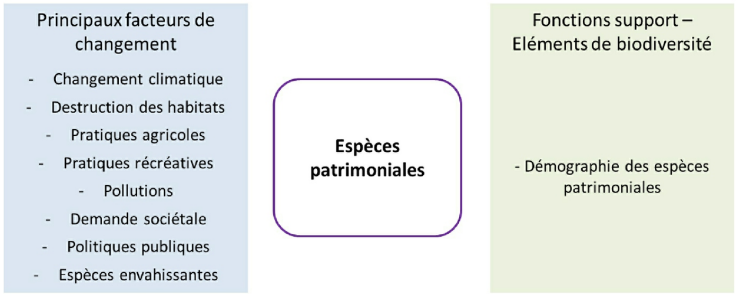
Patrimoine naturel

Le **patrimoine naturel** tel que défini dans le cadre de l'EFESE fait référence aux « éléments des écosystèmes faisant l'objet d'une reconnaissance sociale à dimension identitaire ou spirituelle marquée. Le processus de reconnaissance peut associer une dimension sacrée à un élément naturel, ou encore conduire à l'attribution d'un statut particulier : caractère remarquable, label, mesures de protection réglementaire, etc. » (EFESE, Volume 1).

1. – Espèces patrimoniales

1) – Description du service

Figure 36 : Espèces patrimoniales - Synthèse



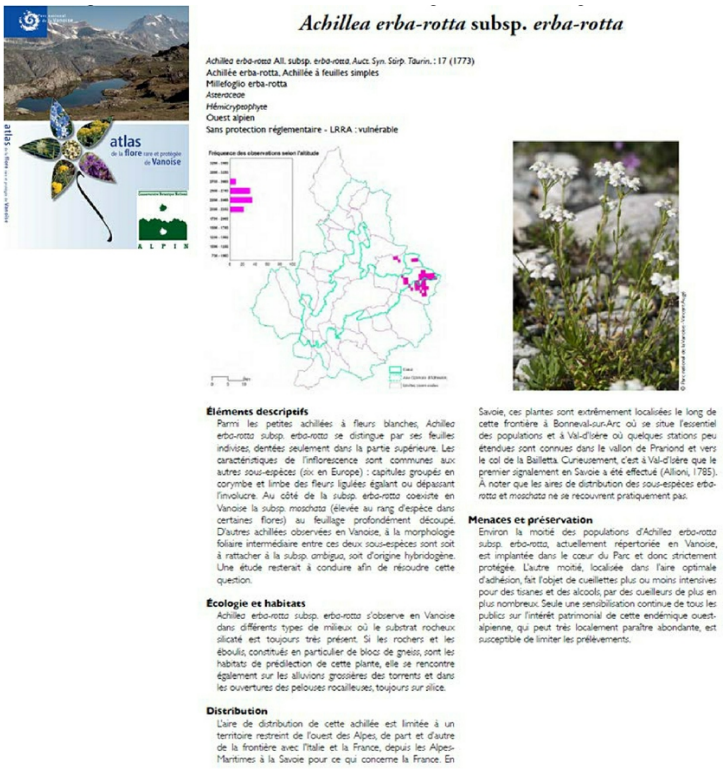
La notion **d'espèce patrimoniale** renvoie à une espèce à laquelle la société accorde une importance particulière, c'est-à-dire à une espèce qui a une valeur culturelle et symbolique fortes. Les raisons de cet attachement peuvent être multiples et par exemple associées à la **rareté** de l'espèce, à son degré de **vulnérabilité** ou encore à son caractère **emblématique** d'un milieu ou d'une région donnée. Il s'agit d'une construction sociale intégrant des critères subjectifs et psychologiques (Landrieu 2010), mettant en avant certaines espèces par exemple auxquelles l'Homme est susceptible de s'identifier ou qui façonnent l'imaginaire collectif au travers des légendes et contes qu'elles peuplent. Ainsi, les critères de patrimonialité sont **multiples**, **susceptibles d'évoluer** en fonction du **contexte** (lieux, époques) et non strictement définis : il n'existe pas à ce jour de liste générique recensant les espèces 'patrimoniales'. Toutefois, les moyens limités dédiés à la connaissance et à la préservation des espèces induisent un besoin de priorisation de certaines d'entre elles.

La présence des espèces patrimoniales en haute montagne est intimement liée à la **qualité écologique** des milieux, et de ce fait dépendante de toute modification les affectant (changements climatiques, aménagements anthropiques, pratiques agricoles et récréatives etc.). Bien que relativement peu impactantes jusqu'à présent (voir Partie II), les **espèces envahissantes** exercent une pression supplémentaire sur les espèces inféodées aux milieux d'altitude. La présence des espèces emblématiques fournit un avantage *in situ* aux individus qui les côtoient mais également à distance, soulignant les **valeurs d'existence et d'héritage** de la biodiversité patrimoniale. Elle constitue également un **facteur de gestion important** à intégrer pour les décideurs, aménageurs et gestionnaires d'espaces naturels (Figure 36).

Deux exemples de démarches portées par les Parcs Nationaux de Vanoise et des Pyrénées sont présentés ci-après afin d'illustrer la manière dont la patrimonialité peut être approchée.

Le Parc National de la Vanoise (PNV) porte à connaissance, dans son Atlas de la flore rare et protégée (PNV 2014), les informations recueillies par les agents du parc entre 1993 et 2013 sur 182 espèces de plantes vasculaires dites 'patrimoniales' (Figure 37). Les critères de patrimonialité mentionnés incluent l'existence d'une **protection règlementaire** au niveau national ou régional mais renvoient aussi à la **responsabilité du PNV dans la conservation** d'espèces endémiques, en limite d'aire de distribution ou à enjeu local. Les plantes **messicoles** sont également considérées comme patrimoniales par le PNV.

Figure 37 : Extrait de l'Atlas de la flore rare et protégée de Vanoise (PNV 2014). Pour chacune des 182 espèces suivies par les agents du Parc, l'Atlas présente une fiche d'identité de l'espèce, sa carte de distribution sur les 29 communes du PNV, un histogramme de répartition des observations par tranche altitudinale de 500 mètres, une photographie ainsi qu'un texte synthétisant les caractéristiques de la plante ansi que les enjeux principaux associés à sa conservation.



Le Parc National des Pyrénées a publié en 2016 un travail considérable sur l'évaluation patrimoniale de la faune de son territoire (Thirion & Vollette 2016). Leur **analyse bibliographique** des différentes méthodes fréquemment mobilisées pour établir les priorités de conservation des espèces mettent en avant les **critères** suivants :

- l'endémicité (voir aussi Figure 38) ;
- l'aire de répartition ;
- la génétique ;
- la taille des populations ;
- le statut de menace ;
- la tendance des populations ;
- la dynamique des populations ;
- les paramètres démographiques ;
- la viabilité des populations ;
- les habitats utilisés ;
- les capacités de dispersion ;
- le rôle écologique.

Ces critères présentent une facilité variable à être renseignés, de par leur nature et en fonction des taxons. Le Parc National des Pyrénées propose une méthodologie intégrant **huit critères** afin d'évaluer le statut de conservation des espèces vertébrées (Tableau 3). Chaque critère est noté sur quatre points ; la somme des notes donne un **score** final permettant de hiérarchiser les espèces en fonction des enjeux de conservation associés.

Du fait de la spécificité des données mobilisées et des caractéristiques propres à chaque groupe taxonomique, cette méthode permet la comparaison des espèces **intra-groupe taxonomique** (Amphibiens ou Reptiles ou Oiseaux ou Mammifères) mais pas inter-groupes taxonomiques (Amphibiens et Reptiles et Oiseaux et Mammifères). Des éléments

nouveaux ont été apportés par cette **approche multicritères** par rapport aux listes traditionnellement utilisées (listes règlementaires par exemple). Ainsi, parmi les espèces présentant un enjeu de conservation pour le Parc National des Pyrénées, certaines ne bénéficient d'aucun statut de conservation officiel.

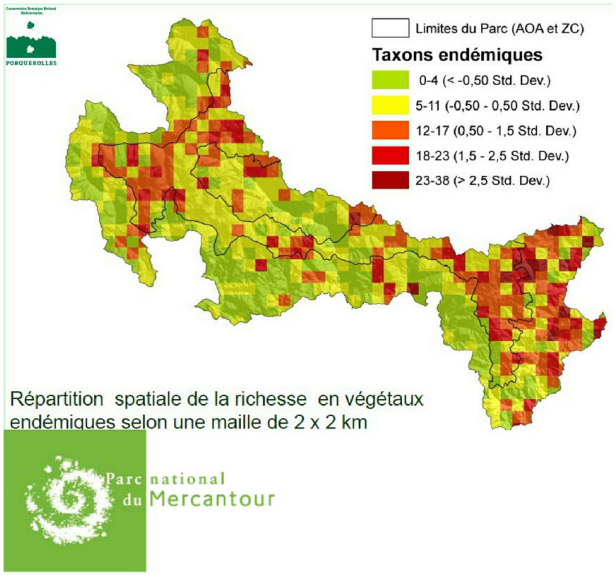
La méthode de hiérarchisation proposée par le Parc National des Pyrénées peut enrichir les réflexions sur les **critères de définition des priorités de conservation, de recherche et de connaissance quant aux espèces patrimoniales à l'échelle nationale**.

Tableau 3 :

Critères d'évaluation des espèces vertébrées présentes sur le territoire du Parc National des Pyrénées en vue de la hiérarchisation des enjeux de conservation associés. Source : Thirion & Vollette 2016.

Critère	Définition
Endémicité	Aire de répartition circonscrite à une région biogéographique définie par l'histoire évolutive des taxa
Rareté géographique	Aire de répartition réduite géographiquement et/ou effectifs faibles
Intérêt phylogénétique	Niveau élevé de diversité phylogénétique avec une histoire évolutive singulière et bien distincte des taxons les plus proches, ou degré d'isolement de l'espèce dans sa phylogénie
Niveau de régression ou de menaces	Importance du déclin général des populations
Vulnérabilité démographique	Stratégie démographique (âge à maturité, fécondité, nombre de jeunes…) défavorable en cas de perturbations
Rôle écologique	Importance de l'espèce pour le maintien d'un écosystème, d'un habitat ou d'autres espèces. Considère les aspects clé de voûte, ingénieur, parapluie et emblématique des espèces.
Sensibilité climatique	Prévision de déclin des populations dans un contexte de changement climatique global

Figure 38 : Richesse en végétaux endémiques sur le territoire du Parc National du Mercantour. Source : Parc National du Mercantour, Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles. Figure extraite du poster de présentation de la flore vasculaire du Parc National du Mercantour, disponible en ligne : http://en.calameo.com/read/001006185e69ad448533a .

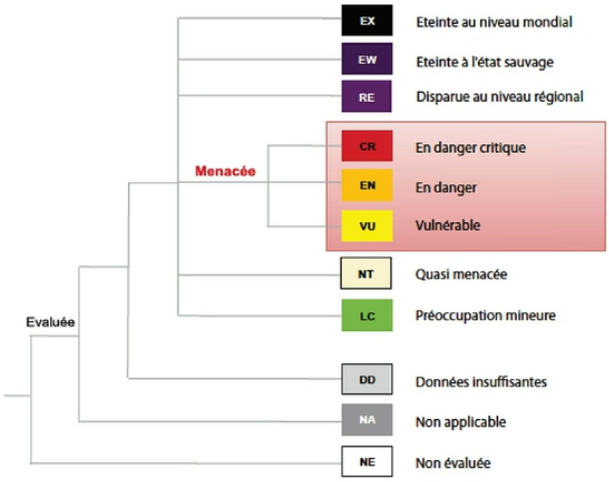


2) – *Approche de la patrimonialité par les Listes Rouges des espèces menacées*

Dans le cadre de l'EFESE Haute Montagne, nous proposons d'approcher le caractère patrimonial de la haute montagne au travers du statut de **rareté et de vulnérabilité des espèces**. Le Comité français de l'UICN et le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN/SPN) établissent des **listes rouges** qui dressent un bilan objectif du degré de menace subi par les espèces présentes sur le territoire national et de leur risque de disparition. Ce bilan à l'échelle de l'espèce a pour objectif de contribuer à la préservation de la biodiversité et à l'identification des priorités d'action. Les espèces sélectionnées parmi celles de la Liste Rouge nationale sont celles qui font l'objet des catégories regroupant

les **espèces menacées de disparition** ('En danger critique' (**CR**), 'En danger' (**EN**), Vulnérable (**VU**)) et celles **proches du seuil des espèces menacées** ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises (Quasi menacée (**NT**)) (Figure 39).

Figure 39 : Catégories de l'UICN utilisées pour classer les différentes espèces ou sous-espèce en fonction du degré de menace qu'elles subissent.
Source : UICN France & MNHN 2014.



Au regard des éléments présentés en introduction de cette section, nous mettons en garde quant au **caractère restrictif** de ce critère unique de degré de menace, qui ne saurait à lui seul renseigner l'ensemble des critères de patrimonialité des espèces de la haute montagne française. Par ailleurs, la haute montagne ne constituant pas un **habitat** pour l'ensemble de ces espèces, il apparaît nécessaire d'identifier celles à retenir pour l'évaluation du patrimoine naturel de la haute montagne. Ce processus de sélection peut reposer sur différentes approches :

- Une première approche consisterait à mobiliser des **données d'inventaire** de terrain. Elle a pour atout de recenser les espèces **effectivement présentes** en haute montagne mais ne couvre que

le périmètre surveillé par les inventaires et est soumise à divers biais méthodologiques (pression d'échantillonnage, identification…).

- Une seconde approche se baserait sur l'utilisation des **distributions modélisées** de ces espèces traduisant leur présence potentielle du fait **d'habitats favorables**. Cette deuxième approche présente l'avantage de couvrir une étendue spatiale plus large et moins soumise aux biais d'échantillonnage que la première, mais ne saurait assurer de la présence effective de l'espèce.
- Une troisième approche consisterait à mobiliser des **experts taxonomiques** à même de filtrer les espèces concernées par les listes rouges en fonction de leur capacité à habiter la haute montagne. Cette approche non spatialisée peut être utilisée seule ou en complément de l'approche par modélisation.

Ces trois approches sont illustrées dans les résultats présentés ci-après. La diversité des conclusions liées souligne le **besoin d'un renforcement méthodologique** au sujet de l'identification des espèces patrimoniale et de leur suivi.

3) – Données d'inventaire - Flore patrimoniale de haute montagne

Les Parcs Nationaux assurent une mission de connaissance, de suivi et de conservation du patrimoine naturel. Dans cet objectif, les **inventaires de biodiversité** tiennent une place importante, et leurs résultats sont organisés dans des bases de données permettant de synthétiser et d'analyser les données récoltées sur le terrain. Nous présentons ici les résultats d'inventaires des espèces végétales classées au titre des listes rouges nationales et comprises dans le périmètre de la haute montagne pour les **Parcs Nationaux** de la Vanoise, des Ecrins, du Mercantour et des Pyrénées (zone cœur et zone d'adhésion). Les données sont mises à disposition par le Système d'Information et de Localisation des Espèces

Natives et Envahissantes (**SILENE**) de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur (Silene 2017), par le Pôle d'information flore-habitats (**PIFH**) de la région Rhône-Alpes et par le **Parc National des Pyrénées**. Sur le territoire de haute montagne de ces quatre parcs nationaux, **186 espèces patrimoniales** sont inventoriées (Tableau 4). Elles sont présentés sur **plus de 5000 points** (i.e. plus de 5000 mailles contiennent au moins une des espèces patrimoniales, à la résolution d'un hectare) (Figure 40). Le nombre de mailles concernées par au moins une espèce patrimoniale est plus élevé dans les Alpes que dans les Pyrénées du fait de la plus forte originalité de la flore alpine, liée d'une part à une plus grande complexité topographique, et d'autre part à une géologie beaucoup plus hétérogène que dans les Pyrénées centrales. Dans les parcs nationaux des Alpes comme des Pyrénées, les espèces patrimoniales sont largement surreprésentées à l'**étage subalpin**, en particulier sur la tranche 1800-2100 m pour le PN des Pyrénées (plus de 30 % des localités d'espèces patrimoniales contre 15 % de la surface) et 2100-2400 m pour les trois PN alpins (plus de 35 % des localités d'espèces patrimoniales contre 18 % de la surface). L'étage alpin (2400-2700 m) est proportionnellement plus représenté parmi les localités d'espèces patrimoniales dans le PN des Pyrénées que dans les PN des Alpes, alors que les distributions à l'étage nival sont conformes à sa présence dans les deux massifs.

Figure 40 : Présence d'au moins une espèce végétale classée Liste Rouge (CR, EN, VU et NT) et inventoriée sur le territoire des Parcs Nationaux (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Pyrénées) et recoupant le périmètre de la haute montagne selon l'EFESE (maille de résolution 1 hectare). A. Massif des Alpes, B. Massif des Pyrénées.
Source : SILENE 2017, PIFH, Parc National des Pyrénées.

Tableau 4 :

Espèces végétales classées Liste Rouge (CR, EN, VU et NT) inventoriées sur le territoire des Parcs Nationaux (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Pyrénées) et recoupant le périmètre de la haute montagne selon l'EFESE (*noms scientifiques*).
Source : SILENE 2017, PIFH, Parc National des Pyrénées.

Flore Liste Rouge (CR, EN, VU, NT) inventoriée sur le territoire des Parcs Nationaux et recoupant le périmètre de la haute montagne selon l'EFESE (noms scientifiques)		
Achillea distans Waldst. & Kit. ex Willd., 1803	*Draba tomentosa Clairv.*	*Pedicularis polygonifolia (Vill.) DC., 1805*
Achillea erba-rotta All. subsp. moschata (Wulfen) Vaccari	*Dracocephalum austriacum L., 1753*	*Pedicularis ascendens Schleich. ex Gaudin, 1810*
Aconitum variegatum subsp. pyrenaicum Vivant & Delay, 1981	*Dracocephalum ruyschiana L., 1753*	*Pedicularis canissa Gaudin, 1829*
Adonis pyrenaica DC., 1815	*Drosera rotundifolia L., 1753*	*Pedicularis foliosa L., 1767*
Allium lineare L., 1753	*Dryopteris dilatata (Hoffm.) A.Gray, 1848*	*Phyteuma confusum Bab., 1839*
Allium victorialis L., 1753	*Epilobium alpestre (Jacq.) Krock., 1787*	*Pimpinella siifolia Leresche, 1979*
Alyssum orophilum Jord. & Fourr., 1868	*Epipogium aphyllum Sw., 1814*	*Plagiocula longifolia subsp. longifolia Ramond ex DC., 1805*
Androsace alpina (L.) Lam., 1779	*Equisetum hyemale L., 1753*	*Poa supp Tuna subsp. supp*
Androsace cilata DC., 1805	*Erica carnea L., 1753*	*Pleurospermum austriacum (L.) Hoffm., 1814*
Androsace cylindrica DC. subsp. cylindrica	*Erigeron schleicheri Gremli, 1886*	*Potamogeton alpinus Balb., 1804*
Androsace septentrionalis L., 1753	*Eriophorum vaginatum L., 1753*	*Potamogeton filiformis Pers.*
Anemone narcissiflora L., 1753	*Erodium glandulosum (Cav.) Willd., 1800*	*Potamogeton gramineus L., 1753*
Anthemis cretica subsp. columnae (Ten.) Franzén, 1986	*Erodium manescavii Coss., 1847*	*Potamogeton praelongus Wulfen, 1805*
Arabis alpina DC., 1805	*Eryngium spinum L., 1753*	*Potentilla alba L., 1753*
Arabis serpillifolia Vill., 1779	*Euphorbia pyrenaica Jord., 1846*	*Potentilla delphinensis Grenier & Godr., 1848*
Arenaria marschlinsii W.D.J.Koch, 1841	*Euphorbia saguieriana Necker subsp. saguieriana*	*Potentilla frigida Vill., 1788*
Artemisia alrata Lam., 1783	*Euphorbia variabilis subsp. valliniana (Belli) Jauzein, 1991*	*Potentilla fruticosa L., 1753*
Artemisia borealis Pall., 1776	*Fritillaria nogalgigi Baker, 1870*	*Potentilla multifida L., 1753*
Asarum europaeum L., 1753	*Gagea minima (L.) Ker-Gawler*	*Potentilla rivea L., 1753*
Asplenium fissum Kit. ex Willd., 1810	*Galium saxosum (Chaix) Breistr., 1948*	*Potentilla prostrata Rothb. subsp. floccosa Soják*
Aster pyrenaeus Desf. ex DC., 1805	*Gentiana bavarica L. subsp. subacaulis (Schleich.) G. Müller*	*Ranunculus parnassifolius L. subsp. parnassifolius*
Astragalus sesnitus Wulfen	*Gentiana burseri subsp. actinocalyx Polgar, 2009*	*Ranunculus parnassifolius subsp. favargeri Küpfer, 1975*
Botrychium matricariifolium (A. Braun ex Döll) Koch	*Gentianella ramosa (Hegetschw.) Holub*	*Ranunculus parnassifolius subsp. heterocarpus Küpfer, 1975*
Botrychium simplex E. Hitchc.	*Geranium argenteum L., 1756*	*Rhinanthus pseudoantiquus Kunz, 1959*
Bupleurodes gastonii (Benth.) t.M.Johnst., 1954	*Geranium phaeum L., 1753*	*Rhodiola rosea L., 1753*
Bupleurum longifolium L., 1753	*Gnaphalium norvegicum Gunnerus, 1772*	*Salix helvetica Vill., 1789*
Callianthemum coriandifolium Rchb., 1832	*Gymnadenia odoratissima (L.) Rich., 1817*	*Saponaria caespitosa DC., 1939*
Calitriche palustris L., 1753	*Heckelia deflexa (Wahlenb.) Opiz, 1838*	*Saussurea discolor (Willd.) DC.*
Campanula latifolia L., 1753	*Hedysarum brigantiacum Boumérias, Chas & Kerguélen*	*Saxifraga adscendens L., 1753*
Campanula thyrsoides L., 1753	*Helianthemum lunulatum (All.) DC., 1805*	*Saxifraga cotyledon L., 1753*
Carduus personata (L.) Jacq., 1776	*Heracleum pumilum Vill., 1779*	*Saxifraga hariotii Luizet & Soulié, 1912*
Carex atrofusca Schkuhr	*Herminium monorchis (L.) R.Br., 1813*	*Saxifraga muscoides All., 1773*
Carex curvula All. subsp. curvula	*Hieracium oderata (L.) P.Beauv., 1912*	*Saxifraga pubescens Pourr. subsp. pubescens*
Carex extensiformis Pollich, 1777	*Hypochaeris uniflora Vill., 1779*	*Saxifraga pubescens Pourr., 1788*
Carex firmbrata Schkuhr	*Iberis carnosa Willd., 1800*	*Saxifraga vaderensis DC.*
Carex maritima Gunnerus, 1772	*Iberis nana All., 1789*	*Schoenus ferrugineus L., 1753*
Carex microglochin Wahlenb., 1803	*Juncus arcticus Willd.*	*Scorzonera aristata Ramond ex DC., 1805*
Carex mucronata All., 1785	*Kalmia procumbens (L.) Gift., Kron & P.F.Stevens, 2002*	*Scrophularia vernalis L., 1753*
Centaurea stoebe L., 1753	*Kobresia simpliciuscula (Wahlenb.) Mackenzie*	*Sedum monregalense Balb., 1804*
Cerastium alpinum L., 1753	*Lactuca alpina (L.) Benth. & Hook f., 1876*	*Seligeriella helvetica (L.) Spring, 1838*
Cerastium pyrenaicum J.Gay, 1832	*Lamium galeobdolon (L.) L. subsp. flavidum (F.Herm.) Love*	*Senecio halliol Dandy*
Chaenorhyllum nicgans Gaudin, 1828	*Lagopus deflexa (Lehm.) Cesati*	*Silene borderei Jord., 1866*
Chamorchis alpina (L.) Rich., 1817	*Lathyrus vivantii P.Monts., 1981*	*Sisymbrium strictissimum L.*
Chrysosplenium alternifolium L., 1753	*Lepidium villarsii Godr., 1847*	*Spiranthes aestivalis (Poiret) L.C.M. Richard*
Cirsium carnolicum subsp. rufescens (Ramond ex DC.) P.Fourn., 1940	*Lycopodiella inundata (L.) Holub, 1964*	*Streptopus amplexifolius (L.) DC., 1805*
Cirsium glabrum DC., 1815	*Lycopodium annotinum L., 1753*	*Stuckenia filiformis (Pers.) Borner, 1912*
Comarum palustre L., 1753	*Matthiola valesiaca Boiss.*	*Taraxacum cucullatum Dahlst. gr.*
Coronilla vaginalis Lam., 1786	*Meryanthes trifoliata L., 1753*	*Thesium pyrenaicum Pourr., 1788*
Cortusa matthioli L.	*Minuartia rostrata (Pers.) Reichenb.*	*Thymelaea ruizii Loscos, 1871*
Crepis maxilla Hegetschw.	*Moehringia argentea Canazza & Minuto, 2008*	*Tofieldia pusilla (Michx.) Pers., 1805*
Cystopteris montana (Lam.) Desv., 1827	*Moehringia tetrunsi Merxm., 1965*	*Tozzia alpina L., 1753*
Dactylorhiza viridis (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	*Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gatermann, 2006*	*Trifolium saxatile All., 1773*
Daphne striata Tratt., 1814	*Myosotis scorpioides L., 1753*	*Trifolium sylvaticum Gilard ex Loisel., 1809*
Dasiphora fruticosa (L.) Rydb., 1898	*Nechtia contata (L.) Rich., 1817*	*Trisetum spicatum subsp. ovatipaniculatum Hultén ex Jonsell, 1975*
Dianthus furcatus Balbis	*Neseta nuda L., 1753*	*Valeriana celtica L.*
Diphasiastrum alpinum (L.) Holub, 1975	*Oreochloa disticha (Wulfen) Link, 1827*	*Vicia argentea Lapeyr., 1813*
Dorycnium austriacum Jacq., 1774	*Oxytropis foucaudii Gillot, 1895*	*Viola diversifolia (DC.) W.Becker, 1903*
Draba hoppeana Reichenb. in Moessler	*Oxytropis neglecta Ten., 1831*	*Viola pinnata L.*
Draba incana L., 1753	*Oxytropis xerophila Gutermann, 2006*	*Viola thomasiana Songeon & Perrier, 1860*
Draba nemorosa L., 1753	*Papavor alpinum L. subsp. alpinum*	*Viscaria alpina (L.) G.Don, 1831*
Draba subnivalis Braun-Blanq., 1945	*Papavor lapeyrousianum Gutermann ex Greuter & Burdet, 1981*	*Viscaria vulgaris Bernh., 1800*

4) – Données modélisées - Flore patrimoniale de haute montagne

Pour le massif des Alpes, des modèles ont été développés par le Laboratoire d'Ecologie Alpine en collaboration avec le Conservatoire Botanique National Alpin pour simuler la **distribution spatiale** des espèces en fonction de leur **niche écologique**, c'est-à-dire de leurs préférences d'habitats (altitude, température, type de milieu…) (Thuillier et al. 2009, 2014). Les cartes résultantes expriment l'adéquation entre les conditions environnementales du milieu et les besoins et

préférences des différentes espèces. Ce ne sont **pas des données de présence avérée** des espèces mais des **données de présence potentielle**, basées sur les inventaires de terrain du Conservatoire Botanique National Alpin. Il convient de noter que ces modélisations ne prennent pas en compte les interactions entre espèces végétales, ou entre espèces végétales et non-végétales (herbivorie, pathogènes, symbioses, etc.). Notre démarche repose sur l'utilisation de ces **données cartographiées** pour identifier la liste des espèces végétales qui sont concernées par les listes rouges nationale et dont l'habitat modélisé recoupe le périmètre de la haute montagne. Parmi les **627** espèces concernées par les statuts CR, EN, VU et NT des listes rouges à l'échelle nationale, 247 sont recensées dans les listes d'espèces du CBNA (TAXREF) et peuvent donc être considérées comme potentiellement présentes dans les Alpes. Les travaux de cartographie fournissent des données de distribution pour 58 de ces espèces (23 % de cet ensemble), et la haute montagne contient des habitats favorables pour **43** parmi celles-ci (Tableau 5).

Tableau 5 :

Liste des espèces végétales concernées par les statuts CR, EN, VU et NT des listes rouges nationales, dont la distribution modélisée est disponible sur les Alpes et qui recoupe le périmètre de la haute montagne.

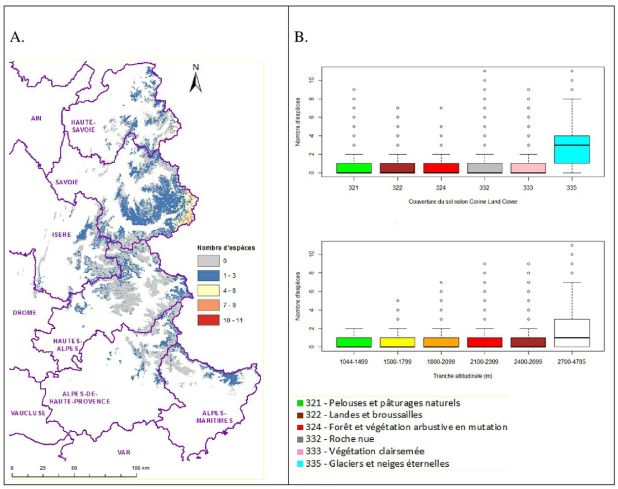
Achillea atrata	Geranium argenteum
Adonis pyrenaica	Hedysarum brigantiacum
Aethionema thomasianum	Hypochaeris uniflora
Androsace septentrionalis	Iberis nana
Artemisia atrata	Juncus arcticus
Astragalus leontinus	Kobresia simpliciuscula
Campanula bononiensis	Lappula deflexa
Carduus aurosicus	Liparis loeselii
Carex atrofusca	Myosotis minutiflora
Carex fimbriata	Potentilla delphinensis
Carex firma	Saponaria lutea
Carex microglochin	Saussurea discolor
Cotoneaster delphinensis	Saxifraga florulenta
Crepis rhaetica	Saxifraga valdensis
Cypripedium calceolus	Senecio alpinus
Cytisus sauzeanus	Senecio halleri
Draba hoppeana	Sisymbrium strictissimum
Dracocephalum austriacum	Spiranthes aestivalis
Eryngium alpinum	Trifolium saxatile
Ferulago campestris	Valeriana celtica
Genista delphinensis	Viola pinnata
Gentianella ramosa	

Nos résultats cartographiques suggèrent le faible recoupement spatial des niches écologiques entre espèces pour lesquelles des données cartographiques sont disponibles, ce qui conduit à un faible nombre total d'espèces (parmi les espèces retenues) par localité, sauf en ce qui concerne l'extrémité est frontalière de l'Italie pour les Alpes du Nord (Savoie et Haute-Savoie) (Figure 41). Ainsi, les franges orientales des massifs de la Vanoise et du Mont-Blanc semblent concentrer les habitats favorables à de multiples espèces patrimoniales spécialistes de la très haute altitude (> 2700 m) et des habitats nivaux et péri-glaciaires.

Nous attirons l'attention sur le fait que les espèces qui font l'objet des listes rouges ont généralement des **distributions restreintes**, ce qui justifie d'ailleurs leur classement. L'exploration spatiale de leurs distributions conjointes et de leurs déterminants est rendue complexe par ce caractère ponctuel. Une méthode alternative pourrait consister à travailler pour

des unités spatiales agrégées plus larges telles que les secteurs des parcs nationaux et régionaux, ou certaines aires protégées pour lesquelles les listes d'espèces sont disponibles.

Figure 41 : Distributions modélisées des 43 espèces patrimoniales végétales dont la distribution modélisée est disponible et recoupe le périmètre de la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), et valeurs en fonction des classes de couverture du sol (CLC) et de l'altitude (B.).
Données : Thuiller et al. 2009, 2014.



5) – *Données à dires d'experts - Faune patrimoniale de haute montagne*

Pour la faune nous avons ajouté aux espèces Listes Rouges les espèces concernées par des **Plans Nationaux d'Action** (PNA). Ces PNA sont un outil de protection de la biodiversité qui vise à renforcer la connaissance, la conservation et la sensibilisation vis-à-vis **d'espèces fortement menacées**. Ils répondent aux exigences des directives européennes « Oiseaux » et « Habitat, Faune, Flore » qui ont pour objectif de maintenir ou restaurer le bon état de conservation des espèces d'intérêt communautaire.

Comme pour la flore, une phase d'identification des espèces pour lesquelles la haute montagne peut être un habitat est nécessaire sur la base des espèces concernées par les Listes Rouges nationales. Cette identification se fait en deux étapes :

- Le premier filtre s'appuie sur une **cartographie modélisée** des habitats favorables aux espèces animales. Cette modélisation a été réalisée à l'échelle **européenne** (Maiorano et al. 2013) ; nous n'avons pas connaissance de la disponibilité de telles données à l'échelle nationale ou régionale. Le modèle tient compte pour chaque espèce : i) de sa zone d'occurrence à l'échelle européenne, et ii) de ses préférences pour certains types d'habitats en termes de types de milieux, d'étages altitudinaux et de distance maximale à un cours ou plan d'eau. Comme pour les données de flore patrimoniale sur les Alpes, les cartes résultantes expriment le degré d'adéquation entre les conditions environnementales du milieu et les besoins et préférences des différentes espèces. Ce ne sont **pas des données de présence avérée** des espèces mais des **données de présence potentielle**. Ces cartes nous ont permis d'identifier les espèces dont la distribution modélisée recoupe le périmètre de la haute montagne métropolitaine.
- Les modélisations cartographiques étant réalisées à l'échelle européenne, le deuxième filtre appliqué vise à identifier plus finement celles pour lesquelles la haute montagne peut effectivement constituer un habitat. Les listes ont donc été discutées **à dires d'experts** pour identifier les principales espèces associées à la haute montagne. Cette expertise a conduit à retirer un nombre significatif d'espèces pour lesquelles la haute montagne n'est pas un habitat parmi celles présélectionnées par le filtre géographique.

La liste proposée n'est **pas une sélection officielle des espèces patrimoniales de la haute montagne**, notamment en raison du nombre limité d'experts mobilisés (1 à 2 par groupe d'espèces). Les experts sollicités insistent sur le fait que les espèces listées dans

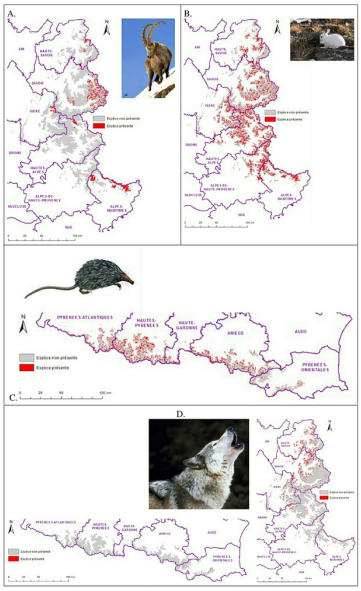
ce rapport comme étant patrimoniales et de haute montagne ne sont **pas nécessairement inféodées à la haute montagne**. Cette liste doit être comprise comme une **sélection des principales espèces** pour lesquelles les milieux actuels de haute montagne **peuvent constituer un habitat favorable**. Ainsi, une espèce ubiquiste comme le bouquetin peut se retrouver en haute montagne, et à ce titre fait partie des espèces conservées, mais de nombreux autres habitats pourraient également lui être favorables, sous condition que l'état de conservation des habitats hors haute montagne et que les pressions exercées par les activités humaines soient compatibles avec sa présence. A l'inverse, les activités humaines peuvent contribuer à créer et entretenir des habitats de substitution favorables à certaines espèces, par exemple des milieux ouverts agricoles de basse altitude pour une espèce des steppes et prairies alpines/subalpines comme l'alouette des champs. Un **processus plus large de consultation** d'experts resterait à conduire pour valider finement les espèces patrimoniales considérées. Nous présentons donc cette sélection comme celle des 'principales espèces patrimoniales de la haute montagne métropolitaine'.

Nous insistons également sur le caractère potentiel des données de distribution spécifique proposées. Ces données sont issues d'un processus de **modélisation à l'échelle européenne**, couvrant une grande diversité d'espèces et d'habitats. En conséquence, nous mettons en garde contre une interprétation stricte des cartes proposées, qui reflètent l'état des **connaissances disponibles et mobilisables** à ce stade de l'exercice EFESE mais qui seraient à compléter et affiner pour les itérations suivantes, en particulier en mobilisant des connaissances expertes pour affiner les modèles et les données d'observation par exemple dans les aires protégées.

En ce qui concerne les **mammifères**, uniquement **quatre espèces** issues des listes rouges et/ou plans d'action nationaux ont été sélectionnées en tant qu'espèces patrimoniales de la haute montagne (Figure 42). Il s'agit

du bouquetin des Alpes, du Desman des Pyrénées, du Lièvre variable ainsi que du Loup gris. De nombreuses espèces de la liste rouge ont été écartées car leurs habitats se situent en **territoire montagnard, forestier et/ou à plus basse altitude**, comme l'ours brun ou l'oreillard montagnard. On remarquera la variabilité spatiale des distributions de ces quatre espèces dont les niches écologiques diffèrent fortement.

Figure 42 : Distributions modélisées des 4 principales espèces patrimoniales de mammifères sélectionnées pour la haute montagne métropolitaine.
A. Bouquetin des Alpes,
B. Desman des Pyrénées,
C. Lièvre variable,
D. Loup gris.
Données : Maiorano et al. 2013.



En ce qui concerne les **oiseaux**, **28 espèces** issues des listes rouges et/ou plans nationaux d'action ont été sélectionnées en tant qu'espèces patrimoniales de la haute montagne (Tableau 6). Les niches écologiques modélisées de ces oiseaux se recoupent en partie, avec 40 % de la superficie de haute montagne présentant des habitats favorables à au moins cinq espèces conjointement (Figure 43). Pour les Alpes et les Pyrénées on note l'importance des milieux ouverts et de roche nue. Dans les Pyrénées et en Corse les altitudes plus élevées tendent également à être associés à des nombres d'espèces plus élevés.

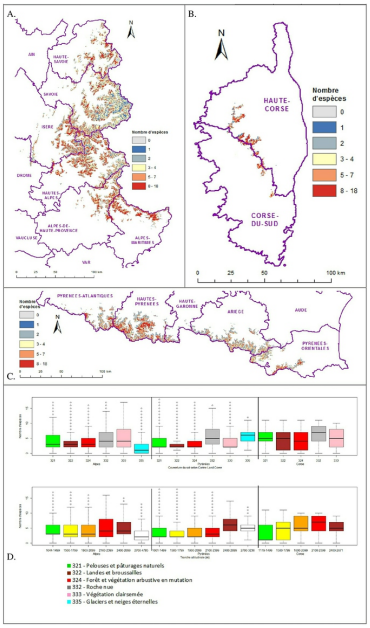
Tableau 6 :

Principaux oiseaux patrimoniaux de haute montagne.

Nom scientifique	Nom commun	Liste rouge	Plan d'Action National	Massifs selon GMBA		
				Alpes	Pyrénées	Corse
Aquila chrysaetos	Aigle royal	VU		X	X	X
Gypaetus barbatus	Gypaète barbu	EN	X	X	X	X
Gyps fulvus	Vautour fauve	LC	X	X	X	X
Neophron percnopterus	Vautour percnoptère	EN	X	X	X	
Falco tinnunculus	Faucon crécerelle	NT		X	X	X
Alectoris graeca	Perdrix bartavelle	NT		X		
Lagopus muta	Lagopède alpin	NT		X	X	
Lyrurus tetrix	Tétras lyre	NT		X		
Tetrao urogallus	Grand Tétras	VU	X	X	X	
Alauda arvensis	Alouette des champs	NT		X	X	X
Emberiza citrinella	Bruant jaune	VU		X	X	
Emberiza hortulana	Bruant ortolan	EN		X	X	
Carduelis cannabina	Linotte mélodieuse	VU		X	X	X
Carduelis citrinella	Venturon montagnard	NT		X	X	
Carduelis flammea	Sizerin flammé	VU		X		

Nom scientifique	Nom commun	Liste rouge	Plan d'Action National	Massifs selon GMBA		
				Alpes	Pyrénées	Corse
Pyrrhula pyrrhula	Bouvreuil pivoine	VU		X	X	
Serinus serinus	Serin cini	VU		X	X	X
Lanius collurio	Pie-grièche écorcheur	NT		X	X	X
Monticola saxatilis	Monticole de roche, Merle de roche	NT		X	X	X
Muscicapa striata	Gobemouche gris	NT		X	X	X
Oenanthe oenanthe	Traquet motteux	NT		X	X	X
Saxicola rubetra	Tarier des prés, Traquet tarier	VU		X	X	
Saxicola rubicola	Tarier pâtre, Traquet pâtre	NT		X	X	X
Poecile montanus	Mésange boréale	VU		X		
Regulus regulus	Roitelet huppé	NT		X	X	X
Tichodroma muraria	Tichodrome échelette	NT		X	X	X
Sylvia borin	Fauvette des jardins	NT		X	X	X
Athene noctua	Chevêche d'Athéna, Chouette chevêche	LC	X	X	X	X

Figure 43 : Distributions modélisées des 28 principales espèces patrimoniales d'oiseaux sélectionnées pour la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes couleurs en dessous - et de l'altitude (D.).
Données : Maiorano et al. 2013.



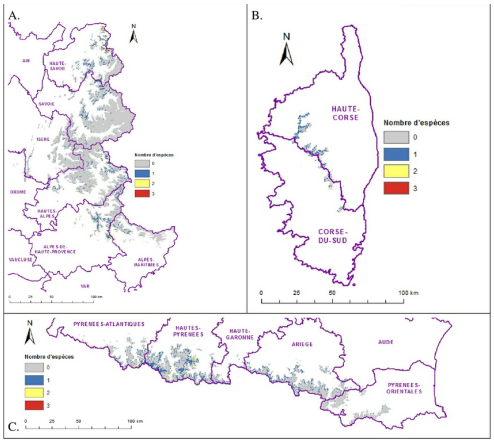
En ce qui concerne les **amphibiens et reptiles**, **12 espèces** issues des listes rouges et/ou plans nationaux d'action ont été sélectionnées en tant qu'espèces patrimoniales de la haute montagne (Tableau 7). La modélisation met en évidence la **spécificité des niches écologiques** de ces espèces et leur faible recouvrement (Figure 44). Globalement, la haute montagne n'apparaît **pas comme un habitat favorable** aux reptiles et amphibiens du fait de ses contraintes thermiques, ce qui donne une valeur accrue en termes de conservation aux habitats et localités où ces taxons sont présents.

Tableau 7 :

Principaux amphibiens et reptiles patrimoniaux de haute montagne.

Famille	*Nom scientifique*	Nom commun	Catégorie Liste Rouge France
Alytidae	*Discoglossus montalentii*	Discoglosse corse	**NT**
Lacertidae	*Iberolacerta aranica*	Lézard du Val d'Aran	**EN**
Lacertidae	*Iberolacerta aurelioi*	Lézard d'Aurelio	**EN**
Lacertidae	*Iberolacerta bonnali*	Lézard de Bonnal	**VU**
Lacertidae	*Lacerta agilis*	Lézard des souches	**NT**
Lacertidae	*Archaeolacerta bedriagae*	Lézard de Bedriaga	**NT**
Ranidae	*Rana pyrenaica*	Grenouille des Pyrénées	**EN**
Salamandridae	*Calotriton asper*	Calotriton des Pyrénées	**VU**
Salamandridae	*Salamandra atra*	Salamandre noire	**VU**
Salamandridae	*Salamandra lanzai*	Salamandre de Lanza	**NT**
Viperidae	*Vipera berus*	Vipère péliade	**VU**
Viperidae	*Vipera ursinii*	Vipère d'Orsini	**EN**

Figure 44 : Distributions modélisées des 12 espèces patrimoniales de reptiles et d'amphibiens issus des listes rouges et/ou plans nationaux d'action qui intersectent le périmètre de la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.).
Données : Maiorano et al. 2013



6) – *Zoom sur les espèces patrimoniales et emblématiques du Parc National des Ecrins*

Un travail plus poussé de détermination du **caractère culturel** de la biodiversité a été mené récemment par le Laboratoire d'Ecologie Alpine sur le territoire du Parc National des Ecrins (PNE) (Lyonnard 2016, Zawada 2016). Il a permis de différencier deux groupes d'espèces :

- Les **espèces patrimoniales**, dont la liste est directement issue d'un travail préalable de sélection mené par le PNE. Cette liste comprend les espèces animales et végétales protégées au niveau national et au niveau régional, des espèces non protégées mais considérées par le Parc comme ayant un statut particulier (ex. : plantes messicoles vivaces ou annuelles présentes sur les surfaces de céréales cultivées, espèces méconnues lors de l'écriture des listes de protection, …) et des espèces « sociales », à forte importance culturelle pour le PNE. La liste des espèces patrimoniales est un document officiel

du PNE qui inclut 119 espèces animales et 159 espèces végétales (non détaillées ici).

- Les **espèces emblématiques**, qui ont été définies pour comme étant des espèces facilement identifiables par le grand public et reconnues comme caractéristique du PNE. Ce sont des espèces autour desquelles de la communication est organisée (expositions, articles, reportages, événements). La liste des espèces emblématiques n'est pas une liste officielle, elle s'apparente plus à une liste de popularité et a été obtenue en comptabilisant les occurrences de ces espèces sur le site internet du PNE ou sur des sites internet s'intéressant au PNE (Tableau 8). De manière générale, nous rappelons la **difficulté à définir** de manière formelle le caractère 'emblématique' des espèces.

Ce travail a permis de mettre en évidence le **caractère charismatique** de certaines espèces, qui peut être dissocié de leur **degré de vulnérabilité**. De manière générale, la communication en termes de biodiversité semble s'orienter davantage vers la **faune** que la flore. Ce type d'étude, actuellement mobilisé par les équipes du PNE, pourrait être enrichi par des enquêtes de terrain mettant en évidence la **perception** du grand public vis-à-vis de la biodiversité en haute montagne. Ces résultats peuvent également contribuer à la **stratégie de communication** du PNE et à une meilleure **compréhension des enjeux du territoire**, par exemple les antagonismes ou synergies possibles entre activités récréatives et conservation de la biodiversité.

Tableau 8 :

Liste des espèces emblématiques retenues pour le PNE.
Critères de sélection : i) au moins trois citations hors site internet du PNE, ou ii) au moins une citation hors site du PNE ET au moins 3 citations sur le site internet du PNE. A. Faune emblématique. B. Flore emblématique. Données : Lyonnard 2016.

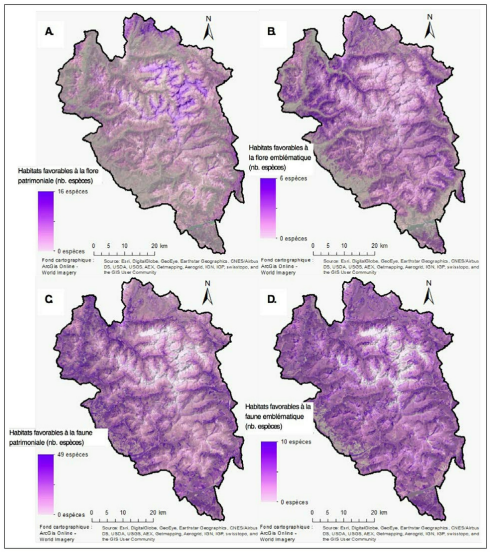
A.

Sélection des espèces emblématiques (sources PNE + extérieures)		Citations
Bouquetin	*Capra ibex*	62
Chamois	*Rupicapra rupicapra*	40
Aigle royal	*Aquila chrysaetos*	36
Marmotte	*Marmota marmota*	27
Gypaète barbu	*Gypaetus barbatus*	23
Faucon pèlerin	*Falco peregrinus*	17
Loup	*Canis lupus*	10
Lièvre variable	*Lepus timidus*	9
Hermine	*Mustela erminea*	9
Chevêchette d'Europe	*Glaucidium passerinum*	8
Hibou grand-duc	*Bubo bubo*	5
Chevreuil	*Capreolus capreolus*	5
Triton alpestre	*Ichthyosaura alpestris*	5
Oreillard roux	*Plecotus auritus*	5
Renard roux	*Vulpes vulpes*	5
Perdrix bartavelle	*Alectoris graeca*	4
Salamandre tachetée	*Salamandra salamandra*	4

B.

Sélection des espèces emblématiques (sources PNE + ext.)		Citations
Edelweiss	*Leontopodium alpinum*	12
Mélèze d'Europe	*Larix decidua*	11
Reine des Alpes	*Eryngium alpinum*	10
Lis orangé	*Lilium bulbiferum*	6
Lis martagon	*Lilium martagon*	6
Renoncule des glaciers	*Ranunculus glacialis*	5
Rhododendron ferrugineux	*Rhododendron ferrugineum*	5

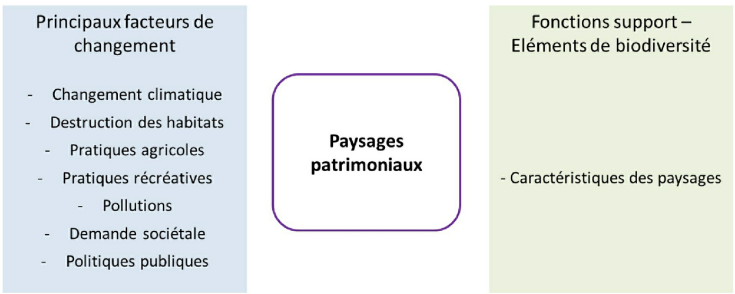
Figure 45 : Habitats favorables à la flore patrimoniale (A.), à la flore emblématique (B.), à la faune patrimoniale (C.) et à la faune emblématique (D.) sur le territoire du Parc National des Ecrins.
Les couleurs foncées indiquent que le milieu est favorable à un grand nombre d'espèces.
Données : Thuiller et al. 2009, 2014, Maiorano et al. 2013, Lyonnard 2016, Zawada 2016.



2. – Paysages patrimoniaux

1) – Description du service

Figure 46 : Paysages patrimoniaux - Synthèse



Le caractère patrimonial des paysages se développe à travers les **dimensions historiques** de l'utilisation de l'espace. Ainsi, les activités humaines, en particulier agricoles, ont façonné les paysages de haute montagne au fil des siècles, occasionnant des modifications dans l'identité et l'abondance des espèces présentes et dans l'utilisation de sols, mais également des changements topographiques (e.g., cultures en terrasses) ou encore hydrographiques (e.g., chenaux d'irrigation) dont les conséquences sont encore visibles, et appréciées, actuellement. Par ailleurs, les paysages de haute montagne sont attachés à des **valeurs emblématiques et identitaires** (e.g., attachement à la silhouette singulière de certains sommets, reconnaissance collective de la valeur de certains sentiers ou parcours, intérêt religieux ou spirituel). Ces caractéristiques sont soumises aux influences combinées de multiples facteurs de changement (climatiques, de pratiques agricoles et d'usages touristiques etc.) (Figure 46). Les paysages patrimoniaux de la haute montagne fournissent des avantages en termes de cadre de vie et de relations sociales à un **large ensemble d'acteurs**, et contribuent de manière significative au **dynamisme économique** des socio-écosystèmes d'altitude.

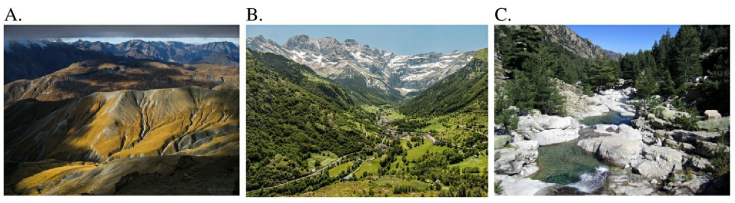
Pour approcher le caractère patrimonial des paysages de haute montagne, notre approche se base sur la **liste nationale des sites classés**. Cette sélection s'appuie sur des critères règlementaires liés aux orientations des politiques publiques. Il aurait été possible également d'inclure les paysages appartenant aux **cœurs de parcs nationaux** ou aux **parcs naturels régionaux**, dont le classement fait appel à des critères de qualité des paysages. Les habitats recensés au titre de la **Directive Habitat** présentent également un caractère patrimonial – non développé ici – mais qui témoigne de l'attachement à certains biotopes, aux espèces associées ainsi qu'aux paysages dans lesquels ils s'insèrent.

La politique des sites vise à préserver des lieux dont le caractère **exceptionnel** justifie une protection nationale, selon les modalités de la loi du 2 mai 1930. Cette législation s'intéresse aux monuments naturels et

aux sites "dont la conservation ou la préservation présente, au point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, un intérêt général". L'objectif est de conserver les caractéristiques du site, l'esprit des lieux, et de les préserver de toutes atteintes graves. Initialement appliquée au classement de sites ponctuels sur des critères de conservation purs, cette politique concerne aujourd'hui de **grands ensembles paysagers** dans une volonté de gestion **dynamique**. Les décisions de classement constituent une **déclaration de reconnaissance de la valeur patrimoniale** de l'espace concerné. Elles ne comportent pas de règlement comme les réserves naturelles, mais ont pour effet de déclencher des procédures de contrôle spécifique sur les activités susceptibles d'affecter le bien. En site classé, toute **modification de l'état ou de l'aspect du site** est soumise à une autorisation spéciale soit du préfet, soit du ministre chargé des sites après consultation de la commission départementale, préalablement à la délivrance des autorisations de droit commun.

Une étude approfondie des facteurs « qui font patrimoine » serait à encourager dans un prochain exercice de l'EFESE.

Figure 47 : Exemples de sites classés. A. Plateau d'Emparis en automne (Alpes) Crédit photo : J. Obiols photographie B. Cirque de Gavarnie (Pyrénées). Crédit photo : B. Lieu Song C. Vallée de la Restonica (Corse) Crédit photo : http://corte-decouverte.fr



2) – *Cartographie des sites classés*

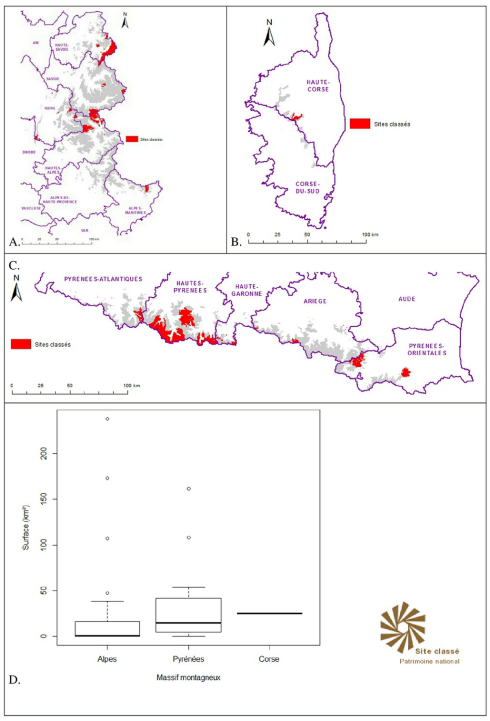
Notre démarche recense l'ensemble des sites classés qui intersectent le périmètre de la haute montagne métropolitaine (données CARMEN) (Figure 48). Le périmètre de la haute montagne métropolitaine compte **66 sites classés :** 42 dans les Alpes, 23 dans les Pyrénées et 1 en Corse (site de la vallée de la Restonica) (Tableau 9). Ces sites couvrent une superficie totale de **1880 km^2**, dont **79 %** sont strictement inclus dans le périmètre de la haute montagne. 13 % du périmètre haute montagne est concerné. Certains sites (Figure 48) couvrent des superficies très vastes et intègrent des **pans entiers de paysages**, comme par exemple le site du Cirque de Gavarnie dans les Pyrénées ou celui du massif du Mont-Blanc dans les Alpes, respectivement environ 160 km^2 et 240 km^2 en périmètre haute montagne. A l'inverse, d'autres sites couvrent des superficies très restreintes et sont associés à des **éléments spécifiques du paysage** comme des lacs, des cascades ou des cols – qui sont donc des éléments géologiques ou géomorphologiques. En moyenne, les sites classés des Alpes représentent des superficies plus restreintes que dans les Pyrénées (respectivement 18 km^2 contre 30 km^2). Il convient de souligner que le caractère classé de ces paysages n'assure pas leur **bon état écologique**.

Tableau 9 :

Liste des 66 sites classés dont le périmètre intersecte la haute montagne métropolitaine.
Données CARMEN.

Nom	Massif	Surface appartenant à la haute montagne (km²)	Surface totale (km²)
Massif du Mont-Blanc	Alpes	238,114	353,339
Ensemble formé par la vallée de la Clarée et la vallée Etroite	Alpes	172,853	226,260
Ensemble formé par le massif du Pelvoux	Alpes	100,854	116,382
Mont Thabor	Alpes	47,611	49,267
Vallée des Merveilles	Alpes	38,309	42,311
Cirque des Evettes et ses abords	Alpes	25,640	26,686
Plateau d'Emparis	Alpes	20,861	26,267
Pas de l'Aiguille	Alpes	20,516	21,289
Cirque du Fer à Cheval et fond de la combe	Alpes	18,275	30,267
Vallon de Champagny-le-haut	Alpes	16,673	23,134
Lapiaz de Plate, Aiguilles de Warens et Montagne de Veran	Alpes	16,262	19,143
Plan des Canelles	Alpes	11,543	11,566
Lac et glacier des Quirlies	Alpes	5,303	5,313
Col de la Croix du Bonhomme	Alpes	4,133	4,141
Lac Achard	Alpes	3,018	4,246
Balcon du Mont Blanc	Alpes	2,451	4,717
Abords du couvent de la Grande Chartreuse	Alpes	2,184	13,118
Col du cormet de Roselend	Alpes	2,062	2,266
Lacs des Petites-Rousses	Alpes	1,806	1,806
L'ésu du versellos dit "casse d'asno" avec ses abritours depuis les lacets du sommet du col	Alpes	0,935	1,040
Table d'orientation de la Croix du Bonhomme	Alpes	0,708	0,790
Hameau du Monal	Alpes	0,657	0,870
Col du cormet de Roselend (le Collet)	Alpes	0,515	0,515
Col du cormet de Roselend	Alpes	0,501	0,502
Cirque des cascades du Bouion	Alpes	0,389	0,390
Les abords du tunnel et du col du Galibier	Alpes	0,209	0,210
Lac blanc des Rousses	Alpes	0,136	0,136
Col de l'Iseran (belvédère)	Alpes	0,109	0,109
Lac Vert, lac de Molède et lac d'Antenne	Alpes	0,108	0,108
Lacs Robert	Alpes	0,105	0,105
Col de l'Iseran (descente nord)	Alpes	0,102	0,102
Col de l'Iseran et ses abords	Alpes	0,101	0,101
Lac des Gers	Alpes	0,044	0,050
Le jardin alpin du col du Lautaret	Alpes	0,030	0,030
Lacs Robert	Alpes	0,016	0,016
Lacs Robert	Alpes	0,011	0,011
Lac blanc	Alpes	0,006	0,041
Cascade de Tignes	Alpes	0,001	0,015
Cascades de la Saulfaz, de la pl'heureuse et de Sales	Alpes	0,000	0,000
Cascade de la Vugelaz	Alpes	0,000	0,000
Grotte de la Biamne dite aussi "du Jourdy"	Alpes	0,000	0,000
Bloc de rocher dit "pierre aux Anglais"	Alpes	0,000	0,000
Vallée de la Restonica	Corse	24,896	62,141
Cirque de Gavarnie et les cirques et vallées avoisinants	Pyrénées	161,852	130,497
Massif du pays de Cauterets	Pyrénées	107,995	126,862
Bassin du Gaston, en amont du pont de la Glère	Pyrénées	53,489	57,700
Haute vallée du Lauron	Pyrénées	44,448	54,380
Pic du Midi de Bigorre et ses abords	Pyrénées	42,803	46,390
Massif du Carrigou	Pyrénées	42,130	78,127
Vallée du Rieumajou	Pyrénées	41,096	64,670
Vallée du Soussouéou	Pyrénées	39,030	53,074
Etang du Lurnoux	Pyrénées	35,510	38,317
Site de l'Oule-Pichaleye et ses abords	Pyrénées	34,075	40,079
Lac des Bouillouses	Pyrénées	25,715	46,785
Cirque de Cagateille et ses vallées suspendues	Pyrénées	14,853	19,725
Cirque des étangs de Camporells	Pyrénées	14,424	15,825
Hosace-de France	Pyrénées	13,323	19,339
Vallon d'Estibère, érigé en réserve naturelle	Pyrénées	7,726	11,175
Grotte de la Cigalère (sous-sol)	Pyrénées	5,840	6,013
Lac et parties communales de ses rives	Pyrénées	5,191	6,481
Cirque de Gourette	Pyrénées	4,879	6,850
Vallée du Lys : terrains communaux près du Gouffre d'Enfer	Pyrénées	2,290	3,090
Ensemble formé par le site de Montaigut	Pyrénées	0,890	22,459
Pâturages communeux situés sur le plateau de Superbagnères, à Arbeigouns	Pyrénées	0,873	2,440
Lacs (4) du Port de Venasque, les dévalcos, ruisseau dit "El Port Vénasque"	Pyrénées	0,145	0,193
Plateau de Bouo-Artigues dans la haute vallée d'Oueau	Pyrénées	0,036	1,097

Figure 48 : Présence de sites classés en haute montagne dans les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.). Distribution des superficies par massif (D.).
Données : CARMEN.



3. – Labels de reconnaissance de patrimoniale (non développé)

Certains produits issus des milieux de haute montagne font l'objet d'une labellisation qui témoigne de la valeur particulière qui leur est associée.

Ainsi, les **signes d'identification de la qualité et de l'origine** (SIQO) labélisent certains produits alimentaires en fonction de critères liés à leur origine géographique et à leurs modes de production (e.g. AOP, AOC, IGP, etc.). En montagne, ces labels contribuent à la **rentabilité économique** des activités agricoles en ajoutant de la valeur aux produits, ce qui a pour conséquence de compenser au moins en partie les coûts

de production supérieurs engendrés par les contraintes de l'altitude (Agreste 2013). Ce sont essentiellement des **fromages** qui bénéficient de cette reconnaissance en haute montagne, par exemple le beaufort (AOC) et le reblochon (AOP) dans les Alpes ou encore dans les Pyrénées la tomme des Pyrénées (IGP) et le fromage Ossau-Iraty (AOP). Ces labels sont favorables aux **pratiques agropastorales extensives** et constituent ainsi un soutien au maintien des **paysages culturels** de la haute montagne et aux nombreux services écosystémiques associés (Lamarque & Lambin 2015). Une étude approfondie des produits liés à la haute montagne et bénéficiant de labels de reconnaissance pourrait être menée lors d'un prochain exercice de l'EFESE.

Par ailleurs, les espaces naturels protégés que sont les parcs nationaux et les parcs naturels régionaux mettent en avant la qualité des biens et services produits sur leur territoire au travers d'une reconnaissance par une marque (Figure 49). La marque collective '**Esprit Parc National**' se veut « inspirée par la nature » (http://www.espritparcnational.com) et traduit la vocation des parcs à protéger le patrimoine naturel tout en contribuant à la valorisation d'activités culturelles et économiques compatibles avec le respect de la nature. De nombreux produits et services emblématiques des parcs nationaux sont concernés, notamment les hébergements touristiques, les sorties de découverte du patrimoine, les produits issus de l'artisanat, des activités agricoles et forestières. Dans le même objectif, les **parcs naturels régionaux** possèdent également depuis le début des années 1990 des marques collectives ayant pour objectif de « favoriser des synergies entre la conservation et la valorisation de la qualité paysagère, d'éléments de la biodiversité locale et des savoir-faire associés » (Angeon et al. 2007). De manière générale, ces marques ont pour ambition de soutenir un développement territorial durable et solidaire : elles mettent en avant **l'attachement au territoire**, revendiquent **le respect de l'environnement** et cultivent une **forte dimension humaine**.

Figure 49 : Logos associés aux marques des Parcs Nationaux (A.) et des Parcs Naturels Régionaux (B.).
Crédits photo : www.espritparcnational.com - www.consommer-parc.fr

A. B.

4. – Inspiration pour l'art et la littérature (non développé)

La haute montagne propose un terrain propice aux **émotions artistiques** et à leur traduction sous formes de poèmes, récits, peintures ou sculptures, entre autres. Le contact avec les écosystèmes d'altitude fascine et est célébré par de nombreuses œuvres du patrimoine culturel national.

Parmi de très nombreux exemples, **Samivel** (1907-1992) a marqué par ses contributions la littérature de montagne (parmi lesquelles '*Le fou d'Edenberg*' et '*L'amateur d'abîmes*') ainsi que son iconographie (Figure 51). Il fait partie également des précurseurs de la protection de la montagne, en contribuant par exemple à la création du Parc National de la Vanoise, dont il écrivit les « commandements ». **Roger Frison-Roche** (1906-1999) est également un auteur emblématique de la littérature de montagne du 20ème siècle, qui participa à diffuser l'imaginaire collectif de la haute altitude au travers d'œuvres telles que '*Premier de cordée*', '*Le versant du soleil*' ou encore '*Retour à la montagne*'. La production littéraire liée à la haute montagne est aujourd'hui encore prolixe, avec par exemple plusieurs maisons d'édition dédiées.

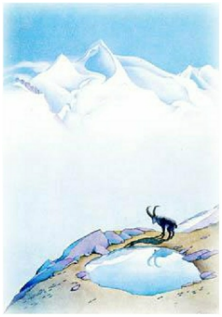
D'un point de vue pictural, les paysages de montagne inspirent de nombreux artistes, dont certains sont regroupés au sein de la **Société des Peintres de Montagne** (SPM), créée en 1898. Cette société, active à l'échelle nationale, a pour vocation de promouvoir la qualité et la diversité des œuvres plastiques inspirées par la montagne (Figure 50). Par ailleurs, **l'iconographie** liée à la haute montagne, à ses paysages et activités connaît un rayonnement qui dépasse largement les frontières de ses massifs. A titre d'exemple, les affiches de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (**Compagnie PLM**) connaissent une popularité forte aujourd'hui encore et contribuent à la diffusion du patrimoine culturel associé aux environnements d'altitude tels que représentés au tournant du 20ème siècle (Figure 50).

L'inspiration artistique puisée en haute montagne s'exprime donc à l'échelle paysagère mais également à des échelles inférieures, jusqu'au niveau des individus, comme l'attestent de nombreuses œuvres photographiques ou picturales.

La richesse et la diversité des apports de la haute montagne au patrimoine artistique national gagneraient à être explorées davantage lors d'un prochain exercice de l'EFESE.

Figure 50 : Toiles peintes sur la montagne, par trois membres de la Société des Peintres de Montagne :
A. Emilie Noirot, B. Leberecht Lortet et C. Raymond d'Espouy. Crédit images : Société des Peintres de Montagne. - Affiches de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (PLM) illustrant l'attractivité des paysages de montagne et des activités associées :
A. Cirque de Gavarnie (Pyrénées), B. Chamonix Mont-Blanc (Alpes), C. Evisa (Corse).
Crédit affiches : Compagnie PLM

Figure 51 : Samivel, artiste inspiré par le territoire de la Vanoise et œuvrant à sa protection. A. Peintures, B. Les Commandements du Parc National de la Vanoise, écrits en 1963.



Le Parc National protège contre
l'ignorance et le vandalisme
des biens et des beautés qui
appartiennent à tous.
Les défenseurs de la vie sont
les amis du Parc National
Les amis du progrès et de la paix
sont les amis du Parc National
les sportifs, les artistes et
les savants sont les amis du Parc
National
Voici l'espace. Voici l'air pur. Voici
le silence.
Le royaume des aurores intactes
et des bêtes naïves
Tout ce qui vous manque dans
les villes
est ici préservé pour votre joie.
Eaux libres : hommes libres
Ici commence le pays de
la liberté,
la liberté de se bien conduire.
Les inconscients ne respectent
pas la nature.
Ils croient se grandir en
la polluant
et ne savent pas qu'elle se venge.
Puisez dans le trésor des hauteurs
mais qu'il brille après vous pour
tous les autres.
La faiblesse a peur des grands
espaces.
La sottise a peur du silence.
Ouvrez vos yeux et vos oreilles.
Fermez vos transistors.

Pas de bruit, pas de cris, pas
de moteurs, pas de klaxons.
Ecoutez les musiques de
la montagne.
Les vraies merveilles ne coûtent
pas un centime.
La marche nettoie la cervelle et
rend gai.
Enterrez vos soucis, et vos boîtes
de conserve.
Un visiteur intelligent ne laisse
aucune trace de son passage,
ni inscriptions, ni destructions, ni
désordre, ni déchets.
Les papiers gras sont les cartes
de visites des mufles.
Récoltez de beaux souvenirs mais
ne cueillez pas les fleurs.
N'arrachez surtout pas
les plantes, il pousserait
des pierres.
Il faut beaucoup de brins
d'herbes pour tisser un homme.
Ravageur de forêt : mauvais
citoyen.
Qui détruit le nid, vide le ciel,
rend la terre stérile
Ennemi des bêtes : ennemi de
la vie, ennemi de l'avenir.
Oiseaux, marmottes, hermines,
chamois, bouquetins
et tout le petit peuple de poil et
de plume,
ont besoin désormais de votre
amitié pour survivre.

Déclarez la paix aux animaux timides,
ne les troublez pas dans leurs affaires,
afin que les printemps futurs réjouissent encore vos enfants.
Défense ici de chasser, sauf aux images
N'allumez pas de feux au hasard, ne campez pas n'importe où, certains gestes irréfléchis peuvent tout compromettre.
Le Parc National c'est le grand jardin des français et c'est aussi votre héritage personnel.
Acceptez consciemment et de bon cœur, ses disciplines et gardez-le vous-même contre le vandalisme et l'ignorance.

Bilan de la Partie 3

Les milieux de haute montagne métropolitaine fournissent un **bouquet diversifié** de biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel (Tableau 10), associé à de fortes valeurs **économiques**, **culturelles** et **patrimoniales** pour les **populations locales,** pour les **visiteurs** et pour les **populations à distance**.

De manière générale, les **pelouses et pâturages naturels** de la haute montagne contribuent de manière significative et positivement disproportionnée à cette fourniture. De ce fait, la **gestion pastorale** et ses déterminants (climatiques, politiques, sociaux) joue un rôle critique dans l'évolution du bouquet fourni par la haute montagne. Sous l'influence conjointe des changements climatiques, elle détermine également la position et la densité des **formations arbustives et arborées**, qui représentent des interfaces entre la haute montagne et les milieux forestiers (zone de combat) et qui fournissent des services spécifiques, en particulier de régulation, mais sont moins favorables à la production de fourrage et à la majorité des services culturels ou des éléments de patrimoine.

Les **milieux humides d'altitude** contribuent également de manière critique, bien qu'encore insuffisamment connue, aux services écosystémiques et au patrimoine naturel, en particulier pour les services liés aux fonctions hydrologiques. Du fait de leur situation en tête de bassin versant, les changements qui les altèrent ont des répercussions à distance, ce qui souligne la nécessité de considérer les impacts individuels et cumulés des aménagements, notamment **touristiques** et à visée de **production énergétique**.

Les **milieux à prédominance rocheuse** (végétation clairsemée, éboulis, roche nue, marges glaciaires) d'altitude fournissent des services culturels et des éléments du patrimoine naturel originaux. Ils sont particulièrement susceptibles au **changement climatique**, éventuellement conjugué à la pollution atmosphérique, et à la **destruction des habitats** par les activités touristiques et les aménagements.

Sous l'influence combinée de multiples facteurs de changement (voir Partie II), le bouquet fourni par la haute montagne connait des tendances d'évolution variables. La **production de fourrage** connait des **tendances d'évolution contrastées** en fonction des massifs, des systèmes d'élevage et des pressions induites par les grands prédateurs, induisant de manière simultanée des situations de fourniture accrue ou diminuée de ce bien. De manière générale, **le changement climatique renforce la demande en services de régulation**, mais la réponse des écosystèmes en termes de capacité de fourniture demeure complexe à évaluer. Par exemple, l'expansion des landes et broussailles est favorable à la régulation des risques naturels, qui seront probablement renforcés sous l'effet du changement climatique (précipitations, température, événements extrêmes). Les évolutions projetées pour les **paysages et espèces patrimoniaux** sont **défavorables**, sous l'effet des pressions induites par les changements climatiques, les aménagements et les modifications de pratiques pastorales.

En parallèle, l'attractivité des milieux d'altitude pour les **pratiques récréatives et touristiques de plein air** devrait **se renforcer** sous l'influence d'une demande croissante.

Tableau 10 :

Fourniture en bien, service ou élément du patrimoine naturel en fonction du type de milieu d'altitude, tendance d'évolution et degré de confiance associé.

Catégorie	Variable	Fourniture par type de milieu d'altitude					Tendance d'évolution	Degré de confiance
		Pelouses et pâturages naturels	Landes et formations buissonnantes	Formations arborées très peu denses	Végétation clairsemée et roches	Milieux humides		
Biens produits	Production de fourrage	***	*	**	*	**	↗↘	***
	Cueillette de plantes sauvages	**	**	*	**	*	↗↘	*
Services de régulation	Régulation du climat global – Stocks de carbone	***	**	**	*	***	↗	**
	Contribution des écosystèmes à la régulation hydrologique	*	**	*	*	***	→	*
	Contribution des écosystèmes au contrôle de l'érosion des sols	**	**	**	*	**	↗	***
	Rôle des écosystèmes dans la protection contre les risques naturels	**	**	**	*	*	↗	**
Services culturels et récréatifs	Attractivité des écosystèmes pour les activités sportives de pleine nature	***	**	*	***	**	↗	***
	Aménités paysagères	***					↘	***
	Chasse récréative	**	*	**	*	*	↘	*
	Soutien aux activités de recherches scientifiques							
Patrimoine naturel	Espèces patrimoniales	***	*	**	***	**	↘	***
	Paysages patrimoniaux	***					↘	***

Catégorie	Variable	Fourniture par type de milieu d'altitude					Tendance d'évolution	Degré de confiance
		Pelouses et pâturages naturels	Landes et formations buissonnantes	Formations arborées très peu denses	Végétation clairsemée et roches	Milieux humides		
	Labels de reconnaissance patrimoniale							
	Inspiration pour l'art et la littérature							
Légende	**Fourniture / Confiance**	***	Elevée	**	Modérée	*	Faible	
	Tendance d'évolution	↗	Augmentation	↘	Diminution	→	Hétérogène ou Stable	

* * *

ÉVALUATION FRANÇAISE DES ÉCOSYSTÈMES ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Annexes

Annexe I :

Liste des principales espèces cueillies en haute montagne.

Voir détails méthodologiques et crédits dans le corps de texte - Partie III Chapitre 2.

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Pinaceae	*Abies alba Mill., 1768*	*Abies pectinata (Lam.) DC., 1805*	Sapin pectiné, Sapin à feuilles iff	x	x	x
Ranunculaceae	*Aconitum lycoctonum L., 1753*		Aconit tue-loup	x	x	x
Ranunculaceae	*Aconitum napellus L., 1753*		Aconit napel, Casque	x	x	x
Lamiaceae	*Ajuga pyramidalis L., 1753*		Bugle pyramidale	x	x	x
Amaryllidaceae	*Allium victorialis L., 1753*		Ail victorial, Herbe à neuf chemises, Ail de la Sainte-Victoire	x	x	x
Asteraceae	*Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791*	*Gnaphalium dioicum L., 1753*	Pattes de chat, Pied de chat dioïque, Gnaphale dioïque, Impédule	x	x	x
Ericaceae	*Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng., 1825*	*Arbutus uva-ursi L., 1753*	Raisin d'ours, Arbousier traînant	x	x	x
Asteraceae	*Arnica montana L., 1753*		Arnica des montagnes, Herbe aux prêcheurs	x	x	x
Asteraceae	*Artemisia eriantha Ten., 1831*	*Artemisia umbelliformis subsp. eriantha (Ten.) Vallès, Kirau & Oliva Bramas, 1991*	Génépi blanc, Armoise à fleurs laineuses	x	x	x
Asteraceae	*Artemisia umbelliformis Lam., 1783*	*Artemisia mutellina Vill., 1779*	Genépi blanc, Genépi jaune	x	x	x
Rosaceae	*Arunctus dioicus (Walter) Fernald, 1970*		Reine-des-bois	x	x	x
Solanaceae	*Atropa belladonna L., 1753*		Belladone, Bouton-noir	x	x	x
Betulaceae	*Betula pubescens Ehrh., 1791*	*Betula alba L., 1753*	Bouleau blanc, Bouleau pubescent	x	x	x
Polygonaceae	*Bistorta officinalis Delarbre, 1800*	*Persicaria bistorta (L.) Samp., 1913; Polygonum bistorta L.*	Langue de Boeuf	x	x	x
Asteraceae	*Carlina acaulis L., 1753*		Carline sans tige, Carline acaule, Caméléon blanc	x	x	x
Asteraceae	*Cyanus montanus (L.) Hill, 1768*		Bleuet des montagnes	x	x	x
Thymelaeaceae	*Daphne mezereum L., 1753*	*Mezereum officinarum C.A.Mey., 1843*	Bois-joli, Daphné bois-gentil, Bois-gentil	x	x	x
Plantaginaceae	*Digitalis purpurea L., 1753*		Digitale pourpre, Gantelée	x	x	x
Droseraceae	*Drosera rotundifolia L., 1753*		Rossolis à feuilles rondes	x	x	x
Rosaceae	*Dryas octopetala L., 1753*		Dryade à huit pétales, Herbe à plumets	x	x	x
Equisetaceae	*Equisetum hyemale L., 1753*		Prêle d'hiver, Jonc hollandais	x	x	x
Rubiaceae	*Galium odoratum (L.) Scop., 1771*	*Asperula odorata L., 1753*	Aspérule odorante, Belle-étoile, Gaillet odorant	x	x	x
Gentianaceae	*Gentiana acaulis L., 1753*		Gentiane acaule	x	x	x
Gentianaceae	*Gentiana lutea L., 1753*		Gentiane jaune	x	x	x
Rosaceae	*Geum montanum L., 1753*		Benoîte des montagnes	x	x	x
Lamiaceae	*Hyssopus officinalis L., 1731*		Hysope, Herbe sacrée	x	x	x
Cupressaceae	*Juniperus sabina L., 1753*	*Sabina officinalis Garcke, 1858; Sabina vulgaris Antoine, 1857*	Genevrier sabine, sabine, Genévrier fétide	x	x	x
Asteraceae	*Leontopodium nivale subsp. alpinum (Cass.) Greuter, 2003*	*Gnaphalium leontopodium L., 1753*	Edelweiss	x	x	x
Lamiaceae	*Melitis melissophyllum L., 1753*		Mélitte à feuilles de Mélisse	x	x	x
Celastraceae	*Parnassia palustris L., 1753*		Parnassie des marais, Hépatique blanche	x	x	x
Asparagaceae	*Polygonatum multiflorum (L.) All., 1785*		Sceau de Salomon multiflore, Polygonate multiflore	x	x	x
Rosaceae	*Potentilla aurea L., 1756*		Potentille dorée	x	x	x
Ranunculaceae	*Ranunculus monianus Willd., 1799*		Renoncule des montagnes	x	x	x
Ericaceae	*Rhododendron ferrugineum L., 1753*		Rhododendron ferrugineux, Laurier rose des Alpes	x	x	x
Rosaceae	*Rosa pendulina L., 1753*		Rosier des Alpes	x	x	x
Polygonaceae	*Rumex alpinus L., 1759*		Rumex des Alpes	x	x	x
Adoxaceae	*Sambucus racemosa L., 1753*		Sureau à grappes, Sureau de montagne	x	x	x
Rosaceae	*Sanguisorba officinalis L., 1753*		Grande pimprenelle, Sanguisorbe, Sanguisorbe officinale, Pimprenelle officinale	x	x	x
Primulaceae	*Soldanella alpina L., 1753*		Soldanelle des Alpes	x	x	x
Rosaceae	*Sorbus aucuparia L., 1753*		Sorbier des oiseleurs, Sorbier sauvage	x	x	x
Taxaceae	*Taxus baccata L., 1753*		If à baies	x	x	x
Fabaceae	*Trifolium alpinum L., 1753*		Trèfle des Alpes, Réglisse des montagnes	x	x	x
Ranunculaceae	*Trollius europaeus L., 1753*		Trolle d'Europe	x	x	x
Ericaceae	*Vaccinium myrtillus L., 1753*		Myrtille, Maurette	x	x	x
Ericaceae	*Vaccinium vitis-idaea L., 1753*		Airelle rouge, vigne du mont Ida	x	x	x
Caprifoliaceae	*Valeriana montana L., 1753*		Valériane des montagnes	x	x	x
Melanthiaceae	*Veratrum album L., 1753*		Vératre blanc, Varaire	x	x	x
Ranunculaceae	*Anemone pulsatilla L., 1753*	*Pulsatilla vulgaris Mill., 1768; Pulsatilla vulgaris Mill., 1768*	Pulsatille vulgaire	x		x
Caryophyllaceae	*Scleranthus perennis L., 1753*		Gnavelle vivace	x		x
Caprifoliaceae	*Acer campestre L., 1753*		Erable champêtre, Acéraille	x	x	
Asteraceae	*Achillea erba-rotta subsp. erba-rotta All., 1773*	*Achillea moschata Wulfen, 1878*	Achillée erba-rotta	x	x	
Asteraceae	*Achillea millefolium L., 1753*		Achillée millefeuille, Herbe au charpentier, Sourcils-de-Vénus	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Asteraceae	*Achillea nana* L., 1753		Achillée naine, Faux Génépi	x	x	
Asteraceae	*Achillea ptarmica* L., 1753		Achillée sternutatoire, Herbe à éternuer, Achillée ptarmique	x	x	
Ranunculaceae	*Aconitum* sp.		Aconit	x	x	
Plantaginaceae	*Adenostyles leucophylla* (Willd.) Rchb.		Adénostyle à feuilles blanches	x	x	
Apiaceae	*Aegopodium podagraria* L., 1753		Podagraire, Herbe aux goutteux, Faussse Angélique	x	x	
Apiaceae	*Aethusa cynapium* L., 1753		Petite ciguë, Faux Persil	x	x	
Rosaceae	*Agrimonia eupatoria* L., 1753		Aigremoine, Francormier	x	x	
Caryophyllaceae	*Agrostemma githago* L., 1753	*Lychnis githago* (L.) Scop., 1771	Lychnis Nielle, Nielle des blés	x	x	
Lamiaceae	*Ajuga chamaepitys* (L.) Schreb., 1771		Bugle jaune, Bugle petit pin, Petite luette	x	x	
Lamiaceae	*Ajuga genevensis* L., 1753		Bugle de Genève	x	x	
Lamiaceae	*Ajuga reptans* L., 1753		Bugle rampante, Consyre rampante	x	x	
Rosaceae	*Alchemilla acutiloba* Opiz, 1838	*Alchemilla vulgaris* L., 1753	Alchémille commune	x	x	
Rosaceae	*Alchemilla alpina* L., 1753		Alchémille des Alpes, Herbe de Saint-Sabin, Sabinie	x	x	
Rosaceae	*Alchemilla gr. alpina*	Pas dans TAXREF		x	x	
Rosaceae	*Alchemilla gr. Vulgaris*	Pas dans TAXREF		x	x	
Brassicaceae	*Alliaria petiolata* (M.Bieb.) Cavara & Grande, 1913	*Sisymbrium alliaria* (L.) Scop., 1772; *Alliaria officinalis* Andrz. ex M.Bieb., 1819; *Erysimum alliaria* L., 1753; *Sisymbrium alliaria* (L.) Scop., 1772	Alliaire, Herbe aux ails	x	x	
Amaryllidaceae	*Allium narcissiflorum* Vill., 1779	*Allium cirrosum* L., 1762	Ail à fleurs de Narcisse, Ail à feuilles de Narcisse	x	x	
Amaryllidaceae	*Allium schoenoprasum* L., 1753		Civette, Ciboulette, Ciboule	x	x	
Amaryllidaceae	*Allium ursinum* L., 1753		Ail des ours, Ail à larges feuilles	x	x	
Betulaceae	*Alnus alnobetula* (Ehrh.) K.Koch, 1872	*Alnus viridis* (Chaix) DC., 1805	Aulne vert	x	x	
Betulaceae	*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., 1790		Aulne glutineux, Verne	x	x	
Betulaceae	*Alnus incana* (L.) Moench, 1794		Aulne blanchâtre, Aulne de montagne	x	x	
Asteraceae	*Ambrosia artemisiifolia* L., 1753		Ambroisie élevée, Ambroisie à feuilles d'Armoise, Ambroisie annuelle	x	x	
Boraginaceae	*Anchusa italica* Retz., 1779		Buglosse d'Italie, Buglosse azurée	x	x	
Boraginaceae	*Anchusa officinalis* L., 1753		Buglosse officinale	x	x	
Ranunculaceae	*Anemone hepatica* L., 1753	*Hepatica nobilis* Schreb., 1771; *Hepatica triloba* Chaix, 1785	Hépatique à trois lobes	x	x	
Ranunculaceae	*Anemone narcissiflora* L., 1753		Anémone des Alpes, Anémone sylvie	x	x	
Ranunculaceae	*Anemone ranunculoides* L., 1753		Anémone fausse-renoncule	x	x	
Ranunculaceae	*Anemone virginiana* L., 1753		Anémone printanière	x	x	
Apiaceae	*Angelica sylvestris* L., 1753		Angélique sauvage, Angélique sylvestre, Impératoire sauvage	x	x	
Poaceae	*Anthoxanthum odoratum* L., 1753		Flouve odorante	x	x	
Iridaceae	*Anthericum sylvestre* (L.) Hoffm., 1814		Caréfact des bois, Renat des bois	x	x	
Fabaceae	*Anthyllis vulneraria* L., 1753		Anthyllide vulnéraire, Trèfle des sables	x	x	
Plantaginaceae	*Antirrhinum majus* L., 1753		Muflier à grandes fleurs, Gueule-de-lion	x	x	
Ranunculaceae	*Aquilegia vulgaris* L., 1753		Ancolie vulgaire, Clochette	x	x	
Asteraceae	*Arctium lappa* L., 1753	*Arctium majus* (Gaertn.) Bernh., 1800; *Lappa major* Gaertn., 1791	Grande bardane, Bardane commune	x	x	
Asteraceae	*Arctium minus* (Hill) Bernh., 1800		Bardane à petites têtes, Bardane à petits capitules	x	x	
Caryophyllaceae	*Arenaria serpyllifolia* L., 1753		Sabline à feuilles de serpolet, Sabline des murs	x	x	
Rosaceae	*Argentina anserina* (L.) Rydb., 1899	*Potentilla anserina* L., 1753	Potentille des oies	x	x	
Poaceae	*Arrhenatherum elatius* (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl, 1819	*Avena elatior* L., 1753	Fromental élevé, Ray-grass français	x	x	
Asteraceae	*Artemisia absinthium* L., 1753		Armoise absinthe, Herbe aux vers	x	x	
Asteraceae	*Artemisia genipi* Weber, 1772		Genépi vrai, Genépi noir	x	x	
Asteraceae	*Artemisia glacialis* L., 1753		Genépi des glaciers	x	x	
Asteraceae	*Artemisia umbelliformis* subsp. *umbelliformis* Lam., 1783			x	x	
Asteraceae	*Artemisia vulgaris* L., 1753		Armoise commune, Herbe de feu	x	x	
Araceae	*Arum maculatum* L., 1753	*Arum vulgare* Lam., 1779	Gouet tâcheté, Chandelle	x	x	
Aristolochiaceae	*Asarum europaeum* L., 1753		Asaret, Cabaret, Asarum d'Europe, Rossolin	x	x	
Rubiaceae	*Asperula cynanchica* L., 1753		Herbe à l'esquinancie, Aspérule des sables	x	x	
Xanthorrhoeaceae	*Asphodelus albus* Mill., 1768		Asphodèle blanc, Bâton royal	x	x	
Aspleniaceae	*Asplenium adiantum-nigrum* L., 1753		Capillaire noir, Doradille noir	x	x	
Aspleniaceae	*Asplenium ceterach* L., 1753	*Ceterach officinarum* DC., 1805	Cétérach	x	x	
Aspleniaceae	*Asplenium scolopendrium* L., 1753	*Phyllitis scolopendrium* (L.) Newman, 1844; *Scolopendrium officinarum* Sw., 1800	Scolopendre, Scolopendre officinale	x	x	
Apiaceae	*Astrantia major* L., 1753		Grande Astrance, Grande Radiaire	x	x	
Lamiaceae	*Ballota nigra* L., 1753		Ballote noire	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Lamiaceae	*Ballota nigra* subsp. *foetida* (Vis.) Hayek, 1929	*Ballota foetida* Lam., 1779; *Ballota nigra* subsp. *meridionalis* (Rikli) Sáp., 1909	Ballote du Midi	x	x	
Brassicaceae	*Barbarea vulgaris* W.T.Aiton, 1812	*Barbarea vulgaris* R.Br., 1812	Barbarée commune, Herbe de sainte Barbe	x	x	
Asteraceae	*Bellis perennis* L., 1753		Pâquerette	x	x	
Berberidaceae	*Berberis vulgaris* L., 1753		épine-vinette, Berbéris commun	x	x	
Lamiaceae	*Betonica officinalis* L., 1753	*Stachys betonica* Benth., 1834; *Stachys officinalis* (L.) Trévis., 1842	Epiaire officinale	x	x	
Betulaceae	*Betula pendula* Roth, 1788	*Betula verrucosa* Ehrh., 1790	Bouleau verruqueux	x	x	
Betulaceae	*Betula pubescens* var. *glannata* Wahlenb.	*Betula alba* subsp. *glutinosa* (Ehrhart) Hiitonen, 1997; *Betula glutinosa* Wallr., 1822	Bouleau pubescent	x	x	
Gentianaceae	*Blackstonia perfoliata* (L.) Huds., 1762	*Chlora perfoliata* (L.) L., 1767; *Gentiana perfoliata* L., 1753	Chlorette, Chlore perfoliée	x	x	
Amaranthaceae	*Blitum bonus-henricus* (L.) C.A.Mey., 1829	*Chenopodium bonus-henricus* L., 1753	Chénopode du bon Henri	x	x	
Boraginaceae	*Borago officinalis* L., 1753		Bourrache officinale	x	x	
Poaceae	*Bromus madritensis* L., 1753		Brome intermédiaire, Anisantelle commune	x	x	
Cucurbitaceae	*Bryonia cretica* subsp. *dioica* (Jacq.) Tutin, 1968	*Bryonia dioica* Jacq., 1774	Rosier vierge	x	x	
Boraginaceae	*Buglossoides arvensis* (L.) I.M.Johnst., 1954	*Lithospermum arvense* L., 1753	Charbi	x	x	
Brassicaceae	*Bunias erucago* L., 1753		Bunias fausse-roquette, Roquette des champs	x	x	
Apiaceae	*Bupleurum falcatum* L., 1753	*Bupleurum scorzonerifolium* Willd. ex Schltdl., 1813	Buplèvre en faux, Perce-feuille	x	x	
Buxaceae	*Buxus sempervirens* L., 1753		Buis commun, Buis sempervirent	x	x	
Brassicaceae	*Calepina irregularis* (Asso) Thell., 1906	*Erica vulgaris* L., 1753	Calépine, Bérucle	x	x	
Ranunculaceae	*Caltha palustris* L., 1753		Populage des marais, Sarboulière	x	x	
Campanulaceae	*Campanula patula* L., 1753		Campanule étalée, Campanule diffuse	x	x	
Campanulaceae	*Campanula rapunculus* L., 1753		Campanule raiponce	x	x	
Campanulaceae	*Campanula rotundifolia* L., 1753		Campanule à feuilles rondes	x	x	
Campanulaceae	*Campanula trachelium* L., 1753		Campanule gantelée, Ortie bleue	x	x	
Brassicaceae	*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., 1792	*Thlaspi bursa-pastoris* L., 1753	Capselle bourse-à-pasteur, Bourse-de-pasteur	x	x	
Brassicaceae	*Cardamine pratensis* L., 1753		Cardamine des prés, Cresson des prés	x	x	
Asteraceae	*Carlina vulgaris* L., 1753		Carline commune, Chardon doré	x	x	
Betulaceae	*Carpinus betulus* L., 1753		Charme, Charmille	x	x	
Apiaceae	*Carum carvi* L., 1753		Cumin des prés, Anis des Vosges	x	x	
Fagaceae	*Castanea sativa* Mill., 1768	*Castanea vesca* Gaertn., 1788	Châtaignier, Châtaignier commun	x	x	
Asteraceae	*Centaurea jacea* L., 1753		Centaurée jacée, Tête de moineau, Ambrette	x	x	
Gentianaceae	*Centaurium erythraea* Rafn, 1800	*Centaurium minus* Garsault, 1764; *Centaurium umbellatum* Gilib., 1782	Petite centaurée commune, Erythrée	x	x	
Parmeliaceae	*Cetraria islandica* (L.) Ach.		Mousse d'Islande, Lichen d'Islande	x	x	
Papaveraceae	*Chelidonium majus* L., 1753		Grande chélidoine, Herbe à la verrue, éclaire	x	x	
Amaranthaceae	*Chenopodium album* L., 1753		Chénopode blanc, Senouisse	x	x	
Asteraceae	*Chondrilla juncea* L., 1753		Chondrille à tige de jonc, Chondrille effilée	x	x	
Asteraceae	*Cichorium intybus* L., 1753		Chicorée sauvage, Barbe-de-capucin	x	x	
Asteraceae	*Cirsium arvense* (L.) Scop., 1769	*Cirsium arvale* All., 1760	Cirse sans tige	x	x	
Asteraceae	*Cirsium arvense* (L.) Scop., 1772		Cirse des champs, Chardon des champs	x	x	
Asteraceae	*Cirsium spinosissimum* (L.) Scop., 1769		Cirse épineux	x	x	
Ranunculaceae	*Clematis recta* L., 1753	*Clematis erecta* All., 1785	Clématite droite, Clématite dressée	x	x	
Ranunculaceae	*Clematis vitalba* L., 1753		Clématite des haies, Herbe aux gueux	x	x	
Lamiaceae	*Clinopodium grandiflorum* (L.) Kuntze, 1891	*Calamintha grandiflora* (L.) Moench, 1794	Calament à grandes fleurs	x	x	
Lamiaceae	*Clinopodium nepeta* (L.) Kuntze, 1891	*Calamintha officinalis* Moench, 1794	Calament officinal, Menthe	x	x	
Lamiaceae	*Clinopodium vulgare* L., 1753	*Calamintha clinopodium* Benth., 1834	Sariette commune, Grand Basilic	x	x	
Colchicaceae	*Colchicum autumnale* L., 1753		Colchique d'automne, Safran des prés	x	x	
Fabaceae	*Coronilla scorpioides* (L.) W.D.J.Koch, 1837		Hippocrépide, Ajonc à vessies	x	x	
Apiaceae	*Coriaria myrtifolia* L., 1753		Corroie, Ogue, Ogne	x	x	
Asparagaceae	*Convallaria majalis* L., 1753		Muguet, Clochette des bois	x	x	
Convolvulaceae	*Convolvulus arvensis* L., 1753		Liseron des champs, Vrillée	x	x	
Convolvulaceae	*Convolvulus sepium* (L.) L., 1753	*Calystegia sepium* (L.) R.Br., 1810	Liset, Liseron des haies	x	x	
Cornaceae	*Cornus mas* L., 1753		Cornouiller mâle, Cornouiller sauvage	x	x	
Cornaceae	*Cornus sanguinea* L., 1753		Cornouiller sanguin, Sanguine	x	x	
Betulaceae	*Corylus avellana* L., 1753		Noisetier, Avelinier	x	x	
Anacardiaceae	*Cotinus coggygria* Scop., 1771	*Rhus cotinus* L., 1753	Arbre à perruque, Sumac Fustet	x	x	
Rosaceae	*Cotoneaster tomentosus* (Ait.) DC., 1825		Aubépine à deux styles	x	x	
Rosaceae	*Crataegus monogyna* Jacq., 1775		Aubépine à un style, épine noire, Bois de mai	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Asteraceae	*Crepis foetida* L., 1753		Crépide fétide	x	x	
Asteraceae	*Crepis vesicaria* L., 1753		Barkhausie à feuilles de pissenlit, Crépis à vésicules	x	x	
Rubiaceae	*Cruciata laevipes* Opiz, 1852	*Galium cruciata* (L.) Scop., 1771	Gaillet croisette, Croisette commune	x	x	
Convolvulaceae	*Cuscuta europaea* L., 1753		Grande cuscute, Cuscute d'Europe	x	x	
Asteraceae	*Cyanus segetum* Hill, 1762	*Centaurea cyanus* L., 1753	Barbeau	x	x	
Primulaceae	*Cyclamen purpurascens* Mill., 1768	*Cyclamen europaeum* auct. non L., 1753	Cyclamen rouge pourpre, Cyclamen d'Europe, Marron de rochers	x	x	
Boraginaceae	*Cynoglossum officinale* L., 1753		Cynoglosse officinale	x	x	
Fabaceae	*Cytisus scoparius* (L.) Link, 1822	*Genista scoparia* (L.) Lam., 1779; *Sarothamnus scoparius* (L.) Wimm. ex W.D.J.Koch, 1837	Genêt à balai, Jumesse	x	x	
Poaceae	*Dactylis glomerata* L., 1753		Dactyle aggloméré, Pied-de-poule	x	x	
Thymelaeaceae	*Daphne laureola* L., 1753		Daphné lauréole, Laurier des bois	x	x	
Solanaceae	*Datura stramonium* L., 1753		Stramoine, Herbe à la taupe, Datura officinale	x	x	
Lilioideae	*Daucus carota* L., 1753		Carotte sauvage, Daucus carotte	x	x	
Poaceae	*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., 1812		Canche cespiteuse, Canche des champs	x	x	
Rosaceae	*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, 1891	*Sisymbrium sophia* L., 1753	Sagesse, Descurainie Sagesse	x	x	
Caryophyllaceae	*Dianthus carthusianorum* L., 1753		Oeillet des Chartreux	x	x	
Rubiaceae	*Didiantrus alba* L., 1753		Fraisette blanche, Didiantre blanc	x	x	
Dioscoreaceae	*Dioscorea communis* (L.) Caddick & Wilkin, 2002	*Tamus communis* L., 1753	Sceau de Notre Dame	x	x	
Caprifoliaceae	*Dipsacus fullonum* L., 1753	*Dipsacus sylvestris* Huds., 1762; *Dipsacus sylvestris* Mill., 1768	Cabaret des oiseaux, Cardère à foulon, Cardère sauvage	x	x	
Asteraceae	*Doronicum pardalianches* L., 1753		Doronic à feuilles cordées, Doronic panthère, Doronic à feuilles en cœur	x	x	
Dryopteridaceae	*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, 1834	*Aspidium filix-mas* (L.) Sw., 1802	Fougère mâle	x	x	
Amaranthaceae	*Dysphania botrys* (L.) Mosyakin & Clemants, 2002	*Chenopodium botrys* L., 1753	Chénopode à grappes	x	x	
Boraginaceae	*Echium vulgare* L., 1753		Vipérine commune, Vipérine vulgaire	x	x	
Poaceae	*Elymus repens* (L.) Desv. ex Nevski, 1934	*Agropyron repens* (L.) P.Beauv., 1812; *Elymus repens* (L.) Gould, 1947; *Triticum repens* L., 1753	Chiendent commun, Chiendent rampant	x	x	
Onagraceae	*Epilobium angustifolium* L., 1753	*Epilobium spicatum* Lam., 1779	Epilobe en épi, Laurier de saint Antoine	x	x	
Onagraceae	*Epilobium dodonaei* Vill., 1779	*Epilobium angustifolium* Lam., 1779; *Epilobium nummularifolium* Hoppe, 1789	Epilobe à feuilles de romarin, Epilobe Romarin	x	x	
Onagraceae	*Epilobium hirsutum* L., 1753		Epilobe hérissé, épilobe hirsute	x	x	
Onagraceae	*Epilobium montanum* L., 1753		Epilobe des montagnes	x	x	
Onagraceae	*Epilobium palustre* L., 1753		épilobe des marais	x	x	
Onagraceae	*Epilobium parviflorum* Schreb., 1771		épilobe à petites fleurs	x	x	
Onagraceae	*Epilobium roseum* Schreb., 1771		Epilobe rosé, Epilobe rose	x	x	
Onagraceae	*Epilobium tetragonum* L., 1753		épilobe à tige carrée, épilobe à quatre angles	x	x	
Equisetaceae	*Equisetum arvense* L., 1753		Prêle des champs, Queue-de-renard	x	x	
Equisetaceae	*Equisetum palustre* L., 1753		Prêle des marais	x	x	
Equisetaceae	*Equisetum telmateia* Ehrh., 1780		Grande prêle	x	x	
Asteraceae	*Erigeron acris* L., 1753	*Erigeron acer* L., 1753	Vergerette âcre, érigeron âcre	x	x	
Asteraceae	*Erigeron canadensis* L., 1753	*Conyza canadensis* (L.) Cronquist, 1943	Conyze du Canada	x	x	
Geraniaceae	*Erodium cicutarium* (L.) L'Her., 1789		Herbier à feuilles de ciguë, Bec-de-grue, Cicutaire	x	x	
Apiaceae	*Eryngium campestre* L., 1753		Chardon Roland, Panicaut champêtre	x	x	
Brassicaceae	*Erysimum cheiri* (L.) Crantz, 1769	*Cheiranthus cheiri* L., 1753	Giroflée des muraillles, Violier jaune	x	x	
Celastraceae	*Euonymus europaeus* L., 1753		Bonnet d'évêque	x	x	
Asteraceae	*Eupatorium cannabinum* L., 1753		Eupatoire à feuilles de chanvre, Chanvre d'eau	x	x	
Euphorbiaceae	*Euphorbia amygdaloides* L., 1753	*Euphorbia sylvatica* Jacq., *Euphorbia sylvatica* L., 1753	Euphorbe des bois, Herbe à la faux	x	x	
Euphorbiaceae	*Euphorbia cyparissias* L., 1753		Euphorbe petit-cyprès, Euphorbe faux Cyprès	x	x	
Euphorbiaceae	*Euphorbia helioscopia* L., 1753		Euphorbe réveil matin, Herbe aux verrues	x	x	
Euphorbiaceae	*Euphorbia lathyris* L., 1753		Euphorbe épurge, Euphorbe des jardins	x	x	
Orobanchaceae	*Euphrasia officinalis* L., 1753		Casse lunette, Petite euphraise	x	x	
Orobanchaceae	*Euphrasia officinalis* subsp. *rostkoviana* (Hayne) P.Fourn., 1884	*Euphrasia rostkoviana* Hayne, 1825	Euphraise des champs	x	x	
Fagaceae	*Fagus sylvatica* L., 1753		Hêtre, Fouteau	x	x	
Ranunculaceae	*Ficaria verna* Huds., 1762	*Ranunculus ficaria* L., 1753	Ficaire à bulbilles	x	x	
Moraceae	*Ficus carica* L., 1753		Figuier commun, Figuier de Carie	x	x	
Rosaceae	*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., 1879	*Spiraea ulmaria* L., 1753	Reine des prés, Spirée Ulmaire	x	x	
Rosaceae	*Filipendula vulgaris* Moench, 1794	*Spiraea filipendula* L., 1753	Filipendule vulgaire, Spirée filipendule	x	x	

MILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
saxicole	Fragaria vesca L., 1753		Fraisier sauvage, Fraisier des bois	x	x	
saxicole	Fraxinus excelsior L., 1753		Frêne élevé, Frêne commun	x	x	
pyrenaicolae	Fumaria officinalis L., 1753		Fumeterre officinale, Herbe à la vieille	x	x	
arcticae	Gaidella boucardi (E.J.Rota) F., 1854	Aster linosyris (L.) Bernh., 1800	Aster linosyris, Linosyris à feuilles de Lin	x	x	
saxicole	Galega officinalis L., 1753		Lilas d'Espagne, Sainfoin d'Espagne, Rue de chèvre	x	x	
saxicole	Galeopsis tetrahit L., 1753		Galéopsis tétrahit, Ortie royale	x	x	
saxicole	Galeopsis tetrahit L., 1753		Galéopsis tétrahit, Ortie royale	x	x	
saxicole	Galium album Mill., 1768	Galium erectum Huds., 1778	Gaillet dressé	x	x	
saxicole	Galium aparine L., 1753		Gaillet gratteron, Herbe collante	x	x	
saxicole	Galium mollugo L., 1753		Gaillet commun, Gaillet Mollugine	x	x	
saxicole	Galium palustre L., 1753		Gaillet des marais	x	x	
saxicole	Galium verum L., 1753		Gaillet jaune, Caille-lait jaune	x	x	
saxicole	Galium verum L., 1753		Gaillet jaune, Caille-lait jaune	x	x	
saxicole	Genista cinerea subsp. cinerea (Vill) DC., 1805	Genista ascparia Chaix, 1785	Genêt cendré	x	x	
saxicole	Genista tinctoria L., 1753		Genêt des teinturiers, Petit Genêt	x	x	
nitanaccolae	Gentiana cruciata L., 1753		Gentiane croisette	x	x	
nitanaccolae	Gentiana pannonica L., 1763		Gentiane pourpre	x	x	
nitanaccolae	Gentiana verna L., 1753		Gentiane printanière	x	x	
ranaceae	Geranium robertianum L., 1753		Herbe à Robert	x	x	
ranaceae	Geranium rotundifolium L., 1753		Géranium à feuilles rondes, Mauvette	x	x	
ranaceae	Geranium sanguineum L., 1753		Géranium sanguin, Sanguinaire, Herbe à becquet, Bec de grue	x	x	
saxicae	Geum rivale L., 1753		Benoîte des ruisseaux	x	x	
saxicae	Geum urbanum L., 1753		Benoîte commune, Herbe de saint Benoît	x	x	
saxicae	Glechoma hederacea L., 1753		Lierre terrestre, Gléchome Lierre terrestre	x	x	
hidaceae	Gymnadenia nigra (L.) Rchb.f., 1856	Nigritella angustifolia Rich., 1818	Nigritelle noire, Orchis vanille	x	x	
ilaceae	Hedera helix L., 1753		Lierre grimpant, Herbe de saint Jean	x	x	
nunculaceae	Helleborus foetidus L., 1753		Hellébore fétide, Pied-de-griffon	x	x	
hulaceae	Hottonia palustris L., 1753		Hottonie, Hottonie des marais, Plume d'eau	x	x	
aceae	Hieracium pilosella L., 1753		Piloselle, Oreille de souris, Oreille de rat	x	x	
lsyllaceae	Hormatia glabra L., 1753		Hormatie glabre, Hormatie	x	x	
aalaceae	Hesperis matronalis L., 1753		Julienne des dames	x	x	
aaceae	Hieracium murorum L., 1753		Epervière des murs	x	x	
aceae	Hieracium umbellatum L., 1753		Epervière en ombelle, Scolopendre	x	x	
agnaceae	Hippophae rhamnoides L., 1753		Argousier, Saule épineux	x	x	
ndaceae	Humulus lupulus L., 1753		Houblon grimpant	x	x	
aceae	Hypochaeris radicata L., 1753		Jusquiame noire	x	x	
ericaceae	Hypericum humifusum L., 1753		Millepertuis en forme de pièce de monnaie, Millepertuis Humifusion	x	x	
ericaceae	Hypericum perforatum L., 1753		Millepertuis perforé, Herbe de la Saint Jean	x	x	
ericaceae	Hypericum tetrapterum Fr., 1823	Hypericum quadrangulum L., 1753	Millepertuis à quatre ailes, Millepertuis à quatre angles	x	x	
aceae	Hypochaeris radicata L., 1753		Porcelle enracinée	x	x	
ifoliaceae	Ilex aquifolium L., 1753		Houx	x	x	
tiaceae	Impatiens noli-tangere L., 1753		Balsamine des bois, Impatiente ne-me-touchez-pas, Impatiente Ne-touchez-pas	x	x	
aceae	Inspeltoxa cotruffaeni (L., 1753	Pleurosticta cotruffaeni (L.) Wedin	Inspeltoxe, Benoîte	x	x	
aalaceae	Isatis tinctoria L., 1753		Pastel des teinturiers, Herbe de saint Philippe	x	x	
aceae	Jacobaea alpina (L.) Moench, 1794	Senecio alpinus (L.) Scop., 1772; Senecio cordatus W.D.J.Koch, 1824; Senecio cordifolius Clairv., 1811	Séneçon des Alpes	x	x	
aceae	Jacobaea incana (L.) Veldkamp, 2006	Senecio incanus L., 1753	Séneçon blanchâtre	x	x	
aceae	Jacobaea vulgaris Gaertn., 1791	Senecio jacobaea L., 1753	Herbe de saint Jacques	x	x	
pidaceae	Juglans regia L., 1753		Noyer commun, Calottier	x	x	
aceae	Juncus effusus L., 1753	Juncus communis E.Mey., 1819	Jonc épais, Jonc diffus	x	x	
ntaceae	Juniperus communis L., 1753		Genévrier commun, Hérisson	x	x	
ifoliaceae	Knautia arvensis (L.) Coult., 1828		Knautie des champs, Oreille d'ane	x	x	
aceae	Lactuca perennis L., 1753		Laitue vivace, Lâche	x	x	
aceae	Lactuca serriola L., 1756	Lactuca scariola L., 1756	Laitue scariole, Escarole	x	x	
aceae	Lactuca virosa (L.) J.Presl & C.Presl, 1819		Laitue vireuse, Laitue Osier	x	x	
aceae	Lactuca virosa L., 1753		Laitue vireuse, Laitue sauvage	x	x	
naceae	Lamium album L., 1753		Lamier blanc, Ortie blanche, Ortie morte	x	x	
naceae	Lamium amplexicaule L., 1753		Lamier amplexicaule	x	x	
naceae	Lamium galeobdolon (L.) L., 1759		Lamier jaune, Lamier Galéobdolon	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Lamiaceae	Lamium maculatum (L.) L., 1763		Lamier maculé, Lamier à feuilles panachées	x	x	
Lamiaceae	Lamium purpureum L., 1753		Lamier pourpre, Ortie rouge	x	x	
Asteraceae	Lapsana communis L., 1753	Lampsana communis subs.	Lampsane commune, Grateron	x	x	
Thesiaceae	Laxmannia Mill., 1768	Lens esculenta DC., 1805	Mélisse d'Europe, Pis de Brancion	x	x	
Fabaceae	Lathyrus pratensis L., 1753		Gesse à larges feuilles, Pois vivace	x	x	
Fabaceae	Lathyrus sylvestris L., 1753		Gesse des bois, Grande Gesse	x	x	
Lamiaceae	Lavandula angustifolia Mill., 1768	Lavandula officinalis Chaix, 1785; Lavandula spica L., 1753; Lavandula vera DC., 1805	Lavande officinale	x	x	
Asteraceae	Leontopodium nivale (Ten.) Huet ex Hand.-Mazz., 1907	Leontopodium alpinum Cass., 1822	Edelweiss	x	x	
Brassicaceae	Lepidium draba L., 1753		Passerage drave , Pain-blanc	x	x	
Oleaceae	Ligustrum vulgare L., 1753		Troène, Raisin de chien	x	x	
Liliaceae	Lilium martagon L., 1753		Lis orangé à taches	x	x	
Liliaceae	Lilium martagon L., 1753		Lis martagon, Lis de Catherine	x	x	
Plantaginaceae	Linaria repens (L.) Mill., 1768	Linaria striata (Lam.) DC., 1805	Linaire rampante	x	x	
Plantaginaceae	Linaria vulgaris Mill., 1768		Linaire commune	x	x	
Boraginaceae	Lithospermum officinale L., 1753		Grand chiendent, Herbe aux perles	x	x	
Asparagaceae	Loncomelos pyrenaicus (L.) Hrouda, 1988	Ornithogalum pyrenaicum L., 1753	Ornithogale des Pyrénées	x	x	
Caprifoliaceae	Lonicera etrusca Santi, 1795		Chèvrefeuille de Toscane	x	x	
Caprifoliaceae	Lonicera nigra L., 1753		Chèvrefeuille noire, Camérisier noir	x	x	
Caprifoliaceae	Lonicera xylosteum L., 1753		Chèvrefeuille des haies, Camérisier des haies	x	x	
Fabaceae	Lotus corniculatus L., 1753		Lotier corniculé, Pied de poule, Sabot-de-la-mariée	x	x	
Lamiaceae	Lycopus europaeus L., 1753		Lycope d'Europe, Chanvre d'eau	x	x	
Primulaceae	Lysimachia arvensis (L.) U.Manns & Anderb., 2009	Anagallis arvensis L., 1753	Mouron rouge, Fausse Morgeline	x	x	
Primulaceae	Lysimachia nummularia L., 1753		Lysimaque nummulaire, Herbe aux écus	x	x	
Primulaceae	Lysimachia vulgaris L., 1753		Lysimaque commune, Lysimaque vulgaire	x	x	
Lythraceae	Lythrum salicaria L., 1753		Salicaire commune, Salicaire pourpre	x	x	
Rosaceae	Malus sylvestris Mill., 1768	Malus communis Poir., 1804; Pyrus malus L., 1753	Pommier sauvage, Bouquettier	x	x	
Malvaceae	Malva alcea L., 1753		Mauve alcée	x	x	
Malvaceae	Malva moschata L., 1753		Mauve musquée	x	x	
Malvaceae	Malva sylvestris L., 1753	Malva sylvestris var. mauritiana (L.) Boiss., 1867	Mauve sauvage, Mauve sylvestre, Grande mauve	x	x	
Lamiaceae	Marrubium vulgare L., 1753		Marrube commun, Marrube vulgaire	x	x	
Asteraceae	Matricaria chamomilla L., 1753	Matricaria recutita L., 1753	Matricaire camomille	x	x	
Asteraceae	Matricaria discoidea DC., 1838		Matricaire fausse-camomille, Matricaire discoïde	x	x	
Orobanchaceae	Melampyrum pratense L., 1753		Mélampyre des prés	x	x	
Fabaceae	Melilotus albus Medik., 1787		Mélilot blanc	x	x	
Lamiaceae	Mentha aquatica L., 1753		Menthe aquatique	x	x	
Lamiaceae	Mentha arvensis L., 1753		Menthe des champs	x	x	
Lamiaceae	Mentha longifolia (L.) Huds., 1762		Menthe à longues feuilles	x	x	
Lamiaceae	Mentha suaveolens Ehrh., 1792	Mentha rotundifolia auct.	Menthe à feuilles rondes	x	x	
Menyanthaceae	Menyanthes trifoliata L., 1753		Trèfle d'eau, Ményanthe	x	x	
Euphorbiaceae	Mercurialis perennis L., 1753		Mercuriale vivace, Mercuriale des montagnes	x	x	
Apiaceae	Meum athamanticum Jacq., 1776		Fenouil des Alpes, Fenouil de montagne	x	x	
Boraginaceae	Myosotis arvensis (L.) Hill, 1764	Myosotis intermedia Link, 1821	Myosotis des champs	x	x	
Lamiaceae	Myrrhis odorata (L.) Scop., 1771		Cerfeuil musqué, Cerfeuil aspic	x	x	
Amaryllidaceae	Narcissus poeticus L., 1753		Narcisse des poètes	x	x	
Orchidaceae	Neotinea ustulata (L.) R.M.Bateman, ... 1753		Orchis brûlé	x	x	
Brassicaceae	Nasturtium officinale W.T.Aiton, 1812	Nasturtium officinale R.Br., 1812	Cresson des fontaines	x	x	
Orchidaceae	Neottia nidus-avis (L.) Rich., 1817	Neottia nidus-avis (L.) Schltr., 1827	Néottie nid d'oiseau, Herbe aux vers	x	x	
Nymphaeaceae	Nymphaea alba L., 1753		Nénuphar blanc, Lys des étangs	x	x	
Fabaceae	Ononis natrix L., 1753		Bugrane jaune, Bugrane brûle	x	x	
Fabaceae	Ononis spinosa L., 1753		Bugrane épineuse, Arrête-bœuf	x	x	
Asteraceae	Omalotheca sylvatica (L.) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1844	Gnaphalium sylvaticum L., 1753	Gnaphale des bois, Gnaphale sylvestre	x	x	
Orchidaceae	Orchis mascula (L.) L., 1755		Orchis mâle, Herbe à la couleuvre	x	x	
Lamiaceae	Origanum vulgare L., 1753		Origan commun	x	x	
Orobanchaceae	Orthilia secunda (L.) House, 1921	Pyrola secunda L., 1753	Pirole unilatérale	x	x	
Oxalidaceae	Oxalis acetosella L., 1753		Pain de coucou, Oxalis petite oseille, Surelle, Alléluia	x	x	
Amaranthaceae	Oxybasis glauca (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch, 2012	Chenopodium glaucum L., 1753	Chénopode glauque	x	x	
Fabaceae	Oxytropis campestris (L.) DC., 1802	Astragalus campestris L., 1753	Oxytropis des champs, Oxytropis champêtre	x	x	
Papaveraceae	Papaver dubium L., 1753		Pavot douteux	x	x	
Papaveraceae	Papaver rhoeas L., 1753		Coquelicot	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Lilioaceae	Paradisea officinalis L., 1753		Paradisea officinale, Herbe à bouteille	x	x	
Melanthiaceae	Paris quadrifolia L., 1753		Parisette à quatre feuilles, étrangle loup	x	x	
Apiaceae	Pastinaca sativa subsp. urens (Req. ex Godr.) Celak., 1875	Pastinaca urens Req. ex Godr., 1849	Panais brûlant	x	x	
Apiaceae	Pastinaca sativa var. sylvestris (Mill.) Rouy & E.G.Camus, 1901	Pastinaca sativa subsp. sylvestris (Mill.) Rouy & E.G.Camus, 1901	Panais sauvage	x	x	
Orobanchaceae	Pedicularis sylvatica L., 1753		Pédiculaire des forêts, Pédiculaire des bois, Herbe aux poux	x	x	
Polygonaceae	Persicaria hydropiper (L.) Spach, 1841	Polygonum hydropiper L., 1753	Renouée Poivre d'eau	x	x	
Polygonaceae	Persicaria maculosa Gray, 1821	Polygonum persicaria L., 1753	Renouée Persicaire	x	x	
Asteraceae	Petasites hybridus (L.) G.Gaertn., B.Mey. & Scherb., 1801	Petasites officinalis Moench, 1794	Pétasite hybride, Herbe aux chapeaux	x	x	
Poaceae	Phleum pratense L., 1753		Fléole des prés	x	x	
Poaceae	Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud., 1840	Phragmites communis Trin., 1820	Roseau, Roseau commun, Roseau à balais	x	x	
Solanaceae	Physalis alkekengi L., 1753		Coqueret, Cerise d'hiver	x	x	
Pinaceae	Picea abies (L.) H.Karst., 1881	Picea excelsa Link, 1841	Epicéa commun, Sapinette	x	x	
Asteraceae	Picris echioides L., 1753	Helminthotheca echioides (L.) Holub	Picride fausse vipérine, Herbe aux verrues	x	x	
Pinaceae	Pinus mugo subsp. uncinata (Ramond ex DC.) Domin, 1936	Pinus uncinata Mill. ex Mirb., 1805; Pinus uncinata Ramond ex DC., 1805	Pin à crochets	x	x	
Pinaceae	Pinus mugo Turra, 1764	Pinus montana Mill., 1768	Pin mugho, Pin de Montagne, Pin couché	x	x	
Pinaceae	Pinus sylvestris L., 1753		Pin sylvestre	x	x	
Plantaginaceae	Plantago lanceolata L., 1753		Plantain lancéolé, Herbe aux cinq coutures	x	x	
Plantaginaceae	Plantago major L., 1753		Plantain majeur, Grand plantain, Plantain à bouquet	x	x	
Plantaginaceae	Plantago sempervirens Crantz, 1766		Oeil de chien, Plantain toujours vert	x	x	
Polygalaceae	Polygala vulgaris L., 1753		Polygala commun, Polygala vulgaire	x	x	
Asparagaceae	Polygonatum odoratum (Mill.) Druce, 1906	Polygonatum vulgare Desf., 1807	Sceau de salomon odorant, Polygonate officinal	x	x	
Polygonaceae	Polygonum aviculare L., 1753		Renouée des oiseaux, Renouée Traînasse	x	x	
Polypodiaceae	Polypodium vulgare L., 1753		Réglisse des bois, Polypode vulgaire	x	x	
Salicaceae	Populus alba L., 1753		Peuplier blanc	x	x	
Salicaceae	Populus nigra L., 1753		Peuplier commun noir, Peuplier noir	x	x	
Salicaceae	Populus tremula L., 1753		Peuplier Tremble	x	x	
Potamogetonaceae	Potamogeton natans L., 1753		Potamot nageant	x	x	
Rosaceae	Potentilla erecta (L.) Raeusch., 1797	Potentilla tormentilla Neck., 1770	Potentille tormentille	x	x	
Rosaceae	Potentilla reptans L., 1753		Potentille rampante, Quintefeuille	x	x	
Rosaceae	Potentilla sanguisorba L., 1753	Sanguisorba minor Scop., 1771	Pimprenelle à fruits réticulés	x	x	
Asteraceae	Prenanthes purpurea L., 1753		Prénanthe pourpre, Prénanthes	x	x	
Primulaceae	Primula farinosa L., 1753		Primevère farineuse	x	x	
Primulaceae	Primula veris L., 1753	Primula officinalis Hill, 1765	Coucou, Primevère officinale, Brenelle	x	x	
Lamiaceae	Prunella vulgaris L., 1753		Brunelle commune, Herbe au charpentier	x	x	
Rosaceae	Prunus avium (L.) L., 1755		Merisier vrai, Cerisier des bois	x	x	
Rosaceae	Prunus padus L., 1753	Cerasus padus (L.) Delarbre, 1800	Cerisier à grappes, Putier, Merisier à grappes, Putier	x	x	
Rosaceae	Prunus spinosa L., 1753		Epine noire, Prunellier, Pelossier	x	x	
Dennstaedtiaceae	Pteridium aquilinum (L.) Kuhn, 1879	Pteris aquilina L., 1753	Fougère aigle, Porte-aigle	x	x	
Boraginaceae	Pulmonaria angustifolia L., 1753		Pulmonaire à feuilles étroites	x	x	
Boraginaceae	Pulmonaria longifolia (Reichard) Boreau, 1857		Pulmonaire à feuilles longues	x	x	
Ericaceae	Pyrola rotundifolia L., 1753		Pyrole à feuilles rondes, Pirole à feuilles rondes	x	x	
Fagaceae	Quercus petraea Liebl., 1784	Quercus petraea subsp. petraea	Chêne sessile, Chêne rouvre, Chêne à trochets	x	x	
Fagaceae	Quercus robur L., 1753	Quercus pedunculata Ehrh. ex Hoffm., 1791; Quercus pedunculata Ehrh., 1780	Chêne pédonculé, Gravelin	x	x	
Ranunculaceae	Ranunculus acris L., 1753		Bouton d'or, Pied-de-coq	x	x	
Ranunculaceae	Ranunculus bulbosus L., 1753		Renoncule bulbeuse	x	x	
Ranunculaceae	Ranunculus repens L., 1753		Renoncule rampante	x	x	
Resedaceae	Reseda lutea L., 1753		Réséda jaunâtre, Réséda des teinturiers, Mignonette jaunâtre	x	x	
Rhamnaceae	Rhamnus catharticus L., 1753		Nerprun purgatif	x	x	
Crassulaceae	Rhodiola rosea L., 1753	Sedum roseum (L.) Scop., 1771	Orpin rose, Rhodiole rose	x	x	
Fabaceae	Robinia pseudoacacia L., 1753		Robinier faux-acacia, Carouge	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Rosaceae	*Rosa arvensis Huds., 1762*		Rosier des champs, Rosier rampant	x	x	
Rosaceae	*Rosa canina L., 1753*		Rosier des chiens, Rosier des haies	x	x	
Rubiaceae	*Rubia tinctorum L., 1753*		Garance des teinturiers	x	x	
Rosaceae	*Rubus gr. Fruticosus L.*			x	x	
Rosaceae	*Rubus idaeus L., 1753*	*Pas dans TAXREF*	Framboisier	x	x	
Polygonaceae	*Rumex acetosa L., 1753*		Oseille des prés, Rumex oseille	x	x	
Polygonaceae	*Rumex acetosella L., 1753*		Petite oseille, Oseille des brebis	x	x	
Polygonaceae	*Rumex crispus L., 1753*		Patience crépue, Oseille crépue	x	x	
Polygonaceae	*Rumex obtusifolius L., 1753*		Patience à feuilles obtuses, Patience sauvage	x	x	
Polygonaceae	*Rumex pulcher L., 1753*		Apparil oseille	x	x	
Asparagaceae	*Ruscus aculeatus L., 1753*		Fragon, Petit houx, Buis piquant	x	x	
Salicaceae	*Salix alba L., 1753*		Saule blanc, Saule commun	x	x	
Salicaceae	*Salix caprea L., 1753*		Saule marsault, Saule des chèvres	x	x	
Salicaceae	*Salix myrsinifolia Salisb., 1796*	*Salix nigricans sucit non Sm., 1804*	Saule noircissant	x	x	
Salicaceae	*Salix purpurea L., 1753*		Osier rouge, Osier pourpre	x	x	
Lamiaceae	*Salvia glutinosa L., 1753*		Sauge glutineuse, Ormin glueri	x	x	
Lamiaceae	*Salvia pratensis L., 1753*		Sauge des prés, Sauge commune	x	x	
Adoxaceae	*Sambucus ebulus L., 1753*		Sureau yèble, Herbe à flanelle	x	x	
Adoxaceae	*Sambucus nigra L., 1753*		Sureau noir, Sanguinier	x	x	
Caryophyllaceae	*Saponaria ocymoides L., 1753*		Saponaire faux-basilic	x	x	
Caryophyllaceae	*Saponaria officinalis L., 1753*		Saponaire officinale, Savonnière, Herbe à savon	x	x	
Lamiaceae	*Satureja montana L., 1753*		Sarriette de montagne	x	x	
Saxifragaceae	*Saxifraga granulata L., 1753*		Saxifrage granulé, Herbe à la gravelle	x	x	
Caprifoliaceae	*Scabiosa columbaria L., 1753*		Scabieuse colombaire	x	x	
Apiaceae	*Scandix pecten-veneris L., 1753*		Scandix Peigne-de-Vénus	x	x	
Asparagaceae	*Scilla bifolia L., 1753*		Scille à deux feuilles, étoile bleue	x	x	
Caryophyllaceae	*Scleranthus annuus L., 1753*		Gravelette annuelle	x	x	
Scrophulariaceae	*Scrophularia nodosa L., 1753*		Scrophulaire noueuse	x	x	
Lamiaceae	*Scutellaria galericulata L., 1753*		Scutellaire casquée, Scutellaire à casque	x	x	
Crassulaceae	*Sedum acre L., 1753*		Poivre de muraille, Orpin acre	x	x	
Crassulaceae	*Sedum album L., 1753*		Orpin blanc	x	x	
Crassulaceae	*Sedum rupestre L., 1753*	*Sedum reflexum L., 1755*	Orpin réfléchi, Orpin des rochers	x	x	
Crassulaceae	*Sempervivum arachnoideum L., 1753*		Joubarbe araignée, Joubarbe à toiles d'araignée	x	x	
Crassulaceae	*Sempervivum tectorum L., 1753*		Joubarbe des toits, Grande joubarbe	x	x	
Asteraceae	*Senecio doronicum (L.) L., 1756*		Séneçon doronic	x	x	
Asteraceae	*Senecio vulgaris L., 1753*		Séneçon commun	x	x	
Asteraceae	*Serratula tinctoria L., 1753*		Serratule des teinturiers, Sarrette	x	x	
Lamiaceae	*Sideritis hyssopifolia L., 1753*		Crapaudine à feuilles d'hyssope, Thé des montagnes	x	x	
Caryophyllaceae	*Silene vulgaris subsp. vulgaris (Moench) Garcke, 1869*	*Silene inflata Sm., 1800*	Trapotte	x	x	
Brassicaceae	*Sinapis arvensis L., 1753*		Moutarde des champs, Ravelouche	x	x	
Solanaceae	*Solanum dulcamara L., 1753*		Douce amère, Bronce	x	x	
Asteraceae	*Solidago virgaurea L., 1753*		Solidage verge d'or, Herbe des Juifs	x	x	
Asteraceae	*Sonchus arvensis L., 1753*		Laiteron des champs	x	x	
Asteraceae	*Sonchus asper (L.) Hill, 1769*		Laiteron rude, Laiteron piquant	x	x	
Rosaceae	*Sorbus domestica L., 1753*		Cormier, Sorbier domestique	x	x	
Caryophyllaceae	*Spergula arvensis L., 1753*		Spergule des champs, Espargoutte des champs, Spargelle	x	x	
Caryophyllaceae	*Spergula rubra (L.) D.Dietr., 1840*	*Arenaria rubra L., 1753, Spergularia rubra (L.) J.Presl & C.Presl, 1819*	Sabline rouge	x	x	
Lamiaceae	*Stachys palustris L., 1753*		Epiaire des marais, Ortie bourbeuse	x	x	
Lamiaceae	*Stachys sylvatica L., 1753*		Epiaire des bois, Ortie à crapaud	x	x	
Caryophyllaceae	*Stellaria media (L.) Vill., 1789*		Mouron des oiseaux, Morgeline	x	x	
Caprifoliaceae	*Succisa pratensis Moench, 1794*	*Scabiosa succisa L., 1753*	Succise des prés, Herbe du Diable	x	x	
Boraginaceae	*Symphytum officinale L., 1753*		Grande consoude	x	x	
Oleaceae	*Syringa vulgaris L., 1753*		Lilas	x	x	
Asteraceae	*Taraxacum subgen L., 1753*	*Chrysanthemum subgen (L.) Bernh., 1800*	Taraxae commune, Sent bon	x	x	
Asteraceae	*Taraxacum gr. Officinalis Weber*	*Pas dans TAXREF*		x	x	
Lamiaceae	*Teucrium montanum L., 1753*		Germandrée des montagnes	x	x	
Lamiaceae	*Teucrium scorodonia L., 1753*		Germandrée, Sauge des bois, Germandrée Scorodoine	x	x	
Lamiaceae	*Thymus gr. Serpyllum L.*	*Pas dans TAXREF*		x	x	
Lamiaceae	*Thymus vulgaris L., 1753*		Thym commun, Farigoule	x	x	
Malvaceae	*Tilia platyphyllos Scop., 1771*		Tilleul à grandes feuilles	x	x	
Asteraceae	*Tragopogon pratensis L., 1753*		Salsifis des prés	x	x	

FAMILLE	Nom scientifique	Synonymes	Nom vernaculaire	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
Fabaceae	*Trifolium arvense L., 1753*		Trèfle des champs, Pied de lièvre, Trèfle Pied-de-lièvre	x	x	
Fabaceae	*Trifolium pratense L., 1753*		Trèfle des prés, Trèfle violet	x	x	
Liliaceae	*Tulipa sylvestris L., 1753*		Tulipe de Gaulle, Tulipe des bois	x	x	
Asteraceae	*Tussilago farfara L., 1753*		Tussilage, Pas-d'âne, Herbe de saint Quirin	x	x	
Typhaceae	*Typha latifolia L., 1753*		Massette à larges feuilles	x	x	
Ulmaceae	*Ulmus minor Mill., 1768*	*Ulmus campestris L., 1753*	Petit orme, Orme câté	x	x	
Urticaceae	*Urtica dioica L., 1753*		Ortie dioïque, Grande ortie	x	x	
Urticaceae	*Urtica urens L., 1753*		Ortie brûlante, Ortie grèche	x	x	
Caprifoliaceae	*Valeriana officinalis L., 1753*		Valériane officinale, Valériane des collines	x	x	
Caprifoliaceae	*Valerianella dentata (L.) Pollich, 1821*	*Valerianella eriocarpa Desv., 1810*	Mâche dentée, Mâche	x	x	
Scrophulariaceae	*Verbascum densiflorum Bertol., 1810*		Molène faux-bouillon-blanc, Molène à fleurs denses	x	x	
Scrophulariaceae	*Verbascum nigrum L., 1753*		Molène noire, Cierge noirâtre	x	x	
Scrophulariaceae	*Verbascum thapsus L., 1753*		Molène bouillon-blanc, Herbe de saint Fiacre	x	x	
Verbenaceae	*Verbena officinalis L., 1753*		Verveine officinale	x	x	
Plantaginaceae	*Veronica beccabunga L., 1753*		Cresson de cheval, Véronique des ruisseaux	x	x	
Plantaginaceae	*Veronica chamaedrys L., 1753*		Véronique petit-chêne, Fausse Germandrée	x	x	
Plantaginaceae	*Veronica officinalis L., 1753*		Véronique officinale, Herbe aux lattes	x	x	
Adoxaceae	*Viburnum lantana L., 1753*		Viorne mancienne	x	x	
Adoxaceae	*Viburnum opulus L., 1753*		Viorne obier, Viorne aquatique	x	x	
Apocynaceae	*Vinca major L., 1753*		Grande pervenche	x	x	
Apocynaceae	*Vinca minor L., 1753*		Petite pervenche, Violette de serpent	x	x	
Apocynaceae	*Vincetoxicum hirundinaria Medik., 1790*	*Asclepias vincetoxicum L., 1753, Vincetoxicum officinale Moench, 1794*	Dompte-venin	x	x	
Violaceae	*Viola arvensis Murray, 1770*		Pensée des champs	x	x	
Violaceae	*Viola biflora L., 1753*	*Viola lutea Lam., 1779*	Pensée à deux fleurs, Violette à deux fleurs	x	x	
Violaceae	*Viola canina L., 1753*		Violette des chiens	x	x	
Violaceae	*Viola odorata L., 1753*		Violette odorante	x	x	
Violaceae	*Viola reichenbachiana Jord. ex Boreau, 1857*		Violette des bois, Violette de Reichenbach	x	x	
Violaceae	*Viola riviana L., 1753*		Pensée sauvage, Pensée bicolore	x	x	
Santalaceae	*Viscum album L., 1753*		Gui des feuillus	x	x	
Santalaceae	*Viscum album subsp. austriacum (Wiesb.) Vollm., 1914*	*Viscum album var. pini (Wiesb.) Tubeuf, 1923, Viscum laxum Boiss. & Reut., 1842*	Gui d'Autriche	x	x	
Asteraceae	*Solidago gigantea Aiton, 1789*		Solidage géant, Solidage glabre, Solidage tardif	x	x	
Rosaceae	*Alchemilla xanthochlora Rothm., 1937*		Alchémille vert pauvre, Alchémille commune, Alchémille flexible	x	x	
Droseraceae	*Drosera longifolia L., 1753*	*Drosera anglica Huds., 1778*	Rossolis à feuilles longues, Drosera à longues feuilles	x	x	
Ranunculaceae	*Aconitum napellus L., 1753*		Aconit napel	x	x	
Primulaceae	*Primula elatior (L.) Hill, 1765*		Primevère élevée, Coucou des bois	x	x	
Fagaceae	*Quercus pubescens Willd., 1805*	*Quercus humilis Mill., 1768*	Chêne pubescent	x	x	
Violaceae	*Viola calcarata L., 1753*		Pensée éperonnée	x	x	
Rosaceae	*Prunus mahaleb (L.) Mill., 1768*	*Cerasus mahaleb (L.) Mill., 1758*	Bois de Sainte-Lucie, Amarel	x	x	
Ranunculaceae	*Aconitum anthora L., 1753*		Aconit anthora, Anthore, Mardou	x	x	
Ranunculaceae	*Aconitum vulgaparkeri L., 1753*		Aconit panaché, Aconit à bec	x	x	
Convolvulaceae	*Cuscuta epithymum (L.) L., 1774*		Cuscute à petites fleurs	x	x	
Ranunculaceae	*Delphinium consolida L., 1753*	*Consolida regalis Gray, 1821*	Dauphinelle Consoude	x	x	
Linaceae	*Linum catharticum L., 1753*		Lin purgatif	x	x	
Lamiaceae	*Teucrium chamaedrys L., 1753*		Germandrée petit-chêne, Chênette	x	x	

Légende	France - Identification par Lescure et al. (en cours)	Massif des Alpes - Au moins une occurrence dans le périmètre de la haute montagne selon les données d'inventaire CBNA	Massif des Pyrénées - Identification à dires d'experts
	x	x	x
	x	x	
	x		x
			x

Bibliographie

Agreste (2013). Recensement agricole 2010 – Les signes officiels de qualité en Rhône-Alpes. Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, Coup d'œil, No. 150, Janvier, pp. 2013.

Angeon, V., Boisvert, V. & Caron, A. (2007). La marque « Parc naturel régional » : Un outil au service d'un développement local durable et un modèle pour les pays du Sud ?. *Afrique contemporaine*, 222, (2), 149-166. doi : 10.3917/afco.222.0149.

Barnaud, G., & Fustec, É. (2007). *Conserver les milieux humides : pourquoi ? comment ?*. Educagri / Quae éditions. pp.296.

Bernard G., 2016. *Panorama des services écosystémiques des tourbières en France. Quels enjeux pour la préservation et la restauration de ces milieux naturels ?* Pôle-relais Tourbières – Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 47p.

Bernard-Laurent, A. (2011) Principaux habitats en montagne. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.
http://www.oncfs.gouv.fr/Decouvrir-les-habitats-ru41/Principaux-habitats-en-zone-de-montagne-ar144

Bertrand, M., Liébault, F., & Piégay, H. (2017). Cartographie régionale de la susceptibilité aux laves torrentielles dans les Alpes du Sud. *Journal of Alpine Research| Revue de géographie alpine*, (105-4).

Bosco, C., Rusco, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2009) Soil erosion in the Alpine area : risk assessment and climate change. *Studi trentini di scienze naturali*, **85**, 117 – 123.

Bullock, A. & Acreman, M. (2003). The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, 7 (3), pp.358-389.

Burylo, M., Rey, F., Mathys, N., & Dutoit, T. (2012). Plant root traits affecting the resistance of soils to concentrated flow erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, *37* (14), 1463-1470.

Byczek C., Longaretti P.-Y. & Lavorel S. The benefits of recreational crowd-sourced GPS information for modelling the recreation ecosystem service, *Soumis à la revue PlosOne*

CAMELEON (2013) CIRCLE-2 MOUNTain Group – Final Report. CArbon dynamics in Mountain Ecosystems : analyzing Landscape-scale Effects Of aNthropogenic changes (climate and land-use).

Carlier, J. & Cornille, Y. (2012) *Gestion du risque parasitaire interne des ruminants dans le Queyras*. Brochure GDS PACA, Université Paul-Valéry Montpellier III et Parc Naturel Régional du Queyras.
http://www.parcs-naturels-regionaux.fr/sites/federationpnr/files/document/centre_de_ressources/archive_avant_2016/142533/b/brochure_gestion_risque_parasitaire_Queyras.pdf

Chang, J., Ciais, P., Viovy, N., Vuichard, N., Sultan, B. & Soussana, J.-F. (2015) The greenhouse gas balance of European grasslands. *Global Change Biology*, 21, 3748-3761.

Choler et al. Accounting for land management and biodiversity to model Gross Primary Productivity of grasslands at a biogeographical scale (*titre susceptible d'être modifié*). *En préparation*

Corti (2012) *Inventaire des populations françaises d'ongulés de montagne - Mise à jour 2011*. Réseau Ongulés Sauvages ONCFS pp. 51.

Cosandey, C., Andréassian, V., Martin, C., Didon-Lescot, J. F., Lavabre, J., Folton, N.,… & Richard, D. (2005). The hydrological impact of the Mediterranean forest : a review of French research. *Journal of Hydrology*, 301 (1), 235-249.

Crouzat, E., Mouchet, M., Turkelboom, F., Byczek, C., Meersmans, J., Berger, F., Verkerk, P.J. & Lavorel, S. (2015) Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale : insights from the French Alps. *Journal of Applied Ecology*, **52**, 1145 – 1155.

Devaux, C. (2016) *Résilience des services écosystémiques à l'échelle du paysage. Un cadre conceptuel et une analyse pour un socio-écosystème de montagne*. Thèse de doctorat soutenue au LECA – Université Grenoble Alpes.

Dobrovol'skaya, T.G., Golovchenko, A.V., & Zvyagintsev, D.G. (2014). Analysis of ecological factors limiting the destruction of high-moor peat. *Eurasian soil science*, *47* (3), 182.

Dupuis et Fischesser (1987) *Les zones humides d'altitude*. Ministère de l'environnement-Cemagref-Groupement de Grenoble

EEA. (2010) *Europe's Ecological Backbone : Recognising the True Value of Our Mountains*. EEA Report N°6/2010. Copenhagen.

Feistl, T., Bebi, P., Dreier, L., Hanewinkel, M., & Bartelt, P. (2014). Quantification of basal friction for glide-snow avalanche mitigation measures in forested and non-forested terrain. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2, 2947-2980.

FranceAgriMer (2015) *La gentiane jaune. Production française, utilisations, marchés*. Les études de FranceAgriMer. pp.23.

Gayet, G., Baptist, F., Baraille, L., Caessteker, P., Clément, J.-C., Gaillard J., Gaucherand, S., Isselin-Nondedeu, F., Poinsot C., Quétier, F., Touroult, J., Barnaud, G. (2016) *Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques*. Onema, MNHN, p. 310. Rapport SPN 2016 – 91.

Graves, R. A., Pearson, S. M., & Turner, M. G. Landscape dynamics of floral resources affect the supply of a biodiversity-dependent cultural ecosystem service. *Landscape Ecology*, 1-14.

Grigulis, K., Lavorel, S., Krainer, U., Legay, N., Baxendale, C., Dumont, M., Kastl, E., Arnoldi, C., Bardgett, R., Poly, F., Pommier, T., Schloter, M., Tappeiner, U., Bahn, M. & Clément, J.-C. (2013) Combined influence of plant and microbial functional traits on ecosystem processes in mountain grasslands *Journal of Ecology*, 101**,** 47-57.

Hunziker, M., Felber, P., Gehring, K., Buchecker, M., Bauer, N., & Kienast, F. (2008). Evaluation of landscape change by different social groups : results of two empirical studies in Switzerland. *Mountain research and development*, *28* (2), 140-147.

Lamarque, P., & Lambin, E. F. (2015). The effectiveness of marked-based instruments to foster the conservation of extensive land use : the case of Geographical Indications in the French Alps. *Land Use Policy*, 42, 706-717.

Landrieu, G. (2010) *D'où vient la biodiversité des parcs nationaux français ?* Parcs Nationaux de France. pp. 23.
http://www.parcsnationaux.fr/fr/download/file/fid/1287

Lavorel, S., Quétier, F., Gaucherand, S., & Choler, P. (2004). Apports des traits fonctionnels végétaux pour l'évaluation écologique des trajectoires de gestion en milieux prairiaux. *Fourrages. 178*, 179-191.

Lavorel, S., Grigulis, K., Lamarque, P., Colace, M. P., Garden, D., Girel, J.,… & Douzet, R. (2011). Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services. *Journal of Ecology*, 99 (1), 135-147.

Lavorel, S., Bayer, A., Bondeau, A., Lautenbach, S., Ruiz-Frau, A., Schulp, N.,… & Arneth, A. (2017). Pathways to bridge the biophysical realism gap in ecosystem services mapping approaches. *Ecological Indicators*, *74*, 241-260.

Leitinger, G., Tasser, E., Newesely, C., Obojes, N., & Tappeiner, U. (2010). Seasonal dynamics of surface runoff in mountain grassland ecosystems differing in land use. *Journal of Hydrology*, *385* (1), 95-104.

Lescure, J.-P. (en cours) Liste des espèces cueillies en France – voir projet FloreS

Limon S. (2011) La cueillette du génépi. *Faune Sauvage*. 290 : 43.

Lindemann-Matthies, P., Junge, X. & Matthies, D. (2010) The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biological Conservation, 143*, 195-202.

Lyonnard, B. (2016) *Evaluation des paramètres de biodiversité pour l'évaluation des services écosystémiques du Parc National des Ecrins*. Rapport de stage de L1 Université Grenoble Alpes.

Maes, J., Hauck, J., Paracchini, M.L., Ratamäki, O., Hutchins, M., Termansen, M.,… & Bidoglio, G. (2013). Mainstreaming ecosystem services into EU policy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5 (1), 128-134.

Maiorano, L., Amori, G., Capula, M., Falcucci, A., Masi, M., Montemaggiori, A. et al. (2013) Threats from climate change to terrestrial vertebrate hotspots in Europe. *Plos one*, 8, e74989.

Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., García-Llorente, M., & Montes, C. (2014). Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment. *Ecological Indicators*, 37, 220 – 228.
https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.003

Martinez-Harms, M. J. (2017) *Planning for the conservation and management of ecosystem services in central Chile*. Thèse de Doctorat, University of Queensland.

Mulligan, M. (2013). WaterWorld : a self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. *Hydrology Research*, *44* (5), 748-769.

Mulligan, M. (2015) Results from the WaterWorld Policy Support System Version3. http://www.policysupport.org/links/waterworld

Newesely, C., Tasser, E., Spadinger, P., & Cernusca, A. (2000). Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 1 (1), 61-67.

Obojes, N., Bahn, M., Tasser, E., Walde, J., Inauen, N., Hiltbrunner, E., Saccone, P., Lochet, J., Clément, J.C., Lavorel, S., Tappeiner, U. & Körner, Ch. (2015). Vegetation effects on the water balance of mountain grasslands depend on climatic conditions. *Ecohydrology*, *8* (4), 552-569.

ONCFS (2011) Évolution de la répartition communale du petit gibier de montagne en France – Décennie 2000-2009. *Faune Sauvage* 290.

ONCFS (2017) Tableaux de chasse ongulés sauvages saison 2016 – 2017. *Faune Sauvage* 316 : 8.

Paillet, Y., & Bouleau, G. (2016). De la mesure des émissions des gaz à effet de serre à celle du service de régulation du climat, les traductions de l'indicateur carbone. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 16 (2).

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell,.C. (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. **54 :** 438-447. DOI : 10.1016/j.envsci.2015.08.012

PNP (2011) L'observatoire des fréquentations touristiques du *Parc National* des *Pyrénées* et de la réserve naturelle nationale du Néouvielle. http://fr.calameo.com/read/000446870a7e18e6b2f49

Peitzsch, E. H., Hendrikx, J., & Fagre, D. B. (2015). Terrain parameters of glide snow avalanches and a simple spatial glide snow avalanche model. *Cold Regions Science and Technology*, 120, 237-250.

Peyraud, J. L., Dourmad, J. Y., Lessire, M., Médale, F., & Peyronnet, C. (2015). Conséquences zootechniques de l'introduction des légumineuses françaises dans les systèmes de productions animales. pp. 225-261 ; in Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires*. Editions Quae. pp.473.

PNV (2014) *Atlas de la flore rare et protégée du Parc national de la Vanoise*. pp.196. http://www.vanoise-parcnational.fr/en/download/file/fid/1349

Porteret, J. (2015) Fonctionnement hydrologique des zones humides de montagne. Journée technique d'échanges du Réseau Eau en Montagne. (16/10/2015). https://prezi.com/9rj0aflevfde/fonctionnement-hydrologique-des-zones-humides-de-montagne/

Pritchard, H. D. (2017). Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought. *Nature*, *545* (7653), 169-174.

Rey, F., Vallauri, D., & Chauvin, C. (2001). Génie écologique contre l'érosion des marnes dans les Alpes du Sud. *Ingénieries-EAT*, (25), p-41.

Rey, F., Ballais, J.L., Marre, A., & Rovéra, G. (2004). Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes rendus géoscience*, *336* (11), 991-998.

Rey, F., Labonne, S., Breton, V., Louis, S., Talaska, N., Erktan, A., Dumas, A., Burylo, M., Dangla, L. & Lavandier, G. (2015). Utilisation innovante du génie végétal pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation à l'échelle du territoire de la Durance. *Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA*, (16), 28-35.

Running, S. W., Nemani, R.R., Heinsch, F.A., Zhao, M., Reeves, M., & Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, *54* (6), 547-560.

Schirpke, U., Tasser, E., & Tappeiner, U. (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning*, *111*, 1-12.

Schirpke, U., Timmermann, F., Tappeiner, U. & Tasser, E. (2016) Cultural ecosystem services of mountain regions : Modelling the aesthetic value. *Ecological Indicators, 69*, 78-90.

Silene (2017) Conservatoire Botanique National Méditeranéen & Conservatoire Botanique National Alpin (Admin.). 2017. SILENE-Flore [en ligne]. http://flore.silene.eu (consulté le 07/06/2017)

Soureillat, A. (2015) Zones humides de montagne. Présentation proposée à la Journée technique d'échanges du Réseau Eau en Montagne. (16/10/2015).

SSGM - Société Suisse de Géomorphologie (2009) *Fiches – Géomorphologie de la montagne*. http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/accueil/index.php Consulté le 07/08/2017.

Tappeiner, U., Tasser, E., Leitinger, G., Cernusca, A. & Tappeiner, G. (2008) Effects of Historical and Likely Future Scenarios of Land Use on Above- and Belowground Vegetation Carbon Stocks of an Alpine Valley. *Ecosystems*, 11**,** 1383-1400.

ten Brink P., Mutafoglu K., Schweitzer J-P., Kettunen M., Twigger-Ross C., Baker J., Kuipers Y., Emonts M., Tyrväinen L., Hujala T., and Ojala A. (2016) The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection. A report for the European Commission (ENV.B.3/ETU/2014/0039), Institute for European Environmental Policy, London/Brussels.

Tenerelli, P., Püffel, C. & Luque, S. (2017) Spatial assessment of aesthetic services in a complex mountain region : combining visual landscape properties with crowdsourced geographic information. *Landscape Ecology*, **32**, 1097-1115.

Thirion, J.-M. & Vollette, J. (2016) *Hiérarchisation des enjeux de conservation des espèces de Vertébrés terrestres du Parc National des Pyrénées - Amphibiens, Reptiles, Oiseaux, Mammifères*. Rapport OBIOS – PNP. pp.85.
http://www.pyrenees-parcnational.fr/fr/download/file/fid/3447

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araújo, M.B. (2009) BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, 369-373.

Thuiller, W., Guéguen, M., Georges, D., Bonet, R., Chalmandrier, L., Garraud, L. et al. (2014) Are different facets of plant diversity well protected against climate and land cover changes ? A test study in the French Alps. *Ecography*, 37, 1 – 13.

UICN France (2014). *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.4 : les écosystèmes montagnards*. Paris, France.
http://uicn.fr/wp-content/uploads/2014/06/Panorama-ecosystemes_montagnards-m5.pdf

UICN France & MNHN (2014). La Liste rouge des espèces menacées en France - Contexte, enjeux et démarche d'élaboration. Paris, France.

Yigini, Y. & Panagos, P. (2016) Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of The Total Environment*, 557-558**,** 838-850.

Zawada, M. (2016) Vers une évaluation des services écosystémiques sur le Parc National des Ecrins. *Rapport de stage de Master 2*. ENSAT-INPG, Toulouse.

* * *

INTERACTIONS ENTRE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Partie 4

Préambule

Les biens, services écosystémiques et éléments de patrimoine naturel ne sont pas indépendants les uns des autres. Ils co-varient positivement (on parle alors d'interaction positive ou de synergie) et négativement (on parle alors d'interaction négative ou de compromis) selon qu'il existe des interactions directes entre eux, par exemple du fait d'un processus partagé comme la production de biomasse, commune à la production de fourrage et à la régulation du climat, ou qu'ils partagent un facteur de changement commun, par exemple la réponse à la gestion pastorale de la production de fourrage et des espèces patrimoniales spécialistes des milieux ouverts (Bennett et al. 2009). Par ailleurs, les interactions peuvent concerner la capacité de fourniture par les écosystèmes, la demande par les bénéficiaires ou les flux effectifs de services écosystémiques (Mouchet et al. 2014, Crouzat et al. 2016).

La notion de bouquet de services écosystémiques, qui peut être étendue pour incorporer les interactions avec les éléments de patrimoine naturel, désigne un ensemble de biens, services écosystémiques et éléments de patrimoine naturel que l'on observe de manière répétée dans l'espace et/ou dans le temps (Raudsepp-Hearne et al. 2010). La connaissance des bouquets de services permet d'une part de caractériser les potentialités de différents types d'écosystèmes dans un territoire (Crouzat et al. 2015, Egarter Vigl et al. 2017, Locatelli et al. 2017), et d'autre part d'éclairer les décisions de gestion des écosystèmes en identifiant les opportunités et les contraintes, et les leviers permettant de réduire les compromis et d'augmenter les synergies (Crouzat et al. 2016, Turkelboom et al. 2017).

Dans le cadre de l'EFESE Haute Montagne, nous avons choisi de présenter les principaux bouquets de services, d'une part du point de vue de la demande des différents groupes de bénéficiaires, d'autre part en considérant les transitions clés liées à la gestion et leur influence sur la capacité de fourniture des services écosystémiques et de support de patrimoine naturel. Ces analyses sont présentées au Chapitre 12. Le Chapitre 13 présente ensuite des analyses ciblées de quelques interactions critiques en termes d'enjeux spécifiques de gestion.

Chapitre 12

Identification des bouquets de service clés

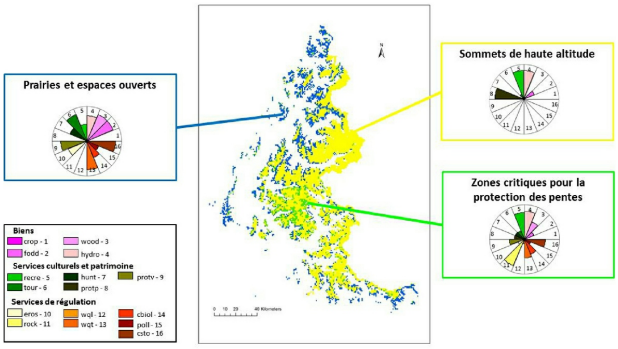
1. – Bouquets de capacité de fourniture de services

1) – Analyse à l'échelle des Alpes françaises

L'analyse cartographique de seize services et deux variables de biodiversité à l'échelle des Alpes françaises a mis en évidence trois bouquets de services associés à différents espaces de haute montagne (Figure 1, Crouzat et al. 2015). Les espaces mosaïqués de prairies, de landes et d'espaces ouverts (bouquet 1, en bleu sur la Figure 1 ; 27 % de la surface totale du périmètre) fournissent du fourrage et quelques produits forestiers (par ex. dans les mélézins ou les forêts de pin cembro), et sont favorables à une grande diversité de services de régulation comme la pollinisation et la régulation de la qualité des eaux ainsi que des services culturels comme le tourisme, et la présence d'espèces animales protégées. Les écosystèmes de haute altitude sensu stricto qui comprennent les végétations clairsemées et les milieux rocheux (bouquet 2, en jaune sur la Figure 1 ; 64 % de la surface totale du périmètre) ont un spectre spécifique de services culturels comme les activités récréatives, le tourisme et la chasse, et fournissent également des habitats pour la biodiversité patrimoniale. Enfin, des zones boisées de petite surface dans des situations de risque géologique et géomorphologique pour les infrastructures et les habitations (bouquet 3 en vert sur la Figure 1 ; 9 % de la surface totale du périmètre)

sont critiques pour la protection contre les aléas naturels comme les chutes de blocs. Ils contribuent à d'autres services comme les activités récréatives et sont des habitats pour les rapaces, fournisseurs du service de contrôle biologique des ravageurs.

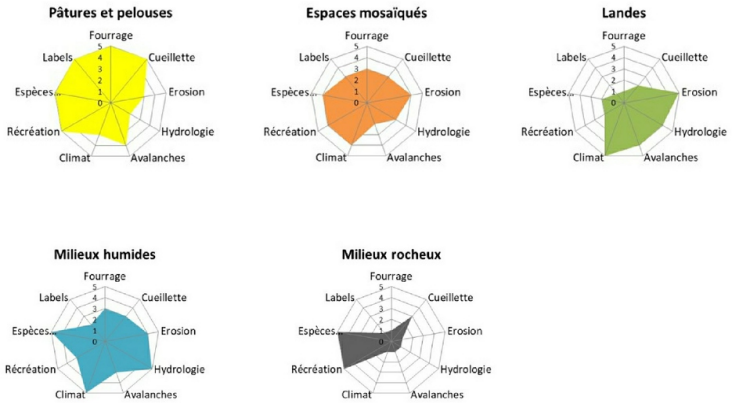
Figure 1. Cartographie des bouquets de services à l'échelle des Alpes françaises. Sur la base des données de Crouzat et al. (2015). Productions agricoles (crop - !), production de fourrage (fodd - 2), production de bois (wood – 3), production d'hydroelectricite (hydro - 4), recreation de pleine nature (recre - 5), tourisme de pleine nature (tour - 6), chasse recreative (hunt - 7), habitats pour des especes vegetales et vertebrees protegees (propt – 8 et protv – 9, respectivement), contribution au contrôle de l'erosion des sols (eros - 10), protection contre les chutes de blocs (rock - 11), maintien de la qualite des eaux (wql - 12), regulation de volumes d'eau (wqt - 13), contrôle biologique (cbiol - 14), pollinisation (poll -15) et stockage de carbone (csto - 16).



2) – *Bouquets de services selon la gestion des écosystèmes de haute montagne*

L'analyse précédente à l'échelle de l'ensemble du massif alpin caractérise les bouquets de services par types d'espaces et de paysages. Elle peut être complétée par l'analyse des bouquets de services associés à différents types d'écosystèmes. Sur la base de l'évaluation de la **capacité biophysique** pour différents biens, services et éléments de patrimoine réalisée dans la Partie III de ce rapport, il est possible de réaliser une évaluation semi-quantitative de l'évolution des **bouquets de services selon les transitions écologiques associées à la gestion des espaces de prairies et pelouses**.

Figure 2. Bouquets de services fournis par les écosystèmes de haute montagne. (A) Espaces en évolution depuis les pâtures et pelouses vers les landes arborées, via la transition par les espaces mosaïqués à ligneux bas (haut) ; (B) milieux humides et (C) milieux rocheux. Les bouquets sont réalisés pour une sélection de biens (fourrage, cueillette), services écosystémiques de régulation (régulation de l'érosion, hydrologique, des avalanches et du climat global) et culturels (attractivité récréative), et éléments de patrimoine (espèces patrimoniales et labels).



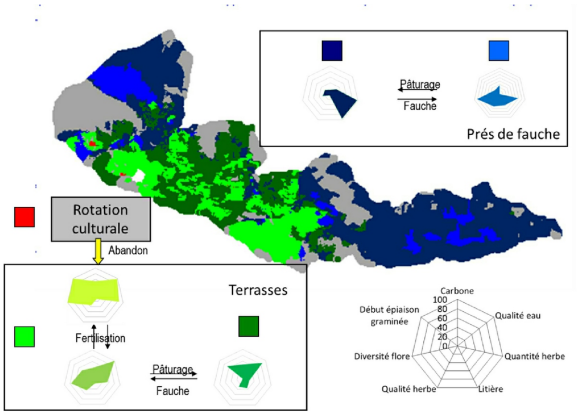
L'analyse souligne le contraste des bouquets de services entre les espaces herbacés ouverts favorisant les biens, les services culturels et la valeur patrimoniale, et les landes dont les principales valeurs concernent les services de régulation (Figure 2A). Les espaces de transition ont des valeurs intermédiaires pour la plupart des services, mais se distinguent par la plus faible capacité de régulation des avalanches. L'évolution des couverts depuis les pâtures et pelouses vers les landes sous l'influence de l'abandon pastoral, conjugué au changement climatique implique donc un fort compromis en termes de valeurs des écosystèmes pour la société.

Les **milieux très spécifiques** comme les milieux humides et en particulier les tourbières, et les milieux rocheux ont quant à eux des **profils de services très particuliers**. Les milieux humides (Figure 2B) ont une forte importance pour les services de régulation et les espèces patrimoniales, mais ils ont également des valeurs intermédiaires pour les biens et les activités récréatives. Leur assèchement sous l'effet du changement climatique, de même que leur eutrophisation sous l'effet des pollutions directes (en lien avec le tourisme) ou atmosphériques, ne sera favorable à aucun de leurs services. Les milieux rocheux (Figure 2C) fournissent un bouquet de services très étroit, fortement polarisé vers les activités récréatives et les valeurs patrimoniales (espèces et paysages).

Une analyse fine des services écosystémiques des prairies réalisée pour l'adret de Villar d'Arêne (Grand site du Lautaret, Hautes-Alpes) permet de mettre en évidence les effets de leur gestion passée et actuelle sur les bouquets de services écosystémiques (Figure 3). Cet espace agricole est structuré par la ségrégation entre i) la zone des terrasses (en tons de vert sur la carte et les états des prairies correspondants), autrefois utilisées pour les cultures, et gérées pour la production de fourrage depuis le début du XXème siècle, et ii) les zones défrichées pour la fauche depuis la fin du Moyen-Age (en tons de bleu sur la carte et les états des prairies correspondants). Dans chacun de ces espaces, la gestion actuelle (avec / sans fertilisation, en fauche / pâturage) détermine l'état des écosystèmes

en termes de paramètres du sol, de végétation et de fonctionnement de l'écosystème (Quétier et al. 2007). Chacun des diagrammes radar présente le bouquet de services écosystémiques pour différents types de prairie correspondant à des états de gestion définis par la gestion passée (terrasses ou prés de fauche) et actuelle. Premièrement, les bouquets de services sont très différents selon l'usage passé (contraste entre terrasses et prés de fauche), en particulier en ce qui concerne la qualité de l'herbe et les services de régulation. Deuxièmement, à l'intérieur de chacun de ces ensembles historiques, la gestion actuelle modifie fortement les bouquets de services. Les terrasses fertilisées et fauchées fournissent le bouquet le plus équilibré alors que l'extensification de la gestion (par arrêt de la fertilisation ou de la fauche) restreint le bouquet de services fournis. On note aussi qu'aucun type de prairie ne suffit à lui seul pour fournir l'ensemble des services, et c'est la mosaïque paysagère des usages dans son ensemble qui permet de jouer par la gestion sur la fourniture à l'échelle de l'ensemble du versant. Ainsi, la plus grande diversité de services était fournie autour des années 1970, période correspondant à la plus forte hétérogénéité du paysage (Lavorel et al. 2017).

Figure 3. Bouquets de services des différents types de prairies de l'adret de Villar d'Arêne, Hautes-Alpes. Les différentes couleurs représentent les différents types d'usages des sols. Pour les cinq types d'usage analysés ici, le diagramme radar présente les valeurs pour chacun des indicateurs de services identifiés par les acteurs du site (d'après Quétier et al. 2007 et Lamarque et al. 2014)



2. – Relations de dépendances entre services

1) – Réseaux de services écosystémiques

Si les approches descriptives détaillées jusqu'ici permettent une première photographie des bouquets de services et de leurs interactions positives et négatives, elles sont très incomplètes en termes de compréhension des mécanismes en cause et des leviers qui peuvent être activés selon les préférences sociétales pour tel ou tel objectif, par exemple un développement durable conciliant préservation de la nature et des services qu'elle rend à différentes échelles (bénéficiaires urbains, ruraux, globaux…) et activités économiques. Le concept de réseau de services écosystémiques, a pour objectif de rendre compte des interactions (positives ou négatives) d'un point de vue fonctionnel, et incorpore pour cela les relations causales entre services.

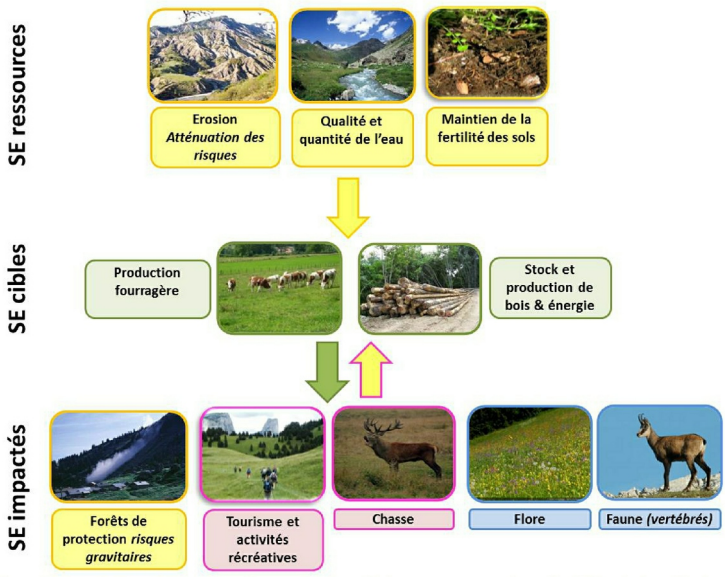
En effet, les relations entre services découlent directement de mécanismes écologiques et sociaux qui méritent d'être explicités (Bennett et al. 2009, Crouzat et al. 2016). Deux services peuvent être synergiques ou antagonistes du fait des processus écologiques qui les sous-tendent. Par exemple, la production biologique de biomasse herbacée contribue à la fois au bien de production de fourrage et au service de régulation de l'érosion. La présence de milieux humides d'altitude bénéficie à la fois à certaines espèces patrimoniales comme la salamandre noire ou plusieurs espèces de Cypéracées protégées et au stockage de l'eau, et donc à la synergie entre la valeur patrimoniale et la régulation hydrologique. Par ailleurs, les relations entre deux services sont dites indirectes lorsqu'ils sont tous deux contrôlés par un facteur commun, sans interagir directement entre eux. C'est par exemple le cas de la fertilisation des prairies dont l'objectif est d'augmenter les rendements, mais dont une conséquence négative est un risque pour la qualité des eaux, conduisant à un antagonisme potentiel entre ces deux services. De la même manière les mécanismes sociaux de demande pour les services écosystémiques peuvent générer des interactions. Ainsi, la demande croissante par les sportifs de ski hors-piste conduit à des dérangements de la faune sauvage (par exemple des galliformes), avec des effets dommageables pour les populations à moyen terme. Le fait d'accorder de fortes valeurs récréatives à des prairies d'altitude préservées est au contraire bénéfique pour le service culturel de conservation de certaines espèces patrimoniales comme les Orchis sureau, militaire ou pyramidal dans la famille des orchidées, ou l'Apollon pour les papillons.

Nous définissons donc un réseau de services écosystémiques comme un jeu de relations de causes à effets en services, que ces relations soient directes ou indirectes (Lavorel et al. 2016). Il s'agit donc d'une définition des bouquets de services qui ne s'intéresse pas simplement à la co-occurrence spatiale des services écosystémiques mais aussi à ses causalités. Ces réseaux sont structurés autour d'un ou plusieurs services 'cibles', qui

sont l'objectif primaire de la gestion. Ces services sont souvent des biens. La fourniture de ces services cibles est tributaire d'états favorables de la structure et de certaines fonctions de l'écosystème, qui sous-tendent des services dits 'ressources', en général des services de régulation. Enfin, la gestion pour les services cibles a des impacts directs ou indirects sur les écosystèmes, et/ou sur des groupes d'acteurs particuliers, ce qui se traduit par des effets positifs ou négatifs sur des services dits 'impactés' et leurs bénéficiaires. Ces impacts peuvent éventuellement avoir des rétroactions sur les services ressources.

Nous avons identifié des réseaux de services (*sensu lato* : inclut les biens, les services de régulation et culturels et les éléments de patrimoine) pour le bassin d'emploi Grenoblois (Alpes, Isère) avec pour objectifs de mettre en évidence les liens écologiques entre services écosystémiques et de confronter ces connaissances scientifiques avec la perception par les acteurs des relations entre services écosystémiques selon différents enjeux de gestion du territoire. Lors d'un atelier de travail avec un groupe représentant les principaux acteurs de la gestion des espaces, des ressources naturelles et de l'environnement de la région grenobloise, nous avons identifié les services écosystémiques considérés comme prioritaires par les acteurs, et élicité la formulation d'enjeux de gestion et de planification du territoire en termes de services écosystémiques (Bierry et al. 2016). Ces enjeux ont été définis pour différents types d'espaces, dont les espaces ruraux de montagne. Les experts scientifiques et locaux (écologie, agronomie, économie) ont identifié un réseau de services lié par la structure et le fonctionnement des écosystèmes.

Figure 4. Réseau de biens ciblés par la gestion, services écosystémiques ressources ou impactés et éléments de patrimoine impactés pour les espaces ruraux de montagne de la région grenobloise. Source : Lavorel et al. 2016.

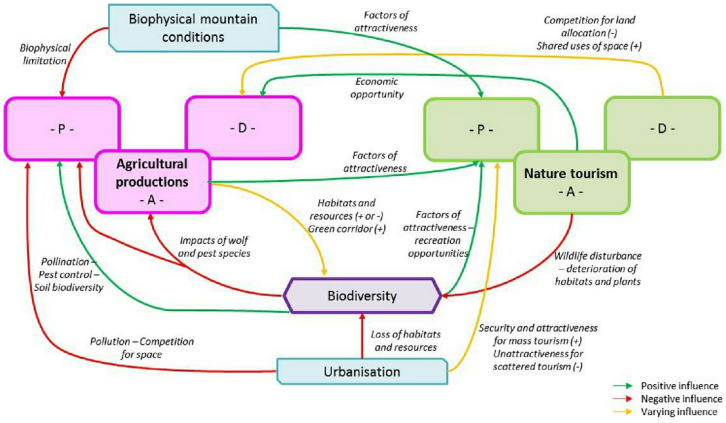


Le réseau de services des espaces ruraux de montagne cible par la gestion d'un paysage en mosaïque la production fourragère pour l'élevage, et de manière complémentaire la production de bois (Figure 4).
Leur fourniture dépend de la capacité des écosystèmes à réguler les quantités et la qualité de l'eau, ainsi que l'érosion des sols. Elle impacte directement la protection contre les risques gravitaires, la préservation de la biodiversité faunistique et floristique, la chasse récréative et le potentiel pour le tourisme et les loisirs. Cette présentation permet donc d'expliciter les liens de causalités sous-tendant le bouquet 1 de l'analyse à l'échelle des Alpes dans leur ensemble (Figure 1). Les acteurs de l'agriculture, de la forêt et de la conservation de la nature considèrent l'allocation des usages des terres et la gestion du foncier comme un enjeu clé pour réguler l'ensemble de ces interactions entre services dans la mosaïque paysagère. Ils jugent également que la gestion agricole durable est garante de la préservation de ce réseau de services.

2) – *Réseaux d'influence entre services*

Pour aller plus loin dans les analyses de liens causaux entre services, une analyse plus approfondie nécessite non seulement d'identifier différent mécanismes directs et indirects d'association entre services, mais aussi comment ceux-ci dépendent spécifiquement des différentes facettes des services écosystémiques : capacité de fourniture, demande et flux (Crouzat et al. 2016).

Figure 5. Réseau de relations d'influence entre la production agricole de fourrage, les activités touristiques et la biodiversité patrimoniale. Pour chacun d'eux les relations sont analysées selon qu'elles concernent la capacité de fourniture (P), la demande (D) ou le flux de service (A). Source : Crouzat et al. 2016



L'exemple des relations d'influence entre la production agricole de fourrage, les activités touristiques et la biodiversité patrimoniale (Figure 5) illustre plusieurs des avantages d'une telle analyse. Par exemple elle met en évidence une boucle de rétroaction vertueuse entre agriculture et tourisme de nature via l'attractivité des espaces herbacés et des produits de l'élevage pour le tourisme qui en retour donne un soutien économique essentiel à l'agriculture de montagne. Cette relation devient cependant négative lorsque l'urbanisation engendrée par le tourisme se fait

au détriment des surfaces agricoles et/ou en détériore la qualité par les pollutions. A contrario le tourisme qui est demandeur de biodiversité patrimoniale comme facteur d'attractivité peut avoir des impacts négatifs directs soit sur les mêmes espèces, soit sur d'autres composantes de la biodiversité patrimoniale par dérangement, destruction ou détérioration des habitats. Les rôles multiples de la biodiversité pour les productions agricoles sont également mis en évidence, conduisant à des relations soit positives (services de régulation) soit négatives (prédateurs, espèces sources de dommages comme les campagnols). L'intérêt d'une telle analyse est que, comme nous le verrons dans la Partie V, elle permet d'identifier les leviers d'action en termes de gestion, de politiques publiques et d'éducation.

3. – Conclusion du chapitre 12

Ce chapitre a fait un tour d'horizon des approches possibles pour analyser les bouquets de services sous les différents angles de la capacité biophysique et de la demande. Les exemples de bouquets de services qui ont été identifiés mettent en évidence le rôle souvent central des espaces herbacés et de la gestion pastorale, ainsi que les valeurs patrimoniales. Dans l'état actuel des données disponibles sur les services écosystémiques et la biodiversité, il reste cependant difficile d'aller vers des analyses plus fines à l'échelle nationale – alors que des analyses locales peuvent apporter des informations fines sur les effets de la gestion.

Chapitre 13

Interactions entre services

La cartographie nationale exhaustive n'ayant pas pu être réalisée pour l'ensemble des biens, services écosystémiques et éléments de patrimoine évalués dans ce rapport, nous avons choisi de ne pas réaliser une analyse de bouquets qui serait nécessairement partielle. Nous avons plutôt choisi d'analyser les interactions entre services pour laquelle la cartographie était disponible en nous concentrons sur un petit nombre d'enjeux identifiés sur la base de la demande par les acteurs.

Trois services autour des prairies et pelouses ont été analysés à l'échelle nationale : la production de fourrage, le contrôle de l'érosion et la régulation hydrologique (en prenant l'infiltration comme indicateur). Ces analyses sont complétées par un zoom sur les interactions entre production de fourrage et valeur esthétique des prairies du Parc National des Ecrins. Les interactions de l'attractivité pour les activités récréatives de pleine nature avec les habitats favorables à la faune vertébrée patrimoniale ont été analysées à l'échelle nationale, complétées par un zoom sur le Parc National des Ecrins permettant d'analyser aussi les interactions avec la flore patrimoniale.

Dans chaque cas nous nous concentrons sur les zones à enjeu définies par des valeurs faibles / fortes (définies par les premiers et quatrième quartiles de la distribution) de chacun des services. La méthode consiste en un croisement cartographique qui identifie quatre types de surfaces : où les indicateurs pour chacun des deux SE ont une valeur forte (appartenant

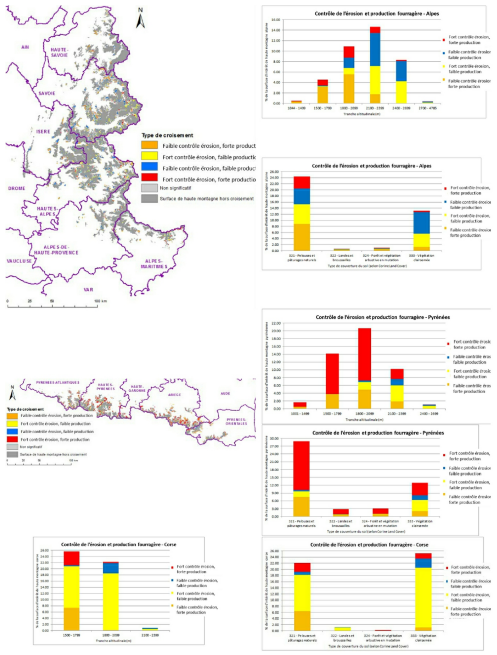
au 4ème quartile de la distribution des valeurs nationales), où le premier indicateur a une valeur forte et le second une valeur faible (appartenant au 1er quartile de la distribution des valeurs nationales), et inversement, et où les indicateurs pour chacun des deux SE ont une valeur faible. On notera que ce type d'analyse est naturellement sensible au choix des seuils de distributions pour juger de valeurs fortes / faibles. L'utilisation de seuils plus restrictifs (par ex. 1er et 10ème déciles) restreint mécaniquement la surface retenue dans les analyses.

I. – Interactions spatiales autour de la production de fourrage

1) – Analyse nationale des interactions entre production de fourrage et contrôle de l'érosion

Définition de l'enjeu : la production de fourrage dépend de sols de bonne qualité. Cependant elle peut avoir des impacts négatifs sur le contrôle de l'érosion en cas de sur-pâturage. Cette analyse est restreinte à la surface pour laquelle la cartographie nationale de la production de fourrage est disponible (voir Partie III, Chapitre 8.1). Ceci conduit probablement à l'exclusion de zones à faible production. Au final, l'analyse concerne 19 % de la surface totale de haute montagne des Alpes (soit 32 % de la surface en pâturages, pelouses, et végétation clairsemée), 39 % de la surface totale de haute montagne des Pyrénées (soit 54 % de la surface en pâturages, pelouses et végétation clairsemée) et 6 % de la surface totale de haute montagne de la Corse (soit 16 % de la surface en pâturages, pelouses et végétation clairsemée). **Les combinaisons représentant un enjeu de durabilité sont les zones à faible contrôle de l'érosion, alors que les zones à forte production et fort contrôle de l'érosion sont considérées comme durables**.

Figure 6. Croisements entre contrôle de l'érosion et production de fourrage pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas ; au vu des très faibles surfaces concernées la carte n'est pas présentée). Les cartes et les histogrammes présentent les combinaisons de fortes / faibles valeurs pour chacun des deux services.



Dans les Alpes, sur les surfaces pour lesquelles les données de production sont disponibles, seules 5 % des surfaces ont à la fois une forte production et fort contrôle de l'érosion (en rouge), soit 28 % du total des surfaces à forte production, représentant 16 % des surfaces en pâturages et pelouses naturelles et 3 % des surfaces en végétation clairsemée, assez bien réparties entre altitudes < 2400 m. A contrario 11 % des surfaces ont à la fois une forte production et un faible contrôle de l'érosion (en orange). Ce sont 36 % des surfaces en pâturages et pelouses naturelles et 10 % des surfaces en végétation clairsemée, situées principalement au subalpin (altitude < 2100 m). **Cette situation suggère donc des enjeux de durabilité des sols dans les zones les plus productives des Alpes**. On note que cependant plus de la moitié des surfaces où

le contrôle de l'érosion est faible sont aussi des zones de faible production (en bleu), ce qui y limite les enjeux.

Cette situation contraste avec celle des Pyrénées, où plus du quart (28 %) des surfaces pour lesquelles les données de production sont disponibles ont à la fois une forte production et un fort contrôle de l'érosion (en rouge), représentant 2/3 des surfaces en pâturages et pelouses naturelles et plus du tiers des surfaces en végétation clairsemée, et ce quelle que soit l'altitude. Mais presque 1/4 des surfaces de forte production ont un faible contrôle de l'érosion (en orange). Ce sont 1/4 des surfaces en pâturages et pelouses naturelles et 16 % des surfaces en végétation clairsemée, et ce quelle que soit l'altitude. **Cette situation suggère donc des enjeux de durabilité des sols moins aigus dans les zones les plus productives des Pyrénées que des Alpes, même si des surfaces significatives demandent de la vigilance**. Ces résultats sont à contextualiser car **dans les Pyrénées seulement 1/4 des surfaces ont un faible contrôle de l'érosion, contrairement aux Alpes où c'est plus de la moitié**.

Les faibles surfaces pour lesquelles les données de production sont disponibles pour la **Corse** ne permettent pas de tirer des conclusions robustes, mais sur les surfaces concernées **le tiers a un fort contrôle de l'érosion et une faible production**.

2) – Analyse nationale des interactions entre production de fourrage et régulation hydrologique

Définition de l'enjeu : la production de fourrage tend à être plus forte dans les milieux frais plus humides mais bien drainés (forte infiltration).
A contrario les prairies peu productives tendent à favoriser le ruissellement d'une part parce qu'elles sont souvent situées sur des sols peu développés et d'autre part par leur faible transpiration. On s'attend donc à une association positive indirecte entre production de fourrage et

régulation hydrologique définie par l'infiltration co-déterminée par la pluviométrie, le relief et la porosité des sols. Cette association est **indirecte car le modèle hydrologique WaterWorld prend en compte seulement la nature des couverts (roche nue / herbacées, ligneux) et non leur productivité**.

Cette analyse est restreinte par la cartographie nationale de la production de fourrage (voir Partie III, Chapitre 8.1), conduisant probablement à l'exclusion de zones à faible production. Au final, l'analyse concerne 21 % de la surface totale de haute montagne des Alpes (soit 32 % de la surface en pâturages, pelouses, et 0végétation clairsemée), 45 % de la surface totale de haute montagne des Pyrénées (soit 54 % de la surface en pâturages, pelouses, et végétation clairsemée) et 7 % de la surface totale de haute montagne de la Corse (soit 16 % de la surface en pâturages, pelouses, et végétation clairsemée).

Dans les Alpes, parmi les zones les plus productives, majoritairement situées dans les pâturages et pelouses naturelles, 60 % ont aussi une forte infiltration et 40 % ont une faible infiltration, et ce quelle que soit l'altitude. La situation est la même pour les zones les moins productives, situées majoritairement au-dessus de 2100 m. Cette **absence d'association significative entre production de fourrage et infiltration** est répétée pour les Pyrénées, avec des profils similaires aux Alpes. La situation de la Corse est particulière avec des infiltrations majoritairement faibles par rapport aux deux autres massifs, mais à nouveau une répartition équilibrée entre zones de faible et forte production.

Figure 7. Croisements entre infiltration et production de fourrage pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas ; au vu des très faibles surfaces concernées la carte n'est pas présentée). Les histogrammes présentent les combinaisons de fortes / faibles valeurs pour chacun des deux services.

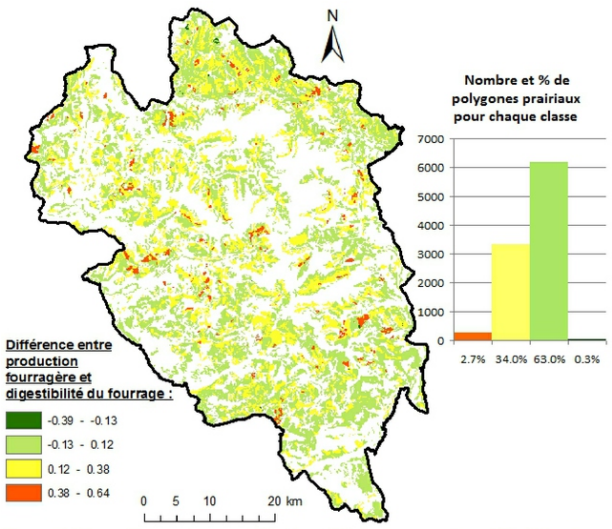
3) – Analyse des interactions entre production de fourrage et valeur esthétique des prairies et pelouses pour le Parc National des Ecrins

Définition de l'enjeu : La multifonctionnalité des prairies est un enjeu fort de la gestion des espaces naturels. Elle implique de concilier la production de fourrage et ses avantages économiques pour les éleveurs avec la conservation de la biodiversité et la valeur esthétique des prairies fleuries.

Dans le Parc National des Ecrins (PNE) nous avons modélisé la quantité et la qualité de la production de fourrage, ainsi que la valeur esthétique des prairies sur la base de la diversité (couleurs et phénologie) de leurs floraisons (voir Partie III, chapitres 8.1 et chapitre 10.2).

L'analyse des corrélations entre ces trois variables montre une corrélation de plus de 80 % entre qualité du fourrage et valeur esthétique des prairies, alors que quantité et qualité du fourrage ne sont pas corrélées significativement. Le croisement des cartes de quantité et de qualité (Figure 8) montre que **la majorité de la surface du PNE (63 %) a des scores équilibrés pour la quantité et la qualité, et donc la valeur esthétique**. Un autre tiers (34 %) de la surface favorise la quantité relativement à la qualité. Ceci reflète l'orientation d'élevage ovin et bovin majoritairement extensif sur les prairies et alpages du Parc. **Les surfaces privilégiant qualité et donc valeur esthétique sur quantité sont minimes** (0.3 %), alors que les végétations particulières des nardaies et des queyrellins (2.7 % de la surface) produisent une forte quantité mais de faible qualité. Cependant, ces végétations jouent d'autres rôles de réserves fourragères les années sèches du fait de leur forte résistance à la sécheresse (Nettier et al. 2017).

Figure 8. Interactions entre quantité et qualité du fourrage (corrélée à la valeur esthétique) pour le Parc National des Ecrins.
Source : Zawada 2016



2. – Interactions spatiales entre attractivité pour les activités récréatives de plein air et habitat pour la biodiversité patrimoniale

1) – Analyse à l'échelle nationale – Espèces vertébrées patrimoniales

Définition de l'enjeu : le développement des pratiques récréatives de plein air en haute montagne est une opportunité pour favoriser l'appréciation des espèces patrimoniales par les pratiquants. En même temps, l'augmentation de la fréquentation pose des problèmes de dérangement de la faune, avec des impacts potentiels sur la conservation des espèces.
Le croisement entre cartographie de l'attractivité pour les pratiques récréatives de pleine nature (Chapitre 10.1) et des espèces patrimoniales de vertébrés (chapitre 11.1) a pu être réalisé pour l'ensemble du territoire national métropolitain de haute montagne.

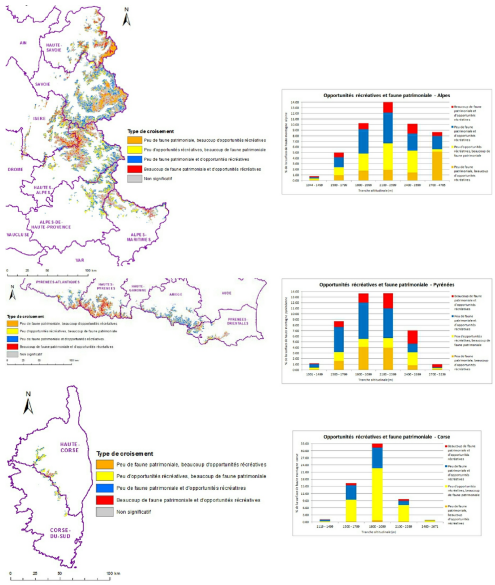
L'analyse révèle des situations assez différentes entre les trois massifs (Figure 9).

Premièrement, dans les Alpes et les Pyrénées (moins en Corse), la cartographie identifie des zones de conflit potentiel où l'attractivité est forte et l'habitat est favorable à un nombre d'espèces patrimoniales élevé (en rouge). Ces zones, situées majoritairement entre 2100 et 2700 m, représentent 6 % de la surface de haute montagne des Alpes, 8 % de la surface dans les Pyrénées et seulement 3 % de la surface en Corse, et sont particulièrement concentrées dans les parcs nationaux, plus le Massif du Mont Blanc dans les Alpes.

Cependant dans les mêmes périmètres on trouve des surfaces significatives à forte attractivité récréative, mais de moindre valeur d'habitat pour la faune (en termes de nombres d'espèces), qui représentent 17 à 18 % de la surface de chacun des trois massifs (en orange). Dans les Alpes,

ces zones sont très concentrées aux plus hautes altitudes (> 2700 m), ce qui n'est pas le cas dans les Pyrénées où elles se trouvent plutôt à l'étage subalpin entre 1800 et 2400 m. Les zones où l'habitat est favorable à peu d'espèces patrimoniales et où l'attractivité récréative est aujourd'hui réduite (en bleu) pourraient être préférées pour les aménagements et les accès. Les zones de tranquillité (en jaune) où l'habitat favorable à un nombre d'espèces patrimoniales élevé, mais considéré comme peu attractif pour les activités récréatives, souvent pour des raisons d'accès, sont souvent dans la périphérie des grands massifs ou des massifs moins élevés. Ces derniers sont souvent situés dans les Parcs Naturels Régionaux. Ces zones, représentent 14 % de la surface de haute montagne des Alpes, seulement 7 % de la surface dans les Pyrénées et seulement 39 % de la surface en Corse.

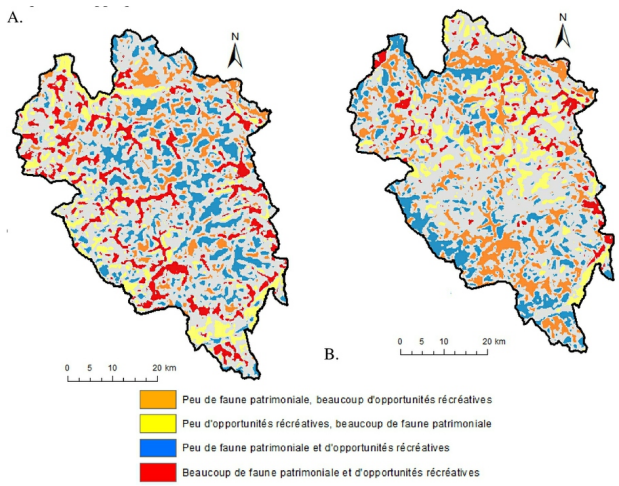
Figure 9. Interactions entre attractivité pour les activités récréatives de plein air est distribution de la faune patrimoniale pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas).



2) – Analyse à l'échelle du Parc National des Ecrins – Espèces végétales et vertébrées patrimoniales

Le même type d'analyse a été réalisé pour le Parc National des Ecrins, où les données de distribution sont également disponibles pour la flore patrimoniale. Cependant, au lieu de considérer les quantiles de distributions, nous avons ici utilisé la délimitation des **points chauds / points froids** pour l'attractivité pour les activités récréatives d'une part, et les distributions d'habitats pour la flore et pour la faune patrimoniales définies par le PNE. Les points chauds / points froids sont définis sous ArcGIS avec un seuil de confiance de 99 % et une distance limite de 500 m. Cette méthode est plus fortement discriminante que la méthode des quartiles appliquée à l'échelle nationale.

Figure 10. Interactions entre attractivité pour les activités récréatives de plein air est distribution de la faune vertébrée (à gauche) et la flore (à droite) patrimoniales pour le Parc National des Ecrins.
Source : Zawada 2016.



Pour les **vertébrés** (Figure 10A) les **patrons sont similaires à ceux décrits ci-dessus à l'échelle nationale**, avec une forte coïncidence des points chauds pour les habitats des espèces patrimoniale et l'attractivité récréative dans les vallées principales (29 % de la surface de hotspots croisés ; en rouge), et a contrario une forte attractivité récréative mais peu d'enjeux pour la faune à proximité des refuges de très haute altitude (18 %

de la surface de hotspots / coldspots croisés ; en orange). Les zones de tranquillité pour la faune sont situées en bordure de massif (20 % de la surface de hotspots / coldspots croisés ; en jaune).

Les patrons pour la **flore patrimoniale** (Figure 10B) sont très différents de ceux pour la faune, avec seulement 12 % de la surface de hotspots croisés ayant une forte coïncidence des points chauds pour les habitats des espèces patrimoniale et l'attractivité récréative (en rouge), et **une forte partie de la surface à forte attractivité récréative (37 % de la surface de hotspots / coldspots croisés ; en orange) ayant une faible valeur d'habitat pour la flore patrimoniale**. Beaucoup de zones de **très haute altitude** et difficiles d'accès ont une faible attractivité récréative et peu de faune patrimoniale, mais sont des habitats importants et **refuges pour de nombreuses espèces de flore patrimoniale** (23 % de la surface de hotspots / coldspots croisés ; en jaune).

3. – Conclusion du chapitre 13

La **disponibilité des données** de biens, services écosystémiques et éléments de patrimoine pour la haute montagne à l'échelle nationale **restreint la possibilité de réaliser des analyses extensives des associations entre services**. Les exemples proposés ici illustrent le type d'analyses possibles, et les conclusions qui peuvent en être tirées.

Les analyses réalisées pour les surfaces de production fourragère montrent comment les **enjeux de durabilité des sols et de multifonctionnalité** peuvent être abordés dès lors que des données détaillées de cartographie de la végétation et des sols sont disponibles. Les résultats cartographiques sont des supports importants pour la gestion des espaces productifs, en particulier dans les aires protégées. Ils peuvent

en particulier appuyer les gestionnaires dans l'orientation des **subventions agro-environnementales**.

Les croisements entre attractivité pour les activités récréatives de plein air et distribution des espèces patrimoniales donnent de premières indications des **zones à enjeux pour la gestion du dérangement des animaux et des zones de tranquillité**. Ce sont des supports de communication importants à diffuser auprès des pratiquants et des informations essentielles à prendre en compte pour les nouveaux aménagements touristiques. Ces approches demandent à être approfondies, en particulier en considérant les situations selon la saison (été / hiver), et en validant les résultats des modèles avec des données de terrain de fréquentation par les pratiquants et des analyses du dérangement effectif.

Bibliographie

Bennett, E.M., Peterson, G.D. & Gordon, L.J. (2009) Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12, 1394-1404.

Bierry, A. & Lavorel, S. (2016) Implication des parties prenantes d'un projet de territoire dans l'élaboration d'une recherche à visée opérationnelle. *Sciences, Eaux & Territoires*, 21, http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/set-revue-gestion-territoires-recherche-implication-acteurs.pdf.

Crouzat, E., Martin-Lopez, B., Turkelboom, F. & Lavorel, S. (2016) Disentangling trade-offs and synergies around ecosystem services with the Influence Network Framework – Illustration from a consultative process over the French Alps. *Ecology & Society*, 21, 32, http://www.ecologyandsociety.org/vol21/iss32/art32/.

Crouzat, E., Mouchet, M., Turkelbloom, F., Byczek, C., Meersman, J., Berger, F., Verkerk, H. & Lavorel, S. (2015) Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale : insights from the French Alps. *Journal of Applied Ecology*, 52, 1145-1155.

Egarter Vigl et al. 2017

Lamarque, P., Lavorel, S., Mouchet, M. & Quétier, F. (2014) Plant trait-based models identify direct and indirect effects of climate change on bundles of grassland ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 13751 – 13756.

Lavorel, S., Bierry, A. & Crouzat, E. (2016) Gestion intégrée des territoires par une approche par les réseaux de services. *Sciences, Eaux & Territoires*, 21, http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/set-revue-gestion-territoires-reseaux-services_0.pdf

Lavorel, S., Grigulis, K., Leitinger, G., Schirpke, U., Kohler, M. & Tappeiner, U. (2017) Historical trajectories in land use pattern and grassland ecosystem services in two contrasted alpine landscapes. *Regional Environmental Change*, 17, 2251-2264.

Locatelli et al. 2017

Mouchet, M., Lamarque, P., Martin Lopez, B., Crouzat, E., Gos, P., Byczek, C. & Lavorel, S. (2014) An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global Environmental Change*, 28, 298-308.

Nettier, B., Dobremez, L., Lavorel, S. & Brunschwig, G. (2017) Resilience as a framework for analysing the adaptation of mountain summer pasture systems to climate change. *Ecology & Society*, 22, 25, https://www.ecologyandsociety.org/vol22/iss4/art25/

* * *

PARTIE 5

Enjeux socio-économiques et options de développement durable

ENJEUX SOCIO-ÉCONOMIQUES ET OPTIONS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Partie 5

Chapitre 14

Contribution des écosystèmes de haute montagne à la santé, la sécurité et l'économie

Comme nous l'avons vu dans les parties II à IV de ce rapport, la haute montagne métropolitaine est le support d'élevage et de tourisme et pratiques récréatives de haute montagne qui sont les principales activités économiques structurant ses paysages. Outre ces activités les valeurs liées à la conservation de la nature et plus généralement au patrimoine naturel sont essentielles, et matérialisées par le haut niveau de protection et de patrimonialisation des espaces naturels. Enfin, les écosystèmes de haute montagne soutiennent le bien-être des populations distantes au travers de contributions à la production énergétique (principalement hydroélectrique), à la régulation hydrologique quantitative et qualitative et à la régulation du climat global.

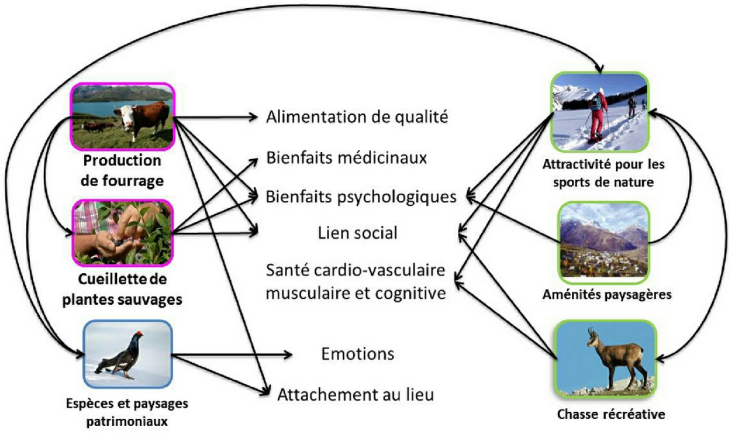
Les contributions des écosystèmes de haute montagne aux enjeux de santé, de sécurité et d'économie ont été évaluées par une méthode qualitative sur la base des travaux de Crouzat (2015). Il s'agit pour chacun de ces trois groupe d'enjeux d'identifier : 1) les services impliqués, 2) les facteurs de changement, en distinguant autant que possible les facteurs directs et indirects, et 3) les politiques publiques permettant d'agir sur ces facteurs de changement, et éventuellement sur les flux d'avantages des services vers leurs bénéficiaires. Les résultats résumés dans ce chapitre sont basés sur une consultation du CoPil de l'EFESE Haute montagne et milieux rocheux lors de son troisième atelier de travail le 27 septembre 2017.

1. – Contribution des écosystèmes de haute montagne à la santé et au bien-être

1) – Enjeux de santé et de bien-être liés aux écosystèmes de haute montagne

Les écosystèmes de haute montagne contribuent au travers de leurs biens, services écosystémiques et éléments de patrimoine à de nombreuses dimensions de la santé et du bien-être des populations locales, des visiteurs et des populations à distance. L'analyse ci-après est présentée selon trois bouquets de services écosystémiques partageant des facteurs de changement principaux et des politiques publiques permettant de les réguler (Figure 1). Les bénéfices en termes de santé sont aussi intimement dépendants de la régulation des risques naturels qui sont traités dans la partie suivante au titre de la sécurité des biens et des personnes.

Figure 1. Réseau de services associés aux bénéfices des écosystèmes de haute montagne pour la santé et le bien-être



2) – Bénéfices pour la santé et le bien-être de la production de fourrage et de la cueillette d'espèces sauvages

L'élevage de haute montagne participe à une production locale ou régionale (via l'utilisation des alpages par des éleveurs locaux et transhumants) de **produits animaux à base de faibles intrants**, reconnue pour ses **qualités nutritionnelles et organoleptiques**. Dans un contexte de préoccupations accrues pour la qualité des produits animaux, et des impacts de leur production sur l'environnement, ces produits de la haute montagne font l'objet d'une demande croissante. Le soutien à l'élevage de haute montagne permet aussi de maintenir et de renforcer, voire de recréer un **capital social favorable pour la santé psychique** des éleveurs et pour la **cohésion des populations locales**.

Les facteurs influençant les activités pastorales de haute montagne sont multiples, et une analyse détaillée a été présentée au **Chapitre 6.5**. Ces activités dépendent fortement du maintien de l'élevage en tant qu'activité économique viable et des modes de **gestion pastorale**, qui sont largement déterminés par les **politiques agricoles**, qui sont déclinées de l'échelle européenne à l'échelle locale en particulier leur volet montagne, et par les marchés. Ces politiques reposent sur la combinaison d'instruments de soutien direct à l'élevage de montagne (ICHN : Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels, PHAE : Prime Herbagère Agro-Environnementales ou prime à l'herbe pour l'élevage extensif) et d'instruments agroenvironnementaux sur base volontaire qui rémunèrent notamment les pratiques extensives de fauche et de pâturage des alpages favorables à la biodiversité (Schermer et al. 2016). On soulignera ici le rôle des **structures de gouvernance collective** (Associations Foncières Pastorales, Groupements Pastoraux…), et des **espaces protégés** (Parcs Nationaux, Parcs Naturels Régionaux) qui participent à la mise en œuvre des subventions et des régulations, et au suivi de leurs résultats.

Les **marchés** reflètent quant à eux l'évolution de la demande sociétale, et sont influencés par les **marques et labels,** et autres instruments de soutien à la valeur ajoutée des produits de haute montagne. La consommation locale et régionale joue aussi un rôle important, soutenue aujourd'hui par les **projets alimentaires territoriaux** (PAT) dans le cadre du Plan National pour l'Alimentation. La viabilité économique de l'agriculture de montagne est aussi très souvent dépendante de la **pluriactivité** des éleveurs, la liant ainsi intimement aux secteurs du tourisme et de l'aménagement du territoire (emplois dans le bâtiment, les infrastructures, administrations). L'augmentation récente des populations de grands prédateurs complexifie la viabilité et les pratiques d'élevage de haute montagne. Les interactions entre élevage et grands prédateurs sont encadrées par la **politique grands prédateurs** du Ministère en charge de l'Environnement. Ici aussi, les espaces protégés et la gestion qu'ils pratiquent au quotidien sont des éléments essentiels de gouvernance. Enfin, de manière plus large le maintien de l'élevage de haute montagne et la demande pour les surfaces herbagères de haute altitude dépendent de facteurs sociétaux plus larges déterminant la **motivation des éleveurs** (Hinojosa et al. 2016b), ainsi que des **politiques de planification** dans les territoires de haute-montagne, mais aussi dans les régions d'origine des troupeaux transhumants où la perte de surfaces herbagères peut soit faire disparaitre les exploitations et par ricochet augmenter les risques d'abandon des alpages, soit augmenter fortement la demande pour les surfaces d'alpages et les risques de sur-exploitation.

De même, le contexte sociétal de préoccupation pour la santé renforce l'intérêt pour la cueillette de **plantes à destination alimentaire ou médicinale**. L'activité de cueillette est aussi reconnue pour ses bénéfices psychologiques pour ses pratiquants, ainsi que pour sa contribution au maintien ou à la création de lien social. La **cueillette** est largement dépendante de l'évolution des usages des sols et de la qualité des milieux,

en particulier pastoraux. Les marques et labels, et autres instruments de désignation d'origine (voir Chapitre 11.3) peuvent participer à la valorisation commerciale des produits. Les risques de sur-prélèvement sont régulés par arrêtés préfectoraux.

Le **changement climatique** étant un facteur de changement majeur de la distribution et de la qualité des écosystèmes de montagne et des populations d'espèces cueillies, il influence directement les bénéfices de santé et de bien être liés à l'élevage et à la cueillette. Nous référons les lecteurs au Chapitre 6.3 pour une caractérisation détaillée de ses effets. Les politiques publiques en relation avec le changement climatique sont abordées au Chapitre 15 dans le cadre du développement durable et de la transition énergétique.

3) – Bénéfices pour la santé et le bien-être des services culturels de la haute montagne

Les activités récréatives de pleine nature et la chasse récréative participent significativement à la santé et au bien-être de leurs pratiquants. Les aménités paysagères, dont dépendent ces activités bénéficient aussi au bien-être des populations locales et des visiteurs non pratiquants. La pratique des activités sportives en haute montagne renforce de façon durable le **système cardio-vasculaire :** amélioration de la circulation sanguine et augmentation de la capacité respiratoire. Elle permet aussi d'échapper à la pollution urbaine atmosphérique (bénéfices respiratoires) et sonore. Le cas particulier des allergies et de l'asthme est connu depuis le 19ème siècle, avec les séjours dits climatiques en altitude, associés à un exercice physique modéré. La pratique des activités sportives en haute montagne favorise le développement et le renforcement de la masse musculaire et participe à la santé articulaire. Ces bénéfices sont bien entendus en balance avec les **risques et pathologies traumatiques**. L'accidentologie des sports de montagne fait l'objet de suivis par

les structures professionnelles (services des CHU, associations des médecins de montagne, Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme…) les fédérations sportives et les assureurs, avec un fort accent sur la prévention par la formation et l'information, y compris par le Ministère en charge de la jeunesse et des sports. Plus récemment les spécialistes des sports de haute montagne ont mis en avant auprès des professionnels et du public les bienfaits de ces activités pour le développement et le maintien des **capacités cognitives**, avec des bénéfices pour le développement des jeunes sains ou malades, et la prévention des maladies liées au vieillissement. La stimulation et le bien-être **psychologiques**, ainsi que les bienfaits de la création de **lien social** sont également mis en avant. Aujourd'hui, les nombreux bénéfices en termes de santé des activités sportives en haute montagne sont promus non seulement pour les pratiquants habituels, mais aussi pour des populations jusqu'ici peu incluses telles que les personnes en surpoids, les diabétiques, les patients en rémission du cancer, les personnes souffrant de handicaps ou de traumatismes mentaux, et les jeunes ayant connu des problèmes sociaux. L'éducation à la pratique des activités sportives de plein air, et plus généralement aux pratiques culturelles associées à la haute montagne, apparait nécessaire pour inciter des individus issus de milieux sociaux et géographiques variés à bénéficier des avantages décrits ci-avant. En effet, une certaine culture de la (haute) montagne semble faciliter sa fréquentation et est soutenue par exemple par les apprentissages des enfants bénéficiant de classes de découverte ou de séjours de vacances en altitude.

En termes de facteurs de changement, le **changement climatique** accentue les bienfaits pour la santé des activités sportives en haute montagne qui joue le rôle de refuge climatique pendant les canicules, et de manière générale crée une demande croissante pour les activités estivales. A contrario, outre les effets sur les risques naturels et donc sur l'accidentologie qui seront traités dans la partie suivante, l'augmentation

des températures peut réduire les journées ou les horaires de pratique de certaines activités, avec par exemple des risques d'épuisement lié à la chaleur lors d'activités intenses.

Les fédérations de chasse mettent en avant des bénéfices similaires pour ses pratiquants aux activités sportives de pleine nature (BIPE 2016). Les **conflits entre chasse et activités sportives** sont néanmoins des sujets d'actualité, avec d'une part des risques avérés en termes d'accidents, et d'autre part la limitation de fait des pratiques sportives par les activités de chasse qui peuvent décourager, voire priver les autres pratiquants d'accéder aux espaces et réduire leurs bénéfices psychologiques. Les activités de chasse en haute montagne sont comme ailleurs régulées par arrêtés préfectoraux. La chasse est généralement interdite dès que la neige est présente au sol, mais il existe des dérogations départementales en particulier pour la chasse au sanglier et dans quelques cas pour les cervidés – mais avec des restrictions des pratiques telles que l'usage des chiens de chasse.

L'**accessibilité** aux espaces de pleine nature est un facteur nécessaire pour en retirer les différents avantages en termes de santé et de bien-être. Le Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée (PDIPR) inclus dans le Plan départemental des espaces sites et itinéraires (PDESI) relatif aux sports de nature a pour objectif de favoriser la pratique de la randonnée pédestre. Les chartes de parcs nationaux et de parcs naturels régionaux définissent les priorités et régulent le développement des accès dans les espaces protégés. Plus largement, les fédérations sportives et de chasse sont impliquées dans le développement des infrastructures et des activités dans le respect des milieux et des préoccupations des autres parties prenantes. La qualité des expériences récréatives et des aménités paysagères auxquelles elles sont liées peut cependant être compromises par tous les éléments de **surdéveloppement** (stations, infrastructures telles que les pylônes, les retenues collinaires, etc.) et de sur-fréquentation qui endommagent

les expériences de nature et augmentent les nuisances visuelles ou sonores (trafic routier et aérien, drones…). Ce développement est, outre les politiques et instruments habituels de régulation des usages des sols sur le territoire national, encadré par la **Loi Montagne** (Loi Montagne II, 2016) détaillée au Chapitre 15, et par la réglementation de protection de la nature mise en œuvre au travers des chartes de parcs nationaux et de parcs naturels régionaux. La sensibilisation et l'accueil du public jouent aussi un rôle essentiel.

Le cas particulier de la **pollution de l'air** est une problématique émergente dans les vallées de montagne, liée pour partie aux activités touristiques. La question du changement climatique et celle de la transition énergétique sont traitées dans le Chapitre 15. On notera simplement ici l'importance de cette problématique qui d'une part impacte directement la santé des populations de haute montagne, et d'autre part fait l'objet d'une prise de conscience par les stations de sports d'hiver, ainsi que par le milieu associatif qui promeut auprès des pratiquants les modes de transports doux.

4) – Bénéfices pour la santé et le bien-être du patrimoine naturel de haute montagne

Les espèces et paysages patrimoniaux de haute montagne contribuent au bien être psychologique des populations locales, des visiteurs et des populations à distance. Ces bénéfices de la biodiversité patrimoniale sont **influencés par l'ensemble des facteurs de changement** détaillés au Chapitre 6 et sont à ce titre en principe ciblés par l'ensemble des politiques de développement durable analysées au Chapitre 15. De plus, ils sont favorisés par l'ensemble des **politiques de biodiversité**, dont la Loi de reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, les réglementations des espaces protégés et la Directive Habitat Faune Flore.

Bien que n'ayant pu être détaillées dans ce rapport, les **valeurs d'inspiration pour les arts et la littérature** par les écosystèmes de haute montagne témoignent des bénéfices psychiques et sociaux individuels et collectifs de l'appréciation des espèces et paysages patrimoniaux de haute montagne. De nombreux écrits analysent l'évolution au cours de l'histoire des relations émotionnelles entre la société occidentale et la montagne, évoluant de la peur mythique vers la fascination, le désir de conquête puis la consommation (MacFarlane 2008). Ces relations complexes témoignent du large spectre des **émotions** suscitées par les relations à la haute montagne.

Parmi les bénéfices psychologiques et sociaux des espèces et paysages patrimoniaux, la notion d'**attachement au lieu** ('*sense of place*' dans la bibliographie anglophone) est considérée comme particulièrement importante pour expliquer les relations des habitants à la haute montagne en particulier. Par exemple, Hinojosa et al. (2016a) ont montré que la persistance des exploitations agricoles de haute montagne de la région Provence-Côte d'Azur était fortement liée à l'attachement au lieu, qui motive les éleveurs à diversifier leurs activités et trouver des moyens d'assurer leur viabilité économique afin de pouvoir maintenir leur activité agricole.

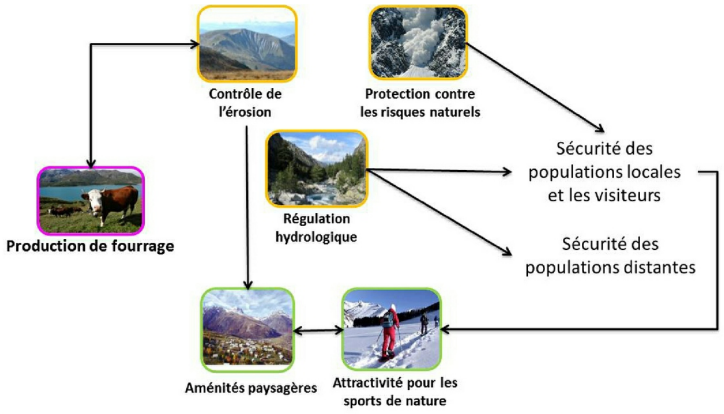
2. – Contribution des écosystèmes de haute montagne à la sécurité des biens et des personnes

1) – Enjeux de sécurité des biens et des personnes liés aux écosystèmes de haute montagne

Les risques naturels font partie intégrante des territoires de haute montagne et ont structuré le développement de leurs sociétés. Les analyses du Chapitre 9 ont montré que les écosystèmes de haute

montagne contribuent à la **protection contre les risques naturels, la régulation de l'érosion des sols et la régulation hydrologique** (référés collectivement ci-après comme 'services de régulation des risques'). Ces services de régulation impactent par ailleurs les services culturels d'attractivité pour les sports de pleine nature et de chasse récréative, ainsi que la production de fourrage (Figure 2). C'est donc **toute l'économie des territoires de haute montagne qui bénéficie de cette régulation écosystémique des risques**. De plus, la régulation des risques hydrologiques bénéficie aux populations des régions aval, des piémonts jusqu'aux régions urbaines côtières.

Figure 2. Réseau de services associés à la contribution des écosystèmes de haute montagne à la sécurité des biens et des personnes



2) – *Evolution des aléas et régulation des risques*

Le **changement climatique** est un facteur majeur de changement des services de régulation des risques car il affecte à la fois l'aléa, c'est-à-dire la demande de régulation du fait des changements de régimes pluvio-thermiques et de la recrudescence des événements extrêmes, et la capacité des écosystèmes de haute montagne à réguler les flux d'eau. Cette capacité tend à augmenter avec la progression des ligneux vers l'altitude, en conjonction avec l'abandon pastoral. La balance entre cette demande

accrue et une progression des capacités de régulation demande cependant à être analysée au cas par cas via des modélisations mécanistes adaptées. Sachant qu'a priori l'augmentation des aléas naturels pourrait être plus forte que celle de la capacité de régulation, l'augmentation des risques à la sécurité des biens et des personnes est un scénario plausible (résultats du projet InterRegIIIB ClimChAlp, 2008). De ce fait les **politiques de changement climatique et la transition énergétique** sont cruciales, tout comme le sont les **politiques d'adaptation au changement climatique**. Au vu de l'augmentation nette probable des risques, l'adaptation doit se concentrer sur d'une part la réduction de l'exposition des biens et des personnes, et d'autre part sur l'atténuation des facteurs aggravants. Les modalités d'aménagement du territoire et en particulier d'extension des zones artificialisées, qui concentrent les espaces à enjeu et modifient les capacités de régulation écosystémique, apparaissent à ce titre un levier d'action significatif sur la gestion du risque.

La **réduction de l'exposition** passe par la planification du développement de l'habitat permanent et des infrastructures de transport en montagne via les instruments de **régulation de l'urbanisme** (SCoT, PLU, UTN : Unités de Tourisme Nouvelles). A l'échelle communale le Plan de Prévention des Risques Naturels réglemente l'utilisation des sols. La sécurité civile, et spécifiquement le secours en montagne sont en première ligne en cas d'intervention suite à des évènements de risques naturels. Leur rôle concerne aussi **la prévention et l'éducation du public et des décideurs**. Les structures publiques comme le PARN (Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels) et associatives comme l'ANENA (Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches) sont également des acteurs clés de la recherche et de l'éducation du public et des décideurs.

L'**atténuation des facteurs aggravants** concerne toutes les activités. Comme nous l'avons vu dans la sous-partie précédente les **politiques agricoles** déterminent largement l'abandon pastoral et les pratiques de gestion, y compris leurs conséquences sur les risques érosifs. Concernant les flux hydrologiques, la limitation de l'imperméabilisation des sols liée au développement des stations est un enjeu fort. Mais ce sont surtout les constructions d'infrastructures pour **l'enneigement artificiel** (retenues collinaires, conduites), les effets cumulés des prélèvements pour la production énergétique (y compris les micro-centrales) et les altérations ou la dégradation des **zones humides** de haute montagne qui sont en cause dans la modification du service de régulation hydrologique. Le renforcement des études impacts, et la mise en œuvre stricte de la séquence **Eviter-Réduire-Compenser** sur l'ensemble des projets d'aménagement en altitude sont une nécessité.

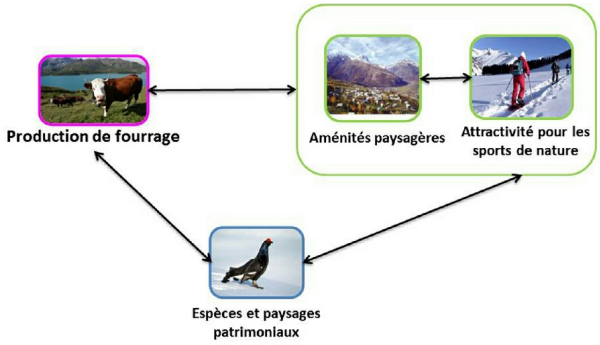
3. – Contribution des écosystèmes de haute montagne à l'économie

1) – Enjeux de l'économie liée aux écosystèmes de haute montagne

La contribution des écosystèmes de haute montagne à l'économie est ici analysée par la perspective du maintien et de l'amélioration des conditions d'emploi qui sont garantes d'une économie vivace et dynamique, et du bien-être des populations locales. Nous considérons les **deux activités structurantes de l'élevage et du tourisme** et leurs interactions avec les principaux facteurs de changement, et les politiques publiques correspondantes. Ces activités économiques sont étroitement liées à un bien, la **production de fourrage**, **au service culturel**

d'attractivité pour les sports de nature et aux espèces et paysages patrimoniaux (Figure 3).

Figure 3. Réseau de services directement associés à la contribution des écosystèmes de haute montagne pour l'économie



2) – Dynamique de l'emploi en haute montagne

Les facteurs de maintien et de développement service de production de fourrage ont déjà été analysés dans la partie 2 sur les bénéfices pour la santé et le bien-être. En termes de croissance économique et de l'emploi s'ajoutent aux politiques publiques, aux marchés et outils de labellisation, les changements des **modes de consommation et d'alimentation** et la nécessité de **nouvelles compétences** pour répondre à ces demandes par une adaptation des types de productions et des modes de production associés. La **pluriactivité** est une caractéristique clé de l'économie de haute montagne. Elle lie très fortement le secteur agricole à celui du tourisme, et donc au service culturel d'attractivité pour les sports de nature et ses déterminants. Outre les questions de l'accessibilité et des aménagements traitées ci-dessus au sujet des bénéfices pour la santé des activités sportives de haute montagne, les mutations en cours les plus marquantes concernent l'émergence de **nouvelles activités et pratiques** (par exemple, développement du trail et du ski de randonnée), sous l'effet de l'évolution de la demande et de l'allongement de la saison

estivale (début précoce et fin tardive) avec le changement climatique. Ces évolutions de l'agriculture et du tourisme se fondent sur **l'innovation technique et commerciale**, ce qui nécessite un soutien par la **formation** sous l'impulsion de politiques de formation telles que le plan régional de formation professionnelle et les campus des métiers. Le développement des **services publics de proximité,** de l'infrastructure **numérique** et le maintien ou l'amélioration des infrastructures de **transports** sont également critiques au maintien des actifs et de leurs familles, ainsi que des personnes âgées natives de la haute montagne, et au bien-être des travailleurs saisonniers.

3) – Interactions avec les éléments de patrimoine naturel

Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 12, la production de fourrage et le service culturel d'attractivité pour les sports de nature entretiennent des **relations étroites avec les espèces et paysages patrimoniaux**. Il en résulte premièrement des **vulnérabilités croisées** aux facteurs de changements de l'élevage de montagne et du tourisme détaillés dans la Partie II et ci-dessus, mais aussi des opportunités de **valorisation mutuelle**. L'analyse de l'enjeu croisé entre attractivité récréative et faune patrimoniale souligne les risques de modification des habitats, de dérangement et la nécessité de gérer les flux récréatifs, mais aussi d'éduquer les pratiquants et de soutenir les efforts déjà engagés pour la formation des professionnels. L'**appropriation du patrimoine naturel et de ses enjeux** par les populations locales et par les travailleurs saisonniers est également essentielle pour favoriser sa protection et le soutien aux espaces protégés. In fine, ce sont les politiques européennes et leur déclinaison nationale qui régissent la protection de la biodiversité patrimoniale et des paysages remarquables,

mais leur meilleure acceptation et la reconnaissance de leurs bénéfices économiques sont les garants de synergies restant encore à renforcer.

4) – Facteurs transversaux au développement économique de la haute montagne

Parmi tous les facteurs de changement transversaux au développement économique de la haute montagne, le **changement climatique** est aujourd'hui particulièrement sensible du fait de ses effets directs, et dans la mesure où il interagit avec les autres facteurs. Ses effets sur les écosystèmes de haute montagne et leur fonctionnement remettent en question l'ensemble des activités et des pratiques (voir Chapitre 6.3) et concernent l'ensemble des enjeux socioéconomiques analysés dans ce Chapitre 14. Les politiques publiques en relation avec le changement climatique sont abordées au Chapitre 15 dans le cadre du développement durable et de la transition énergétique.

Du point de vue de la **gouvernance**, deux instruments qui seront détaillés au Chapitre 15 sont également centraux : la **Loi montagne** (1985, 2016) qui règlemente l'aménagement du territoire montagnard et les activités, et les **schémas de massifs** qui proposent des stratégie à moyen et long terme développement, aménagement et protection des massifs. Localement, les **chartes de Parcs Nationaux et de Parcs Naturels Régionaux** définissent les priorités de développement économique dans leurs périmètres et en encadrent la mise en œuvre. Enfin, le rôle des **instances de concertation locale et des initiatives d'innovation sociale** va croissant dans ces territoires réputés pour leur résilience et leur innovation.

CHAPITRE 15

Options pour le développement durable et la transition écologique

Les analyses synthétiques d'enjeux socio-économiques présentées au Chapitre 14 ont mis en évidence les **fortes interactions entre enjeux** du fait, comme déjà souligné au travers des analyses de bouquets de services écosystémiques au Chapitre 12, des services écosystémiques et éléments de patrimoine qu'ils partagent, et des **intrications des facteurs de changement**. La conjonction de la **condition actuellement majoritairement favorable** des écosystèmes de haute montagne, accompagnée des potentialités qu'ils offrent en termes de services écosystémiques et de patrimoine naturel d'une part, mais d'autre part de **réelles menaces** face au changement climatique et aux facteurs déterminés par le contexte socio-économique, font du **développement durable** un enjeu particulièrement critique pour les socio-écosystèmes de haute montagne.

Du fait de la **transversalité du changement climatique**, et de ses interactions avec les autres facteurs de changement ce chapitre commence par un résumé des actions pour la transition énergétique dans les territoires de haute montagne métropolitaine, et analyse ensuite les conditions du développement durable dans le contexte des politiques publiques et plus largement de la gouvernance actuelle.

1. – Transition Energétique

Même si le changement climatique subi par les écosystèmes de haute montagne **résulte largement des émissions produites par d'autres régions du monde**, et si la problématique pour les territoires de haute montagne concerne en priorité l'adaptation, ils se doivent d'être exemplaires en termes de transition énergétique. De plus, ils ont un certain nombre d'**atouts naturels pour**

la production d'énergies renouvelables pour la consommation locale et les régions à distance, assortis de **risques** qui doivent être bien évalués.

En France, le **Plan Climat Air-Énergie Territorial (PCAET)**, obligatoire pour l'ensemble des intercommunalités de plus de 20.000 habitants à l'horizon du 1er janvier 2019, et dès 2017 pour les intercommunalités de plus de 50.000 habitants, est un outil de planification qui a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et maîtriser la consommation d'énergie (https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/). L'Ademe a produit en 2016 un guide national pour la mise en œuvre des PCAET.

La **CIPRA** (Commission Internationale pour la Protection des Alpes - ONG) promeut la **neutralité climatique dans les Alpes**, c''est à dire « que les Alpes ne rejettent pas plus de gaz à effet de serre que ce que leurs forêts ou leurs marais intacts ne peuvent stocker » (http://www.cipra.org/fr/dimat-energie). Ses initiatives qui se veulent exemplaires, participatives et transfrontalières, concernent la réduction de la consommation d'énergie, en particulier pour l'habitat, les bâtiments publics et les déplacements, et le développement des énergies renouvelables. La CIPRA promeut l'expérimentation, la sensibilisation, l'information et la mise en réseau à l'échelle de l'arc alpin, et en France. Par exemple, elle a analysé les retours d'expérience des **Territoires à Energie Positive (TEPos) alpins** pour produire une série de recommandations (CIPRA 2015). Parmi elles : la prise en compte de l'interdépendance avec les autres territoires via les flux touristiques, la motivation socio-économique pour la transition énergétique, la sobriété énergétique et les choix sociétaux de croissance, les dimensions non seulement technologiques mais aussi sociales, culturelles et institutionnelles de l'innovation, et la nécessité de mobilisation et de concertation collective.

Le **Parc National des Pyrénées** a réalisé en 2012 un **Plan Climat Energie Territorial** visant d'une part à diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2015, et d'autre part à réduire la vulnérabilité du territoire par des mesures d'adaptation au changement climatique. Les actions prévues pour la période 2015-2020 (Parc National des Pyrénées 2015), et déclinées selon sept axes concernent : la recherche d'alternative au déplacement en voiture individuel, l'adaptation des activités de montagne (y compris le tourisme hivernal) au changement climatique, l'autonomie énergétique, les circuits courts, l'éducation et la sensibilisation, l'incorporation des enjeux énergie-climat dans les plans d'urbanisme, et l'exemplarité de l'établissement Parc lui-même.

1) – Hydroélectricité : atouts et enjeux

A l'échelle locale et nationale, les milieux de haute montagne portent un fort potentiel de production hydroélectrique, déjà largement exploité. Les enjeux liés à cette production ont déjà été abordés au **chapitre 6.7** (voir aussi UICN 2013), soulignant les **contradictions potentielles entre politiques énergétiques et Directive Cadre sur l'Eau**. On retiendra pour cette synthèse que les enjeux actuels principaux concernent d'une part la modernisation des installations de grande hydraulique existantes en vue d'une plus grande efficience énergétique et une meilleure intégration environnementale, et les **impacts environnementaux et visuels des chantiers** associés ; et d'autre part les **impacts écologiques cumulés** en particulier sur les écosystèmes aquatiques et les milieux humides de montagne et distants de la petite hydroélectricité et en particulier des micro-centrales en plein développement dans les territoires. Sur ce dernier point, la **coordination à l'échelle des territoires via les PCAET et l'évaluation des impacts cumulés** sont une priorité.

2) – Energies renouvelables et agriculture de montagne

Les énergies renouvelables offrent un potentiel intéressant pour le développement durable de l'agriculture de montagne (UICN 2013). L'utilisation de l'énergie **solaire** pour l'habitat permanent (exploitations agricoles) et saisonnier (cabanes d'alpages), ainsi que du petit éolien pour les alpages, est en expansion avec le soutien des dispositifs financiers et fiscaux publics et le soutien technique de l'Ademe.

La production de **biogaz**, par méthanisation des déchets animaux (effluents d'étables, laiteries) et végétaux issus des **activités agricoles**, est encore peu développée en France et offre un fort potentiel d'économies énergétiques et financières pour les exploitations, voire des possibilités d'alimentation électrique à l'échelle du voisinage et de rentabilisation économique sur le réseau. Les effluents traités peuvent aussi être utilisés pour une **fertilisation organique des prairies** de meilleure qualité que les produits bruts d'étables. Quelques initiatives exemplaires, par exemple dans le PNR des Bauges, font l'objet de communication et de démonstration, ainsi que les exemples dans d'autres pays alpins frontaliers diffusés par la CIPRA.

Outre leur intérêt énergétique et climatique, ces énergies renouvelables facilitent l'**autonomie des exploitations**, y compris pour les exploitations ou les installations distantes des principaux centres urbains, et sont considérées comme favorables au développement durable du point de vue de l'équité sociale et des gains économiques (UICN 2013).

3) – Les activités touristiques et la transition énergétique

La transition énergétique est un enjeu de taille pour les **stations touristiques et les domaines skiables** qui sont pointés du doigt pour leur empreinte énergétique et leurs impacts. Toutes les dimensions du bilan énergétique sont considérées : le développement des énergies renouvelables (UICN 2013), en particulier solaire, hydro-électrique (micro-centrales) et aussi la géothermie ; l'amélioration de la qualité énergétique de l'habitat ; et la promotion des pratiques de transport douces à l'échelle régionale, bien que celles-ci puissent **difficilement compenser le coût énergétique (et les impacts de pollution de l'air) d'un modèle économique de tourisme largement basé sur une clientèle lointaine**, nationale et largement internationale. La question majeure du point de vue des écosystèmes de haute montagne concerne ici à nouveau les **impacts cumulés** des nouvelles installations et chantiers, et leur **compensation écologique**.

Les opérations de rénovation et de nouvelles constructions de **refuges de haute montagne** prennent aussi en compte les exigences de la transition énergétique, avec un recours aux énergies solaire, éolienne (petit éolien) et hydraulique (pico-centrales). Ces chantiers sont soutenus par les subventions publiques obtenues par exemple par le Club Alpin Français pour participer aux surcoûts de 15 à 20 % occasionnés (http://www.ffcam.fr/developpement-durable.html), et **encadrés par les Parcs Nationaux** lorsqu'ils se trouvent dans leur territoire. Dans le Parc National de la Vanoise, une expérimentation a été initiée en juin 2015 avec un refuge autonome en énergie grâce à un prototype de production à hydrogène. Ainsi, les bâtiments de haute montagne sont vus comme des lieux d'**expérimentation technologique exemplaire** dont les résultats pourraient bénéficier à d'autres régions.

2. – Développement durable

1) – Les objectifs de développement durable pour les territoires de haute montagne

Nous proposons ici un panorama des objectifs de développement durable du point de vue des territoires de haute montagne métropolitaine et de leurs écosystèmes, biens, services écosystémiques et patrimoine naturel (Tableau 1).

Les territoires de montagne sont historiquement pauvres, et nécessitent de fait le soutien de la société nationale pour le maintien des populations et la viabilité économique et sociale. Ces territoires reçoivent déjà énormément de subventions (même les activités liées au ski). Les points clés qui ressortent de cette analyse concernent :

1. Les fortes complémentarités caractéristiques de la haute montagne :
   - Entre activités et entre acteurs de différents secteurs économiques, ruraux et urbains, etc… comme souligné au sujet de l'économie dans le Chapitre 14
   - Pour la production agricole, avec en particulier les complémentarités entre différents types d'espaces et d'altitudes qui sont un pilier des systèmes de production et de la résilience au changement climatique (Nettier et al. 2017)
   - Entre milieux, par exemple entre altitudes et les types d'écosystèmes qui y sont associés, entre versants
   - Entre générations
2. Les solidarités :
   - Entre ressources de la montagne ; pluri-activités spatiales
   - Amont-aval
   - Locales : équilibre entre communes, cohérence de développement pour une utilisation optimale des ressources.
   - Avec l'Etat garant

Du fait de ces complémentarités et solidarités, la (re-) valorisation des territoires de haute montagne fournisseurs de nombreux services écosystémiques et support d'un patrimoine unique au niveau national apparait comme une priorité politique. Cette priorité implique notamment de soutenir les innovations techniques et sociales. D'autre part le développement l'éducation au sens large doit concerner le patrimoine naturel et culturel, et plus généralement les atouts de la haute montagne, la conservation de la biodiversité, et les relations urbain – rural dont dépend le futur des territoires de haute montagne.

L'Encadré 1 présente un exemple par la CIPRA d'initiative d'accompagnement durable pour les territoires alpins européens.

Tableau 1.

Déclinaison des Objectifs de Développement Durable pour les régions de haute montagne métropolitaine

ODD	Enjeux et actions en cours ou souhaitées
	Maintien des populations locales en montagne Changements des modes de consommation locaux, des visiteurs et des urbains à distance Pluri-activité agriculture – tourisme Economie résidentielle, infrastructures de transport et numérique Innovation technique et commerciale Formation
	Production de produits animaux dans les écosystèmes naturellement peu productifs (non utilisables pour d'autres productions) Circuits courts, auto-suffisance alimentaire Labels et marques Réduction des impacts de la production animale en plaine
	Santé des populations locales et des visiteurs (alimentation, activités récréatives, faune, flore et paysages patrimoniaux) et des populations de plaine (eau, alimentation)
	Education à la haute montagne et à ses bénéfices pour différents segments de la société nationale. Education à la conservation Culture de la montagne Missions des Parcs Nationaux et des Parcs Naturels Régionaux
	Mix énergétique Rôle et risques du développement de l'hydro-énergie Transition énergétique (stations, habitat local, agriculture)
	Résilience des infrastructures aux risques et au changement climatique, ex. équipements des stations de ski, transports Innovation verte
	Solidarités territoriales Cohérence territoriale de l'aménagement

ODD	Enjeux et actions en cours ou souhaitées
	Solidarité urbain - rural Fréquentation des stations par les urbains Circuits courts pour l'alimentation des villes de proximité Identité montagne / identités territoriales
	Atténuation globale et nationale Refuges climatiques pour les espèces Refuges climatiques pour les humains Adaptation / maladaptation
	Conservation de la biodiversité ordinaire et patrimoniale

Encadré 1

Projet AlpMonitor de la CIPRA
Source : http://www.cipra.org/fr/alpmonitor

Le projet alpMonitor de la CIPRA a pour objectif d'anticiper les changements qui touchent les Alpes, et d'indiquer les chances et les défis qu'ils comportent pour soutenir les décisions individuelles et publiques. Le but ultime est de préserver une vie de qualité dans les Alpes et de la transmettre aux générations futures. Cela implique une gestion équilibrée de la nature et des paysages préservés. Gardant cet objectif en tête et avec l'aide d'expertes et d'experts, la CIPRA a conçu un paysage thématique dans lequel elle s'engage résolument sur la voie de la participation. AlpMonitor se focalise sur cinq facteurs de changement agissant sur les Alpes : le changement climatique, la mobilité croissante, le changement démographique et un cloisonnement de l'économie, allant de pair avec une médiatisation des actions. En résultent cinq champs d'action déterminants pour l'avenir du développement durable dans les Alpes : le tourisme, le rapport entre la nature et l'être humain, l'innovation sociale, habiter et travailler, et enfin les nouvelles formes d'aménagement du territoire comme instrument de coordination globale

2) – Gouvernance du développement durable des régions de haute montagne métropolitaine

Les territoires de haute montagne bénéficient bien entendu de l'ensemble des instruments nationaux de la gouvernance du développement durable. Ici nous présentons quelques-uns des **instruments spécifiques à la haute montagne** et dont la vocation est de soutenir son développement durable.

La **loi Montagne** (1985 ; révision en 2016) relative au développement et à la protection de la montagne est une **loi d'aménagement et d'urbanisme** qui reconnaît la **spécificité des territoires de montagne**, de leur aménagement et de leur protection. Reconnaissant la montagne comme une zone où les conditions de vie sont plus difficiles (du fait de l'altitude, des conditions climatiques et des fortes pentes), freinant ainsi l'exercice de certaines activités économiques, elle et a pour but de permettre aux populations montagnardes de vivre et de travailler dans leurs régions en surmontant les handicaps naturels, économiques et sociaux (Fédération Patrimoine-Environnement 2012) :

- en facilitant le développement de la **pluri-activité par complémentarité**
- en développant la **diversité de l'offre touristique**
- en **protégeant et en valorisant le patrimoine naturel et culturel**

La Loi Montagne tente d'établir un **équilibre entre le développement et la protection de la montagne**. À cet effet l'article 1 de la loi n° 85-30 du 9 janvier 1985 (Encadré 2) liste les objectifs suivants (Source : Wikipedia) :

- faciliter l'exercice de nouvelles **responsabilités par les collectivités et les organisations montagnardes** dans la définition et la mise en œuvre de la politique de la montagne et des politiques de massifs ;
- engager **l'économie de la montagne** dans des politiques de qualité, de maîtrise de filière, de développement de la valeur ajoutée et rechercher toutes les possibilités de diversification ;
- participer à la **protection des espaces naturels et des paysages** et promouvoir le **patrimoine culturel** ainsi que la réhabilitation du bâti existant ;
- assurer une meilleure **maîtrise de la gestion et de l'utilisation de l'espace montagnard** par les populations et collectivités de montagne ;

- réévaluer le niveau des **services en montagne**, assurer leur pérennité et leur proximité par une généralisation de la contractualisation des obligations.

Des institutions spécifiques ont été mises en place par cette loi : le Conseil national de la montagne et des comités de massif. La loi 1985 reconnaissait 7 massifs en France métropolitaine, délimités par arrêt interministériel (https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/massif-au-titre-de-la-loi-dite-loi-montagne/) dans une définition qui englobe un périmètre plus large que la haute montagne telle que définie pour l'EFESE haute montagne : Jura, Vosges, Alpes du Nord, Alpes du Sud, Corse, Massif central et Pyrénées. Les Alpes du Nord et du Sud sont actuellement fusionnées au sein d'un massif unique interrégional. Différents dispositifs de la loi Montagne participent à la protection du patrimoine naturel et culturel en définissant une **spécificité naturelle et culturelle propre à chaque massif**. La **maitrise de l'urbanisation et du développement des infrastructures** est centrale à la Loi Montagne et repose sur trois principes :

- **l'urbanisation en continuité en hameaux intégrés** ;
- **la préservation des espaces remarquables** du patrimoine naturel et culturel montagnard
- **la préservation des zones agricoles**

Le **développement touristique** est contrôlé grâce à la création d'UTN (Unité Touristique Nouvelle) dont l'acceptation fait l'objet d'une procédure d'exception stricte.

Lors de la réalisation de son bilan à 20 ans, la Loi Montagne a été critiquée pour sa faible application, l'érosion de ses principes et ses lourdeurs institutionnelles, voire son contournement juridique (UICN 2005). En particulier si les éléments relatifs au développement et à l'urbanisation ont été utilisés, les dispositions de protection de la nature n'ont pas été appliquées. La **révision de la Loi Montagne** (aussi désignée par Loi Montagne acte II), Loi n° 2016-1888 du 28 décembre 2016 de modernisation, de développement et de protection des territoires de montagne avait pour objectif de **moderniser et d'adapter aux nouveaux enjeux**, en particulier **l'adaptation au changement climatique**, le cadre fixé par la loi du 9 janvier 1985. Ainsi le texte intègre la prise en compte et l'anticipation des effets du changement climatique "*en soutenant l'adaptation de l'ensemble des activités économiques à ses conséquences, notamment dans les domaines agricole, forestier et touristique*". Désormais les UTN, intégrées en amont aux SCoT et PLU, devront prendre en compte la vulnérabilité de l'espace montagnard au changement climatique. La nouvelle loi introduit dans

le code rural et de la pêche maritime que les moyens de lutte contre les actes de **prédation d'animaux d'élevage** sont adaptés, dans le cadre d'une gestion différenciée, aux spécificités des territoires, notamment ceux de montagne.

En revanche, ce texte est critiqué par les défenseurs de l'environnement pour sa tiédeur sur plusieurs fronts (D. Laperche, 2016). Initialement le projet de texte prévoyait que la charte des parcs naturels régionaux et des parcs nationaux situés en montagne puisse définir des zones de tranquillité qui garantiraient l'absence de nuisances pour les espèces animales et végétales sauvages. Cette disposition a été supprimée de la version définitive. La protection de l'eau et des milieux aquatiques qui faisaient partie des améliorations demandées n'ont pas été incorporées explicitement, au regret des associations de protection de la nature et contre l'avis du Conseil économique, social et environnemental. Le texte mise sur le développement d'une politique d'usage partagé de la ressource en eau, notamment via l'adaptation des SAGE. Il existe en effet des liens croissants des activités touristiques de haute montagne avec les **politiques de l'eau**, en interaction avec le changement climatique. Les effets du développement des activités touristiques et en particulier des domaines skiables sur les ressources en eau sont détaillés au **chapitre 6.6**. Ces impacts sont encadrés a priori par les SDAGE et la Directive Cadre sur l'Eau. Le renforcement des **études d'impacts** des projets d'aménagement sur les milieux aquatiques de haute montagne et à distance, et une réelle prise en compte de la hiérarchie **Eviter-Réduire-Compenser** sont une nécessité.

Pour prendre en compte la gouvernance spécifique prévue par la loi Montagne et accompagner la mise en œuvre de la politique de la montagne au niveau de chaque massif l'État a créé la fonction de préfet de région « coordonnateur de massif » et, parallèlement, celle de commissaire à l'aménagement, au développement et à la protection du massif. Il est important de souligner que le comité de massif est un simple organe consultatif, dépourvu de la personnalité morale et ne dispose pas de services propres. Le comité joue tout d'abord un rôle de proposition et d'avis, et intervient aussi pour les UTN. Ces instances sont notamment responsables de la production des **schémas interrégionaux d'aménagement et de développement de massif** qui fixent les orientations stratégiques pour chaque massif. Ils fixent les axes de développement et analysent les enjeux associés et les orientations et les actions pour leur mise en œuvre.

Le schéma interrégional de massif pour les Pyrénées (2013) identifie trois axes stratégiques :

1. La dynamisation de la vie économique et sociale dans les Pyrénées, avec des pistes d'action, en matière de transports, de relation villes-Pyrénées, de développement du tourisme et des productions agricoles ou agroalimentaires, de déploiement de nouveaux services et activités ;
2. La dimension patrimoniale pyrénéenne, sa préservation et sa valorisation ; les actions concernent l'urbanisme, les paysages, la biodiversité, le multi-usage de l'espace, la gestion forestière et pastorale, et l'attractivité et l'image des Pyrénées ;
3. La coopération transfrontalière.

Le schéma interrégional de massif pour les Alpes (2013) identifie quatre axes stratégiques :

1. Attractivité des territoires par l'offre des services aux populations et aux entreprises ;
2. Valorisation des ressources naturelles, culturelles et patrimoniales ;
3. Accompagnement de l'adaptation au changement climatique ;
4. Coopération nationale inter-massifs et coopération transfrontalière et internationale.

Enfin, le Schéma d'Aménagement, de Développement et de Protection de la Montagne Corse (SADPM ; 2017) définit quatre axes d'intervention :

1. Le développement des réseaux et des infrastructures (routes/rail, téléphonie et numérique, réseaux d'eau agricole/potable, assainissement, logements, énergies renouvelables…) ;
2. L'amélioration de l'accès aux services de base (notamment éducation, formation, et santé) ;
3. Le renforcement des activités et des systèmes réceptifs touristiques durables et la gestion des sites naturels de montagne ;
4. Le soutien aux activités agropastorales et aux productions primaires.

Dans le cas des espaces protégés, les **Chartes des Parcs nationaux et naturels régionaux** sont des documents produits en concertation avec les territoires et qui définissent les engagements de chaque collectivité signataire dans le périmètre de la charte (zone cœur et zone optimale d'adhésion pour les PN) en termes de développement (http://www.parcsnationaux.fr/fr/des-decouvertes/les-parcs-nationaux-de-france/la-charte-dun-parc-national). La charte fixe des objectifs à valeur réglementaire, et des orientations d'ordre partenarial se traduisant pas des conventions d'application. Les objectifs sont fixés concernant

la conservation du patrimoine naturel, culturel et paysager. Les orientations concernent les mesures de préservation, de développement durable et de mise en valeur du territoire. En pratique sont ainsi définies des orientations qui concernent la préservation ou la restauration de la biodiversité et du patrimoine naturel, et la préservation, le développement et la valorisation durable des services écosystémiques. Ces orientations sont celles soumises à l'adhésion des communes à l'issue du processus de concertation, adhésion suivie de succès contrastés entre Parcs Nationaux (forte pour les Ecrins, notoirement conflictuelle pour la Vanoise).

Cette présentation des instruments spécifiques à la gouvernance du développement durable pour la haute montagne soulignent sa nature **plurisectorielle**. En particulier, il existe de nombreux outils et instruments spécifiques à la conservation de la nature, à l'agriculture et au tourisme. Ceci implique la nécessité d'analyser leurs interactions et les besoins et pistes d'**intégration intersectorielle.** L'Encadré 3 résume une telle analyse abordée par le prisme des effets rebonds (Crouzat 2015).

Encadré 2

Article 1 de la Loi nº 2016-1888 du 28 décembre 2016 de modernisation, de développement et de protection des territoires de montagne, Journal Officiel du 29/12/2017

La République française reconnaît la montagne comme un ensemble de territoires dont le développement équitable et durable constitue un objectif d'intérêt national en raison de leur rôle économique, social, environnemental, paysager, sanitaire et culturel. La montagne est source d'aménités patrimoniales, environnementales, économiques et sociétales.

« Le développement équitable et durable de la montagne s'entend comme une dynamique de progrès initiée, portée et maîtrisée par les populations de montagne et appuyée par la collectivité nationale, dans une démarche d'autodéveloppement, qui doit permettre à ces territoires d'accéder à des niveaux et conditions de vie, de protection sociale et d'emploi comparables à ceux des autres régions et d'offrir à la société des services, produits, espaces et ressources naturelles de haute qualité. Cette dynamique doit permettre également à la société montagnarde d'évoluer sans rupture brutale avec son passé et ses traditions en conservant, en renouvelant et en valorisant sa culture et son identité. Elle doit enfin répondre aux défis du changement climatique, permettre la reconquête de la biodiversité et préserver la nature et les paysages.

« L'Etat, les collectivités territoriales et leurs groupements, dans le cadre de leurs compétences respectives, mettent en œuvre des politiques publiques articulées au sein d'une politique nationale répondant aux spécificités du développement équitable et durable de la montagne, notamment aux enjeux liés au changement climatique, à la reconquête de la biodiversité et à la préservation de la nature et des paysages ainsi que des milieux aquatiques, et aux besoins des populations montagnardes permanentes et saisonnières, en tenant compte des enjeux transfrontaliers liés à ces territoires. Dans le cadre de cette politique, l'action de l'Etat a, en particulier, pour finalités :

« 1° De faciliter l'exercice de nouvelles responsabilités par les collectivités territoriales, les institutions spécifiques de la montagne et les organisations montagnardes dans la définition et la mise en œuvre de la politique de la montagne et des politiques de massifs ;

« 2° De prendre en compte les disparités démographiques et la diversité des territoires ;

« 3° De prendre en compte et d'anticiper les effets du changement climatique en soutenant l'adaptation de l'ensemble des activités économiques à ses conséquences, notamment dans les domaines agricole, forestier et touristique ;

« 4° D'encourager le développement économique de la montagne, notamment en soutenant les activités industrielles et l'artisanat liés à la montagne ou présents en montagne et la formation de grappes d'entreprises ;

« 5° De réaffirmer l'importance de soutiens spécifiques aux zones de montagne, permettant une compensation économique de leurs handicaps naturels, assurant le dynamisme de l'agriculture et garantissant un développement équilibré de ces territoires ;

« 6° De développer un tourisme hivernal et estival orienté sur la mise en valeur des richesses patrimoniales des territoires de montagne ;

« 7° De soutenir, dans tous les secteurs d'activités, les politiques de qualité, de maîtrise de filière, de développement de la valeur ajoutée et de rechercher toutes les possibilités de diversification ;

« 8° De favoriser une politique d'usage partagé de la ressource en eau ;

« 9° D'encourager et d'accompagner la gestion durable des forêts et le développement de l'industrie de transformation des bois, de préférence à proximité des massifs forestiers ;

« 10° De veiller à la préservation du patrimoine naturel ainsi que de la qualité des espaces naturels et des paysages ;

« 11° De promouvoir la richesse du patrimoine culturel, de protéger les édifices traditionnels et de favoriser la réhabilitation du bâti existant ;

« 12° D'assurer une meilleure maîtrise de la gestion et de l'utilisation de l'espace montagnard par les populations et les collectivités de montagne ;

« 13° De réévaluer le niveau des services publics et des services au public en montagne et d'en assurer la pérennité, la qualité, l'accessibilité et la proximité, en tenant compte, notamment en matière d'organisation scolaire, d'offre de soins et de transports, des temps de parcours et des spécificités géographiques, démographiques et saisonnières des territoires de montagne ;

« 14° D'encourager les innovations techniques, économiques, institutionnelles, sociales et sociétales ;

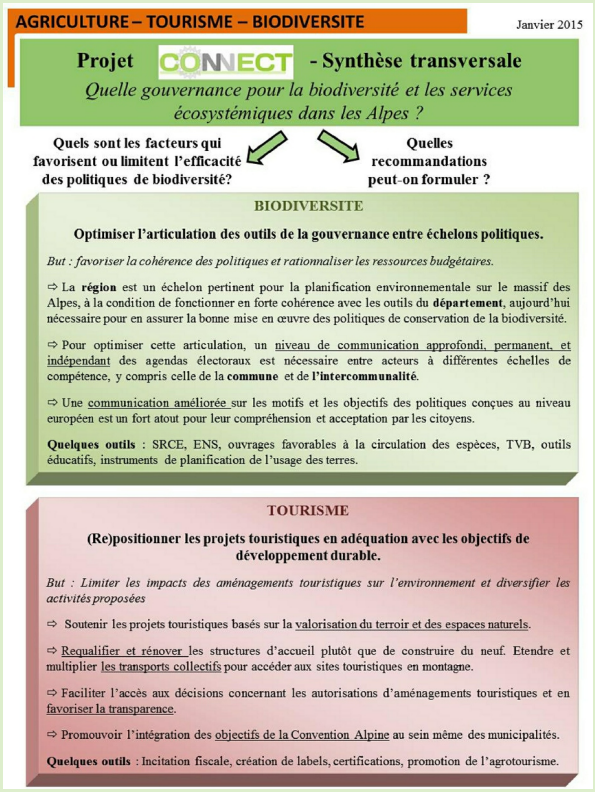
« 15° De soutenir la transition numérique et le développement de services numériques adaptés aux usages et contraintes des populations de montagne ;

« 16° De favoriser les travaux de recherche et d'observation portant sur les territoires de montagne et leurs activités ;

« 17° De procéder à l'évaluation et de veiller à la prévention des risques naturels prévisibles en montagne. »

Encadré 3

Gouvernance croisée de l'agriculture, du tourisme et de la biodiversité dans les Alpes. Synthèse réalisée par le projet BiodivERsA CONNECT. Source : Crouzat (2015)



Services écosystémiques : productions agricoles, lutte contre l'érosion des sols, maintien de la fertilité, esthétique des paysages de montagne …
Agriculture Alpine
Dynamisme des zones rurales
Biodiversité
RECHERCHE
Encourager les analyses conjointes des impacts environnementaux et sociaux de la gouvernance.
But : Mieux anticiper les effets indirects des politiques de biodiversité mises en œuvre.
⇨ Analyser les réactions en chaîne des politiques environnementales et les prendre en compte dans les études environnementales. Se baser sur le concept d' « effets rebond » qui offre un cadre novateur pour évaluer et minimiser ces impacts.
⇨ Encourager les échanges à l'interface entre sciences et action politique, en favorisant le partage de savoirs et les professions transversales.
Quelques outils : structures de R&D et d'accompagnement technique, suivi et contrôle des impacts des actions de gestion, vulgarisation des résultats obtenus.
AGRICULTURE
Elargir l'éventail des débouchés économiques pour les agriculteurs de montagne, tout en favorisant les trajectoires agro-environnementales.
But : Maintenir des productions agricoles de haute qualité en montagne et maximiser les bénéfices de l'agriculture sur l'environnement et le tissu rural.
⇨ Favoriser les modèles agroenvironnementaux d'exploitation agricole. Optimiser l'appropriation des outils politiques visant à cette conversion en faisant recours aux organismes d'assistance et de conseil aux agriculteurs.
⇨ Amplifier la dynamique positive entre renommée des produits agricoles alpins de haute qualité et promotion des espaces alpins qui attirent les visiteurs. Poursuivre la mise en place de projets valorisant une agriculture ancrée aux territoires et terroirs.
Quelques outils : indications géographiques certifiées, projets agrotouristiques, mention valorisante 'Montagne', mesures du PDR (y compris MAEt).
Projet CONNECT : http://www.connect-biodiversa.eu/
Sandra Lavorel, Directrice de recherche CNRS, LECA
Emilie Crouzat, Doctorante, LECA
Elise Trouvé-Buisson, Etudiante en Master, Sciences Po Paris
LECA
Laboratoire d'Ecologie Alpine
cnrs

3) – Les solidarités comme clé de voûte du développement durable des régions de haute montagne

Les enjeux mis en lumière par les analyses de ce chapitre soulignent le rôle critique des différentes formes de solidarités pour le développement durable des régions de haute montagne. Ces solidarités se déclinent à différents niveaux.

Des solidarités de fait, c'est-à-dire fonctionnelles : entre différentes ressources de la montagne ; spatiales pour les pluri-activités ; amont-aval ; écologiques, telles que mouvements d'espèces, et donc hors de portée des décisions / de la gestion.

Des solidarités d'action :

- Locales : au travers des équilibres entre communes, et d'une recherche de cohérence de développement pour une utilisation optimale des ressources.
- Entre régions et massifs
- Avec l'état garant

Ces solidarités ont des implications pour différents domaines sectoriels et d'action des politiques publiques, tels que :

- L'équilibrage des dotations pour les services écosystémiques et le patrimoine : dotation de fonctionnement – financiarisation de la préservation du patrimoine, des services écosystémiques ;
- Les politiques pour l'agriculture de montagne ;
- La réforme de la fiscalité de l'usage des sols ;
- La planification territoriale et l'opérationnalité des SRCE ;
- Les espaces protégés
- Les questions transfrontalières

Au-delà de ces politiques sectorielles, l'intégration inter-sectorielle des politiques publiques et de la planification sont un enjeu critique pour une utilisation durable et cohérente des écosystèmes de haute-montagne. En s'appuyant par exemple sur les SCoT et PLUi, les SDAGE, les comités de massif, la Convention Alpine, et sur la concertation, une telle intégration faciliterait la prise en compte des impacts cumulés entre activités, une planification régionale du développement social et économique, et la reconquête de la biodiversité.

Conclusion de la Partie 5

Même si le changement climatique subi par les écosystèmes de haute montagne résulte largement des émissions produites par d'autres régions du monde, et si la problématique pour les territoires de haute montagne concerne en priorité l'adaptation, ils se doivent d'être exemplaires en termes de transition énergétique. De plus, ces territoires ont un certain nombre d'atouts naturels pour la production d'énergies renouvelables pour les régions aval, assortis de risques qui doivent être bien évalués.

La notion de solidarité est au cœur du développement durable des écosystèmes de haute montagne, de leurs biens et services écosystémiques et de leur patrimoine naturel. Cette solidarité est incarnée : (i) entre la montagne et reste du territoire, en particulier au travers de pluriactivités spatiales et des demandes pour les services écosystémiques ; (ii) entre l'amont et l'aval par exemple pour l'eau ; (iii) localement, au travers des équilibres entre communes, et d'une recherche de cohérence de développement pour une utilisation optimale des ressources. Du fait des complémentarités et solidarités entre écosystèmes et entre territoires, la (re-)valorisation des territoires de haute montagne fournisseurs de nombreux services au niveau national aparait comme une priorité politique. Cette priorité implique notamment de soutenir les innovations techniques et sociales. D'autre part le développement de l'éducation au sens large doit concerner le patrimoine naturel et culturel, et plus généralement les atouts de la haute montagne, la conservation de la biodiversité, et les relations urbain – rural dont dépend le futur des territoires de haute montagne.

Dans ce contexte l'intégration inter-sectorielle des politiques publiques est un enjeu critique, en s'appuyant sur les instruments de gestion intégrée tels que les SDAGE, les schémas interrégionaux de massif, ou la Convention Alpine. Une telle intégration doit notamment permettre la prise en compte des impacts cumulés entre activités et de réaliser une planification régionale du développement social et économique.

Bibliographie

BIPE (2016) Mission FNC - Evaluation du service écosystémique chasse en 2015. pp.82

CIPRA (2015) Renforcement de la dynamique des territoires à énergie positive sur l'arc alpin français. Rapport final http://www.cipra.org/fr/publications/tepos-alpins-rapport-final/brochure_Tepos_web-doublepages.pdf/inline-download

Crouzat, E. (2015) *Etude des compromis et synergies entre services écosystémiques et biodiversité. Une approche multidimensionnelle de leurs interactions dans le socio-écosystème des Alpes françaises.* Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.

Hinojosa, L., Lambin, E., Mzoughi, N. & Napoleone, C. (2016) Place attachment as a factor of mountain farming permanence : a survey in the French Southern Alps. *Ecological Economics*, **130,** 308-315.

Hinojosa, L., Napoleone, C., Moulery, M. & Lambin, E.F. (2016) The "mountain effect" in the abandonment of grasslands : insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 115-124.

Laperche, D. (2016) https://www.actu-environnement.com/ae/news/loi-montagne-texte-adopte-accorde-place-minime-environnement-28163.php4

MacFarlane, R. (2008) *Mountains of the mind : A history of a fascination*. Granta Books.

Nettier, B., Dobremez, L., Lavorel, S. & Brunschwig, G. (2017) Resilience as a framework for analysing the adaptation of mountain summer pasture systems to climate change. *Ecology & Society*, **22,** 25. https://www.ecologyandsociety.org/vol22/iss4/art25/

Parc National des Pyrénées (2015) Plan d'action énergie-climat 2015-2020. http://www.pyrenees-parcnational.fr/fr/des-actions/encourager-lexcellence-environnementale/lutter-contre-le-changement-climatique

Schermer, M., Darnhofer, I., Daugstad, K., Gabillet, M., Lavorel, S. & Steinbacher, M. (2016) Institutional impacts on the resilience of mountain grasslands : an analysis based on three European case studies. *Land Use Policy*, 52, 382-391.

Schéma Interrégional de Massif des Pyrénées (2013) http://www.cdm-pyrenees.fr/le-massif-des-pyrenees/le-schema-de-massif.html

Schéma Interrégional de Massif des Alpes (2013) http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur/content/download/26385/181605/file/CIMA_2015-2020_convention.pdf

UICN France (2013) *Les montagnes et la transition énergétique – Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et enjeux de leur développement sur les territoires de montagne*. Paris, France.

UICN France (2015) 1985-2005 Vingt ans de Loi Montagne. Bilans et propositions.
http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/06/UICN_France_-_Bilan_loi_montagne.pdf

* * *

BESOINS DE CONNAISSANCES ET IDENTIFICATION DE QUESTIONS DE RECHERCHE

Partie 6

CHAPITRE 16

Lacunes de données et de connaissances

1. – Retour sur la méthodologie d'une première évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques de la haut montagne et des milieux rocheux

Les résultats présentés dans le présent rapport résultent d'un premier exercice d'évaluation en temps limité. Le parti pris a été de **privilégier l'évaluation biophysique** et, autant que possible les approches de **cartographie quantitative**, soit sur la base de méthodes ou de résultats préexistants, soit par production primaire de nouvelles modélisations. Les éléments concernant la demande en services écosystémiques pour les différentes catégories de bénéficiaires, ainsi que les analyses des relations avec les politiques publiques ont été réalisées à **dire d'experts** avec l'appui du Comité de Pilotage de l'EFESE Haute montagne et Milieux Rocheux.

Par ailleurs, les contraintes de moyens n'ont permis de réaliser que des **études descriptives sur les milieux rupestres et sur l'outre-mer** (très partiellement pour cette dernière, avec un zoom plus détaillé sur la Réunion). Pour autant, nous sommes convaincus que ces éléments permettent déjà de **sensibiliser** les lecteurs aux les enjeux liés à ces milieux, leurs services écosystémiques et leur patrimoine naturel.

Dans la suite de ce chapitre nous évoquons les principales limites apparues pour l'évaluation biophysique et la cartographie. Une dernière partie considère plus largement les besoins pour la décision, appuyée par une nécessaire évaluation intégrée (biophysique, sociale et économique).

2. – Un manque cruel de données biophysiques primaires et de méthodes de descente d'échelle

Les milieux rocheux et de haute montagne ont par nature une **granularité biophysique fine** (topographique, microclimatique), voire très fine qui est à l'origine de leur biodiversité exceptionnelle (voir Chapitres 2 et 3). Ceci implique la nécessité de données tout aussi fines afin de pouvoir produire des analyses et des évaluations pertinentes. A contrario, l'utilisation de données à maille grossière introduit des incertitudes considérables dans les évaluations.

De ce fait, l'acquisition et la mise à disposition de cartographie des **distributions d'espèces et des milieux** (principalement de la végétation) est prioritaire. Avec les exemples d'analyses des services écosystémiques et de la biodiversité patrimoniale du Parc National des Ecrins, nous avons illustré comment de telles données, pourtant non disponibles même dans les autres Parc Nationaux, peuvent être valorisées pour l'évaluation. A minima, la finalisation des données **CarHab** permettra un grand pas en avant pour fournir des données de couverture des sols pertinentes, et suffisant à largement avancer la qualité des évaluations. Parce que la **production biomasse** est un processus fonctionnel commun à la production de fourrage et aux services de régulation, et à ce titre un nœud fonctionnel des bouquets de services, ces données devraient être complétées par des synthèses de données de production de biomasse collectées sur le terrain (par exemple par les structures pastorales, et par le réseau Alpages sentinelles) et par télédétection. Le cas de la **zone**

de combat (limite altitudinale des arbres) demande une attention cartographique particulière du fait des effets qualitatifs de la transition d'écosystèmes herbacés vers des écosystèmes ligneux sur tous les processus physiques et biogéochimiques associés aux services de régulation, ainsi que sur toutes les valeurs culturelles et patrimoniales. De manière générale, les **suivis à long terme**, sur le terrain et par les données satellitaires de la distribution fine de la végétation sont un enjeu prioritaire pour les écosystèmes rocheux et de haute montagne du fait de leur forte sensibilité au changement climatique et à ses interactions avec les autres facteurs de changement (usages des sols, déposition d'azote, changements hydrologiques liés aux activités touristiques…).

De même que pour la végétation, comme partout en France, la disponibilité de données sur les **sols** est un facteur limitant critique, et le soutien des initiatives d'acquisition et de cartographie en cours est prioritaire.

La **modélisation** est un outil essentiel pour la descente d'échelle en terrain complexe. Ceci concerne les **variables climatiques** à échelle fine nécessaires pour extrapoler les données ponctuelles et pour alimenter les modèles de processus biogéochimiques et hydrologiques. Les limites actuelles concernent ici tant **l'acquisition de données sur le terrain**, et le soutien aux stations de mesures y compris du réseau Météo-France et à des stations en haute altitude, que les **capacités fondamentales de modélisation**. En haute montagne, l'**enneigement** est une variable critique, et des efforts particuliers sont nécessaires pour mieux le quantifier par des suivis à long terme et sur un maillage pertinent, le comprendre et le modéliser.

3. – Des lacunes scientifiques sur les fonctions écologiques sous-tendant les services de régulation

Comme pour les autres milieux évalués par l'EFESE, nous avons mis en évidence des limites importantes en termes de connaissances et de données pour la quantification des services de régulation et pour l'évaluation de leurs réponses et de leur résilience aux différents facteurs de changement et à leurs interactions.

La compréhension des cycles biogéochimiques est relativement peu avancée en haute montagne. Ceci est un fait historique reflétant logiquement les investissements de recherche en termes de surface relative par exemple aux écosystèmes agricoles de basse altitude ou forestiers, ainsi que les difficultés logistiques. De plus, les caractéristiques biophysiques particulières de la haute montagne (complexité topographique et climatique, enneigement) font que les connaissances acquises pour d'autres milieux ne sont pas toutes directement applicables. La **recherche fondamentale sur les cycles biogéochimiques et hydrologiques en haute montagne** reste donc une priorité. Elle devra continuer de s'appuyer sur le **trépied observation – expérimentation – modélisation**.

Dans le cas du **cycle du carbone**, outre les lacunes de connaissance à l'échelle de la parcelle, la complexité topographique reste un obstacle majeur à la quantification des flux par les méthodes usuelles (Eddy covariance), limitant ainsi la capacité à quantifier et comprendre les effets puits / source. Il existe aussi seulement quatre stations de mesures dans l'arc alpin. De ce fait, on manque même de connaissances fines sur les effets des différents types de couverts (avant même de parler d'effets de la biodiversité) et des effets des principales variables climatiques.

De même, concernant les **flux hydrologiques, la régulation de l'érosion et les processus physiques à la base de la régulation des risques gravitaires**, même les connaissances les plus basiques sur les effets des différents types de couverts (herbacé ras, herbacé haut, mosaïque de ligneux bas, ligneux hauts…) ne sont pas disponibles.

Nous avons tout au long du rapport souligné les **impacts interactifs et cumulés de différents facteurs de changement** sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes de haute montagne. Leur connaissance reste très rudimentaire et son amélioration nécessite des efforts particuliers. L'analyse des séries de données longues – de terrain et satellitaires, est une première source de connaissances, mais elle est limitée par les données et aussi par les occurrences de combinaisons de facteurs. Ici les expérimentations telles que les manipulations combinées climatiques (sans oublier l'enneigement), de gestion, et de déposition d'azote ont un rôle essentiel à jouer, en tandem avec la modélisation mécaniste. Les **impacts cumulés aussi dans le temps** ne sont non plus pas connus, en particulier la récurrence d'événements extrêmes, ou les seuils de réponse à des pressions diffuses. Enfin, les **impacts cumulés dans l'espace** sont un réel enjeu et une lacune sévère de connaissances en particulier en ce qui concerne les changements d'usage des sols et les pollutions.

Pour finir, parce que ce sont les **bouquets de services** qui doivent être gérés, seule la connaissance des liens entre fonctions (en instantané, dans le temps et dans l'espace), c'est à dire la compréhension des bouquets fonctionnels, peut appuyer des décisions robustes.

4. – Limites des évaluations des services culturels et du patrimoine

L'évaluation des services culturels et des valeurs sociales du patrimoine est encore balbutiante pour l'ensemble des écosystèmes et des régions du monde. Nous soulignons ici quelques points spécifiques qui sont apparus prioritaires suite à l'évaluation réalisée sur la haute montagne et les milieux rocheux.

Concernant l'attractivité pour les **activités récréatives**, les données sur la **fréquentation** sont plus que lacunaires, et les analyses des **motivations** des participants par rapport aux éléments de nature doivent être poursuivies. Le cas particulier des interactions entre pratiques, pratiquants et biodiversité patrimoniale selon les saisons sont l'objet d'un intérêt de recherche actuel.

Les données spécifiques à la haute montagne concernant les pratiques de **chasse récréative et de cueillette** restent à acquérir.

Dans le cadre du présent rapport nous n'avons pas eu les moyens d'analyser les valeurs des écosystèmes rocheux et de haute montagne pour **l'éducation et la recherche**. Une première approche pourrait être réalisée par une analyse bibliographique et une analyse des initiatives de sciences participatives en plein développement.

La **notion de patrimoine** est complexe et multidimensionnelle. Des études de sciences sociales sur ce qui fait patrimoine en haute montagne (et pour qui) permettraient de commencer à mieux éclairer son évaluation. Les Parcs Nationaux et les Parcs Naturels Régionaux qui ont déjà une réflexion avancée sur leur patrimoine, y compris au travers de leurs chartes, devraient être associés à de telles recherches.

Enfin, même si l'étude et le suivi de la biodiversité patrimoniale et protégée sont rendus prioritaires par la législation, les connaissances sur les menaces sur la **biodiversité ordinaire** et sur sa dynamique sont déficientes, et doivent aussi être incluses à un agenda de recherche sur la biodiversité de la haute montagne et des milieux rocheux. Ici, une attention particulière devra être portée aux mécanismes d'adaptation au changement climatique, y compris les mécanismes d'évolution.

5. – Les besoins pour des évaluations pouvant mieux alimenter la décision

In fine, l'objectif de l'évaluation des écosystèmes et des services écosystèmes, en France comme internationalement (MAES, IPBES) est d'alimenter la décision. Nous pointons ici les principales lacunes identifiées pour les milieux rocheux et de haute montagne dans le cadre de la présente évaluation.

Le besoin de connaissances des impacts combinés de différents facteurs de changement souligné concernant les services de régulation est une première étape vers la production d'évaluations pertinentes pour la décision sur la gestion des écosystèmes. Mais elle ne peut être complète sans prendre également en compte les **interactions avec changements sociétaux** tels que la demande en services écosystémiques, les politiques publiques et in fine la planification des territoires et la gestion. Ces aspects peu représentés dans la première phase de l'EFESE devront constituer une priorité pour les évaluations futures.

Afin de produire de telles évaluations, les connaissances fondamentales sur les **liens fonctionnels entre milieux** et la connaissance des bouquets de services et de patrimoine naturel à l'échelle des paysages et régionale seront indispensables.

La **scénarisation** est un outil essentiel pour structurer des analyses multifactorielles pertinentes, intégrant les différents facteurs de changement et les contextes sociétaux. De plus les méthodes de scénarisation participative permettent aujourd'hui de produire des évaluations complexes et pertinentes des trajectoires futures des socio-écosystèmes. Ces approches sont particulièrement importantes pour la construction de trajectoires d'adaptation des territoires, comme recommandé par le second Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2017).

In fine, des décisions pertinentes ne pourront être soutenues que par des **évaluations intégrées**, combinant différentes méthodes et types de savoirs dans une optique interdisciplinaire pour rendre compte des valeurs multiples (par exemple, écologiques, socio-culturelles ou

économiques) portées par l'ensemble des parties prenantes concernées vis-à-vis de la haute montagne.

Les acteurs des territoires et les décideurs soulignent la demande de **monétarisation** des services écosystémiques de la haute montagne et des milieux rocheux, dont une évaluation selon l'état de l'art et bien encadrée et un accompagnement de la communication et du transfert vers la décision devront être organisés. L'**évaluation sociale** de la demande et des avantages des services écosystémiques est une lacune tout aussi importante à combler.

L'analyse des **flux de services écosystémiques à distance** devra être une composante importante d'une évaluation intégrée. Elle est d'autant plus pertinente que d'une part les écosystèmes de haute montagne bénéficient à des populations distantes, et que d'autre part du fait de ses handicaps naturels et par sa structure actuelle, l'économie des territoires de haute montagne a une forte dépendance aux flux régionaux et plus lointains de personnes (ex. les saisonniers ou les résidents secondaires), biens (en particulier pour l'alimentation), et de services sociaux.

Les territoires de haute montagne sont soumis à une gouvernance multi-sectorielle et multi-scalaire complexe, qui demande de pouvoir en analyser les conséquences et les opportunités pour son développement durable. Pour ce faire les analyses conjointes des **impacts environnementaux et sociaux** de cette gouvernance sont nécessaires, en particulier pour mieux anticiper les effets indirects des politiques de biodiversité, environnementales et d'aménagement du territoire mises en œuvre. En particulier, il s'agira d'analyser les réactions en chaîne des politiques environnementales et de les prendre en compte dans les études environnementales. Le concept d'**effets rebond** offre un cadre novateur pour évaluer et minimiser ces impacts. De telles analyses et la prise en compte de leurs résultats seront facilitées en encourageant les échanges à **l'interface entre sciences et action politique**, et en favorisant

le partage de savoirs et les professions transversales. Nous soulignons ici le rôle critique des **structures de R & D et d'accompagnement technique**, de suivi et contrôle des impacts des actions de gestion. Bien entendu la communication et la vulgarisation des résultats obtenus auprès des décideurs locaux et du grand public sont également essentielles. Mais les **processus participatifs** doivent être la pierre angulaire d'évaluations intégrées pertinentes pour la décision.

6. – Le cas de l'outre-mer

Au titre de la Loi Montagne il existe en France trois massifs dans les départements d'outre-mer : Martinique, Guadeloupe et Réunion. Dans le présent rapport nous avons pu aborder le cas de la Réunion, et présenter un bref aperçu pour la Guadeloupe. D'un point de vue écologique, la France comprend d'autres milieux rocheux et de haute montagne ultramarins à forte valeur écologique et patrimoniale situés dans d'autres territoires tropicaux et subtropicaux (Guyane, Tahiti…) et en particulier des **territoires antarctiques et subantarctiques**. Ces territoires mériteront l'attention d'une prochaine évaluation plus complète, avec la participation des organismes et gestionnaires compétents.

MILIEUX DE HAUTE MONTAGNE EN OUTRE-MER

Rapport annexe 1

Dans le cadre de l'évaluation des milieux de haute montagne français, une attention particulière est portée aux **espaces ultramarins** français. Les déterminants qui s'y appliquent s'apparentent à ceux décrits pour la haute montagne métropolitaine (voir rapport EFESE Haute Montagne), mais présentent des particularités liées notamment à **l'insularité** et au **caractère volcanique** des territoires concernés.

En cohérence avec la définition métropolitaine, la haute montagne ultramarine comprend l'ensemble des milieux présents en altitude **à partir de l'étage subalpin**, à l'exclusion des zones boisées. Le terme d'**altimontain** est généralement employé pour décrire l'étage écologique associé à la haute montagne en outre-mer. Dans le cadre du volet Haute Montagne des travaux de l'EFESE, les milieux d'altitude ultramarins sont approchés au travers de deux cas d'étude particuliers, centrés sur les formations de la **Réunion** (Figure 1) et de la **Guadeloupe** (Figure 2). L'ensemble des milieux altimontains d'intérêt font partie des **Parcs Nationaux** de la Réunion et de la Guadeloupe.

Auteurs :

- Volet réunionnais : Malaurie Puyal (CPP – INP Valence, stage de L2), Emilie Crouzat & Sandra Lavorel (LECA-CNRS)
- Volet guadeloupéen : Guy Van-Laere & Hervé Magnin (Parc National de la Guadeloupe)

Figure 1 : L'île de la Réunion se situe dans l'hémisphère Sud, à l'Est du continent africain. Positionnée entre l'île Maurice et Madagascar, elle se trouve dans l'océan Indien, au niveau de la limite Sud de la zone équatoriale. Le Parc National de la Réunion couvre une superficie de 1054,47 km^2 (zone centrale) et son aire optimale d'adhésion s'étend sur 878 km^2.
Source : Google Maps – PNR

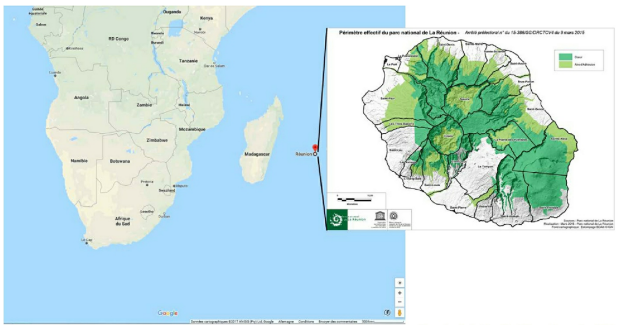
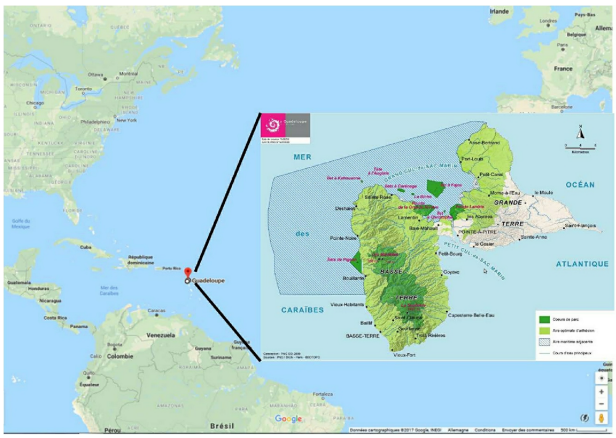


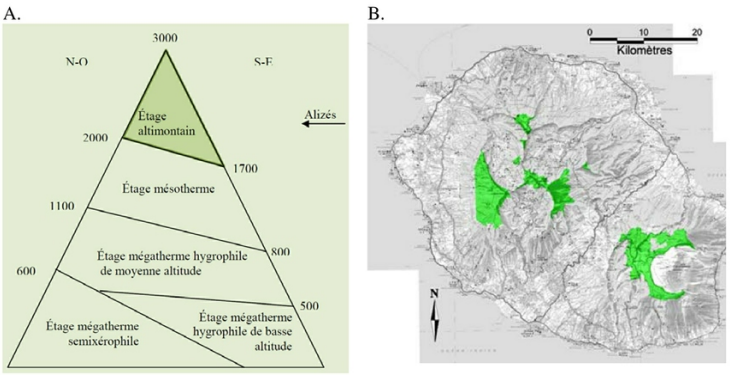
Figure 2 : La Guadeloupe, petit archipel des Antilles situé dans la mer des Caraïbes, se trouve à environ 6 700 km de la France hexagonale et à 600 km au nord des côtes de l'Amérique du Sud. Le Parc National de la Guadeloupe couvre une superficie de 380 km^2 (zone centrale) et son aire optimale d'adhésion s'étend sur 940,65 km^2.
Source : Google Maps – PNG



La haute montagne à la Réunion

La Réunion est une **île volcanique** de l'archipel des Mascareignes et un département français d'outre-mer (Figure 1). D'une superficie de 2512 km^2, l'île compte 842 767 habitants en 2014[1]. La haute montagne réunionnaise comprend l'ensemble des milieux présents en altitude à partir de l'étage subalpin, ou altimontain (Figure 3), à l'exclusion des zones boisées.

Figure 3 : Délimitation de l'étage altimontain à la Réunion. A. Pyramide des étages de végétation de la Réunion. Source : Cadet, T. 1980. B. Cartographie de l'étage altimontain à la Réunion.
Source : Cahier des habitats 2011



1. – Partie I – Milieux d'altitude de l'île de La Réunion

1) – Grands ensembles biogéographiques

Le contexte géologique spécifique de l'île de La Réunion lui confère une singularité importante en termes biophysiques et écologiques. Deux volcans, le piton des Neiges et le piton de la Fournaise, ont formé l'île. Ces deux pitons ont donné naissance à trois cirques et plusieurs remparts suite aux éruptions volcaniques successives et aux mouvements tectoniques. Trois formations géologiques de la haute montagne sont présentées ci-après : les pitons, les cirques et les remparts (Figure 4).

Figure 4 : Carte de situation de la Réunion, Département 974

a) – Pitons

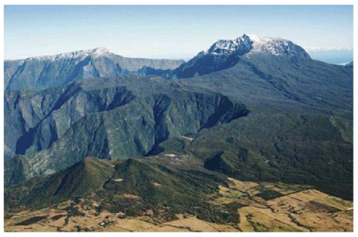
A La Réunion, le terme "piton"[2] désigne les deux grands massifs volcaniques : le piton des Neiges et le piton de la Fournaise.

Le massif du **piton des Neiges** (Figure 5. A) est un stratovolcan[1], c'est-à-dire un volcan formé de couches stratifiées de lave ou de lave et de cendres[3]. Le sol en surface est de ce fait composé de **matériaux magmatiques** provenant des éruptions passées. Le volcan est aujourd'hui endormi ; l'érosion due à une forte pluviométrie ainsi qu'à la friabilité des roches a façonné l'île et ses trois cirques. A une altitude de 3070m[1], le piton des Neiges est le sommet le plus haut de l'île. Son édification s'est déroulée en plusieurs temps du fait de la discontinuité de l'activité volcanique[4].

Distant d'une trentaine de kilomètres, le **piton de la Fournaise** (Figure 5. B) est un volcan qui compte parmi les plus actifs de la planète. Il culmine à 2632 m[5] et son massif couvre près d'un tiers de la surface de l'île[6]. Tout comme le Piton des neiges, c'est un stratovolcan ainsi qu'un volcan à point chaud, alimenté par un manteau sous-jacent relativement plus chaud que

la moyenne. Il est constitué d'un large dôme et ceinturé de falaises appelées remparts[5].

Figure 5 : Les deux grands massifs volcaniques de l'Ile de la Réunion :
A. Massif du piton des Neiges. Source : Comité régional de tourisme de la Réunion.
B. Piton de la Fournaise. Crédit photo : Hervé Douris.



Le volcanisme de l'île de La Réunion est un phénomène géologique favorable à la création d'un **sol colonisable par la végétation**. A chaque éruption, des matériaux volcaniques sont déposés le long des coulées et des particules de plus petite taille sont projetées à distance de la bouche éruptive. Pauvres en silices mais riches en minéraux (Fer, Magnésium, Potassium, Calcium…)[7] ces matériaux vont subir un **processus d'altération**, qui peut être rapide notamment pour les particules de petite taille et dans des conditions humides et chaudes[7]. Les matériaux volcaniques subissent ainsi un phénomène d'argilisation[7] qui les rend **assimilables directement par les végétaux**, donnant naissance à un substrat favorable à l'implantation de la végétation. A l'échelle de l'île, la diversité des substrats rocheux ne semble pas constituer un facteur discriminant majeur vis-à-vis de l'implantation et du développement végétal, essentiellement conditionnés en altitude par le **relief**, le **climat** et la **structure du matériau rocheux**. Ainsi, un fort taux de division de la roche induit une colonisation végétale plus lente que sur des coulées à surface continue, mais une fois la végétation pionnière installée, l'évolution des groupements végétaux y est plus rapide (Cadet, 1974).

b) – Cirques et remparts

"En géographie, un cirque désigne une enceinte naturelle aux parois abruptes, généralement de forme circulaire ou semi-circulaire, installée sur les flancs d'un massif montagneux"[8]

Les cirques et remparts résultent de la conjugaison de phénomènes gravitaires tels que les contraintes volcaniques, de l'érosion et de coulées de laves. Le piton des Neiges, par ces différents facteurs, a induit la formation de trois cirques : le cirque de Mafate, le cirque de Salazie et le cirque de Cilaos. Formant un as de trèfle autour du piton des Neiges, chacun de ces cirques possède une morphologie propre[8].

Les cirques se modèlent au fur et à mesure du temps, au gré des différents climats. Ils sont tous trois entourés de remparts donnant ce paysage unique de l'île. Ils possèdent la même composition rocheuse que le piton d'où ils proviennent.

Il existe différent types de remparts selon leurs conditions de formation[9] :

- Les remparts rectilignes, en bordure de rivière, présentent un aspect vertical souvent vertigineux ;

"En géographie, un rempart est une particularité réunionnaise. A l'image des constructions humaines, il désigne ici des parois vertigineuse, d'âges et d'origines variés, qui marquent puissamment le relief en de grandes lignes directrices"[9]

- Les remparts curvilignes sont issus d'un effondrement après des phénomènes d'éruption volcanique, d'érosion torrentielle ou de glissements de terrain de grande ampleur ;
- Les remparts de forme complexe résultent d'une combinaison des facteurs précédents et sont largement représentés à La Réunion.

Le **cirque de Mafate** (Figure 6. A) possède des remparts vertigineux, avec un paysage déchiqueté laissant peu de zones planes. De forme grossièrement ovale, il s'étire sur 14 km du Nord au Sud pour une largeur d'environ 7 km. On y trouve de hautes cloisons basaltiques ainsi que des vallées profondes entrecoupées par la Rivière des Galets le traversant dans toute sa longueur[10]. Il est séparé en 3 compartiments par des crêtes difficiles à franchir pour l'Homme. Ce cirque s'étale de 250 m à 3019 m d'altitude[11]. Les précipitations et éboulements redessinent perpétuellement le paysage de ce cirque et influencent les dynamiques de sa végétation ainsi que les activités humaines (par exemple à la suite du passage d'un cyclone, de nombreux sentiers sont fermés pour risques d'éboulements[13]). Quelques centaines d'habitant y vivent, occupent et cultivent neuf replats appelés « îlets » et positionnés à différentes altitudes[12]. Aucune route ne dessert l'intérieur du cirque, l'accès se fait à pied ou en hélicoptère. Le cirque est donc quasiment dépourvu d'ouvrages, d'infrastructure ou d'installations industrielles, seuls les équipements concernant le captage de l'eau et la production d'électricité sont présents. La faune est assez discrète mais on y trouve des "cabris marrons", chèvres retournées à l'état sauvage parcourant les remparts et escarpements[11]. Mafate fait partie du Parc national de la Réunion créé en 2007. C'est le cirque le plus difficile d'accès mais le plus recherché par les touristes en raison de sa faible anthropisation.

Le **cirque de Salazie** (Figure 6. B) est le plus arrosé des trois cirques, il possède de multiples cascades, ainsi qu'une végétation dense. Situé aux alentours de 1000m, il possède un accès plus facile par une unique route, et en son centre trône le piton d'Anchaing (1352m) lui valant son intégration au Patrimoine mondial de l'UNESCO[14]. 7132 habitants vivent en son cœur[15].

Enfin, le **cirque de Cilaos** (Figure 6. C) est accessible depuis 1973 par la route départementale appelée « la route aux 400 virages » serpentant au pied des parois[16]. 5295 habitants y vivent (donnés de 2014)[17]. Connu

pour ses thermes d'eaux gazeuses ferrugineuses, il fait aussi partie du Patrimoine mondial de l'UNESCO.

Les cirques de Cilaos et de Salazie connaissent une **population croissante** car le développement de départementales pour y accéder facilite les approvisionnements et les conditions de vie des habitants des cirques. A l'inverse, le cirque de Mafate reste encore très difficile d'accès. La faible anthropisation du milieu en accord avec le peu d'habitations en son cœur le rend attractif pour les touristes. La description de ces cirques reste peu développée, à l'exception des aspects touristiques généralement bien renseignés. En ce qui concerne les remparts, les données sont très difficiles à identifier et mobiliser.

Figure 6 : Cirques de l'ile de la Réunion.
A. : Cirque de Mafate. Source : Notre-planète info.
B. : Cirque de Cilaos. Crédit photo : Hervé Douris.
C. : Cirque de Salazie Crédit photo : Hervé Douris.

Peu de sources scientifiques d'information ont pu être identifiées concernant la biodiversité spécifique associée aux cirques et remparts de La Réunion. Leur **attractivité culturelle, récréative et patrimoniale** est par contre plus largement mise en avant par diverses ressources d'information touristique.

« Les cirques, remparts et Pitons appartiennent au patrimoine mondial de l'humanité de l'Unesco depuis 2010 » [18]

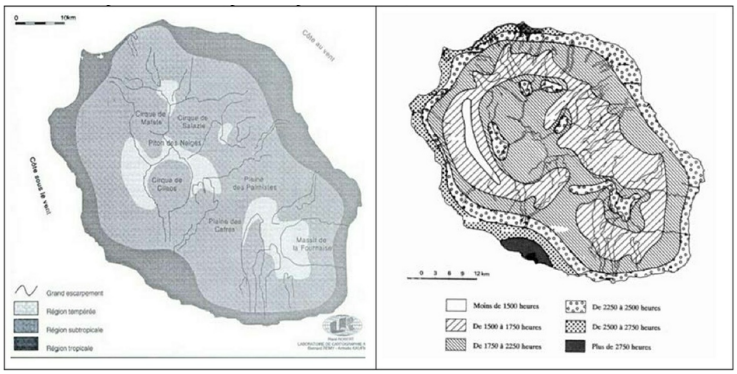
Le lecteur est renvoyé au volet **Milieux Rocheux de l'EFESE** pour développer les spécificités et le fonctionnement écologique des milieux rupestres de l'île.

2) – Caractéristiques climatiques

a) – Les différents climats

Le climat réunionnais se caractérise par sa **grande variabilité** en raison de l'imposant relief de l'île. Ces variations de climat et la présence de nombreux **microclimats** induisent une variabilité importante de la végétation au sein de l'île. Celle-ci peut être découpée en trois régions climatiques (**Figure 10**). La haute montagne réunionnaise est concernée par les **climats tempérés et subtropicaux** (présentées par les deux nuances les plus claires sur la Figure 7. A). Les sommets des pitons ont un climat tempéré[20] (moins de 4000°/j) et les pentes inférieures (remparts, cirques) un climat subtropical[20] (4000 à 8000°/j), par calcul de "chaleur cumulée" (i.e. par l'addition des températures moyennes de chaque journée, si celles-ci sont supérieures à 10°C, pour une période d'un an).

Figure 7 : Caractéristiques climatiques de la Réunion ;
A. : Régions climatiques calculées par la méthode de chaleur cumulée,
B. Carte de l'ensoleillement annuel moyen de la Réunion.
Source : Raunet, 1991.



b) – L'ensoleillement et les températures

En haute montagne, l'ensoleillement annuel varie entre 1500 et 2500 heures (Figure 7. B). La forte variabilité d'ensoleillement s'explique en partie par la **couverture nuageuse** qui s'accroche fréquemment sur les parties hautes du relief imposant de l'île. Cette large gamme de durée d'ensoleillement, couplée à une pluviométrie hétérogène à l'échelle de l'île, engendre des conditions d'habitat variées favorables à différents types d'espèces végétales.

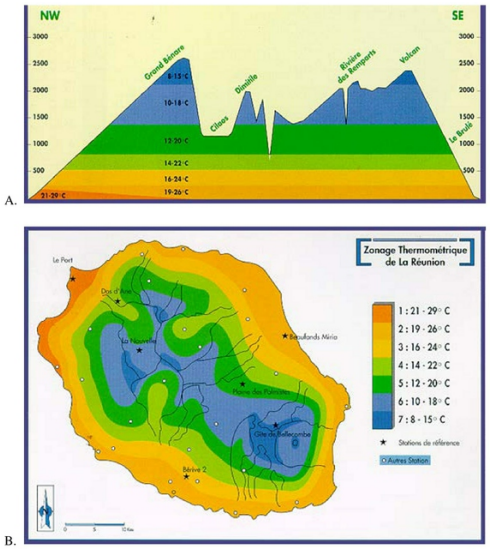
L'année se divise en **deux saisons australes**, selon le régime climatique de l'île :

l'été austral (janvier-mars) : la saison est chaude et humide. Dès 1000m, les températures varient entre 10 et 24°C[21] et ne dépassent jamais les 17°C dans les hauts sommets[22]. C'est aussi la saison des cyclones tropicaux et celle des pluies, au cours de laquelle les principales précipitations de l'île sont reçues.

l'hiver austral (mai-novembre) : la saison est sèche, plus fraîche. Les températures sont comprises entre 8 et 21°C aux abords des 1000m[21] et au niveau des sommets celles-ci ne dépassent pas 12°C[22]. Les pluies peuvent encore être importantes sur la partie Est et les contreforts des pitons.

Les mois d'Avril et de Décembre sont des mois de transition entre ces deux saisons aux caractéristiques variables.

Figure 8 : Zonages thermométriques de l'ile de la Réunion. A. Profil altitudinal, B. Vue à plat.
Source : BEI 1998.



En haute altitude (bleu foncé et bleu clair sur la Figure 8), les **températures sont plus fraiches** toute l'année qu'à plus basse altitude, en corrélation avec **l'ensoleillement plus faible** à ces hauteurs. De plus, les sommets peuvent atteindre des températures négatives au cours de certaines nuits avec formation de givre et de plaques de glace. Des processus périglaciaires peuvent également apparaître et de la neige peut se déposer sur les sommets des pitons, comme observé en 2003 et 2006[23]. Ces caractéristiques climatiques **contraignent le développement végétal** selon des processus similaires à ceux décrits dans le volet Haute Montagne de l'EFESE (Partie I).

La température moyenne annuelle de l'étage subalpin, ou altimontain, se situe entre 6 et 8°C avec des variations pouvant aller de -2 à 15°C[24].

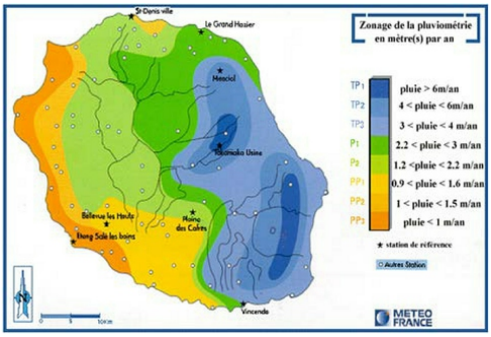
c) – *Les précipitations*

Il existe deux catégories de précipitations au niveau de l'île :

Les précipitations d'origine advective : passage de perturbations nuageuses provenant du large réunissant les ondes circulantes dans les courants d'alizés, les perturbations tropicales, les remontées d'origine polaire et les cyclones ou dépressions tropicales[22].

Les précipitations liées aux phénomènes convectifs : développement nuageux sur les reliefs dans la matinée, averses dans les hauts à partir de la demi-journée et étalement sur le littoral dans l'après-midi causé par les alizés[22].

Figure 9 : Pluviométrie annuelle de la Réunion (m/an).
Source : BEI, 1998.



Les précipitations sur l'île sont **très inégales** et, notamment sous l'influence du relief, varient de moins d'un mètre de pluie par an à plus de six mètres annuels (Figure 9). La pluviométrie est globalement **faible sur la côte Ouest** alors que celle-ci est très **élevée sur la côte Est**, côté au vent directement exposé à l'humidité océane. En particulier, au cours de la saison sèche, la pluviométrie est quasiment nulle sur la côte Ouest, alors que sur la côte Est une pluviométrie d'environ 700 mm sur les pitons est mesurée, ce qui dépasse la pluviométrie annuelle de Paris[22]. Au sud-est de l'île, les pentes du piton de la Fournaise sont caractérisées par une zone très pluvieuse où les précipitations dépassent 8 m/an[24]. A l'inverse, à l'ouest de l'île, la pluviométrie est plus faible au niveau des cirques où elle se situe entre 1.25 et 1.5 m/ an[24]. Enfin au niveau

du piton des Neiges, elle est comprise entre 2 et 3.5 m/an[24]. Ces conditions climatiques variées créent des **conditions d'habitat diversifiées** à l'échelle de l'île et sont favorables à des groupements végétaux distincts.

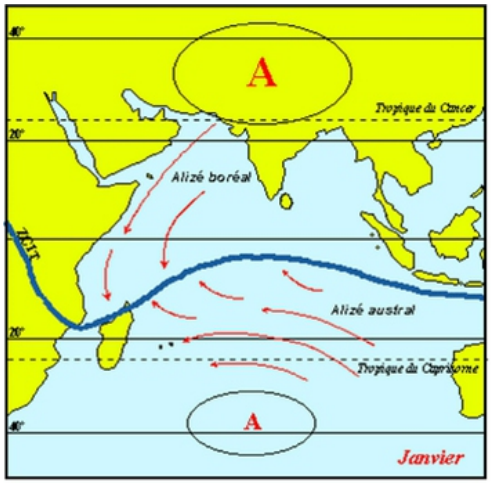
"Cette variation spatio-temporelle de la pluviométrie pose de gros problème pour la gestion de l'eau sur l'île"

La pluviométrie annuelle dépend aussi de l'occurrence de **cyclones** qui vont entraîner de fortes précipitations sur leur passage. La Réunion détient le record mondial de pluviométrie pour des périodes de 12 heures à 15 jours. Par exemple, en 10 jours en 1980, le cyclone Hyacinthe a précipité 5678 mm d'eau dans le cratère de Commerson (2310 m d'altitude), ce qui correspond environ à neuf années de précipitations cumulées à Paris.

d) – Les « vents »

Les variations climatiques en haute montagne sont sous l'influence de la distribution des courants atmosphériques à plus large échelle (Figure 10) :

Figure 10 : Alizés et Zone de Convergence Intertropicale durant l'été austral.
Source : BEI, 1998.



Les **Alizés** sont des vents irréguliers soufflant d'Est en Sud-Est à la Réunion. Ils ont une activité maximale durant l'hiver austral. L'apparition des Alizés durant cette période implique une inversion thermique nette entre 1800 et 3000 m d'altitude, car l'air chaud d'altitude fait obstacle aux courants ascendants ne pouvant plus se développer au-delà de cette couche. Les Alizés résultent d'un gradient entre les hautes pressions subtropicales et les basses pressions équatoriales[22].

La **Zone de Convergence Intertropicale** (ZCIT) est le lieu de convergence entre les Alizés de l'hémisphère Nord et de l'hémisphère Sud. C'est au niveau de cette zone que se forment des cumulonimbus (nuage de la plus grande extension verticale) générant de fortes précipitations. Cette zone de basse pression se déplace au cours de l'année et se situe au niveau de la Réunion durant l'été austral, générant de fortes pluies[22].

3) – Typologie des habitats de haute montagne à La Réunion

Les zones montagneuses, rocheuses et pentues de la Réunion représentent des habitats contraignants qui ne sont favorables qu'à des espèces adaptées à ces conditions particulières. Soumis aux conditions climatiques des hautes altitudes, un paysage de **landes** s'est mis en place. Il est formé de **fourrés éricoïdes** (aspect de bruyère), dominés par les brandes et les ambavilles et par des bosquets de petit tamarin des hauts. Sur les parties sommitales de l'île, la végétation se fait rare et discrète. On observe différentes **formations végétales herbacées et arbustives** en fonction de la structure des substrats sur lesquels elles se développent (substrats compacts, grossièrement divisés, finement divisés). Le **Conservatoire Botanique de Mascarin** propose dans son Cahier des habitats une typologie détaillée de l'étage altimontain et de la zone de transition adjacente vers laquelle le lecteur est renvoyé (CBM 2011, 2014)[24]. Cette typologie contient des informations sur les **groupements**, les éléments de **diagnostics écologiques et structuraux** ainsi que des **lieux de référence** associés aux formations suivantes :

végétation herbacée altimontaine des s**ubstrats compacts**

végétation herbacée altimontaine des **substrats finement divisés**

végétation arbustive altimontaine des **substrats compacts à grossièrement divisés**

végétation arbustive altimontaine des **substrats finement divisés**

végétation herbacée et arbustive altimontaine **de transition vers le mésotherme**.

Par ailleurs, un travail de **cartographie des groupements végétaux** principaux de l'ile a été mené récemment par l'Office National des Forêts (Figure 11). Les groupements associés à la haute montagne sont les suivants :

Forêt de tamarin des hauts

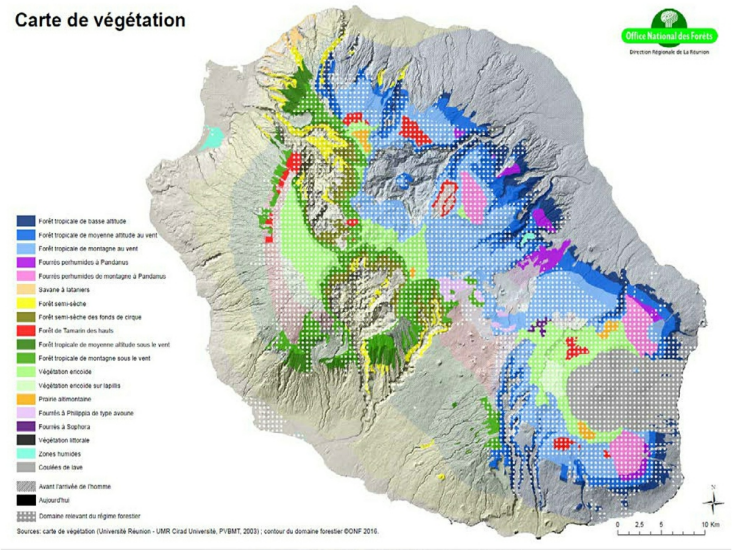
Végétation éricoïde

Végétation éricoïde sur lapilli

Prairie altimontaine

Fourrés à Sophora.

Figure 11 : Carte de végétation de l'ile de la Réunion.
Source : ONF 2016.



4) – Endémisme : faune et flore

Espèce endémique : espèce indigène qui s'est progressivement différenciée des populations initiales, créant de nouvelles espèces, dites endémiques, qui n'existent nulle part ailleurs dans le monde et se trouvent dans un territoire limité (île, archipel, massif montagneux)[25].

Espèce indigène : espèce arrivée sur l'île par des moyens naturels et présente avant l'arrivée de l'homme sur l'ile[25].

Espèce exotique : espèces exotiques qui ont été introduites, volontairement ou non, par l'Homme[25].

a) – La faune

La diversité de la faune réunionnaise est plus faible que celle de sa flore. Toutefois, La Réunion possède de nombreuses espèces **endémiques** que ce soit au niveau des oiseaux, reptiles ou insectes

(Tableau 1). La faune, originaire d'Afrique et d'Asie, a colonisé l'île par les airs ou par l'océan[26]. Cette biodiversité indigène s'est progressivement différenciée des espèces originales, constituant la richesse endémique de l'île de la Réunion. **Très peu de prédateurs** indigènes habitent l'île de La Réunion, la faune indigène ne présente donc que peu de comportements réflexes de fuite.

La répartition globale des taxons en fonction de leur indigénat ou endémisme n'a pas pu être obtenue pour la faune réunionnaise, de même que l'estimation du nombre total de taxons actuellement présents sur l'île à l'étage altimontain

Tableau 1 :

Exemples d'espèces animales endémiques de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat.
Source : Parc National de la Réunion.

Gecko vert de Bourbon[26] (crédit photo : Romuald Meigneu)	***Busard de Maillard***[26] *(crédit photo : Jean-François Bègue)*
Habituellement situé entre 400 et 600 m d'altitude, on le retrouve aussi au Maïdo à 2200 m d'altitude[27]. Mais l'espèce est menacée par l'invasion de son habitat par l'Ajonc d'Europe (arbuste épineux) et les incendies. Généralement dans les arbres, en altitude on pourra l'observer sur des falaises rocheuses. L'espèce est classée en danger. *"La forte prédation par les rats conduit les lézards à se réfugier dans les kiosques ou les poteaux métalliques installés dans les forêts indigènes."* **Espèce non permanente des hautes altitudes.**	Dernier rapace nicheur de l'île et aussi seul prédateur de celle-ci. Il peut se rencontrer dans tous les types de milieux, même au-dessus des zones urbaines. Inféodé aux milieux forestier, la déforestation de l'île l'a conduit à coloniser les zones ouvertes et agricoles. Il se nourrit de nouvelles proies : rats, lézards. Il est sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN de 2008. *"Ses vols à basse altitudes et en zone dégagée les soumettent à des collisions avec des câbles électriques, voitures, braconnage, empoisonnement secondaire dus aux traitement de raticides."* **Espèce non permanente des hautes altitudes.**
Oiseau blanc[26] *(crédit photo : Benoit Lequette)*	***Pétrel de Barau***[26] *(crédit photo : Benoit Lequette)*
Présent sur l'ensemble de la réunion, du littoral jusqu'à 2500 m d'altitude, il se trouve dans la plupart des habitats[27]. Protégé par l'arrêté ministériel du 17/02/1989, il est interdit de le chasser, de le maintenir en captivité, ou de le déranger. *"Selon les régions de l'île, il présente des différences de couleur, au moins 4 variations morphologiques de couleurs ont été décrites sur l'île. C'est un cas unique sur un si petit espace géographique."* **Espèce non permanente des hautes altitudes.**	Il ne vit sur l'île de la Réunion que durant la période de nidification. Il niche à une altitude élevé et ne fait pas de nids mais creuse un terrier. Victime des rats et chats durant leur reproduction, les éclairages des villes lui sont aussi nocifs car il les confond avec le scintillement de la surface de l'eau. *"Il figure depuis 1988 sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme espèces en danger d'extinction"* **Espèce vivant dans les hautes altitudes.**
Tarier de la Réunion[26]	***Echenilleur de la Réunion, "Tuit-Tuit"***[26]

(crédit photo : Benoit Lequette)	*(crédit photo : Benoit Lequette)*
Depuis les forêts de bois de couleurs des bas du sud de l'île jusqu'au sommet du piton des Neiges, la Tarier de la Réunion se déplace entre 600 et 2800m d'altitude[27]. Il fréquente ainsi les environnements dégradés par d'anciennes coulées de laves. Construisant son nid sous la mousse, directement au sol, il reste très vulnérable à la prédation des chats et rats. *"Protégé par arrêté ministériel du 17 février 1989. Sa population est stable et peu menacée grâce à sa capacité d'adaptation aux milieux dégradés"* **Espèce non permanente des hautes altitudes.**	Oiseau forestier, on le retrouve entre 1000 et 1800 m d'altitude au niveau de Plaine et de la roche Ecrite[27]. Il reste confiné sur son territoire même s'il en existe d'autres aux biotopes similaires. La réserve naturelle de La roche Ecrite est créée en 1999 afin de le protéger dans son milieu naturel. Il appartient à la liste rouge des espèces menacées de l'UICN de 2008 *"Son statut d'espèce en danger critique d'extinction est la conséquence de la prolifération des rats et chats sauvages qui menacent ses nids et mangent ses œufs"* **Espèce non permanente des hautes altitudes.**
Pétrel noir de Bourbon[26] *(crédit photo : Benoit Lequette)*	***Oiseau vert***[26] *(crédit photo : Benoit Lequette)*
Il parcourt des centaines de kilomètres chaque jour. Il niche sur les massifs montagneux mais la localisation de ces sites de nidification reste méconnue. Les derniers terriers découverts ne sont pas en haute montagne. Il souffre d'un manque de connaissances sur ses besoins écologiques et biologiques. "*Il figure depuis 1994 sur la liste rouge des espèces en danger critique d'extinction au niveau mondiale*" **Espèce vivant dans les hautes altitudes.**	Oiseau forestier que l'on trouve entre 500 et 2500 m d'altitude[27]. Il affectionne les bois de fleurs jaunes que l'on retrouve à l'étage altimontain. **Espèce non permanente des hautes altitudes.**

b) – La flore

La dissémination naturelle des végétaux arrivant sur l'île de la Réunion est obligatoirement passive (courant marin, vent, cyclone, oiseaux…). Isolée dans l'Océan Indien et difficile à atteindre, seules certaines espèces ont réussi à s'implanter à la Réunion. Près de 70 % de la flore provient de Madagascar et de l'Afrique de l'Est[24]. De la même manière que pour la faune, cette biodiversité indigène s'est progressivement différenciée des espèces originales, constituant la richesse endémique de l'île de la Réunion. Sur l'ensemble de la flore vasculaire, le CBM a recensé **37 % de taxons indigènes et 47 % de taxons endémiques** avec plus de 30 % d'espèces endémiques strictes à la Réunion[24] (Figure 12**, Tableau 2**).

Figure 12 : Statut d'indigénat global de la flore vasculaire recensée dans l'altimontain. Source : CBNM 2011

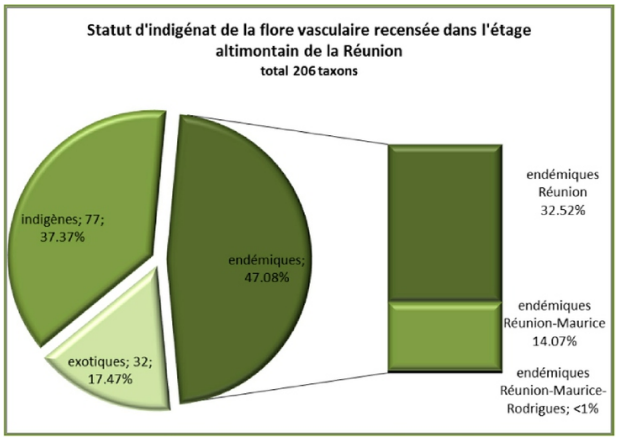


Tableau 2 :

Exemples d'espèces végétales endémiques de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat.
Source : CBM - Cahier des habitats de l'étage altimontain, 2011.

Melicope segregis[24] Cet arbrisseau hémisciaphile hygrophile, appelé Bois de catafaye, est endémique stricte de La Réunion et très rare. Il est connu du centre de l'île à des altitudes transitionnelles entre les étages mésotherme et altimontains. Il est en danger d'extinction du fait de sa très petite population (<50 individus matures) et de sa zone d'occupation restreinte.	***Sophora denudata***[24] Cet arbuste endémique strict de la Réunion, est typique de la végétation de haute altitude et constitue à maturité des fourrés à haute valeur patrimoniale. Il est actuellement en danger d'extinction, du fait de la réduction drastique de sa zone et de la qualité des habitats.
Eriotrix lycopodioides[24] Ce sous-arbrisseau très ramifié plutôt rare est une astéracée endémique stricte de La Réunion. Il recolonise préférentiellement les éboulis de substrat basaltique au sein de l'étage altimontain, dans les deux massifs du piton des Neiges et de la Fournaise, notamment dans les secteurs de remparts, préservés du feu et du pâturage.	***Faujasia squamosa***[24] Ce sous-arbrisseau, densément feuillu, rare, est une astéracée endémique stricte de La Réunion. Inféodé aux zones rocheuses subhumides d'altitude, on le trouve à la faveur de résurgences à l'interface de deux coulées massives, que ce soit au niveau des ravines, où il ceinture parfois les bassins rocheux d'altitude, ou encore à flanc de rempart.
Heterochaenia rivalsii[24] Cette grande campanulacée est l'une des plus spectaculaires et originales plantes endémiques de l'île de la Réunion. L'espèce, essentiellement inféodée aux corniches et parois des ravines et remparts de l'étage altimontain, dans les deux massifs du piton des Neiges et de la Fournaise, est peu fréquente, peu abondante mais n'était jusque-là peu menacée en raison de son habitat. Une publicité récente popularise cette plante, jusque-là ignorée, sous le qualificatif "d'arbre de Noël" et lui fait désormais courir un risque de prélèvement.	***Psiadia sericea***[24] Ce sous-arbrisseau de la végétation altimontaine, assez rare, est également une astéracée endémique stricte de La Réunion, parfois confondue avec *Psiadia callocephala*, dont il ne diffère que par la pilosité de ses feuilles.

2. – *Partie 2 - Facteurs de changement des milieux d'altitude*

Les espaces naturels occupent la majeure partie du territoire réunionnais. L'UNESCO a classé 40 % de ce territoire au **Patrimoine mondial de l'humanité** en 2010, ce qui correspond à la délimitation du parc national de la Réunion aujourd'hui[1]. Une grande proportion de l'étage altimontain fait l'objet de ce classement au patrimoine mondial de l'Unesco, en particulier les deux massifs volcaniques du piton de la Fournaise et du piton des Neiges, les remparts qui délimitent l'intérieur des cirques et le piton d'Anchaing[1]. Malgré ces statuts de protection, de nombreux facteurs de changement sont visibles sur l'île et peuvent induire des modifications de l'environnement et des services écosystémiques associés (Tableau 3).

Tableau 3 :

Principaux facteurs de changement des écosystèmes altimontains de l'île de La Réunion.

Facteurs d'origine biophysique	Activité volcanique
	Recolonisation des laves par la végétation
Facteurs d'origine anthropique	Les activités liées à l'Homme
	Les incendies
	Les espèces invasives : faune et flore
	Le changement climatique

1) – Les facteurs d'origine biophysique

La haute montagne sur l'île de la Réunion est concernée par quatre aléas majeurs : **mouvements de terrain** causés par les nombreuses précipitations, **éruptions volcaniques**, **séismes** et **feu** de forêts[2]. Ces risques s'exercent de manière hétérogène sur l'île. Dans la zone Sud-Est, au niveau du piton de la Fournaise, les milieux de haute montagne subissent principalement des pressions volcaniques avec des coulées et des projections mais connaissent aussi des mouvements de terrains. Dans

l'autre moitié de l'île, au niveau du piton des Neiges, l'activité volcanique étant éteinte, les pressions sont surtout dues aux mouvements de terrains (Figure 13).

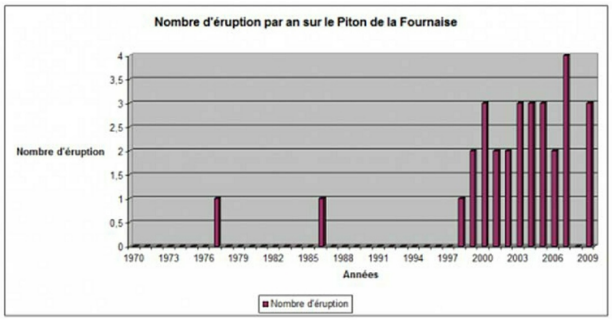
Figure 13 : Risques naturels de la Réunion.
Source : WordPress, mars 2016

a) – L'activité volcanique

Le volcan du piton des Neiges est aujourd'hui endormi mais le piton de la Fournaise, relativement jeune avec ses 530 000 ans, présente une structure encore instable[3] et figure aujourd'hui encore parmi les plus actifs du monde. Les coulées de laves dévalent régulièrement les pentes vers l'océan agrandissant et créant une nouvelle topographie de l'île (nouveaux pitons, nouveaux cratères…).

L'activité volcanique du piton de la Fournaise n'est pas constante et s'est renforcée ces vingt dernières années (Figure 14). Depuis les années 2000, **une éruption est constatée tous les dix mois en moyenne**[4] avec souvent plusieurs éruptions dans la même année. 95 % des coulées sont cantonnées dans l'enclos Fouqué[5] (2401m) qui est la plus récente des caldeiras formées par le piton de la Fournaise[6].

Figure 14 : Nombre d'éruption par an du piton de la Fournaise.
Source : tpe-volcans, 2010.



L'activité volcanique annuelle du piton de la Fournaise entraine un **risque certain pour les populations** qui qui se situent dans les étages inférieurs de l'île. Lors d'éruptions du piton de la Fournaise, les laves émises restent en grande partie dans l'enclos Fouqué, non habité, mais où de nombreux **promeneurs** se rendent pour admirer le paysage. Une étude du BRGM a été menée sur l'île pour une évaluer le risque volcanique et améliorer la gestion de crise[21]. La finalité était la préparation de documents portant sur la caractérisation des effets des éruptions du piton de la Fournaise pour la préparation du dispositif ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile). Ce document constitue le socle commun de la réponse de sécurité civile aux évènements de crise, quelle qu'en soit l'origine : cyclone, feu, secours en montagne… Dans le cas du volcanisme, dès que les observatoires volcaniques observent une activité hors norme du volcan, les sentiers amenant à l'enclos Fouqué sont fermés et son accès devient interdit. Il existe différent degrés d'alerte, détaillés dans le document officiel de l'ORSEC fournit par les services de l'état à la Réunion[22].

b) – La recolonisation des laves par la végétation

Les éruptions volcaniques fréquentes et l'abondance des coulées de lave **renouvellent continuellement la végétation** aux alentours des pitons. Le passage des laves sur la végétation leur est mortel, rendant le sol stérile.

Cependant après quelques années, lorsque les laves sont complètements refroidies et solidifiées, des processus de colonisation végétale se mettent en place.

Ce processus s'exécute en quatre étapes[7] (Figure 15) :

Un ou deux ans après l'éruption, **stade pionnier à lichens :** les lichens, adaptés aux conditions de vie extrêmes, puis les mousses vont se glisser dans les anfractuosités des roches, où des conditions microclimatiques plus humides vont favoriser le développement des graines apportées par le vent.

Sept à huit ans après l'éruption, **stade pionnier à fougères héliophiles :** les lichens et mousses initient la formation de sol dans les anfractuosités des roches, permettant aux graines de fougères héliophiles de germer. Elles vont à leur tour, en se renouvelant, contribuer à enrichir le sol en matière organique. Cette dynamique met plus de temps à apparaitre en altitude car l'intensité lumineuse, nécessaire au développement des fougères, est moindre par rapport aux basses altitudes.

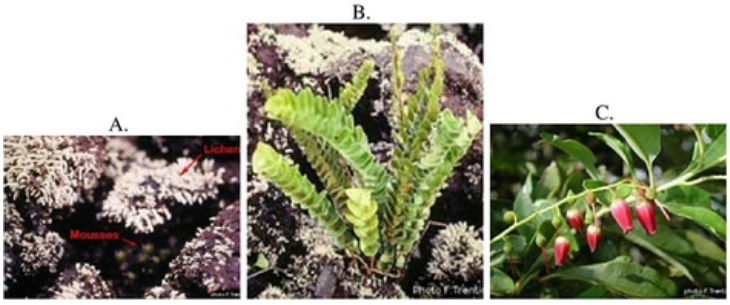
Douze à treize ans après l'éruption, **stade pionnier à Bois de rempart :** la végétation arbustive de Bois de rempart se met en place. Cette espèce indigène de la Réunion se retrouve entre 1000 et 2 500m d'altitude, et ses graines légères sont apportées par le vent. En association, de nombreuses espèces herbacées héliophiles vont s'implanter. Aujourd'hui ce stade pionnier se modifie peu à peu du fait de la colonisation par deux plantes exotiques invasives : le Filaos et le bois de Chapelet.

Deux à Trois siècle après l'éruption, **développement d'une strate arborée**. Le sol s'étant épaissi au fur et à mesure des années, les arbres et arbustes, comme ceux de la forêt de bois de couleurs des Bas que l'on retrouve sur le Grand Brûlé, vont progressivement recouvrir toute la surface du sol, au détriment des espèces végétales pionnières héliophiles. La coulée n'est plus perceptible à ce stade, il n'en reste que quelques roches encore visibles. Le développement de la forêt est favorable à la colonisation des milieux par les oiseaux. Cependant, l'arrivée des bois

de Filaos (conifères) limite le développement de la végétation sous-jacente, dont les graines n'atteignent pas le sol recouvert d'aiguilles nombreuses. En conséquence, ces habitats forestiers deviennent moins favorables pour de nombreux animaux disséminateurs.

La haute montagne réunionnaise est concernée par les trois premiers stades décrits ci-dessus, car les successions végétales n'atteignent pas le stade forestier en raison des contraintes climatiques notamment.

Figure 15 : Etapes de colonisation végétale suite à une coulée volcamique. A. Mousses et lichens, B. Fougère héliophile, C. Bois de rempart. Crédit photo : Trentin. F.



2) – Les facteurs d'origine anthropique

a) – Les usages humains

Le pastoralisme

L'arrivée de l'homme sur l'île de la Réunion au cours du XVIIème siècle a entrainé de nombreux changements sur le fonctionnement des écosystèmes. A basse altitude notamment, les activités agricoles se sont développées, mais les reliefs trop abrupts de la haute montagne n'y ont pas permis l'implantation de cultures. Pour cette même raison, l'installation de l'Homme permanente en altimontain demeure difficile, notamment du fait du manque de surfaces planes. Ces contraintes **limitent aujourd'hui encore les impacts anthropiques** sur les Hauts de l'île[8].

Les hauts de l'île, dont les sols pauvres et la rigueur du climat[27] ne permettent pas la mise en culture, sont le support d'une **activité extensive d'élevage**. A l'étage altimontain, le massif du Maïdo et le piton de la Fournaise sont parcourus depuis la fin du XIXème siècle par des **bovins élevés en liberté** dans le milieu naturel. Les bovins de cet étage altimontain sont une race locale assez imposante, essentiellement exploitée pour leur viande. Ces bovins se reproduisent dans la nature et le marquage peu respecté des bêtes entraine une difficulté de suivi des cheptels et par suite un manque de contrôle et de gestion de leurs impacts. Ces bovins broutent en effet de manière non régulée dans les espaces ouverts d'altitude, affectant à la fois les milieux naturels et les milieux gérés où l'ONF poursuit des efforts de réimplantation d'espèces indigènes. La nature exacte de ces impacts demeure à ce jour mal connue. En plus des impacts directs par **piétinement** et **abroutissement**, trois hypothèses sont proposées vis-à-vis du rôle des bovins dans le développement des ajoncs, plantes exotiques envahissantes. Les bovins pourraient **faciliter l'expansion de l'ajonc** i) en dispersant ses graines au gré de leurs divagations, ii) en retournant la terre, ce qui serait favorable à la germination des graines, ou encore iii) en facilitant la compétition de l'ajonc grâce à une consommation importante des plantules d'espèces indigènes. Toutefois, aucun protocole n'a encore été mis en place pour tester ces hypothèses de manière robuste[28].

Le tourisme et les activités de plein air

Le développement des activités plein air entraîne une menace croissante sur les milieux de haute montagne Les sites de plaine comme d'altitude sont **de plus en plus fréquentés** du fait de la croissance démographique de l'île et d'une recherche accrue de naturalité dans les pratiques de loisir[9]. Les **reliefs et paysages uniques** de cette île ont permis le développement des promenades et excusions pédestres, facilitées par près de 1000km de sentiers balisés[8], de l'ascension des parois rocheuses

par des pratiquant d'escalade, du vélo tout terrain et enfin des sorties en véhicule 4x4 et quads.

La fréquentation récréative croissante est une **source de développement économique** mais elle a pour conséquence de **menacer les sites de la Réunion les plus fragiles**. Les randonneurs, grimpeurs et autres pratiquants sportifs se déplaçant sur de larges gradients altitudinaux laissent derrière eux de la nourriture fermentescible favorisant la **prolifération des espèces invasives** tel que les rats et chats dans les hautes montagnes[10]. Par ailleurs, certaines compétitions sportives comme celles de trail sont à l'origine des traces de peintures indélébiles affectant le caractère naturel des sites ou encore de pollutions ponctuelles par exemple du fait de l'oubli des rubalises directionnelles[23]. Les aménagements liés à la pratique du VTT de descente et aux pratiques motorisées consistent essentiellement en des **routes** permettant le passage dans les hauts de l'île, impliquant une destruction d'habitat, une augmentation du dérangement de la faune et contribuant en ce qui concerne les loisirs motorisés à la pollution de l'air. La pratique du VTT de descente est très récente à la Réunion mais elle se développe de manière croissante, entrainant l'agrandissement des chemins et la multiplication des sentes hors-pistes.

« La problématique de déchets concerne l'ensemble des sentiers, d'où la nécessité de sensibilisation de tous les publics et d'éducation aux gestes éco-citoyens »[10]

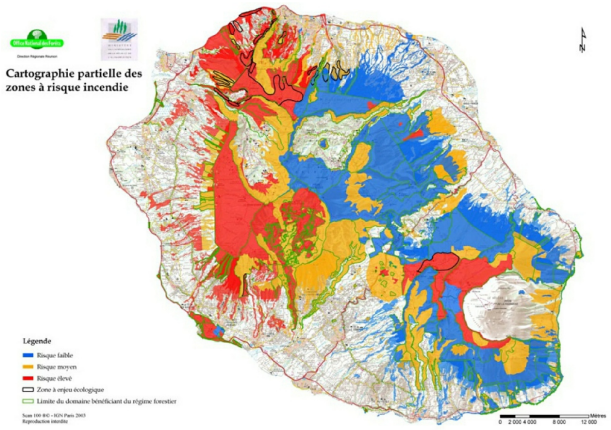
Le développement anthropique sur l'île, même à distance depuis les bas de l'île, entraine des **nuisances lumineuses et sonores** affectant notamment différentes espèces d'oiseaux vivant dans les plus hauts sommets. Par exemple, plusieurs centaines de Pétrels sont perturbés par les **lumières artificielles** chaque année, s'échouant lors de leurs vols

nocturnes en se dirigeant vers la source lumineuse qu'ils confondent avec le reflet de la lune sur la mer. De plus, la forte **circulation aérienne** entraine une nuisance sonore potentielle sur certaines espèces d'altitude mais aussi pour les visiteurs en recherche de ressourcement dans un espace naturel préservé. C'est un double impact négatif qui affecte l'environnement et le tourisme lui-même[10].

b) – Les incendies

Les risques d'incendies, importants sur l'île, sont liés à trois facteurs : i) **la nature de la végétation**, qui peut contenir des espèces facilement inflammables comme les Acacia ou les Brandes, ii) **les conditions climatiques hivernales** (sècheresse et vent) ainsi que iii) **l'accessibilité des sites** qui accroit le nombre de randonneurs dans les hautes altitudes[9]. La zone altimontaine subit un risque d'incendie très élevé, en lien notamment avec la forte présence de brandes et acacias (Figure 16). Le feu élimine la couverture végétale et détériore la structure des horizons supérieurs des sols, **réduisant ainsi leur capacité d'absorption des précipitations** tout en les rendant **plus sensibles à l'érosion**. Le lit de cendres laissé par l'incendie est facilement mobilisable par l'eau et le vent, menaçant le sol de décapage par toute précipitation importante avec surcroît une **perte directe de fertilité**[26]. Des actions sont mises en place par le Parc National de la Réunion et l'ONF pour prévenir les incendies mais le relief et le climat de l'île rendent difficile la lutte contre les incendies[11].

Figure 16 : Zones à risque d'incendie de la Réunion.
Source : ONF - IGN Paris 2003



Les feux de forêts sont **souvent d'origine anthropique**. Ils peuvent être dus à des imprudences provenant des touristes, résidents, braconniers, à des accidents de brûlage ou encore à des actes volontaires de malveillance ou de pyromanie.

La combinaison des facteurs anthropiques de changement met sous pression les **pelouses altimontaines**, entraînant la perte de richesse spécifique de ces milieux aux espèces sensibles ainsi qu'une difficulté à assurer leurs fonctions écosystémiques. Les incendies combinés au piétinement par les bovins et les touristes entrainent une mise à nu de larges portions du sol, ce qui occasionne une perte d'absorption des eaux pluviales par le sol[11]. Les phénomènes naturels d'érosion présents à l'étage altimontain s'en trouve aggravés[14.3].

c) – *Les espèces invasives*

« Lorsque certaines fonctions écologiques sont jugées non-désirables, comme par exemple la diffusion de maladies graves par les moustiques ou les tiques, on parle de contrainte ». C'est ainsi que l'EFESE, dans son rapport intermédiaire de décembre 2016, définit la notion de contrainte[50]. Le développement de certaines plantes exotiques

envahissantes au niveau de l'étage altimontain entraine des contraintes pour les populations de la Réunion.

L'arrivée de l'Homme sur l'île de la Réunion a entrainé l'introduction de nombreuses nouvelles espèces (faune et flore) sur l'île. **L'absence de prédateurs** sur celle-ci a facilité leur développement face à des espèces endémiques et indigènes de l'île non habituées à la prédation. Ces espèces invasives sont aujourd'hui la cause de **disparition d'espèces indigènes et endémiques** de l'île. Se reproduisant rapidement et abondamment, plus agressives ou promptes à germer que les espèces déjà présentent, elles prennent peu à peu leur place jusqu'à les faire disparaitre[12.1].

« Élevée au rang des priorités par l'Unesco, la lutte contre les espèces exotiques envahissantes fait l'objet d'une stratégie en quatre axes :

- *la prévention concernant l'introduction de nouvelles espèces invasives*
- *la lutte active par une détection précoce, une intervention rapide comprenant l'éradication, le confinement et le contrôle de la menace.*
- *la sensibilisation par la communication, l'éducation et la formation.*
- *la gouvernance et l'animation »*[12.2]

La mise en place de **routes**, **chemins** et **autres constructions** en haute montagne, bien que limitée, encourage la prolifération des plantes invasives[12.4] et impacte négativement la faune des hautes altitudes.

La faune invasive

L'introduction massive de faune invasive par l'Homme menace grandement la biodiversité réunionnaise, y compris en haute montagne. Cela a conduit à l'inscription sur liste rouge de l'UICN d'une partie de la faune de cette île (cf partie I). Des actions de conservation des espèces endémiques sont mises en place par les agents du parc national de la Réunion et différentes associations de l'île[12.3].

Les **nouveaux animaux de compagnie** (rongeurs, reptiles, amphibiens, insectes..), recherchés pour leur rareté ou exotisme, représentent une menace pour la biodiversité de la Réunion. S'échappant ou abandonnés dans la nature, ils deviennent des espèces invasives en étant de redoutables prédateurs pour la faune indigène. Par exemple, le gecko de Madagascar constitue une menace pour le gecko vert (espèce endémique) en entrant en compétition avec lui pour l'habitat et la ressource alimentaire et en consommant leur progéniture. De la même manière, les serpents exotiques peuvent consommer les progénitures des oiseaux et s'habituent facilement aux conditions de vie de l'île[12.1].

Tableau 4 :

Principales espèces de la faune invasive de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat.
Source : Groupe espèces invasives de la Réunion[13], Parc National de la Réunion.

<table>
<tr>
<td>Merle de Maurice
(crédit photo : Estampes C. Chevalier)
Importé en 1972 en tant qu'oiseau de cage, il a colonisé l'île en une trentaine d'années jusqu'à 2000m d'altitude. Considéré comme un ravageur, il a aussi un impact sur la dispersion des plantes exotiques envahissantes (surtout des massifs forestiers).
Sa chasse est autorisée et un système de piégeage est mis en place par l'ONF.</td>
<td>Agame des Colons
(crédit photo : Groupe espèces invasives de la Réunion)
Introduit involontairement en 1995, il pourrait s'alimenter d'animaux indigènes et entrer en compétition avec les geckos endémiques.
Sa présence est exceptionnelle en haute montagne, il impacte cependant des espèces que l'on peut retrouver à cet étage.
L'agame ne fait pas l'objet de programme de contrôle.</td>
</tr>
<tr>
<td>Chat haret
(crédit photo : Jean-Francois Bègue)
Introduit à la fin du 17ème siècle, il occupe une large gamme d'habitats, des forêts aux zones désertiques et hautes altitudes. Il menace 123 espèces d'oiseaux (œufs, oisillons et oiseaux tel que le pétrel et le Tuit-Tuit), 22 de reptiles et 28 de mammifères, dont plusieurs fréquentent la haute montagne.
Il existe un contrôle de sa reproduction et une sensibilisation des propriétaires et du public.</td>
<td>Couleuvre Loup
(crédit photo : Groupe espèces invasives de la Réunion
Introduit au début du 19ème siècle, c'est un serpent arboricole que l'on ne retrouve pas en haute altitude mais qui se nourrit principalement de lézards (gecko) et de petits mammifères. Il pourrait donc être responsable du déclin de plusieurs espèces de lézards indigènes donc le gecko vert que l'on retrouve en altitude, même si sa présence reste exceptionnelle à cet étage.
Aucun programme de contrôle n'est en cours.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Rat noir
(crédit photo : Fanny Barbe)
Introduit accidentellement en 1680, il est présent sur la totalité de l'île, du littoral jusqu'au sommet des pitons. Il fait partie des 100 espèces les plus envahissantes du monde. Impliqué dans l'extinction de nombreuses espèces, il menace différentes espèces de haute montagne comme le Tuit-Tuit, le Pétrel Noir ou différents Geckos… Il compromet aussi la régénération de plantes endémiques et contribue à la dissémination des graines de plantes exotiques.
Cette espèce est interdite à l'introduction dans le département de la Réunion.</td>
</tr>
</table>

Le **cerf de Java** est un animal introduit par l'homme[30] au XVIIème siècle à La Réunion. Il n'est pas considéré comme une espèce envahissante, cependant, il cause de nombreux dommages sur les écosystèmes indigènes (Tableau 5). Consommant surtout les parties charnues du végétal, le cerf occasionne des dégâts sur la croissance de la plante. Le cerf de Java se trouve entre 1700 et 2100m dans trois sites distincts sur le massif forestier de la Roche Ecrite[29] **:**

- les reliques de la forêt de montagne à *Sophora denudata*, un habitat à haute valeur patrimoniale avec un taux d'endémisme végétal de plus de 45 %. Ces habitats sont très vulnérables, fortement menacés par les incendies, activités anthropiques et plantes invasives[29]
- les prairies d'altitudes avec les pelouses à *Ercia galioides*[29]
- les milieux ouverts à *Erica reunionnensis* (branle vert)[30].

Tableau 5 :

Taxons végétaux impactés par le cerf de Java selon leur statut[29].
Source : Attié, 1994.

Statut des taxons	Nombre de taxons impactés
Endémique des Mascareignes	1
Endémique Réunion	20
Endémique Réunion-Maurice	11
Indigène	6
Indigène incertain	1
Exotique	6

De plus, l'arrivée du Cerf de Java à la Roche Ecrite a développé la pratique de la **chasse**. Aujourd'hui, la chasse ne constitue qu'un loisir récréatif aux impacts limités. Cependant, il reste encore des traces de son impact passé. Des coupes rases dans la végétation arbustive et arborée, nommées

layons et brisées, ont été réalisées dans les années 1970 afin de faciliter l'abattage des cerfs[29]. Ces grandes zones ouvertes où la végétation était coupée à blanc chaque année mesurent environ 5m de large et jusqu'à 3km de long[30]. Ils ne sont plus entretenus depuis les années 1990 mais sont encore visibles dans les paysages aujourd'hui[31].

La flore invasive

La **compétition** modérée associée au développement des espèces indigènes connaît un fort accroissement du fait de l'arrivée des **plantes exotiques invasives**. Les impacts sur la végétation de l'étage altimontain demeurent toutefois limités. Ci-dessous sont présentées les principales espèces de la flore invasive de la Réunion qui sont retrouvées à l'étage altimontain, telles que définies par le « Groupe espèces invasives de la Réunion[13] » en partenariat avec le Parc National de la Réunion.

Tableau 6 :

Principales espèces de la flore invasive de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat.
Source : Groupe espèces invasives de la Réunion[13], Parc National de la Réunion.

Acacia (Acacia mearnsii) Introduite en 1860, cette plante envahissante pour la végétation indigène altimontaine s'implante du coté sous le vent. Elle modifie la composition des sols (en azote) et entre en compétition avec les espèces endémiques. Elle dispose d'un fort pouvoir de dispersion, fécondité et d'une forte capacité végétale. Elle figure sur la liste de l'UICN des 100 espèces les plus envahissantes du monde.	***Acacia bleu (acacia dealbata)*** Cultivé et maintenant naturalisé, cet acacia envahit les forêts de montagne sur crête et les parois rocheuses. Il limite la régénération des espèces indigènes et enrichit significativement le sol en azote. Il fait partie des espèces de la liste des plantes exotiques envahissantes de l'UICN.
Flouve odorante Introduite à La Réunion dans des lots de graines de plantes fouragères, elle se développe sur des sols pauvres et secs. Elle envahit les pelouse d'altitude, naturelles et anthropisées avec des recouvrements pouvant dépasser 75 %. Elle est très présente sur la plaine des Sables et le Maïdo. Elle figure sur la liste des plantes exotiques envahissantes à La Réunion, définie par le CBNM et parmi les plantes les plus envahissantes du monde.	***Ageratina riparia*** Introduite récemment, probablement dans les années 1970-1980, son invasion a été fulgurante. Elle contamine les produits agricoles et les graines s'accrochent aux vêtements, animaux et véhicules favorisant sa prolifération. Elle figure sur la liste des plantes exotiques envahissantes à La Réunion, définie par le CBNM et parmi les plantes les plus envahissantes du monde.
Rubus Alceifoliu Introduite en 1840 à partir de Java, elle se développe sur tout type de sol. C'est une des principales espèces envahissantes de l'île, elle forme des fourrés mono-spécifiques qui empêchent la régénation des espèces indigènes. Cependant, sur les pentes, la ronce a un impact positif car elle retient les sols et freine l'érosion. Elle figure sur la liste des plantes exotiques envahissantes à La Réunion, définit par le CBNM.	***Tibouchina urvilleana*** Autrefois cultivé pour ses fleurs ornementales, il forme aujourd'hui des massifs compacts, impénétrables. Là où il s'installe, rien ne pousse, il se montre très compétitif et exclut toutes les autres espèces végétales. Il figure sur la liste des plantes exotiques envahissantes à La Réunion, définie par le CBNM et parmi les plantes les plus envahissantes du monde.
Goyavier	***Ajonc (Ulex europaeus)***

Introduit à La Réunion en 1818, il est cultivé pour ses fruits. Cette espèce est devenue courante et se retrouve dans les hauts de l'île et aussi sur les coulées de lave empêchant le développement de la flore indigène. Cette espèce entre en compétition pour la lumière et les nutriments du sol avec la flore indigène. Elle inhibe aussi chimiquement le développement des autres espèces végétales sous son couvert. Elle figure sur la liste des plantes exotiques envahissantes à La Réunion, définit par le CBNM.	Introduit dans les années 1850, il forme des fourrés très denses, épineux, monospécifiques au Maïdo et à la plaine des Cafres. C'est une espèce cible de l'ONF qui lutte mécaniquement et chimiquement pour tenter de limiter son expansion. Espèce pyrophile, fixatrice d'azote, très féconde avec une grande capacité de rejet, sa dispersion est facilitée par les transports de graviers où ses graines peuvent se trouver. Elle figure sur la liste de l'UICN des 100 espèces les plus envahissantes du monde.

L'expansion de ces espèces exotiques envahissantes diverge selon les types de groupements végétaux[14.1].

- Dans les habitats indigènes à espèces endémiques herbacées, **les espèces exotiques sont nettement plus compétitives que les autres espèces**. Elles ont tendance à réprimer la régénération des espèces indigènes, en se multipliant plus rapidement et s'adaptant plus facilement au milieu, causant une diminution drastique de la diversité biologique des espèces indigène à endémique herbacées. Dans certain cas, ces espèces exotiques vont jusqu'à remplacer totalement l'habitat indigène ou endémique (ex : pelouse à *Anthoxanthum odoratum)*.
- Dans les habitats indigènes à espèces endémiques arbustives, les espèces exotiques herbacées vont **déstructurer l'habitat :** elles remplacent la strate herbacée indigène, entravent sa germination et répriment sa régénération. Les espèces exotiques arbustives vont succéder aux espèces exotiques herbacées en colonisant les espaces encore accessibles au développement. Le développement de certaines **plantes invasives fixatrices d'azote** (ajonc d'Europe, acacias) modifie les conditions abiotiques du milieu, en enrichissant les sols en azote au détriment de la flore indigène adaptée aux sols peu fertiles[48,49]. A l'inverse, cet enrichissement en azote du sol sera

bénéfique à d'autres espèces invasives, dont la prédominance sur les milieux se renforce[48].

La végétation éricoïde indigène est naturellement sensible aux incendies car les éricacées contiennent dans leurs feuilles une substance extrêmement inflammable. Des incendies sur de grandes surfaces de l'île sont assez fréquents durant les périodes de sécheresse et entrainent la destruction de la végétation[46]. Lors de la recolonisation végétale, certaines plantes exotiques apparaissent plus compétitives que les espèces indigènes. C'est le cas pour l'ajonc d'Europe (*Ulex europaeus)*, une **plante fabacée pyrophile**, i.e. à reprise rapide après les incendies et dont la germination des graines est favorisée par le feu, qui envahit rapidement les zones incendiées. La banque de graines d'ajonc dans le sol peut atteindre les 60 000 graines en dormance par mètre carré à partir d'un unique plant[47]. Une fois ces graines disséminées, une forte chaleur ou un autre incendie leur permettront de germer. La colonisation des milieux par de telles espèces va donc d'une part **entrer fortement en compétition avec la flore locale** et d'autre part **favoriser le développement des incendies** de par leur biomasse très inflammable[47].

Figure 17 : Ajonc d'Europe, Ulex europaeus, 2007.
Crédit photo : Commange Christian

« La question est de savoir dans quelle mesure les espèces seront capables de tolérer ou de s'adapter à une modification de leur habitat et à la prolifération des espèces invasives, parmi lesquelles certaines pourraient au contraire être favorisées par les changements climatiques.[17] *»*

Le **pâturage divaguant**, qui perdure dans les Hauts de l'Ouest et dans la région du Volcan, constitue une menace importante pour les écosystèmes altimontains. L'abroutissement et le piétinement favorisent l'installation dans les milieux naturels ouverts d'espèces exotiques typiques des prairies (par exemple, *Anthoxanthum odoratum*), aujourd'hui invasives mais autrefois été introduites comme espèces fourragère[24]. Des actions de lutte contre les espèces exotiques envahissantes sont menées en particulier dans les domaines forestiers, dans le parc national de la Réunion et dans les espaces sensibles acquis par le Département ou le Conservatoire de l'Espace Littoral des Rivages Lacustres. Cependant en milieux privé, seul le propriétaire peut décider de lutter contre l'expansion de ces plantes envahissantes. Des actions de sensibilisation sont aussi menées[14.1].

Au-delà des influences négatives sur la flore indigène altimontaine, le développement de l'ajonc d'Europe pose également des **contraintes d'accessibilité** en haute montagne. Du fait de leurs épines et de leur densité, les fourrés d'ajonc deviennent rapidement impénétrables et non valorisables en tant que ressource fourragère pour le bétail. La superficie couverte par les ajoncs représente une perte pour les activités pastorales. Ces ajoncs contraignent également l'accessibilité des randonneurs aux sentiers et chemins barrés par des fourrés trop épineux et denses pour être traversés[48]. La lutte est à ce stade très difficile pour garder les sentiers ouverts face à la prolifération de l'ajonc[49].

d) – Le changement climatique

Sur l'île de la Réunion, les températures ont augmenté de +0.62°C entre 1969 et 2008[15]. Sur cette période, les températures maximales ont plus augmenté que les minimales, diminuant le nombre de journées et nuits froides. Sur cette même période, on note aussi une baisse des précipitations générales sur l'île et la présence de sècheresses accrues pour les régions Ouest, Sud-Ouest et Sud. A l'inverse, sur l'Est de l'île, les précipitations sont à la hausse durant l'été austral[19].

Selon Météo France, le changement climatique au niveau de la Réunion pour les années à venir engendrerait des modifications pluviométriques, du niveau des mers, des cyclones et des alizés[16]. Sont attendus **une hausse de température** entre 1.0 et 3.2°C[15], **des précipitations annuelles diminuées** de -6 à -8 %, surtout durant l'hiver austral, **des alizés plus vigoureux** et **une augmentation des épisodes pluvieux extrêmes** favorisant les mouvements de terrains sur l'île. Les recherches menées par AgroParisTech, l'INRA et le CNRS en 2008 ont permis de mettre en évidence l'impact du changement climatique sur les habitats de la Réunion. Le changement climatique **déplace vers les étages supérieurs** les niches écologiques favorables au développement, à la reproduction et la survie des espèces. Toutefois, la capacité de migration des espèces varie, notamment en fonction de la durée de leur cycle de vie et de leur capacité de dispersion. Les espèces végétales à durée de vie courte et à forte capacité de dispersion (ex : herbacées) vont généralement migrer plus rapidement que les espèces à durée de vie plus longue et à faible capacité de dispersion (ex : arbres, arbustes). Cette remontée altitudinale différenciée va entrainer une **modification de la composition des différents étages** de la Réunion et une **modification des interactions entre les espèces**. Les habitats de hautes altitudes sont particulièrement menacés par ces changements[14.2].

Le changement climatique aggrave les **phénomènes d'érosion** du fait de l'augmentation des précipitations, notamment au niveau du piton de la Fournaise.

Une étude du BRGM sur l'impact du changement climatique sur les **risques naturels** à la Réunion[18] explore l'évolution des paramètres climatiques et des aléas rocheux de la Réunion. Bien que non spécifiques à l'étage altimontain, les effets présentés ci-dessous concernent directement la haute montagne :

L'érosion des sols

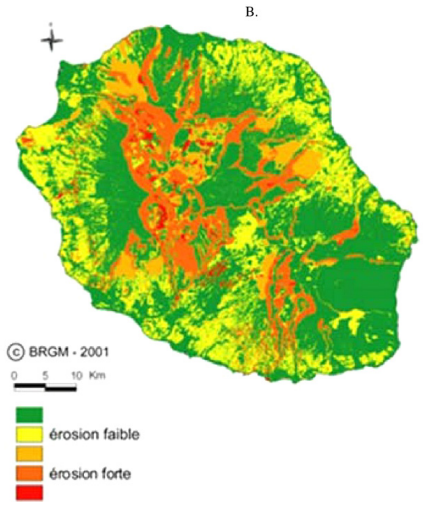
Les territoires de hautes montagnes sont les plus impactés par l'érosion à l'échelle de l'île (Figure 18. B). Du fait des paramètres climatiques affectant la sensibilité des sols à l'érosion (Figure 18. A), le changement climatique devrait devrait rendre plus difficile le contrôle de l'érosion par les écosystèmes. L'intensité accrue des précipitations, touchera directement les terrains en partie dénudés et vallonnés qui favorisent la concentration du ruissellement. De plus, la sécheresse à l'Ouest de l'île facilitera les feux de forêt, dénudant les sols, et la dessiccation favorisant les éboulis. Enfin, l'augmentation des alizés et de la sècheresse pourrait entrainer une diminution de la couverture végétale, ce qui limiterait la protection des sols face aux phénomènes érosifs. Cependant, l'augmentation de la température entrainera une augmentation de la photosynthèse et donc potentiellement du couvert végétal, induisant des tendances contrastés vis-à-vis des risques d'érosion des sols[18]. L'intensité de ce phénomène est inversement proportionnelle à la densité de la couverture végétale.

Figure 18 : Sensibilité à l'érosion des sols.
A. Sensibilité de l'aléa érosion du sol face aux paramètres climatiques.
Source : BRGM, 2011.
B. Intensité des phénomènes d'érosion actifs et passés à la Réunion.
Source : Le chevalier et al, 2001.

A.

EROSION DE SOL		
Paramètre climatique	**Sensibilité de l'aléa face au paramètre climatique**	**Phénomène associé**
Précipitations	Effet « splash »	L'impact des gouttes d'eau désagrège le sol
	Battance	Les particules fines déplacées par l'impact des gouttes de pluies sont placées entre des éléments plus grossiers et ferment les pores du sol limitant ainsi la capacité d'infiltration de celui-ci et favorisant le ruissellement
	Saturation du sol	Lorsque l'intensité des pluies est supérieure au pouvoir d'absorption du sol, les eaux ruissellent sur la surface du sol, emportant des particules de sol
	Vitesse et concentration du filet d'eau	Dans les zones à fortes pentes, les vitesses d'écoulement de l'eau en surface augmentent, intensifiant ainsi le pouvoir érosif du filet d'eau sur le sol (arrachement et transport des particules du sol
Vent	Arrachement de la couverture végétale	Mise à nu du sol favorisant ainsi son érosion par les agents météoriques

B.



Les instabilités rocheuses

Le changement climatique favorise les instabilités rocheuses (Figure 19). La diminution des écarts thermique entrainera une augmentation de la résistance physique des sols mais l'augmentation des épisodes

de sécheresse et l'augmentation des alizés favorisera l'altération superficielle et la déstructuration des niveaux meubles du sol. L'augmentation des épisodes pluvieux augmentera les infiltrations dans les parois rocheuses pouvant entrainer le basculement de parties de celle-ci et les coulées de débris[18].

Figure 19 : Sensibilité de l'aléa Instabilités rocheuses face aux paramètres climatiques.
Source : BRGM, 2011.

INSTABILITES ROCHEUSES		
Paramètre climatique	**Sensibilité de l'aléa face au paramètre climatique**	**Phénomène associé**
Température	Contraste thermique	Sollicitation cyclique générant la fatigue du matériau et favorise sa baisse de résistance, provoquant chutes de pierres et blocs
Vent	Action directe du vent sur une paroi rocheuse	Sollicitation cyclique générant la fatigue du matériau et favorise sa baisse de résistance (effet balancier)
	Action violente du vent déracinant des arbres en paroi	Provoque chutes de blocs ou éboulements, les systèmes racinaires pouvant contribuer à écarter les compartiments rocheux
Précipitations	Infiltration ou résurgence d'eau	Favorise l'altération et donc la baisse de résistance du matériau dans les zones infiltrées. Favorise également l'érosion différentielle par ruissellement superficiel et ainsi la création de zones de surplomb favorables aux décrochements (exemple de l'alternance scories / niveaux laviques massifs)
		Mise en pression d'eau dans les discontinuités en arrière des compartiments potentiellement instables

Les glissements de terrain

Les glissements de terrain correspondent à un **déplacement en masse** affectant des formations géologiques meubles, sur une surface de rupture et au cours desquels les produits déplacés gardent leur cohérence. Ils ont lieu préférentiellement au niveau des cirques et sur les terrains altérés.

Dans un contexte de changements climatiques, une augmentation des épisodes pluvieux intenses entrainerait une augmentation des glissements de terrain (Figure 20) par augmentation des phénomènes liés à la saturation des sols (coulées boueuses), et par augmentation de la fréquence des instabilités de faible à moyenne ampleur et un accroissement sur ceux de grandes ampleurs. L'augmentation

des périodes de sécheresse favorisera la perte des couches superficielles du sol. Enfin, le renforcement des vents engendrerait des contraintes accrues sur la végétation des sols déstabilisant les terrains qu'elle protège[18].

Figure 20 : Sensibilité de l'aléa Glissement de terrain face aux paramètres climatiques.
Source : BRGM, 2011.

GLISSEMENT DE TERRAIN		
Paramètre climatique	**Sensibilité de l'aléa face au paramètre climatique**	**Phénomène associé**
Précipitations	Relation directe pluie/mouvement de terrain	Infiltration importante dans le corps du glissement
		Accélération du mouvement de terrain significative à partir d'un certain cumul pluviométrique
	Circulation d'eau souterraine	Développement de surpressions préjudiciables (mise en pression des surfaces de cisaillement)
	Saturation des sols	Perte de cohésion des niveaux meubles
Vent	Sensibilité de la couverture végétale	effet de levier par les ligneux sous l'effet du vent pouvant déstabiliser les terrains et favoriser les infiltrations d'eau
Température	Sensibilité à la sécheresse	période de sécheresse entrainant desquamation des terrains de couverture et de façon induite des instabilités d'ampleur variable
	Contraste thermique	sollicitations cycliques entrainant une « fatigue » des niveaux de surface

3. – *Partie 3. Services écosystémiques associés à l'étage altimontain de La Réunion*

Les milieux de haute montagne de la Réunion fournissent un bouquet de biens et services écosystémiques diversifié. Ce rapport propose une description pour **six** d'entre eux (Figure 21), à enjeu sur ce territoire d'outre-mer et pour lesquels des informations ont pu être mobilisées à ce stade. **D'autres services écosystémiques seraient à considérer** dans une volonté d'exhaustivité, tels que la régulation hydrologique (quantité et qualité) ou encore la régulation du climat. Nous encourageons leur inclusion dans une itération ultérieure de l'EFESE.

Figure 21 : Biens et services écosystémiques associés à la haute montagne de la Réunion.

1) – Biens produits

a) – La cueillette de plantes sauvages

L'étage altimontain de la Réunion abrite des plantes cueillies pour leurs différentes vertus (médicinales, thérapeutiques, aromatiques). Autrefois utilisées par les Créoles pour des besoins médicinaux, ces plantes sont aujourd'hui reconnues à plus large échelle pour leurs bienfaits : leur cueillette peut être à vocation personnelle mais aussi commerciale depuis l'intégration de plantes réunionnaise dans la liste de la pharmacopée française. Il existe une liste de 15 plantes médicinales originaires de la Réunion qui sont introduites dans la pharmacopée française depuis le 1er août 2013. L'introduction de ces plantes réunionnaise dans la pharmacopée française permet leur commercialisation hors de la Réunion[26].

Seuls les ambavilles et bois de fleur jaune, appartenant à cette liste, sont des plantes que l'on retrouve à l'étage altimontain.

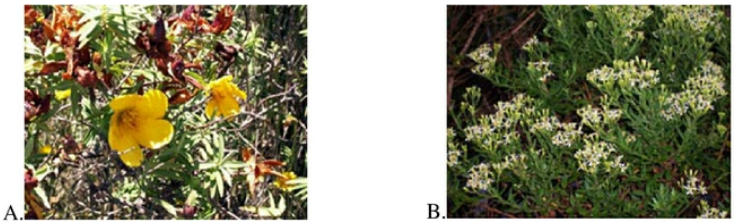
Le *bois de fleur jaune*[27] (Figure 22. A) est une sous-espèce endémique de La Réunion, elle se trouve sur tout le domaine altimontain de 1800 à 2600m. Espèce pionnière héliophile, elle forme des arbustes pouvant mesurer de 2 à 3 m. Ces fleurs jaunes sont très populaires à la Réunion pour leurs propriétés médicinales et aromatiques. Elles font l'objet de cueillettes familiales importantes.

Utilisation : Les fleurs sont les plus utilisées, le plus souvent consommées en tisane pour leurs vertus anti-inflammatoires mais aussi en bain pour soigner la varicelle et la rougeole. Les fleurs peuvent aussi être distillées comme huile essentielle. Elles sont utilisées pour lutter contre les brûlures d'estomac, contre la fièvre, contre les inflammations urinaires, les cystites, pour nettoyer le sang et faciliter la circulation, pour régulariser les règles, soulager les règles douloureuses et pendant la ménopause.

Les *ambavilles* (Figure 22. B) sont des arbrisseaux ou arbustes implantés dans les forêts et régions d'altitude, dans les fourrés, remparts et landes de l'île. La variété *Hubertia ambavilla Bory var. taxifolia* est une espèce endémique stricte de la Réunion que l'on retrouve dans les hauts sommets. Cet arbrisseau se comporte comme un pionnier et colonise aisément éboulis, remparts dénudés, jachères, terrains brulés… L'ambavile est une espèce utilisée dans la médecine traditionnelle de La Réunion, en tisane (tambave) ou en décoction.

Utilisation : pour soigner la gastro-entérite du nourrisson, la bourbouille, les dartres, l'eczéma, les boutons, les brûlures, les démangeaisons, les plaies, les inflammations… Couramment employé avec l'Herbe à bous (*Ageratum conyzoides*), le Bois d'osto (*Antirhea borbonica*), le Bois cassant (*Psathura borbonica*) pour soigner l'ulcère d'estomac. Ses propriétés d'inhibition des virus Herpès et ses propriétés antiulcéreuses ont fait l'objet d'études en laboratoire[28,29].

Figure 22 : Plantes médicinales originaires de la Réunion introduites dans la pharmacopée française et appartenant à la haute montagne :
A. Bois de fleur jaune,
B. Ambavilles.
Crédit photo : Guide touristique mi-aime-a-ou.



D'autres espèces végétales de l'étage altimontain, bien que n'appartenant pas à la liste de la pharmacopée française, sont également renommées pour les propriétés médicinales à l'étage altimontain. En particulier, les Petits tamarins des hauts ainsi que le Cochléaria du pays font l'objet de cueillettes en haute montagne.

Le *petit tamarin des hauts* (**Figure 11**) est une espèce endémique de la Réunion, on la retrouve dans la partie basse de l'étage altimontain. Leurs graines ont la réputation d'être toxiques à cause des alcaloïdes qu'elles renferment[30].

Utilisation : ***pourrait soigner*** par des applications externes le cancer du sein[29].

Le *cochléaria* (**Figure 12**) est une espèce indigène assez commune à La Réunion. Elle pousse principalement dans les régions Sud et Est de l'île, du niveau de la mer jusqu'à 2000 m d'altitude. Plante herbacée vivace, rampante, elle s'ancre dans le sol par un pivot parfois important. Le Cochléaria du pays est distillé à La Réunion pour la fabrication d'une huile végétale aux nombreuses vertus.

Utilisation : réparateur cutané pour les peaux abimées, petites coupures, brûlures, vergetures, eczémas, psoriasis, en augmentant la production de collagène. C'est un tonique de la microcirculation cutanée : couperose,

teint terne[31]. Il soigne aussi les aphtes, inflammation des gencives, angine[29]. Elle augmente l'activité anti-oxydante. C'est un actif anti-âge. De nombreuses études ont aussi démontré son action sur l'insuffisance veineuse et les varices. Mastiquer une ou deux feuilles fraîches corrige la mauvaise haleine[29].

Figure 23 : Plantes de la Réunion faisant l'objet de cueillette et appartenant à la haute montagne :
A. Petit tamarin des hauts (Sophora denudata),
B. Cochléaria du pays (Centella asiatica).
Crédit photo : Parc national de la Réunion - Guide touristique mi-aime-a-ou.

Les pratiques de cueillette font l'objet **d'interdiction règlementaire** dans le périmètre du Parc National. Un travail **d'acceptation culturelle** de ces restrictions est en cours mais la création récente du parc complexifie cette acceptation.

b) – La production de fourrage

L'étage altimontain, et notamment ses milieux ouverts, fournissent aux systèmes d'élevage réunionnais certaines ressources nécessaires aux troupeaux. La **production de biomasse** par les écosystèmes prairiaux est ainsi consommée par les bovins qui seront à leur tour valorisés pour leur **viande**.

La divagation des cheptels dans les Hauts de l'ouest est une pratique assez ancienne qui s'est renforcée dans la seconde moitié du XXème siècle. Les estimations du nombre de bovins dans les Hauts de l'ouest restent très

imprécises : entre 300 et 2000 têtes seraient présentes en 2009[54]. Ces bovins seraient répartis en 12 cheptels élevés selon deux modalités : i) l'éleveur laisse les bêtes en auto-gestion, ce qui correspond à un système d'élevage divagant ou ii), l'éleveur gère son troupeau et dispose de terres à faire pâturer de façon régulière[54]. Les éleveurs sont surtout des « clans familiaux » partageants des intérêts et pratique communes[54]. L'ensemble de la planèze ouest est concernée par la divagation, avec une plus forte concentration sur la partie Nord (Maïdo, Bénares). L'usage de service écosystémique correspond donc à la production de biomasse prélevée par ce cheptel. Dans le cadre de ce rapport, il n'a pas été possible de le quantifier plus précisément, mais cela serait à développer dans une itération ultérieure de l'EFESE.

2) – Services de régulation

a) – Stabilisation des sols

Les incendies ou coulées de laves sont des phénomènes fréquents à la Réunion. Ils entrainent une destruction des sols pouvant accélérer les risques d'érosion dus aux fortes pluies. Ils favorisent également l'apparition de catastrophes naturelles (coulées de boues, glissement de terrains..) qui peuvent affecter l'étage altimontain[44].

Dans ce contexte, les **capacités de recolonisation végétale** sur milieu perturbé fournissent un service de stabilisation des sols de haute importance à la Réunion (voir Partie II pour les différentes étapes de colonisation). Suite aux perturbations volcaniques ou par le feu, la sensibilité du sol à l'érosion superficielle diminue avec la reconquête du terrain par la végétation. La végétation limite les impacts érosifs des fortes précipitations[45] :

- Le **feuillage** intercepte une partie de la pluie et réduit ainsi l'énergie cinétique des gouttes qui atteignent le sol indirectement. Il y a donc une réduction de l'impact érosif direct.

- Par comparaison avec un sol nu, la structure des couches humifères du **sol couvert** limite leur sensibilité à l'impact des gouttes de pluie et à l'entrainement des particules du sol.
- **Structures végétales vivantes et litières** ralentissent la mobilisation des particules de sol par ruissellement.
- Les **racines**, plus profondes, limitent indirectement l'érosion en s'opposant aux glissements superficiels des sols et en partie au tassement.

L'installation d'une couverture végétale protège le sol de l'érosion superficielle, une couverture dense de plantes arbustives ou herbacées au même titre qu'une forêt[45]. Les débris de végétaux morts sur le sol contribuent également au rôle de protection des sols par les écosystèmes. Le contrôle de l'érosion des sols est principalement déterminé par la répartition spatiale de la végétation et de ses débris ainsi que par le pourcentage de surface qu'ils recouvrent[45].

Au-delà de la description du service proposée ici, il serait pertinent d'évaluer sa fourniture par les écosystèmes altimontains de la Réunion. Cela n'a pas été possible dans le cadre de ce rapport mais serait à développer dans une itération ultérieure de l'EFESE.

3) – Service culturel

L'île de la Réunion est devenue une **destination touristique d'importance**. Le relief volcanique de l'île était autrefois considéré comme une contrainte car l'agriculture ne pouvait se développer dans ces milieux altimontains complexes. Aujourd'hui, ce relief s'est transformé en un atout essentiel pour le développement du tourisme.

a) – Attractivité pour les activités récréatives de pleine nature

L'étage altimontain, par ses nombreux sommets, est particulièrement attractif en matière d'activités sportives de pleine nature. Les dénivellations abruptes, les cascades, les vallées étroites et les caldeiras sont une plus-value pour l'île[1]. La principale attraction touristique de l'île est le piton de la Fournaise. Les éruptions du volcan de la Fournaise et les nombreuses randonnées pédestres que l'on peut faire dans ses alentours attirent **plus de 400 000 visiteurs chaque année**[2].

« L'activité volcanique, sans incidence sur la vie locale, avec les projections et coulées de lave sont de véritables spectacles de feu qui attirent les foules[3] pouvant l'observer en toute sécurité aux abords de l'enclos[4] ».

La **randonnée** est la principale activité en haute montagne. Révélateurs de l'attractivité des milieux naturels de l'île, **plus de 1000 km de sentiers balisés** se trouvent sur l'île, partant des plaines jusqu'aux plus hauts sommets[5]. Trois grands sentiers de Grande Randonnée (Figure 24) labellisés par la Fédération Française de Randonnée Pédestre traversent les pitons, cirques et remparts inscrits au Patrimoine mondial de l'UNESCO en 2010[6]. On trouve en 2017 plus de 60 clubs et associations de randonnée à la Réunion[7]

Figure 24 : Les trois grands sentiers de Grande Randonnée de La Réunion.
Source : Fédération Française de Randonnée

- le **GR R1** fait le tour du célèbre piton des Neiges, qui à 3 071 mètres est le plus haut sommet de l'île. Ce GR traverse les trois cirques : **Salazie, Mafate, Cilaos.** Le GR R1 peut se boucler en six étapes après 60 kilomètres passés au milieu de paysages de montagne[6].

- le **GR R2** traverse l'île du Nord au Sud sur une distance de 130 kilomètres : sommets des montagnes, réserves naturelles, cirques, piton des Neiges et piton de la Fournaise sont au programme[6].

- le **GR R3** peut se parcourir en cinq jours. Il permet de faire une découverte complète du cirque de Mafate, accessible uniquement à pied[6] (hors étage altimontain).

La **qualité des milieux naturels** est un facteur important d'attraction pour l'ensemble des marcheurs et coureurs jusqu'aux plus hauts sommets. Dans un but de dépassement de soi ou contemplatif, de **nombreux points de vue** deviennent des objectifs à atteindre en haute montagne.

De plus, de nombreuses courses de montagne, ou **trails**, sont organisées chaque année sur l'île. L'île est une immense terre de trails avec ses itinéraires exceptionnels de pitons et cirques. La Réunion fait partie des pionnières dans l'organisation de courses en montagne[6].

La plus connue de ces courses est « la diagonale des Fous », aussi connue sous le nom de Grand Raid. Cette course parcourt l'île du sud au nord (Erreur : source de la référence non trouvée), elle traverse tous les étages de l'île avec 9700 m de dénivelé. Cette course légendaire attire des milliers de passionnés de l'île ou venus du monde entier. Les réunionnais représentent environ la moitié des inscrits pour cette course[9]. D'autres courses sont organisées tout le long de l'année, par exemple le cross du piton des Neiges ou encore le trail des Trois Pitons[8].

Figure 25 : Parcours du Grand Raid à La Réunion.
Source : Grand Raid

L'accès aux volcans peut aussi se faire à pied, à cheval, en VTT, sur des gyropodes ou même en voiture par la route forestière du volcan se terminant au parking du Pas de Bellecombe à 2311 m d'altitude[10]. Des **gîtes** sont aussi mis en place pour accueillir les touristes : par exemple, le gite du piton des Neiges (2470 m) et le gîte du volcan au Pas de Bellecombe (2240 m)[11]. De nombreux **loisirs de nature** sont proposés par des professionnels touristiques au niveau du volcan. Il est ainsi possible de survoler l'île, voire de contempler depuis les airs le piton de la Fournaise en pleine éruption[12]. Ce développement d'activités de pleine nature sur l'île provoque la **mise en tourisme de l'étage altimontain**.

L'escalade et l'alpinisme (Figure 26) sont aussi des activités pratiquées dans les hauts de la Réunion, plus particulièrement au niveau du massif du piton des Neiges. Développée dans les années 1990 avec le Comité

Régional Réunionnais de la montagne et de l'escalade, l'escalade à La Réunion compte en 2017 13 000 licenciés[14]. On trouve une dizaine de club d'escalade à la Réunion[16].

Figure 26 : Alpinisme aux Trois Salazes.
Source : Trekking

Les risques existant au niveau de l'étage altimontain (risques naturels, incendies – voir Partie II) obligent à la mise en place de **structures et procédures de protection**. L'ONF, qui gère ces territoires, s'appuie régulièrement sur l'expertise technique du BRGM en matière de risque géologique. Les interventions du BRGM peuvent être mobilisées pour une évaluation du risque, pour obtenir des conseils pour la sécurisation ou bien pour sécuriser des sites dangereux. Leur objectif est de déterminer la cause de l'instabilité, d'évaluer les risques résiduels et de proposer des solutions de mise en sécurité si besoin [13].

En bref… Les écosystèmes altimontains comme support des activités scientifiques

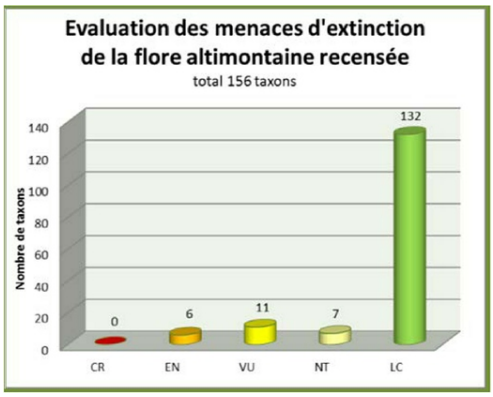
Les milieux de haute montagne contribuent au développement des connaissances scientifiques, notamment en lien avec la biodiversité de l'île et les dynamiques de successions végétales sur sols volcaniques. De nombreuses institutions à composante scientifique sont en place sur l'île telles que le parc National de La Réunion qui élabore des recherches en rapport avec le patrimoine naturel et sa sauvegarde, ou encore le conservatoire botanique de Mascarin qui mène des recherches sur la végétation de La Réunion. D'autres organismes se sont aussi mis en place du fait de la forte qualité environnementale de l'île, tel que l'Observatoire de Physique de l'Atmosphère de La Réunion.

4) – Patrimoine naturel

a) – Espèces patrimoniales

La notion d'espèce patrimoniale est définie dans la partie III du volet « haute montagne » de l'EFESE comme « *une espèce à laquelle la société accorde une importance particulière, c'est-à-dire à une espèce qui a une valeur culturelle et symbolique forte. Les raisons de cet attachement peuvent être multiples, par exemple associées à la rareté de l'espèce, à son degré de vulnérabilité ou encore à son caractère emblématique d'un milieu, région donnée*. » Il n'existe pas de liste officielle des espèces patrimoniales de l'île de la Réunion. Dans le même contexte que pour la métropole, le caractère patrimonial des espèces (faune/flore) s'appuie sur le statut de rareté et de vulnérabilité (CR, EN, VU, NT) des espèces concernées par la liste rouge nationale de l'UICN, et sur le fait que ces espèces habitent l'étage altimontain de l'île de la Réunion.

Figure 27 : Evaluation des menaces d'extinction de la flore altimontaine recensée sur 156 taxons.
Crédit : CBNM



Concernant la **faune**, il n'a pas été possible dans le cadre de ce rapport d'établir la liste exhaustive des espèces altimontaines concernées par les listes rouges. Cependant, certaines espèces d'altitude mentionnées précédemment font l'objet d'un classement liste rouge, notamment, le tuit-tuit, le pétrel noir, le pétrel de Barau, le busard de Maillard et le gecko vert de bourbon.

La flore de La Réunion concernée par les Listes Rouges a fait l'objet d'une étude du Conservatoire Botanique[55] (Figure 27). 24 espèces altimontaines sont ainsi concernées par les statuts CR, EN, VU, NT. En particulier, *Cardamine africana, Gleichenia polypodioides, Bryodes micrantha, Huperzia saururus, Melicope segregis* et *Sophora denudata* y apparaissent sous le statut « en danger d'extinction ».

b) – Paysages patrimoniaux et aménités paysagères

Les conditions particulières de formation de l'île ont donné naissance à un patrimoine géologique très important ainsi qu'à des paysages spécifiques. Leur classement au titre du patrimoine mondial de l'UNESCO ainsi que comme parc national de La Réunion soulignent le caractère esthétique et patrimonial de ces milieux[53].

Un patrimoine géologique

Les paysages de La Réunion sont hérités d'une histoire géologique complexe donnant naissance à un patrimoine géologique exceptionnel. Depuis 2002, dans le cadre de l'Inventaire et valorisation du patrimoine géologique de l'Outre-mer français (INPG), le BRGM travaille sur l'inventaire du patrimoine géologique de l'île de la Réunion[35] dans le but de protéger, gérer et valoriser ce patrimoine[36]. Une présélection a fait émerger **175 « géosites »,** c'est-à-dire des grands ensembles (ex : cirques), des sous-ensembles (ex : affleurement au sein d'un cirque) ou des objets élémentaires (ex : minéraux particuliers contenus dans un affleurement) présentant, par exemple, un intérêt culturel, scientifique, historique ou artistique[36].

Figure 13 : Cratère de Commerson, Réunion, 2017.
Crédit : Jean-Luc Sonntag

A titre d'exemple de géosite de l'étage altimontain, le cratère Commerson se trouve sur les pentes du piton de la Fournaise. Il se trouve à 2310m d'altitude[37] avec un diamètre de 200m environ[38]. Formé suite à la rencontre entre une éruption et une poche d'eau, le cratère est d'origine volcanique. Un belvédère le surplombe laissant une vue imprenable sur les parois abruptes d'où émergent les strates d'empilements successifs de basalte. Ce lieu est incontournable pour les amateurs de volcanologie, et

de plus présente une accessibilité aisée en étant situé à 100 m d'une route[38].

Au-delà des géosites recensés par l'INPG, l'étage altimontain compte de nombreux **édifices naturels** provenant de l'érosion des plus hauts sommets ou bien de restes de lave qui selon les sols et l'intensité des éruptions peuvent prendre des formes uniques[20].

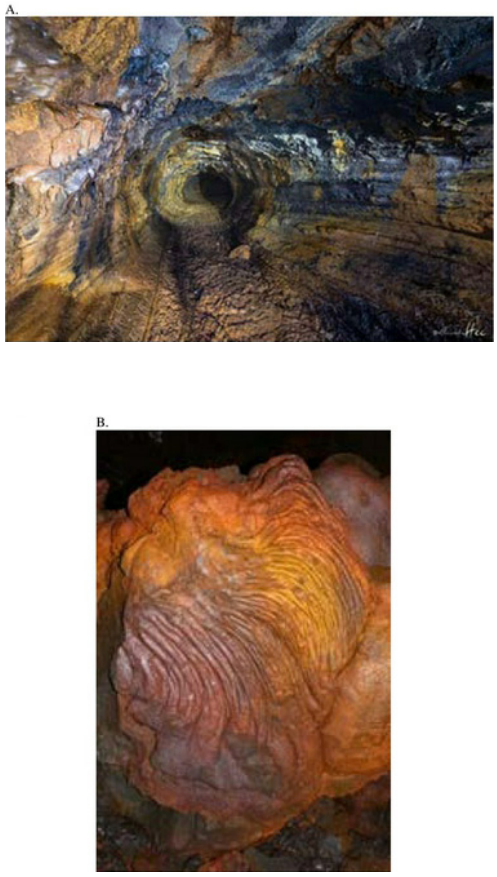
Appartenant au patrimoine de l'UNESCO, **pitons, cirques et remparts** font partie de ces formations spécifiques. Les cirques sont dus à une érosion spectaculaire de 1000 à 2000 m de profondeur[20]. De nombreux pitons tel que le Maïdo ou encore le col des Bœufs, situé sur la ligne de crête entre le cirque de Salazie et de Mafate, vont laisser apparaitre une fois atteints un panorama unique avec des décors contrastés reflétant l'origine volcanique de l'île[17].

Les coulées de laves sont à l'origine de nombreuses infrastructures souterraines et de surface.

Lors des éruptions, les coulées de lave peuvent donner naissance à des **tunnels de lave** (Figure 28. A). Par refroidissement sur la partie supérieure de la coulée, la lave se solidifie progressivement au contact de l'air, créant une couche extérieure rigide. Lors de l'arrêt de l'éruption, le vide laissé par la diminution des niveaux de lave sous la partie solidifiée de la coulée le transforme en un toit et crée un tunnel de lave[18]. L'île de la Réunion est constituée d'un empilement de coulées solidifiées dont seuls les tunnels de lave créés par les coulées les plus récentes sont accessibles. La Réunion est un des rares endroits au monde où l'on peut découvrir les dessous d'un volcan (stalactites, rivière de lave figée, cascades pétrifiées,..). Selon la vitesse de refroidissement de la lave et de l'intensité de l'éruption, des **formations rocheuses de différentes formes et d'une variété de couleur** apparaissent[19] (Figure 28. B**)**. Ces structures souterraines, en tant que témoins de la genèse de l'île et du fait de leur rareté, présentent une forte valeur culturelle[19].

« *Les coulées de lave sont très longue à se refroidir, ce que les pique-niqueurs mettent à profit en faisant cuire les merguez au débouché des fissures souterraines par ou s'échappent un air brûlant même de gaz telluriques*[34] »

Figure 28 : Formations géologiques d'intérêt liées aux coulées de lave.
A. Tunnel de lave bleu. Crédit photo : Alexandre Hec.
B. Le lion, coulée de lave 2014, Grande Ravine.



- Les « **spatter-cones** »[21] sont des formations géologiques engendrées par les coulées de laves. Ce sont des petits cônes volcaniques de 1 à 10 m formés par la chute de scories non complètement solidifiées (produit volcanique riche en vacuoles[22]). Les scories pâteuses vont s'empiler et se coller les unes aux autres formants des édifices aux pentes raides (Figure 29. A).
- Les **fissures émissives** sont des ouvertures causées dans la paroi volcanique par la pression du magma dans sa phase terminale d'ascension. Cette pression est responsable de dégazages et de projections pouvant

former des « spatters-cônes »[23] (Figure 29. B**)**.

Les **Cheveux de Pelé**[24] forment une roche volcanique issue de gouttelettes de lave très fluide, généralement basaltique, qui s'étire en longs et fins filaments sous l'action du vent (Figure 29. C).

Les laves volcaniques sont également à l'origine d'une grande diversité géologique non détaillée ici (« spatter remparts », coulées en grattons, cordées de lapillis, scories, bombes en bouse de vache ou en ruban, cratères[20]…).

Figure 29 : Formations géologiques d'intérêt liées aux coulées de lave.
A. Chapelle de Rosemont (Spatter cône). Source : Wikipedia.
B. Trois fissures émissives sur le flanc sud du piton de la Fournaise, 2007. Crédit photo : Pierre Thomas.
C. Cheveux de Pelé sur le piton de la Fournaise, Réunion. Source : Wikipedia.

L'attractivité touristique des volcans a entrainé la création de la **Cité du Volcan** en novembre 1992. Ce pôle d'attraction culturelle offre également un centre pédagogique et scientifique international qui soutient la sauvegarde des sites remarquables de l'île ainsi que la promotion de sa culture, son histoire et son patrimoine[25].

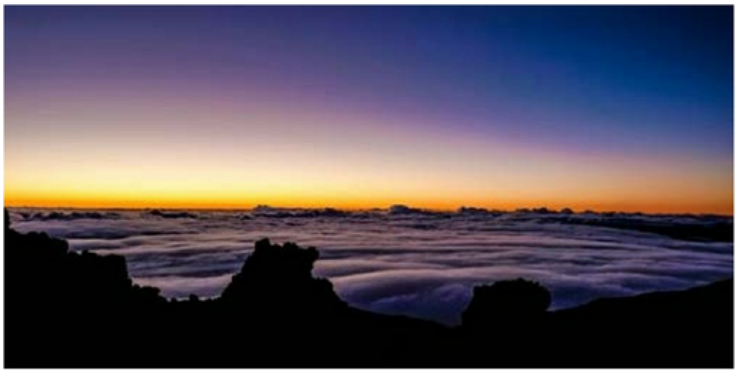
Un patrimoine paysager exceptionnel

Les milieux naturels de haute montagne offrent des **qualités esthétiques** liées à une ambiance ou une architecture remarquables. La végétation altimontaine est souvent enveloppée par le brouillard ou par les nuages caractéristiques des hautes terres. Une sensation d'intimité avec la nature

est favorisée en haute montagne, facilité par la présence de constructions végétales estompées et où les regards ne portent guère loin. La végétation altimontaine, disséminée sur les lapilli de la Fournaise, est à la fois surprenante et attractive : elle contribue à cet aspect « lunaire que lui attribuent les visiteurs »[41].

Le patrimoine naturel de la haute montagne réunionnaise contient de nombreux points de vue et paysages, situés dans les hauts de l'Ouest ou au côté du volcan de la Fournaise. Les points de vue des remparts sont vertigineux. La Maïdo est l'un des lieux les plus visités de l'île, simple d'accès et avec une perspective imprenable sur le cirque de Mafate[52]. Depuis les sommets tels que celui du piton des Neiges, observer le lever du soleil se refléter à 360° sur l'océan ou sur une mer de nuages, nommée « nebelwald », constitue une activité unique sur l'île (Figure 30).

Figure 30 : Lever du soleil au piton des Neiges, 2014.
Crédit photo : KERENA



Un des paysages remarquables de l'île de La Réunion est celui de la plaine des Sables (Figure 31). Située aux alentours de 2200m d'altitude, cette plaine d'environ 600 ha, au relief peu marqué, est constituée de scories et lapillis de couleur rouge-orange. Elle offre un spectacle lunaire à perte de vue avec comme toile de fond le piton de la Fournaise. Traversé par une route sinueuse nommée « route forestière du Volcan », ce lieu

mythique peut devenir très dangereux si la couverture nuageuse apparaît sur la plaine, du fait du manque de repères physiques évidents[43].

Figure 31 : Plaine des sables.
Crédit photo : Stéphane Toupin

« Les sorties multiples de livres touristiques à belles photographies de paysages, la multiplicité des cartes postales qui "immortalisent" tous les paysages quels qu'ils soient, des grands sites aux petits détails qui les constituent, des plus fertiles aux plus stériles, sont aujourd'hui les témoins de la valeur esthétique qu'on leur accorde »[42].

c) – *La reconnaissance par l'UNESCO*

Le cœur montagneux de la Réunion abrite des paysages grandioses. L'île est parfois surnommée « l'île à grand spectacle », réputée pour ses paysages à la beauté époustouflante[40].

Figure 32 : Scories du Pas de Bellecombe.

L'étage altimontain, avec ses cirques, remparts et pitons, est considéré comme **bien naturel au patrimoine mondial de l'UNESCO** depuis août 2010 en tant que « paysage spectaculaire » contribuant « significativement à la conservation de la biodiversité terrestre ». La déclaration de Valeur Universelle Exceptionnelle retenue par l'UNESCO est la suivante : « dominé par deux pics volcaniques imposants, des murailles massives et trois cirques bordés de falaises, le bien présente une grande diversité de terrains accidentés et d'escarpements impressionnants, de gorges et de bassins boisés qui, ensemble, créent un paysage spectaculaire »[39]. Les critères de classement mettent en particulier en avant ses phénomènes naturels remarquables et ses aires d'une beauté naturelle et d'une importance esthétique exceptionnelle[39]. La présence de deux grands massifs volcaniques sur une surface aux dimensions réduites (2500 km^2) est une richesse rare qui permet une étude inédite de l'histoire des paysages volcaniques. De plus, les paysages de la Réunion se distinguent par la présence d'un étage de végétation altimontaine rarissime dans le monde insulaire tropical[40].

Patrimoine artistique et littéraire

Le caractère patrimonial des paysages de La Réunion est mis en avant par de nombreuses descriptions proposées par différents artistes et scientifiques au fil des siècles, avec un vocabulaire spécifique, ainsi qu'avec des mots et expressions de différentes époques. Peu importe que la description de la Réunion soit philosophique, scientifique, ou littéraire, les descriptions sont rarement exemptes d'émotion à la vue des paysages grandioses de la Réunion[39].

L'étage altimontain de l'île est l'inspiration de nombreux auteurs tels qu'Auguste Lacaussade avec « Le piton des Neiges » :

« Tel de ces pics que tu domines,
Superbe mont salazien,
Tel de ces montagnes voisines
Jaillit ton front aérien.
Immense, immuables, immobile,
Du plateau central de notre île
Ton sommet auguste et tranquille
Se dresse, embrassant l'horizon[51] ».

Bory de Saint-Vincent est le premier à décrire l'île par ses écrits au début du XIXème siècle.

« Comme séparé du reste du monde par la mer toujours agitée, par la fournaise fumante et par les monts à pic qui bornent la vue à droite et à gauche, le voyageur pensif, qui se traîne dans les scories, est saisi d'admiration et de terreur, quand, levant les yeux de dessus le sol contre lequel il lutte, il promène ses regards sur le tableau sinistre qui se présente. Tout porte un caractère surnaturel de grandeur ; mais à l'idée confuse de ruines et de désolation qui s'y mêle, on est involontairement tenté de se croire transporté au séjour que des flammes éternelles calcinent sans cesse. Les descriptions du Tartare et des enfers se présentent d'elles-mêmes à l'imagination ; on se demande si les inventeurs des religions et les poètes sont venus puiser l'idée de ces lieux de supplices dans les débris figés que l'on parcourt.[39] »

4. – Partie 4 - Enjeux de gestion de la haute montagne à la Réunion

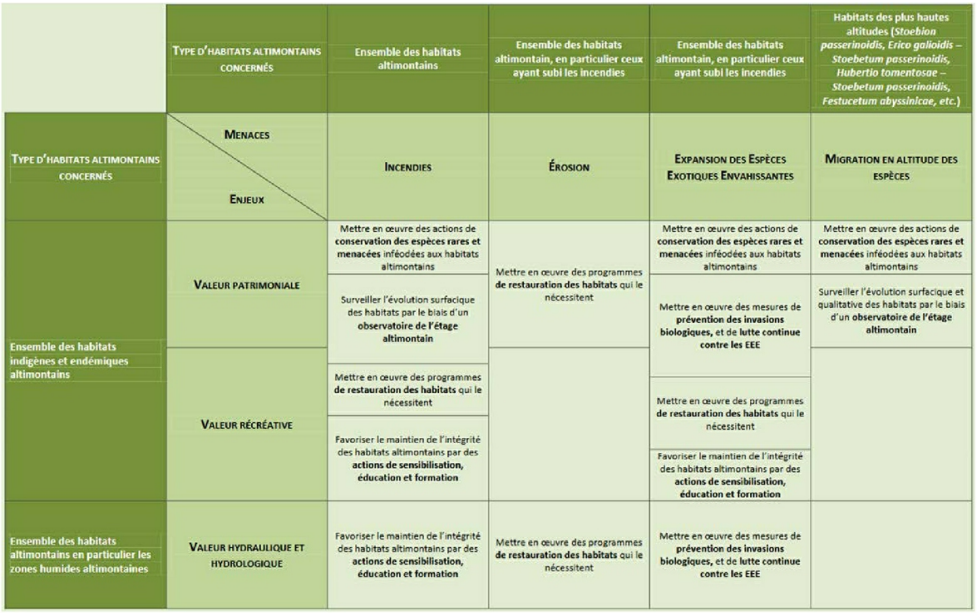
En lien avec les différentes menaces qui affectent l'étage altimontain (voir Partie II) et dans un objectif de fourniture durable de ses services écosystémiques (voir Partie III), des objectifs de gestion à long terme ont été établis par le parc national de La Réunion et le Conservatoire Botanique des Mascarins. Après une présentation courte des deux documents principalement mobilisés pour renseigner cette partie, les sections ci-après en synthétisent les enjeux majeurs.

1) – Les résultats d'analyse du cahier des habitats de l'étage altimontain

Le Conservatoire Botanique des Mascarins a mis en relation les enjeux liés aux habitats altimontains et les menaces qu'ils subissent pour présenter des actions de gestion conservatoire à mettre en œuvre[3] (Figure 33).

Ces données constituent une base de réflexion concernant les **difficultés prévisibles en termes de gouvernance**. Elles permettent également d'identifier les **lacunes de connaissance**. Elles proposent un certain nombre **d'actions** pour répondre à ces enjeux. Cette réflexion a été élaborée de manière collaborative avec différents partenaires réunionnais, incluant l'ONF, le Parc National de La Réunion, la DEAL et l'Université de La Réunion. Elle se présente sous forme de fiches organisées en 3 volets (le lecteur est renvoyé au cahier des habitats de l'étage altimontain de l'île de La Réunion pour développer les réflexions et actions menés par ces différents acteurs[3]).

Figure 33 : Mise en relation des enjeux liées aux habitats altimontains et des menaces qu'ils subissent. Source : CBM 2011 - Cahiers d'habitats de La Réunion : étage altimontain



Type d'habitats altimontains concernés	Menaces / Enjeux	Ensemble des habitats altimontains	Ensemble des habitats altimontain, en particulier ceux ayant subi les incendies	Ensemble des habitats altimontain, en particulier ceux ayant subi les incendies	Habitats des plus hautes altitudes (*Stoebion passerinoidis, Erico galioidis – Stoebetum passerinoidis, Hubertio tomentosae – Stoebetum passerinoidis, Festucetum abyssinicae, etc.*)
Type d'habitats altimontains concernés	Menaces / Enjeux	Incendies	Érosion	Expansion des Espèces Exotiques Envahissantes	Migration en altitude des espèces
Ensemble des habitats indigènes et endémiques altimontains	Valeur patrimoniale	Mettre en œuvre des actions de **conservation des espèces rares et menacées** inféodées aux habitats altimontains	Mettre en œuvre des programmes de **restauration des habitats** qui le nécessitent	Mettre en œuvre des actions de **conservation des espèces rares et menacées** inféodées aux habitats altimontains	Mettre en œuvre des actions de **conservation des espèces rares et menacées** inféodées aux habitats altimontains
		Surveiller l'évolution surfacique des habitats par le biais d'un **observatoire de l'étage altimontain**		Mettre en œuvre des mesures de **prévention des invasions biologiques,** et de **lutte continue contre les EEE**	Surveiller l'évolution surfacique et qualitative des habitats par le biais d'un **observatoire de l'étage altimontain**
	Valeur récréative	Mettre en œuvre des programmes de **restauration des habitats** qui le nécessitent		Mettre en œuvre des programmes de **restauration des habitats** qui le nécessitent	
		Favoriser le maintien de l'intégrité des habitats altimontains par des **actions de sensibilisation, éducation et formation**		Favoriser le maintien de l'intégrité des habitats altimontains par des **actions de sensibilisation, éducation et formation**	
Ensemble des habitats altimontains en particulier les zones humides altimontaines	Valeur hydraulique et hydrologique	Favoriser le maintien de l'intégrité des habitats altimontains par des **actions de sensibilisation, éducation et formation**	Mettre en œuvre des programmes de **restauration des habitats** qui le nécessitent	Mettre en œuvre des mesures de **prévention des invasions biologiques,** et de **lutte continue contre les EEE**	

2) – Les enjeux de gestion du parc national de la Réunion[1]

La **charte** du parc national de la Réunion tient lieu de plan de gestion[1]. Quatre groupes d'enjeux se sont dégagés du diagnostic des dynamiques et des menaces en cours dans le parc de la Réunion dont trois concernent l'étage altimontain. Ces quatre enjeux de gestion se déclinent en 16 objectifs pour lesquels des modalités réglementaires d'atteinte de l'objectif ont été proposées, de même que différentes mesures appliquées identifiant le rôle des acteurs réunionnais. Toutes ces informations sont disponibles dans le projet de la charte du Parc national de La Réunion, arrêté par le conseil d'administration le 21 juin 2012[1].

Bien que non spécifiques à l'étage altimontain, les objectifs présentés ci-après concernent l'ensemble du parc national de la Réunion et directement la haute montagne.

a) – Sensibilisation, éducation et formation

(*Mesure* ***2.3-5.3-7.2****, fiches* ***3.1-3.2-3.3*** *du Cahier des habitats de l'étage altimontain*[1] ***)*** Différentes mesures sont mises en place dans un objectif pédagogique. Elles ont pour but de **sensibiliser la population locale, les visiteurs et professionnels du tourisme** à la vulnérabilité des écosystèmes et au besoin de leur préservation[2]. En particulier, la **lutte contre les incendies** et **contre les espèces exotiques envahissantes** sont les deux enjeux majeurs de sensibilisation[1]. Des animations sont souvent proposées au grand public lors de manifestations nationales ou locales (Nuit sans lumière, Fête de la nature…)[2]. Les équipes du parc national utilisent des sites ou portion de sites altimontain comme outil de sensibilisation, en fonction de leur intérêt patrimonial fort et de leur faible sensibilité au passage touristique[3]. Le nombre de visites guidées de ces sites, à destination de la population locale, touristique mais aussi d'un public scolaire devrait encore se renforcer[3]. Chaque année, plus de 50 manifestations sont organisées et concernent plus de 20 000 personnes[2].Des actions de sensibilisation directe sont menées tous les weekends par les équipes du parc, qui vont à la rencontre des randonneurs sur les sentiers. Des conférences, expositions et publications sont aussi mises en place pour permettre une diffusion des connaissances tout en sensibilisant à la protection du patrimoine naturel et culturel[2]. Des formations concernant les valeurs et le fonctionnement des différents habitats altimontains réunionnais font l'objet d'une réflexion en cours[3].

Figure 34 : Agents du Parc National initiant des élèves aux enjeux de la protection et conservation du patrimoine naturel, Lycée des métiers, Roches maigres

Le développement de réseaux et partenariats autour de la thématique « habitats altimontains de La Réunion » est attendu pour contrer le manque de disponibilité des données brutes. La mise en place d'une plateforme d'échange de données et de partage des résultats d'études est actuellement à l'étude sur l'île, de même que l'intégration à une dynamique participative à l'échelle de l'Océan Indien[3].

b) – Gérer, conseiller et surveiller

(*Mesure **9.1-15.1**, fiche **2.1** du cahier des habitats de l'étage altimontain*)

Les notions de gestion, de conseil et de surveillance sont indispensables pour faire appliquer la règlementation du Parc national de La Réunion. Depuis 2008, des agents de terrain privilégient **dialogue et prévention** pour faire appliquer la règlementation. 17 de ces 40 agents sont assermentés et commissionnés pour faire respecter le code de l'environnement, le code forestier, le code pénal et la réglementation du Parc. Ils constatent et peuvent stopper des infractions, par exemple liées à la pratique du **braconnage**. En 2012, suite aux nombreux **incendies**, le Parc a mis en place une mission de 20 éco-gardes financés par le Conseil régional pour prévenir les incendies dans les secteurs sensibles au cours de

la saison sèche. Par ailleurs, sur le plan judiciaire, le parquet de Saint-Denis a proposé une mesure innovante : en cas d'atteinte à l'environnement, un stage de sensibilisation payant sera proposé en remplacement des amendes dont les responsables sont passibles[2].

Figure 35 : Le cas particulier de l'élevage des Hauts. Source : Charte du parc de La Réunion, 2014 :

Certaines pratiques d'élevage dans les Hauts s'avèrent incompatibles avec la conservation de la nature en cœur de parc. Il s'agit de cas isolés de troupeaux de bovins divagants dans le cœur naturel du parc national, dans Mafate, dans les Hauts de l'ouest et sur le massif du Volcan. Le dialogue instauré avec les propriétaires des animaux a permis d'identifier des solutions conciliant la préservation du patrimoine naturel et la pérennité des exploitations[2].

De plus, le parc est sollicité pour autorisation ou pour avis concernant des travaux, aménagements et activités en cœur du parc. Plus de 1000 demandes ont été étudiées depuis la création du parc donc plus d'un tiers concerne **les manifestations sportives, culturelles et de loisirs**. Les sensibilisations pour la réduction des impacts de ces activités sur l'environnement sont de plus en plus intégrées par leurs organisateurs[2].

La création d'un **observatoire de l'étage altimontain** pour suivre l'évolution des habitats (migrations des espèces en altitudes due au changement climatique) et des menaces (incendies et espèces exotiques

envahissantes principalement) ainsi que l'impact des mesures de gestion est l'un des objectifs des acteurs de la gestion des milieux naturels de l'île. Cet observatoire aura pour but par exemple d'évaluer l'impact des mesures de gestion sur l'évolution du front d'expansion des foyers d'espèces exotiques envahissantes, ou encore de mesurer l'impact du pâturage extensif sur l'expansion des espèces exotiques envahissantes et sur la fermeture des milieux[3].

Un tableau de bord du tourisme et des loisirs au sein du parc a été réalisé par le parc national de La Réunion à l'aide des études menées par l'ONF : il fait l'inventaire des sites et des équipements, des structures d'hébergement, des activités agro-touristiques[2]… Il sera prochainement complété par une autre enquête menée par l'ONF et l'université de La Réunion sur la fréquentation des sites du parc et sur les motivations des visiteurs à y accéder[2]. Les données recueillies, en cours de consolidation, constituent un précieux outil d'aide à la décision pour orienter les actions qui seront prises en matière de protection des espaces, d'aménagement des sites, d'accueil du public et de communication.

c) – Faune : approfondir les connaissances et préserver les espèces menacées

*(Objectifs **3-5**, fiches **2.2** du cahier des habitats de l'étage altimontain)*

En étroit partenariat avec des structures et associations spécialisées pour la conservation des espèces, le Parc national inscrit dans la durée des **actions de sauvegarde de différentes espèces animales**. La conservation des **oiseaux endémiques** de la Réunion est la principale action menée sur l'île (Tableau 7). Ces oiseaux possèdent comme prédateurs les chats et rats qui se nourrissent de leurs œufs. Ainsi, une lutte contre les rats engagées commencée dans les années 2000 ont permis la multiplication de l'envol des oisillons depuis 2008[2]Des recherches ont ainsi été menées pour identifier les sites de reproduction de ces oiseaux et suivre les colonies.

Tableau 7 :

Principales actions du parc national de la Réunion menées sur trois des espèces endémiques présentes à l'étage altimontain de la Réunion.
Source : PNR[2]

<table>
<tr>
<td>Busard de Maillard
(crédit photo : Jean-François Bègue)
« Le braconnage, l'empoisonnement secondaire (lorsque leurs proies ont ingéré des poisons agricoles) et les collisions avec les lignes électriques sont les trois menaces à supprimer. Des actions préventives sont testées et des accords négociés sont mis en place pour limiter ces causes de mortalité. Le programme Life + Cap DOM consiste à identifier les sites d'intérêt majeur pour l'avifaune afin d'intégrer cette donnée aux décisions d'aménagement du territoire. Le protocole national de suivi des oiseaux communs, outil d'évaluation de la biodiversité, alimentera une base de données ornithologique, accessible en ligne, conçue pour La Réunion. Les outils qui seront testés sur les sites pilotes ont vocation à être restitués et dupliqués dans les autres territoires d'outre-mer et les pays voisins de chacun d'eux »[2]</td>
<td>Tuit-tuit
(crédit photo : Benoit Lequette)
« Il s'agit de trouver une nouvelle méthode de contrôle des rats sur une grande surface, tout en continuant à appliquer la méthode actuelle de contrôle (dératisation par grains de maïs empoisonnés placés dans des tubes en PVC). Les agents du Parc national contribuent d'autre part à la lutte contre les rats, au baguage des poussins de l'année et au suivi des populations (recherche de nids, points d'écoute). »[2]</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Gecko vert de Bourbon
(crédit photo : Romuald Meigneux)
« Le Parc national a aujourd'hui mené diverses missions de prospection afin d'améliorer sa connaissance. De nombreuses stations où cette espèce est présente ont été localisées, notamment des populations atypiques situées en haute altitude (Maïdo, Cimendef, Dimitile). Isolées des autres populations de l'île, elles feront l'objet d'études afin d'identifier un possible isolement génétique et un début de formation d'une nouvelle espèce. Le Parc a reçu, pour cela, le soutien financier de l'Agence Française de Développement. Leur présence semble possible, à 2 000 m d'altitude, grâce aux abris constitués par les anfractuosités rocheuses, où les vents remontant les remparts leur apportent de la chaleur et de la nourriture (insectes). Ces populations d'altitude, isolées les unes des autres, vivent sur des surfaces restreintes. Celle du Maïdo, récemment découverte, a été affectée par les incendies de 2010 et 2011, qui ont détruit au total 7 kilomètres linéaires de son aire de répartition. Elle fait l'objet d'un suivi particulier, qui s'ajoute aux comptages effectués dans les forêts de l'île par les agents du Parc depuis 2009, en appui ou accompagnement de partenaires. »[2]</td>
</tr>
</table>

Pour aider cette préservation, un objectif du Parc National consiste à **approfondir les connaissances faunistiques** en inventoriant les divers compartiments faunistiques inféodés à l'étage altimontain. Ces études devraient considérer les groupements de végétation en place ainsi que les usages socio-économiques qui affectent ces milieux, par exemple l'implantation de mobilier urbain. Ces expertises complémentaires permettront de corréler la va**leur patrimoniale faunistique à celle des habitats** afin d'optimiser et de hiérarchiser les actions de gestion[3].

d) – Prévention, lutte et restauration contre les espèces invasives

*(Objectif **4,** fiches **1.4-1.5** du cahier des habitats de l'étage altimontain)*

Prévenir et lutter contre les espèces exotiques envahissantes, au cas par cas, pour maintenir la diversité génétique et spécifique de l'étage altimontain est l'un des grands objectifs des acteurs de la conservation des milieux de l'île[3]. Depuis 1980, des actions sont mises en place pour lutter et maîtriser les invasions des plantes exotiques (Figure 36). En 2010, une stratégie de lutte contre ces espèces est mise en place par l'Etat.

Figure 36 : Application de phytocide par un agent de l'ONF sur souches d'ajonc.

Cette stratégie se déroule selon 4 axes[2] :

- **Prévention** pour éviter l'introduction de nouvelles espèces invasives en surveillant les espèces entrantes, étant connus les risques présentés par chaque espèce ;
- **Lutte active** pour détecter les espèces à risque avant leur prolifération ;
- **Sensibilisation, communication, éducation et formation** du grand public, décideurs, professionnels ;
- **Coordination des actions** en s'appuyant sur une base de données commune, sur un suivi dans le temps des résultats des actions et sur des partenariats avec les pays et territoires confrontés aux mêmes invasions.

Ces quatre grands axes sont mis en œuvre dans le Programme Opérationnel de Lutte contre les espèces Invasives piloté par la DEAL (direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement). Plusieurs protocoles ont été élaborés auquel des agents de terrains sont formés. Ces derniers relèvent sur le terrain les plantes exotiques isolées et procèdent à une éradication d'urgence selon des méthodes appropriés[2].

Une **restauration** des habitats patrimoniaux est proposée par l'ONF en complément de ces différents axes de travail pour favoriser le retour des espèces indigène en éliminant les semenciers exotiques. Ce programme comprend différentes actions de restauration écologique et un renforcement des populations patrimoniales de faibles effectifs en vue de limiter l'emprise des espèces exotiques envahissantes sur les milieux[3].

Etablir une **liste d'alerte des espèces exotiques potentiellement menaçantes** ayant des comportements envahissants dans d'autres régions de l'Océan Indien est une des actions proposées par l'ONF[3].

e) – Faire progresser la connaissance pour soutenir la conservation

*(Objectif **5 1**, fiches **1.2-1.3** du cahier des habitats de l'étage altimontain)*

« Mieux connaitre le territoire permet de mieux le gérer » (***Objectif 5 de la charte du parc national de La Réunion***). Le parc national apporte un soutien et commande différentes recherche sur les sujets susceptibles d'enrichir la connaissance sur son territoire, pour le bénéfice également des organismes scientifiques qui y contribuent[2]. Voici deux exemples d'études qui contribuent à une meilleure connaissance de l'étage altimontain :

Zoizo blanc	**Piton de la Fournaise**
(crédit photo : Benoit Lequette)	*(crédit photo : Hervé Douris)*
« L'oiseau blanc vit dans plusieurs milieux naturels de l'île. Des observations ont mis en lumière des évolutions morphologiques distinctes de cette espèce, d'une aire de répartition à l'autre. Le Parc finance une étude sur cette spéciation en cours, menée par l'Université de La Réunion, associée à l'Université de Toulouse. Plusieurs sites d'études sur lesquels les populations sont baguées ont été mis en place depuis 2008. »[2]	« Un des volcans les plus actifs de la planète : de mars 2007, date de la création du parc national, à 2012, pas moins de neuf éruptions se sont succédées. Celle d'avril 2007 présentait un caractère exceptionnel : les coulées qui ont coupé la route nationale mesuraient jusqu'à 60 mètres d'épaisseur, contre 3 ou 4 mètres lors des épisodes précédents. Une des premières actions du Parc a donc été un soutien au projet ANR Under Volc, qui a pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement du Piton de la Fournaise et ainsi mieux anticiper les éruptions volcaniques et leurs conséquences. L'établissement a également établi un partenariat renforcé avec l'Observatoire volcanologique. »[2]

L'ONF propose l'élaboration d'une **liste d'espèces indigènes inféodées à l'étage altimontain** pour la mise en place d'actions de conservation des espèces rares. Cette liste pourrait justifier du renforcement des populations, voire de réintroductions, pour les espèces les plus menacées par les incendies, les espèces exotiques envahissantes ou encore par le changement climatique. La préservation des habitats altimontains à forts enjeux de conservation est ainsi essentielle pour maintenir la diversité biologique et génétique des populations mais aussi pour garantir une qualité paysagère[3].

f) – Restaurer les milieux dégradés

*(Mesure **3.4**)*

De nombreux **incendies** touchent les Hauts de l'île de la Réunion. Par exemple, en 2010, plus de 800 hectares de végétation ont été touchés au Maïdo et 113 hectares sur la massif du volcan, détruisant à la même occasion la quasi intégralité de la faune présente. Suite à ces nombreux incendies, un **suivi des zones incendiées** et **l'observation des processus de reprise de la végétation** a été mis en place, fin 2010[2]. Le développement d'incendies à une fréquence élevée, la dégradation des sols par l'érosion et la compétition exercée par les espèces exotiques envahissantes perturbent la capacité de recolonisation végétale des écosystèmes altimontains. La mise en place **d'éco-gardes** en 2012 afin de prévenir les incendies a été une grande réussite dans la limitation des départs de feu. Notamment durant les quatre mois de la période sèche de l'île, ils lancent des messages d'alerte permettant une intervention rapide des pompiers. Par exemple, durant la période de surveillance du 10 septembre 2012 au 10 janvier 2013, aucun dommage significatif par le feu n'a été déploré[2].

g) – Réguler les activités d'élevage dans les Hauts

Dépourvus initialement de grands herbivores, les milieux naturels et espèces associées de l'île subissent **l'impact négatif des bovins divagants[5]**. De nombreuses dispositions concernent de ce fait la divagation au sein du parc national de La Réunion :

La règlementation environnementale : Le décret n°2997-296 du 5 mars 2007 créant le Parc National de La Réunion autorise les pratiques agricoles dans la mesure où elles sont « existantes à la date de création du parc et régulièrement exercées ». Le secteur des Hauts de l'ouest n'est pas jugé conforme aux dispositions du décret, seul le secteur du piton de l'Eau fait l'objet de dispositions particulières sur l'activité pastorale[5].

La règlementation sanitaire : le code rural définit la divagation animale comme une compétence relevant du pouvoir de police du maire. En cas de divagation, le propriétaire du terrain peut demander l'évacuation des animaux au maire. De plus si le propriétaire de l'animal n'est pas identifié et les dommages causés non réparés sous les 8 jours suivant la saisie, l'animal peut être vendu ou euthanasié en cas de risque sanitaire grave. La règlementation sanitaire contraint également les modalités d'abattage des animaux, des pratiques hors des circuits règlementaires étant pointées du doigt[5].

La règlementation propre au régime forestier : le code forestier prévoit plusieurs dispositions contre l'occupation illicite des parcelles soumises au régime forestier et contre les dégradations éventuelles pouvant en découler[5].

La réglementation européenne définit l'identification des animaux et leur localisation sur une parcelle déclarée comme une règle d'éligibilité aux demandes d'aides de la Direction de l'alimentaire, l'Agriculture et de la forêt de La Réunion (DAAF)[5].

h) – Conclusion

Les nombreux enjeux présents à l'étage altimontain entrainent la mise en place de multiples mesures de gestion des écosystèmes et des usages qui en sont faits. L'amélioration de la connaissance des écosystèmes, et sa diffusion vers les populations et scientifiques, apparaît un facteur clé pour leur succès. De nouvelles mesures de gestion du territoire sont envisagées par les différents acteurs gestionnaires des milieux de l'île, afin de préserver la diversité biologique de La Réunion, ses paysages et le fonctionnement de ses écosystèmes. Le développement opérationnel de ces mesures requière la participation de toutes les parties prenantes de l'île, y compris le grand public et la population touristique, et constitue un objectif majeur de gouvernance durable.

Les milieux d'altitude du Parc National de Guadeloupe – connaissances et enjeux

Note introductive : Les informations ci-après ont été synthétisées par Guy Van-Laere & Hervé Magnin (Parc National de la Guadeloupe). Elles complémentent les éléments décrits pour les milieux altimontains de la Réunion, en particulier vis-à-vis des Parties I, II et IV de l'EFESE Haute-Montagne, volet Outre-mer. Dans le cadre de ce rapport, il n'a pas été possible de mobiliser des informations concernant la Partie III (Biens, services écosystémiques et patrimoine naturel) pour l'étage altimontain de la Guadeloupe. Le lecteur est renvoyé vers Hamadé et Hetier 2014 pour une estimation de la valeur économique des services écosystémiques associés aux milieux forestiers et marins du Parc, hors périmètre de l'EFESE Haute Montagne

Figure 37 : Le volcan de la Soufrière, point culminant des Petites Antilles à 1467 m, est situé sur le territoire du Parc National de la Guadeloupe. (A.), Paysage typique de la Grande Faille Nord (B.) et Gentiane des Hauts (Irlbachia frigida) (C.).

A

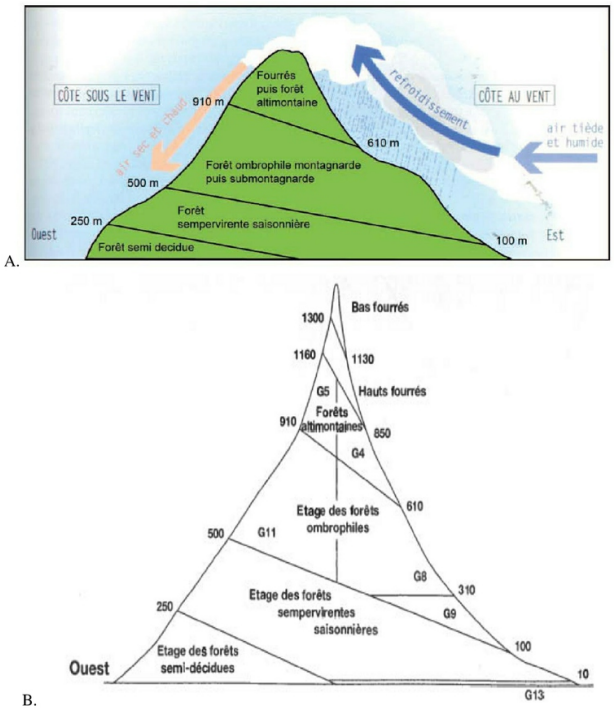
B

C

1. – Partie 1 - Milieux d'altitude de la Guadeloupe

Les **formations d'altitude non forestières** présentes sur le territoire du Parc National de la Guadeloupe (PNG) apparaissent, suivant l'exposition au vent ou sous le vent, entre 850 et 1100 mètres (Figure 38, Figure 43).

Figure 38 : Délimitation de la haute montagne en Guadeloupe. A. Etagement des formations végétales de la Basse Terre et fonctionnement du système de pluviosité orographique. D'après Rousteau (1995) et Sastre et Breuil (2007), dans Migeot 2010. B.



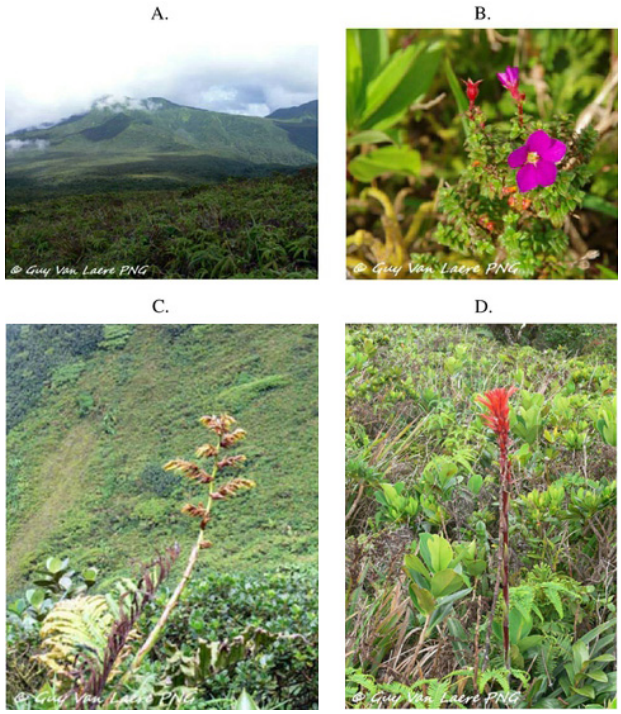
C'est là que se développent les **hauts fourrés d'altitude** dominés par le Mangle montagne (*Clusia mangle*) et les **bas fourrés difficilement pénétrables** où s'entremêlent ligneux, herbacées et certaines espèces généralement épiphytes mais qui, faute de supports ligneux, se trouvent ici au sol, en particulier dans les tapis de sphaignes (*Sphagnum sp.)*. On y trouve également le Fuschia montagne (*Charianthus alpinus*), espèce

endémique des Petites Antilles, les Cré-cré rouges (*Charianthus corymbeus* et *C. purpureus*) endémiques des Petites Antilles également.

Figure 39 : Végétation des fourrés d'altitude : Mangle montagne (Clusia mangle) (A.), Fuschia montagne (Charianthus alpinus) (B.)

Les « **savanes** » (Figure 40) sont généralement dominées par les broméliacées, Ananas jaune montagne (*Guzmania plumieri*) et Ananas rouge montagne (*Pitcairnia bifrons*), associées, entre autres, au Thym montagne (*Tibouchina ornata*) et au Lis montagne (*Irlbachia frigida*).

Figure 40 : Savane aux ananas (A.) et végétation associée : Thym montagne (Tibouchina ornata) (B.), Ananas jaune montagne (Guzmania plumieri) (C.), Ananas rouge montagne (Picairnia bifrons) (D.).



Sur les sols marécageux des **prairies humides d'altitude** pousse le Jonc des hauts (*Juncus guadeloupensis*) plante endémique de Guadeloupe, uniquement présent sur ce massif.

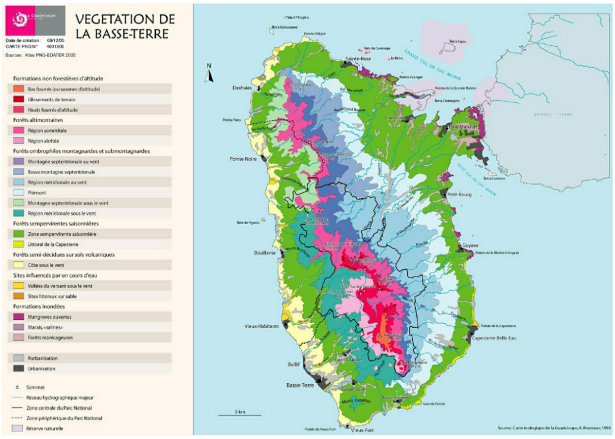
Sur les **affleurements rocheux** (Figure 41) colonisés par les mousses, les lichens et les algues, poussent les Lycopodes (*Lycopodium sp.*), des végétaux proches des fougères. Des orchidées peuvent s'associer à ces formations, parfois en nombre important, c'est notamment le cas pour l'Epidendrum patens. On y trouve aussi la Siguine blanche (*Philodendron giganteum*) aux énormes feuilles vert sombre (Sastre, 2007).

Figure 41 : Végétation des affleurements rocheux : Orchidée Epidendrum patens (A.), Lycopode (Lycopodium sp.) (B.). et Algues bleues (cyanobactéries) (C.).

Toute cette végétation est adaptée à la **saturation en eau** qui accompagne l'importante nébulosité et les fortes précipitations record qui peuvent dépasser les 8 000 mm par an. Sur les crêtes de la Basse Terre, en particulier, les conditions climatiques sont extrêmes (nébulosité et hygrométrie, vent et précipitations). Sur les pentes, le gradient altitudinal serré (pentes de 10 % en moyenne) des versants, allié aux effets du volcanisme et de l'insularité déterminent une **diversité floristique exceptionnelle** avec la présence **d'endémiques rares** notamment chez les ptéridophytes (Bernard, 2010). Le régime d'alizés induit un effet de Foehn qui provoque une distinction des formations et de l'étagement de la végétation entre la Côte-au-Vent et la Côte-sous-le-Vent.

Figure 42 : Crête à mangles

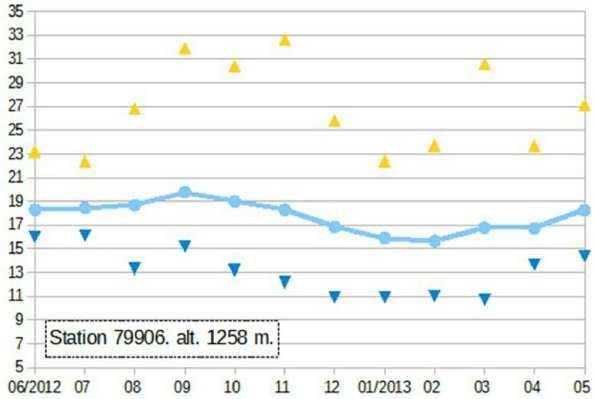
Figure 43 : Végétation de la Basse-Terre. La haute montagne est concernée par les "formations non forestière d'altitude". Toutes comprises dans la zone cœur du Parc National de la Guadeloupe, elles couvrent 2463 ha.
Source : Rousteau, 1996 – PNG.



En 2012, une étude a été initiée sur ces pentes avec, pour objectif global, d'étudier et de montrer les **possibilités bio-indicatrices** des Bryophytes et des Ptéridophytes pour le suivi de l'évolution du climat dans les îles tropicales. Ces groupes sont fortement représentés dans les écosystèmes tropicaux humides (Programme MOVECLIM, Figure 44). Cette étude qui visait plus particulièrement le milieu tropical insulaire concernait les îles de La Réunion (Mascareignes), de Pico (Açores), de La Palma (Canaries), de Tahiti (Polynésie française), et de la Guadeloupe (Antilles). La première mission de terrain menée en Guadeloupe en juin 2012 devait mettre en évidence des peuplements caractéristiques de bryophytes et de ptéridophytes de sept stations altitudinales réparties le long d'un gradient entre 350 à 1450 m. Un total de six cent quarante-neuf (649) échantillons de bryophytes, d'une surface de 50 cm^2 chacun ont été récoltés. 73 espèces de bryophytes ont été inventoriées au niveau 350 m et 126 au niveau 450 m. La détermination des espèces inventoriées aux niveaux supérieurs n'est pas encore terminée. Le suivi des placettes de relevés pourra donner à terme les informations recherchées sur

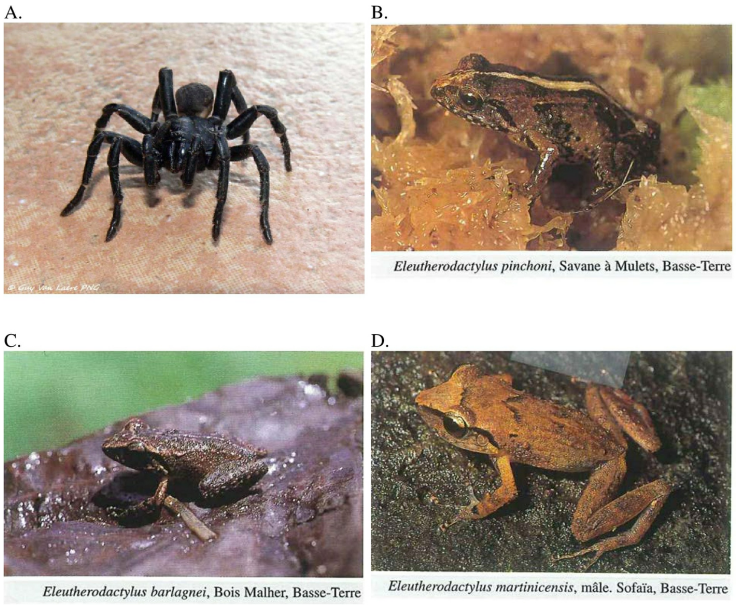
la variabilité des peuplements en fonction de l'évolution des conditions climatiques ; les espèces reconnues sensibles à cette évolution pourront ainsi être retenues comme indicatrices (Lavocat-Bernard, 2016).

Figure 44 : Températures moyennes et records minimaux – maximaux mensuels pour les stations du programme Moveclim – Massif de La Soufrière.
Source : Moveclim - PNG



La **diversité animale** de ces milieux est en revanche **beaucoup plus réduite**. On y retrouve cependant, là encore, des **espèces endémiques** même si elles ne sont pas entièrement inféodées au seules formations d'altitude. La Mygale de la Soufrière (*Holothele sulfurenscis*) découverte en 1999 n'est quasiment jamais observée en dessous de 700 m. Chez les **arthropodes**, une synthèse bibliographique (Meurgey, 2011) fait état, pour la Guadeloupe, de 333 espèces endémiques strictes pour 3101 espèces recensées, il est indéniable que les milieux d'altitude (savanes, tapis de sphaignes, cavités rocheuses…) représentent un biotope privilégié pour cet embranchement. L'Hylode de Pinchon (*Eleutherodactylus pinchoni*) et l'Hylode de Balagne (*E. Balagnei*) toutes deux endémiques de la Basse-Terre ainsi que l'Hylode de la Martinique (*E. martinicensis*), endémique des Petites-Antilles, sont observées dans les savanes d'altitudes mais sont également bien présentes sur tout le massif forestier.

Figure 45 : Quelques espèces endémiques pour lesquelles les milieux d'altitude constituent un habitat : Mygale de la Soufrière (Holothele sulfurenscis) (A.), L'Hylode de Pinchon (Eleutherodactylus pinchoni) (B.), Hylode de Balagne (E. Balagnei) (C.), et Hylode de la Martinique (E. martinicensis) (D.).
Crédits photos Hylodes : Breuil, 2002.



Chez les **oiseaux**, seuls, les nectarivores sont observés au-dessus de l'étage forestier. Les colibris, Madère (*Eulampis jugularis, Figure 46*), endémique des Petites-Antilles, et Huppé (*Orthorynchus cristatus*), endémique des Petites-Antilles et Porto-Rico, et dans une moindre mesure le Sucrier à ventre jaune (*Coereba flaveola*), fréquentent les fleurs de broméliacées. Le Pétrel diablotin (*Pterodroma hasitata*), oiseau marin pélagique de la zone caraïbe, a niché en abondance sur les escarpements rocheux de la Soufrière mais a disparu à la fin du 19ème siècle en tant que nicheur, suite à une pratique humaine dévastatrice de pillage des nids. Une étude est actuellement en cours pour rechercher les indices de son éventuel retour sur le site (Levesque et Yesou, 2005).

Figure 46 : Colibri madère (Eulampis jugularis)

Indépendamment des conditions du milieu, la **fréquentation humaine** de ces sites sur les sentiers de randonnées, favorise la présence **d'espèces opportunistes**, normalement absentes à ces altitudes, telles que le Rat noir (*Ratus ratus*), la Petite mangouste indienne (*Herpestes auropunctatus*), ou le Sporophile rouge-gorge (*Loxigilla noctis*)…

Les sources du massif de la Soufrière sont très différentes les unes des autres tant par leur composition physico-chimique et leur teneur en Éléments Trace Métalliques (ETM) que par leur thermalité, leur débit et les aménagements dont elles ont fait l'objet (BRGM, 2007).

Des études récentes sur les **sources hydrothermales d'altitude** ont révélé des résultats très originaux. Les sources « blanches **»** situées à l'amont de la source du Galion aux environs de 1200 m d'altitude, hébergent un écosystème sulfidique unique, riche en Archae d'un groupe assez peu étudié à ce jour. Elles sont tapissées par des sédiments blancs de texture crayeuse. Les analyses en microscopie électronique à balayage (MEB) et par dispersion des rayons X ont montré que ce sédiment était composé essentiellement de soufre élémentaire. Le MEB a révélé la présence de bacilles d'1 µm de long. Les techniques moléculaires (hybridation avec des sondes Archae puis amplification et séquençage des brins d'ADN extraits) ont montré qu'il s'agit d'Archae de la famille des Thermoplasmales. Des bactéries ferro-oxydantes du genre *Gallionella* sont aussi présentes. Malgré la diversité des couleurs observées sur la paroi

lessivée par les eaux de la source du Galion, les éléments biologiques hébergés sont assez peu diversifiés. Cela est vraisemblablement dû à la température élevée de l'eau ainsi qu'à ses caractéristiques chimiques très particulières (température supérieure à 45°C, pH acide, inférieur à 5, forte teneur en éléments minéraux, eaux hyper chlorurées sodiques) et en ETM (Lefrançois et al., 2014). Ces milieux extrêmes cachent encore certainement des **espèces nouvelles** pour la science et des **mécanismes métaboliques particuliers** qui illustrent la diversité des phénomènes adaptatifs entre les organismes vivants et leur environnement.

2. – *Partie 2 - Principaux facteurs de changement des milieux d'altitude*

Localement autour du dôme de la Soufrière il ne faut pas oublier l'impact des **cendres volcaniques** de la dernière éruption de 1976 qui a tout carbonisé à la ronde (la végétation ligneuse ne s'en est pas encore remise). On peut aussi ajouter à cela le **changement de composition chimique des fumerolles** du volcan début 1990 qui a entraîné la quasi disparition de la végétation (sauf mousses et broméliacées) sous le panache. La parfaite adaptation de la végétation aux conditions climatiques extrêmes présentes laisse penser qu'elle est dotée d'une **bonne résilience** face aux perspectives de changement globaux à ces altitudes. La principale menace est celle des **glissements de terrain**, aggravés par la présence de traces de **randonnée** et de l'augmentation des épisodes pluvieux intenses annoncés dans **l'évolution du climat**. La cicatrisation dans ces milieux écorchés et privés de sol est très lente. On peut noter **l'absence d'espèces exotiques envahissantes végétales** dans ces milieux, par contre **rats et mangoustes** sont présents, bien que leur impact ne soit pas évalué.

Figure 47 : Végétation brûlée par les fumerolles

Le volcan de la Soufrière est un des sites majeurs pour les **activités de randonnées** (98 500 visiteurs en 2016). Les sentiers balisés permettent un accès jusqu'au sommet et un parcours sécurisé sur le dôme autorise une approche au plus près de certains cratères actifs. Cette activité volcanique permanente et en recrudescence actuellement, nécessite cependant une surveillance constante et parfois un réaménagement des accès autorisés. Tout au long de la progression, des panneaux d'information sur les milieux (faune et flore) et sur l'histoire du volcan, renseignent les visiteurs.

Figure 48 : Cratère sud, émanation de soufre

Les pentes abruptes et les obstacles naturels (ravines), suscitent également une fréquentation sportive importante de la part des adeptes du **trail**. Le Volcano-trail, une course qui a acquis une notoriété internationale, attire chaque année de nombreux participants (562 en 2016 dont 104 pour le grand parcours de plus de 40 km).

Ces activités touristiques et sportives, dans un contexte de sols fragiles et de précipitations intenses, ont indéniablement des **répercussions sur le milieu à court ou à long terme** même si celles-ci restent très difficiles à quantifier (piétinement, érosion, glissements de terrain). Le Parc tente d'amoindrir ces répercussions, par des aménagements du milieu (canalisation des eaux de ruissellement, platelages, escaliers…) et par des négociations sur les itinéraires sensibles et sur le nombre de participants avec les organisateurs de courses sportives.

3. – *Partie 3 – Enjeux de conservation et de connaissances*

1) – Un projet de réserve intégrale

Le projet de réserve intégrale du massif de la Soufrière, est situé dans les zones les plus inaccessibles du massif. Aucun sentier d'accès n'est répertorié dans la zone et même si on ne peut exclure l'éventualité d'une fréquentation épisodique ancienne par les amérindiens, nous pouvons affirmer **qu'aucune perturbation humaine directe n'a pu affecter ces milieux**. Compte tenu de sa présence sur les deux versants, au vent et sous-le-vent d'une part, et de son étagement altitudinal d'autre part, elle est tout à fait rep**résentative des principaux habitats caractéristiques de cette montagne tropicale**. On peut noter de nombreuses **espèces végétales endémiques** dans les formations d'altitude présentes et l'intégration de deux bassins versants parmi les plus importants du relief de la Basse Terre. Ces deux entités biogéographiques atteignent une surface de près de 3 000 ha, suffisamment déterminantes pour assurer le **bon fonctionnement écologique** des grands écosystèmes concernés. Elle intègre en outre une partie de l'habitat potentiel du Pétrel diablotin (*Pterodroma hasitata*), oiseau classé EN (Endangered) sur la liste mondiale de l'UICN, CR (danger critique) sur

la liste française et considérée comme disparue en tant que nicheur de Guadeloupe (Meurgey et al., 2011).

Figure 49 : Projet de Réserve Intégrale du massif de la Soufrière.
Crédit photo : Hervé Magnin-PNG

La mise en place d'une telle réserve intégrale dans le cœur du parc national de la Guadeloupe n'apportera pas un niveau de protection très supérieur à celui du cœur, mais permettra de **mieux communiquer sur le caractère « primaire » unique** de ces entités écologiques parfaitement conservées et épargnées de toute atteinte directe de l'homme. Ce territoire sous haute protection pourrait ainsi **attirer les scientifiques** à la recherche d'écosystèmes de référence permettant de suivre de manière exceptionnelle les dynamiques d'évolution.

2) – Des études scientifiques en cours

- **L'activité volcanique** de la Soufrière est suivie en continu par l'équipe de l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de la Guadeloupe (Institut de Physique du Globe de Paris). Un dispositif technologique de pointe permet d'explorer et de suivre l'évolution de l'intérieur du dôme à l'aide de 5 télescopes à muons (Lesparre et al., 2012).
- *L'Observatoire de l'eau et de l'érosion aux Antilles (ObsERA) est un service d'observation de l'INSU-CNRS et de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) consacré à* ***l'étude de l'altération et de l'érosion*** *aux Antilles. Il*

implique des équipes de l'IPGP, de l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe, de l'Université Antilles, de l'Institut Universitaire Européen de la Mer (UBO) et du Laboratoire de Sciences de la Terre de l'Université Claude Bernard (Lyon I). L'objectif d'ObsErA est de permettre la constitution d'une base de données des ***flux d'eau*** *(précipitations et débit des rivières), des* ***flux de sédiments*** *et de* ***matière organique*** *(en particulier de carbone) dans les rivières et sur les versants ainsi que de la* ***composition chimique*** *des rivières et des sols dans le contexte particulier de l'île de la Basse-Terre*. (LLoret et al., 2013), (Dessert et al., 2015).

- En 2016, le parc national, dans le cadre de ses appels à projets scientifiques, a financé la réalisation d'une étude intitulée « La forêt nuageuse des Petites Antilles : impact des changements climatiques ? Synthèse bibliographique et éléments de discussion liées à l'écophysiologie des arbres ». Cette étude est menée par l'UMR ECOFOG-DYNECAR de l'université des Antilles. Le rapport de cette étude doit être rendu en juillet 2017.

Bibliographie Volet Réunion

Partie 1

CADET T., 1980.- La végétation de l'île de La Réunion, *Imp. Cazal*, 312 p.

[1]. Wikipédia, 15/05/2017, *La Réunion*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/La_R %C3 %A9union, consulté le 16/05/2017

[2]. Parc national de la Réunion, *Les pitons s*,
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-decouvertes/patrimoine-mondial/les-pitons, consulté le 16/05/2017

[3]. Dictionnaire Larousse, Stratovolcan,
[**En ligne**], http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/stratovolcan/74835, consulté le 16/05/2017

[4]. SVT Réunion, *Le massif du piton des Neiges*,
[**En ligne**], http://svt.ac-reunion.fr/svt/environ/geologie/volcan/rouvolc/ar4.html, consulté le 16/05/2017

[5]. Wikipédia, *piton de la Fournaise*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Piton_de_la_Fournaise, consulté le 16/05/2017

[6]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Volcan actif de l'île*,
[**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/volcan/volcan-actif-de-l-ile, consulté le 16/05/2017

[7]. L'internaute, *Pourquoi les terres volcaniques sont-elles fertiles ?*, Décembre 2005,
[**En ligne**], http://www.linternaute.com/science/environnement/pourquoi/05/volcan-fertile/pourquoi-volcan-fertile.shtml, consulté le 16/05/2017

[8]. Parc national de la Réunion, *Les cirques*,
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-decouvertes/patrimoine-mondial/les-cirques consulté le 16/05/2017

[9]. Parc national de la Réunion, *Les Remparts*,
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-decouvertes/patrimoine-mondial/les-remparts, consulté le 16/05/2017

[10]. Parc national de la Réunion, *Le cirque de Mafate*,
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-decouvertes/la-reunion-une-ile-de-nature/le-cirque-de-mafate-voyage-en-terre-de-volcan, consulté le 16/05/2017

[11]. Wikipédia, *Mafate*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Mafate, consulté le 16/05/2017

[12]. Runraid, Le cirque de *Mafate*,
[**En ligne**], http://runraid.free.fr/mafate.php, consulté le 16/05/2017

[13]. LINFO.RE, *Risques d'éboulement : la liste des sentiers fermés*, 18/06/2014,
[**En ligne**], http://www.linfo.re/la-reunion/faits-divers/645849-risques-d-eboulement-la-liste-des-sentiers-fermes, consulté le 16/05/2017

[14]. Comité régional de tourisme de la Réunion , *Cirque de Salazie*,
[**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/montagne/les-cirques/cirque-de-salazie, consulté le 16/05/2017

[15]. Wikipédia, *Salazie*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Salazie, consulté le 16/05/2017

[16]. I-trekkings, *Réunion : randonnées dans les 3 cirques de Mafate, Salazie et Cilaos*,
[**En ligne**], http://www.i-trekkings.net/news/index.php ?val=2220_reunion+randonnees+dans+3+cirques+mafate+salazie+cilaos, consulté le 16/05/2017

[17]. Wikipédia, *Cilaos*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Cilaos, consulté le 16/05/2017

[18]. Parc national de la Réunion, *pitons, cirques et remparts*,
[**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/montagne/pitons-cirques-et-remparts, consulté le 16/05/2017

[19]. (Tempe. A, 2017) *Evaluation des ecosystèmes et services écosystémiques associés aux milieux rupicoles à lechelle nationale*. Rapport de stage M1 SEAM – Université Savoie Mont-Blanc.

[20]. Google books, *Les montagnes tropicales : identités, mutations, développement : table*-ronde, Bordeaux-Pessac, 27 et 28 novembre 1998, François Bart, Presses Univ de Bordeaux, 2001, 669p,
[**En ligne**],
https://books.google.fr/books ?id=42IhXiqxGZAC&pg=PA615&lpg=PA615&dq=les+r %C3 %A9gions+climatiques+de+l %27 %C3 %AEle+de +la+r %C3 %A9union+chaleur+cumul %C3 %A9e&source=bl&ots=Hes7aPZN7l&sig=0pC_zUNqg8rQx8000zLiad_cVII&hl=fr&sa=X&ved=0ah UKEwir6oOfqvbTAhWEPhQKHUI6BD4Q6AEISDAI#v=onepage&q=les %20r %C3 %A9gions %20climatiques %20de %20l %27 %C3 %AEle %20d e %20la %20r %C3 %A9union %20chaleur %20cumul %C3 %A9e&f=false, consulté le 10/05/2017

[21]. Météo France, *Climat de La Réunion*,
[**En ligne**], http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat, consulté le 16/05/2017

[22]. Bureau d'Etude Industriel, *Etude climatique*, 1998,
[**En ligne**], http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9598/travaux/optsee/bei/nome41/n41p03.htm, consulté le 16/05/2017

[23]. Wikipédia, *Climat de La Réunion*, 29/04/2017,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_de_La_R %C3 %A9union#Disparit.C3.A9_climatique_mesur.C3.A9e, Consulté le 17/05/2017

[24]. Lacoste et Picot 2011 -Cahiers d'habitats de La Réunion : étage altimontain. Rapport technique n° 7 non publié, Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion, 173p,
[**En ligne**], https://inpn.mnhn.fr/docs/ref_habitats/Cahiers_habitats_La_R %C3 %A9union_ %C3 %A9tage_altimontain_2011.pdf, consulté le 16/05/2017

[25]. Office National des Forêts, *Une végétation riche et singulière*,
[**En ligne**], http://www.onf.fr/la-reunion/sommaire/patrimoine/patrimoine_exceptionnel/vegetation/20070907-093506-999643/@@index.html, consulté le 17/05/2017

[26]. Parc national de la Réunion, *La faune*,
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-connaissances/la-faune, consulté le 17/05/2017

[27]. Guide touristique, *Faune et flore de la Réunion*, 17/05/2017, [**En ligne]**,
http://www.mi-aime-a-ou.com/faune_flore_ile_de_la_reunion.php, consulté le 17/05/2017

[28]. *« Les milieux naturels du globe »*, Jean Demangeot, 2009, 376p,
[**En ligne**], https://books.google.fr/books?id=Dts0pWIo0MQC&dq=m%C3%A9thode+chaleur+cumul%C3%A9e&hl=fr&source=gbs_navlinks_s, Consulté le 22/05/2017

Partie 2

[1]. France, *L''île de la Réunion patrimoine mondial de l'UNESCO*,
[**En ligne**], http://france.fr/fr/infosredac/ile-reunion-inscrite-patrimoine-mondial-unesco, consulté le 18/05/2017

[2]. BCPST-Ressources d'accompagnement, *Risques naturels et contraintes environnementales à la Réunion*,
[En ligne], http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/histoire_geo/PDF/BCPST/LA_REUNION-BCPST-DOC-DEF_8OCT.pdf, consulté le 09/05/2017

[3]. DI MURO, *PITON DE LA FOURNAISE*, *Encyclopædia Universalis*
[**En ligne**], http://www.universalis.fr/encyclopedie/piton-de-la-fournaise/, consulté le 11/05/2017

[4]. BRGM, 23/07/2015, *Evaluation du risque volcanique à la Réunion et prise en compte dans la gestion de crise*,
[**En ligne**], http://www.brgm.fr/projet/evaluation-risque-volcanique-reunion-prise-compte-gestion-crise, consulté le 09/05/2017

[5].BRGM, 2015, *Evaluation du risque volcanique à la Réunion et prise en compte dans la gestion de crise*,
[**En ligne**], p13, http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64469-FR.pdf, consulté le 09/05/2017

[6]. Wikipédia, 21/01/2017, *L'enclos Fouqué*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Enclos_Fouqu %C3 %A9, consulté le 10/09/2017

[7]. BIDGRAIN. P, *Séquence 1 : l'occupation de nouveaux milieux*,
[**En ligne**], http://svt.ac-reunion.fr/ressources/regionales/site_apoi/colonisationlave/colonisation_lave.htm, consulté le 09/05/2017

[8]. Parc national de la Réunion, 21/06/2012, *La charte du parc national de la Réunion, les Piton, cirques et remparts au centre d'un projet de territoire*,
[**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Charte-V4-2-28-06-12-Basse-def_de751d74.pdf, p35, consulté le 10/05/2017

[9]. Parc National de la Réunion, 2007-2013, *Le territoire, les Hommes, les premières actions*,
[**En ligne**], http://pnrun.espaces-naturels.fr/IMG/pdf/Bilan-6ans-PNRun-A4-web-2013.pdf, p7, consulté le 10/05/2017

[10].Parc national de la Réunion, 21/06/2012, *La charte du parc national de la Réunion, les Piton, cirques et remparts au centre d'un projet de territoire*,
[**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Charte-V4-2-28-06-12-Basse-def_de751d74.pdf, p37, consulté le 10/05/2017

[11].Marie LACOSTE & Frédéric PICOT, novembre 2009, *Les zones humides de la Réunion*,
[**En ligne**], http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/les_zones_humides_de_la_reunion_volume_1_rapport_de5d364e.pdf, p29, consulté le 10/05/2017

[12]. Parc National de la Réunion, *La faune invasive, nouveaux animaux de compagnies, La flore invasive, La faune invasive, les chats harets, la flore*
[**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-connaissances, consulté le 10/05/2017

[13].Groupe espèces invasives de la Réunion, *Espèces invasives à la Réunion, Faune, Flore*,
[**En ligne**], http://www.especesinvasives.re/especes-invasives/especes-invasives-a-la-reunion/#t28, consulté le 10/05/2017

[14]. Marie LACOSTE & Frédéric PICOT, 31/12/2011, *Cahier d'habitat de la Réunion, étage altimontain*,
[**En ligne**], https://inpn.mnhn.fr/docs/ref_habitats/Cahiers_habitats_La_R %C3 %A9union_ %C3 %A9tage_altimontain_2011.pdf, p148, p150, p149, consulté le 10/05/2017

[15]. V.BASTONE et Y. DE LA TORRE, collaboration de C.GARNIER, *Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à la Réunion*,
[**En ligne**], http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59495-FR.pdf, p94, p105, consulté le 10/05/2017

[16]. Parc national de la Réunion, 21/06/2012, *La charte du parc national de la Réunion, les Piton, cirques et remparts au centre d'un projet de territoire*,
[**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Charte-V4-2-28-06-12-Basse-def_de751d74.pdf, p38, consulté le 10/05/2017

[17]. Parc National de la Réunion, 2007-2013, *Le territoire, les Hommes, les premières actions*,
[**En ligne**], http://pnrun.espaces-naturels.fr/IMG/pdf/Bilan-6ans-PNRun-A4-web-2013.pdf, p39, consulté le 10/05/2017

[18]. V.BASTONE et Y. DE LA TORRE, collaboration de C.GARNIER, *Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à la Réunion*,
[**En ligne**], http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59495-FR.pdf, p107,p108, consulté le 10/05/2017

[19]. Académie de la Réunion, *La réunion face aux changements climatiques*,
[**En ligne**], http://www.cndp.fr/crdp-reunion/node/171, consulté le 10/05/2017

[20]. Aquaportail, *Naturalisation*, 2015,
[**En ligne**], https://www.aquaportail.com/definition-8977-naturalisation.html, Consulté le 22/05/2017

[21]. BRGM, Evaluation du risque volcanique à la Réunion et prise en compte dans la gestion de crise, 23/07/2015,
[**En ligne**], http://www.brgm.fr/projet/evaluation-risque-volcanique-reunion-prise-compte-gestion-crise, Consulté le 22/05/2017

[22]. Les services de l'état à la Réunion, *Le dispositif opérationnel ORSEC : les dispositions spécifiques*, 23/12/2015,
[**En ligne**], http://www.reunion.gouv.fr/le-dispositif-operationnel-orsec-les-dispositions-a1132.html, Consulté le 22/05/2017

[23]. Habiter la Réunion, *Le trail à la Réunion*,
[**En ligne**], https://habiter-la-reunion.re/le-trail-a-la-reunion/, Consulté le 22/05/2017

[24]. ONF, *Directive et schéma régional d'aménagement, La Réunion*, 2013,
[**En ligne**], http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/directives_et_schema_regional_d_amenagement_2013_de83db 18.pdf, consulté le 23/05/2017

[25]. Botarela, *Anthoxanthum odoratum*, 2012,
[**En ligne**], http://botarela.fr/Poaceae/Taxons/Anthoxanthum-odoratum.html , consulté le 23/05/2017

[26]. AgroParisTech, Le suivi des sols forestiers et les indicateurs de fertilité, Michel Vennetier, Jean Ladier et Freddi Rey, 2014,
[**En ligne**], http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/56564/RFF_2014_4_517_530_Vennetier.pdf ?sequence= 1, consulté le 24/05/2017

[27]. Google livres, *L'élevage bovin de la Réunion : synthèse de quinze ans de recherche*, Gilles Mandret, Edition QUAE, 2010,
[**En ligne**], https://books.google.fr/books ?id=8aPeevM62vsC&pg=PA137&lpg=PA137&dq=activit %C3 %A9s+pastorales+R %C3 %A9union&source=bl&ots=QqfF9mhR4p&sig=8ebrTanMncRi3EOo8qvMwP-9qRU&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjOwt6il4jUAhVEcRQKHcViCFoQ6AEITjAH#v=onepage&q&f=false, Consulté le 24/05/2017

[28]. **Nathalie** Udo**, Catherine** Darrot**, Michèle** Tarayre **et Anne** Atlan*, « Histoire humaine et naturelle d'une invasion biologique », Revue d'ethnoécologie*, 01 juillet 2016, [**En ligne**], http://ethnoecologie.revues.org/2724, Consulté le 24/05/2017

[29] Attié, M. (1994). *Impact du Cerf de Java, Cervus timorensis russa, à la Plaine des Chicots et proposition de restauration du milieu*. Le Tampon, Réunion, Office National des Forêts

[30] SREPEN « gestion de la Réserve Naturelle de la Roche Ecrite », H. THOMAS, T. MOULAMAN & S. RADJASSEGARANE, Novembre 2006, Note de synthèse sur la présence du cerf rusa sur le massif forestier de la roche écrite.

[31] Info nature, n°28, 2005, M. Thomas MOULAMAN, *Le cerf à la Roche écrite*.

Partie 3

[1]. Cahier des habitats de l'étage altimontain, Programme FEDER, Conservatoire Botanique National de Mascarin 31/12/2011, [**En ligne**], https://inpn.mnhn.fr/docs/ref_habitats/Cahiers_habitats_La_R %C3 %A9union_ %C3 %A9tage_altimontain_2011.pdf, Consulté le 24/05/2017

[2]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Que faire au volcan ?*, [**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/volcan/que-faire-au-volcan, consulté le 17/05/2017

[3]. Parc national de la Réunion*, Le piton de la fournaise, un volcan vivant*, [**En ligne**], http://www.reunion-parcnational.fr/fr/des-decouvertes/la-reunion-une-ile-de-nature/le-massif-de-la-fournaise-le-feu/le-piton-de-la, consulté le 17/05/2017

[4]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Que faire au volcan ?*, [**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/cote-volcan/les-eruptions, consulté le 17/05/2017

[5]. AllonsLaRéunion, *Randonnées et trekkings à la Réunion*, [**En ligne**], http://www.allonslareunion.com/activites-reunion/loisirs-en-montagne/randonnee-trekking.html, consulté le 17/05/2017

[6]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Trail*, [**En ligne**], http://www.reunion.fr/decouvrir/aventuriers/bouger/trail, consulté le 17/05/2017

[7]. Randopitons, *Les clubs et associations de randonnée à la Réunion*, [**En ligne**], https://www.randopitons.re/divers/clubs-randonnee, consulté le 17/05/2017

[8]. Runraid, **,** *Courses de montagne, trails, raids : résultats, commentaires et photos***,** [**En ligne**], http://runraid.free.fr/courses.php, consulté le 17/05/2017

[9]. Grand raid Réunion**,** *Récapitulatif des inscriptions*, [**En ligne**], https://moncompte.grandraid-reunion.com/index.php ?liste&ab=GR&lang=fr&etat=2, consulté le 17/05/2017

[10]. Wikipédia, *Pas de Bellecombe*, [**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Pas_de_Bellecombe, consulté le 17/05/2017

[11]. ONF, *11 gîtes à découvrir*,
[**En ligne**], http://www.onf.fr/la-reunion/sommaire/loisirs_en_foret/gites/gites/20071128-170026-326598/++oid++3c7/@@display_gallery.html, consulté le 17/05/2017

[12]. Air aventures, *Nos circuits*,
[**En ligne**], https://www.air-aventures.com/circuits-2, consulté le 17/05/2017

[13]. BRGM, *Appuis à l'ONF à La Réunion pour l'évaluation des risques naturels*, 11/08/2016 ,
[**En ligne**], http://www.brgm.fr/projet/appuis-onf-reunion-evaluation-risques-naturels, consulté le 30/05/2017

[14]. Fédération Française d'Escalade et Canyoning à l'Île de la Réunion, *Comité Régional FFME Réunion*,
[**En ligne**], http://www.ffme974.org/le-comite-regional-ffme-reunion/, consulté le 17/05/2017

[15]. Fédération Française d'Escalade et Canyoning à l'Île de la Réunion**,** *Géologie de l'escalade Réunionnaise*,
[**En ligne**], http://www.ffme974.org/geologie-de-lescalade-reunionnaise/, consulté le 17/05/2017

[16]. FFME, *Les clubs*,
[**En ligne**], http://www.ffme.fr/club/liste-des-structures.html ?DISCIPLINE=esc&ID_DEPARTEMENT=101, consulté le 17/05/2017

[17]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Lieux remarquables*,
[**En ligne**], http://www.reunion.fr/planifier/voir-faire/lieux-remarquables/col-des-boeufs-586325, consulté le 17/05/2017

[18]. Grande ravine, *Tunnel de lave*,
[**En ligne**], http://granderavine.com/tunnel-de-lave/, consulté le 17/05/2017

[19]. FFS et Ministère des sports, *Mission d'expertise, les tunnels de laves de l'île de la Réunion*,
[**En ligne**], https://vincentcheville.files.wordpress.com/2013/01/etude_tunnel_de_lave_rapport_dtn_ffs_fev2011.pdf, consulté le 17/05/2017

[20]. Comité régional de tourisme de la Réunion, *Patrimoine géologique*,
[**En ligne**], http://www.reunion.fr/pratique/l-ile-de-la-reunion/climat-geographie/patrimoine-geologique, Consulté le 17/05/2017

[21]. Planète Terre**,** *Les spatters cones et hornitos*,
[**En ligne**], http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/Img484-2015-01-26.xml, Consulté le 17/05/2017

[22]. Larousse, *Scories*,
[**En ligne**], http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/scorie/71579, Consulté le 17/05/2017

[23]. Cybergeo, *Revue de la typologie des éruptions au Piton de La Fournaise, processus et risques volcaniques associés*,
[**En ligne**], https://cybergeo.revues.org/2536, consulté le 17/05/2017

[24]. Wikipédia, *Cheveux de Pelé*,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Cheveux_de_P %C3 %A9l %C3 %A9, Consulté le 17/05/2017

[25]. Dossier de presse, *La cité du volcan*, 2014,
[**En ligne**], http://www.regionreunion.com/fr/spip/IMG/pdf/DP_CDV_04-07-14_1_.pdf, Consulté le 17/05/2017

[26]. FranceInfo, *15 plantes médicinales endémiques de La Réunion figurent désormais dans la pharmacopée française*,
[**En ligne**], http://la1[er]e.francetvinfo.fr/reunion/2013/08/09/15-plantes-medicinales-endemiques-de-la-reunion-figurent-desormais-dans-la-pharmacopee-francaise-54463.html, consulté le 17/05/2017

[27]. Guide touristique mi-aime-a-ou, *Fleur jaune, Flore endémique de la Réunion*,
[**En ligne**], http://www.mi-aime-a-ou.com/fleur_jaune.php, consulté le 17/05/2017

[28]. Guide touristique mi-aime-a-ou, *Ambaville, arbuste endémique de la Réunion*,
[**En ligne**], http://www.mi-aime-a-ou.com/ambaville.php, consulté le 17/05/2017

[29]. Overblog, *11 plantes de la pharmacopée réunionnaise*,
[**En ligne**], http://les-habitants-sentinelles.over-blog.com/article-12802585.html, consulté le 17/05/2017

[30]. Parc national de la Réunion, *Documentation petits tamarin des hauts*,
[**En ligne**], https://documentation.reunion-parcnational.fr/doc_num.php ?explnum_id=570, consulté le 17/05/2017

[31]. Guide touristique mi-aime-a-ou, *Cochléaria espèce indigène de la Réunion*,
[**En ligne**], http://www.mi-aime-a-ou.com/centella_asiatica.php, consulté le 17/05/2017

[32]. DEAL Réunion, *Espèces menacées : liste IUCN*,
[**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_de_presse_Liste_rouge_faune_de_La_Reunion_de0169bd.pdf, Consulté le 18/05/2017

[33]. DEAL Réunion, *Espèces menacées : liste IUCN*,
[**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_de_presse_Flore_vasculaire_de_La_Reunion_de567cb3.pdf, Consulté le 18/05/2017

[34]. François DUBAN, *Le Brûlé*, 2011,
[**En ligne**], http://f-duban.fr/Decouvertes_naturalistes/Le %20Brule//le-long-de-la-route-des.html Consulté le 18/05/2017

[35]. Inventaire et valorisation du patrimoine géologique de l'outre-mer français, Jean-Philippe Ran, Pierrick Graviou, Herve Theveniaut, Geosciences, 2011, pp.100-109,
[**En ligne**], https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00662331/document, Consulté le 22/05/2017

[36]. HAURIE JLL. et RANÇON JLP. ; coll. CHEVAI~IER P., el FRISÇANT N, Phase 1 de l'inventaire du patrirnoine géologique de l'île de La Réunion : mise en place de la méthodologie et présélection des sites et objets géologiques remarquables, Rapport BRGM/RP-5 1983.FR, 2002,
[**En ligne**], http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-51983-FR.pdf, Consulté le 22/05/2017

[37]. Wikipédia, *Cratère Commerson*, mars 2017,
[**En ligne**], https://fr.wikipedia.org/wiki/Crat %C3 %A8re_Commerson, Consulté le 22/05/217

[38]. Blog île de la Réunion, *Le cratère Commerson*, 2017,
[**En ligne**], http://ile-de-la-reunion.info/blog/cratere-commerson, Consulté le 22/05/217

[39]. UICN, *La définition internationale du critère (vii) et son évaluation*, 9 décembre 2017,
[**En ligne**], http://patrimoinemondial.airesprotegees.fr/files/2016/05/2014-Critere-vii-1.pdf, Consulté le 22/05/217

[40]. Vacances vertes, *La Réunion : Un patrimoine naturel d'exception*, [**En ligne**], 20/01/2014, https://www.vacances-vertes.net/articles/decouvrir/tourisme-durable/la-reunion-un-patrimoine-naturel-d-exception-97.html, Consulté le 22/05/217

[41]. Le parc national de la Réunion, *Piton, cirque et remparts de l'île de la Réunion*, [**En ligne],** http://www.cg974.fr/images/pdf/envi_plaquette_patrimoine_mondial.pdf, Consulté le 22/05/217

[42]. Ministère de l'écologie, de l'énergie, de développement durable et de la mer, *LA SENSIBILITE AU PAYSAGE AU XXe SIECLE*, [**En ligne**], http://www.atlasdespaysages-lareunion.re/page1.php?id_chapitre=179, Consulté le 22/05/217

[43]. Guide touristique mi-aime-a-ou, *Plaine des Sables et le piton Chisny*, 2017, [**En ligne**], http://www.mi-aime-a-ou.com/plaine_des_sables.php, Consulté le 22/05/217

[44]. Parc nationaux de France, *D'où vient la biodiversité des parcs nationaux français ?*, août 2010, [**En ligne**], http://www.parcsnationaux.fr/fr, consulté le 24/05/2017

[45]. AgroParisTech, Le suivi des sols forestiers et les indicateurs de fertilité, Michel Vennetier, Jean Ladier et Freddi Rey, 2014, [**En ligne**], http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/56564/RFF_2014_4_517_530_Vennetier.pdf ?sequence=1, consulté le 24/05/2017

[46].ONF, *Directive et schéma régional d'aménagement, La Réunion*, 2013, [**En ligne**], http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/directives_et_schema_regional_d_amenagement_2013_de83db18.pdf, consulté le 23/05/2017

[47]. Zinfo, Endémique, *le Petit tamarin des hauts ne pousse plus depuis les incendies du Maïdo*, 2012, [**En ligne**], http://www.zinfos974.com/Endemique-le-Petit-tamarin-des-hauts-ne-pousse-plus-depuis-les-incendies-du-Maido_a50469.html, Consulté le 24/05/2017

[48]. CBNM, *Ajonc*, 2012, [**En ligne**], https://www.especesinvasives.re/spip.php?action=acceder_document&arg=624&cle=8ef5abb05e525bd235547997dad8baff0efb9dbb&file=pdf%252FUlex_europaeus.pdf , consulté le 23/05/2017

[49]. Guide touristique mi-aime-a-ou, *Ajonc épineux, ajonc d'europe*, [**En ligne**], http://www.mi-aime-a-ou.com/ajonc.php, consulté le 23/05/2017

[50]. EFESE, *Rapport intermédiaire*, Décembre 2016, PDF

[51]. Poética, *Le piton des Neiges*, Auguste Lacaussade, [**En ligne**], http://www.poetica.fr/poeme-111/auguste-lacaussade-piton-des-neiges/, consulté le 30/05/2017

[52]. Cirque de Mafate de l'île de la Réunion, Mickaël DONEDDU, *Le Maïdo à la Réunion*, [**En ligne**], http://www.reunion-mafate.com/sejour/acces/par-le-maido/, consulté le 30/05/2017

[53]. DEAL Réunion, *Patrimoine mondial de l'UNESCO*, 30/05/2013, [**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/patrimoine-mondial-de-l-unesco-r257.html, Consulté le 18/05/2017

[54]. AgroParisTech, Franck LUSTENBERGER *La divagation des bovins dans les Hauts de l'ouest de La Réunion*, Rapport de stage, Avril 2009, [**En ligne**], https://documentation.reunion-parcnational.fr/index.php ?lvl=author_see&id=455, consulté le 05/06/2017

[55] *Cahier des habitats de l'étage altimontain, Programme FEDER, Conservatoire Botanique National de Mascarin, 187p*

Partie 4 :

[1]. La charte du Parc national de la Réunion, Les *Pitons, cirques et remparts au centre d'un projet de territoire*, Projet arrêté par le conseil d'administration le 21 juin 2012, [**En ligne**], http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Charte-V4-2-28-06-12-Basse-def_de751d74.pdf, consulté le 29/05/2017

[2]. Parc national de La Réunion, *Le territoire, les hommes, les premières actions, 2007-2013*, [**En ligne**], http://pnrun.espaces-naturels.fr/IMG/pdf/Bilan-6ans-PNRun-A4-web-2013.pdf, Consulté le 29/05/2017

[3]. LACOSTE M. & PICOT F. 2011, Cahiers d'habitats de La Réunion : étage altimontain, Rapport technique n° 7 non publié, Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion, 173p. + annexes, [**En ligne**], https://inpn.mnhn.fr/docs/ref_habitats/Cahiers_habitats_La_R %C3 %A9union_ %C3 %A9tage_altimontain_2011.pdf, Consulté le 29/05/2017

[4]. AgroParisTech, Franck LUSTENBERGER, *La divagation des bovins dans les Hauts de l'ouest de La Réunion*, Rapport de stage, Avril 2009, [**En ligne**], https://documentation.reunion-parcnational.fr/index.php ?lvl=author_see&id=455, consulté le 05/06/2017

[5]. Parc national de La Réunion, Actes du *séminaire des GEstionnaires de la COnservation de la BIOdiversité à La Réunion GECOBIO 1*, 18 novembre 2015, [**En ligne**], https://www.researchgate.net/publication/301227101_Actes_du_seminaire_des_gestionnaires_de_la_conservation_de_la_biodiversite_a_La_Reunion_GECOBIO_1, consulté le 05/06/2017

Bibliographie Volet Guadeloupe

Bernard J.F, 2010. Étude de la ptéridoflore de la Guadeloupe – Rapport interne PNG. 45 pages.

Bézèlgue-Courtade S., S. Bes-de-Berc, 2007. Inventaire et caractérisation des sources thermales de Guadeloupe. Rapport final. BRGM / RP-55060-FR. Février 2007. 116 pages.

Breuil M. 2002. Histoire naturelle des Amphibiens et Reptiles terrestres de l'archipel Guadeloupéen. Guadeloupe, Saint-Martin, Saint-Barthélémy. Patrimoines Naturels, 54 : 339 p.

Dessert C, E. Lajeunesse, E. Lloret, C. Clergue, O. Crispi, C. Gorge, X. Quidelleur, 2015. -Controls on chemical weathering on a mountainous volcanic tropical island : Guadeloupe (French West Indies). Geochemica et Cosmochemica Acta 171, 216-237, 2015.

Hamadé F., Hetier JP, 2014 – Synthèse de l'étude « Approche des éléments de valeurs du Parc national de la Guadeloupe » Rapport BRL.

Lavocat Bernard E, Reeb C, 2016. - Additions to the bryophyte flora of Guadeloupe archipelago (Lesser Antilles) Bryophyte Diversity and Evolution. Vol 38, No 2 31 December 2016

Lefrançois E., Coste M., Dessert C., Gros., 2014, Étude des sources hydrothermales, rapport, PNG, 67p.

Lesparre Nolwenn, Dominique Gibert, Jacques Marteau, Jean-Christophe

Komorowski, Florence Nicollin and Olivier Coutant, 2012. Density muon radiography of La Soufrière of Guadeloupe volcano : comparison with geological, electrical resistivity and gravity data. GJI, 190, 1008 – 1019 Geophysical Journal International C 2012 RAS.

Levesque A, Yesou P, 2005. - Occurrence and abundance of tubenoses (Procellariiformes) at Guadeloupe, Lesser Antilles, 2001-2004, North American Birds 59 : 672 – 677. Lewington, I., P Lloret E, C. Dessert, L. Pastor, E. Lajeunesse, O. Crispi, J. Gaillardet, M.F. Benedetti, 2013.

Dynamic of particulate and dissolved organic carbon in small volcanic mountainous tropical watersheds. Chemical Geology.
journal homepage : www.elsevier.com/locate/chemgeo

Migeot, J. (2010) Phénologie et variations spatiales de la croissance des peuplements à Pterocarpus officinalis Jacq. dans la forêt marécageuse de Guadeloupe (Antilles françaises).

Thèse de doctorat de l'Université des Antilles et de la Guyane. pp. 261.

Rousteau, A. 1996. Carte écologique de la Guadeloupe. Office National des Forêts, Université des Antilles et de la Guyane, Parc National de la Guadeloupe. 1 carte, 36 pp.

Sastre C, Breuil A, 2007 – Plantes, milieux et paysages des Antilles française. Ecologie, biologie, identification, protection et usages. Biotope, Mèze, (Collection Parthénope), 672 pages.

SHNLH (Meurgey, F.), 2011. Les Arthropodes continentaux de Guadeloupe : Synthèse bibliographique pour un état des lieux des connaissances. Rapport SHNLH pour le Parc National de Guadeloupe. 184 pages.

SHNLH (Meurgey, F. & Maillard, J.F), 2011. Opportunité et faisabilité d'une réserve intégrale en cœur de parc national de Guadeloupe. Rapport SHNLH pour le Parc National de Guadeloupe. 82 pages.

LES MILIEUX ROCHEUX

Rapport annexe 2

Tempe, A., Crouzat, E., Lavorel, S. (2017) Les milieux Rocheux. EFESE pp. 63.

Auteurs :
Tempe, A (Université Savoie-Mont-Blanc).,
Crouzat, E. (LECA- CNRS),
Lavorel, S. (LECA- CNRS)

Remerciements :
Fabien Hobléa (EDYTEM),
Rolland Douzet (SAJF)
et Jean-Jacques Brun (IRSTEA Grenoble)

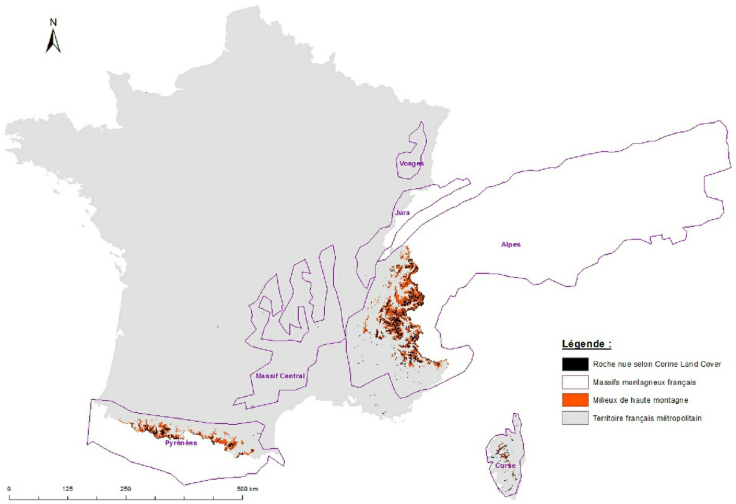
Partie 1 : Présentation des milieux rupestres

1. – Définition générale des milieux rocheux

Les milieux rocheux sont définis dans cette étude comme des **milieux naturels ou artificiels à caractère essentiellement minéral**. On emploiera sans distinction les termes de milieux **rocheux, rupicoles et rupestres**. Les configurations des milieux rocheux sont variées, à des échelles également diverses allant de la paroi rocheuse au murgier (tas de pierres constitué par l'épierrage d'une parcelle agricole).

Ils sont **difficilement cartographiables** à large échelle de par leur aspect diffus et fragmenté sur le territoire national. Une des sources de données disponibles aisément est issue de Corine Land Cover, où la catégorie *332. Roches nues* représente moins de 1 % du territoire français métropolitain (et moins de 0.1 % hors périmètre haute montagne). Cette catégorie couvre des éléments à des altitudes variées et au profil topographique contrasté (Figure 1).

Figure 1 : Présence de roche nue selon CLC 2012.



Ces milieux sont également **variables dans le temps :** ils peuvent être rajeunis complètement ou partiellement, mais également être colonisés par la végétation. Dès lors qu'un couvert végétal continu (de type pelouse) se sera mis en place sur le milieu, il ne sera plus considéré comme « rocheux » dans cette étude.

Nota : Ce rapport ne traite pas des milieux rocheux souterrains de type grottes et des falaises, qui font l'objet de travaux spécifiques dans le cadre de l'EFESE (voir travaux du BRGM et du groupe de travail en charge des milieux marins et littoraux).

1) – Typologie des milieux rocheux

La typologie proposée distingue les milieux rocheux dits « **naturels** » et ceux « **d'origine anthropique** » (Tableau 1). Les milieux rocheux naturels existent dans le paysage dans l'intervention de l'homme. Ils s'opposent donc aux milieux rocheux d'origine anthropique, fruit d'une exploitation de l'homme. Ils n'existeraient pas dans l'écosystème d'origine sans l'intervention humaine. Pour ces derniers, la distinction entre **formes en déblais** (matériaux enlevés par rapport au niveau du terrain) et **formes en remblais** (matériaux ajoutés par rapport au niveau du terrain) semble pertinente dans la mesure où les processus écologiques et les espèces associées vont discriminer ces deux formes (Pech, 2013). Bien qu'ils soient façonnés par l'homme, le fonctionnement de ces milieux présente des similarités fortes avec celui des milieux rupicoles naturels. Les mêmes dynamiques et conditions y sont retrouvées, comme l'absence de sol, une forte lithodépendance qui induira une végétation spécifique en fonction de la nature des apports en nutriments du substrat (roche siliceuse, calcaire, …), des changements de températures brutaux liés à la faible inertie thermique du matériel rocheux, … Les milieux rupicoles naturels, quant à eux, prennent des formes variées. Ils peuvent notamment se différencier par leur **durabilité :** les dépôts de crue sont des milieux très éphémères (échelle de l'année), comparé aux parois rocheuses plus « durables » (centaines d'années).

Tableau 1 :

Typologie des milieux rocheux

Milieux rocheux d'origine anthropique	*Les formes en déblais*	Les carrières
		Les mines à ciel ouvert
	Les formes en remblais	Les terrils
		Les haldes
		Les murgiers
		Les murs/murets/ruines
Milieux rocheux naturels	Les dépôts de crue de rivière	
	Les dépôts de crue torrentielle	
	Les éboulis	
	Les chaos de blocs	
	Les blocs erratiques	
	Les parois rocheuses/orgues volcaniques	
	Les dalles rocheuses/lapiaz	
	Les badlands	

2. – *Les milieux rupicoles d'origine anthropique*

1) – Les formes en déblais

Parmi les formes en déblais, deux milieux rupicoles peuvent être distingués : les carrières et les mines à ciel ouvert.

a) – Les carrières

Les carrières sont des **sites d'exploitation**, plus ou moins vastes (d'un hectare à plusieurs dizaines) **de substances minérales non métalliques et non carbonifères** dont la nature, la qualité et le cubage sont économiquement exploitables (CEN Rhône-Alpes, 2014). Les carrières d'exploitation se répartissent sur l'ensemble du territoire français. La France comptait, fin 2013, plus de 4200 carrières en activité dans la métropole et les DROM (Colin, 2014). La roche brute est exploitée sous la forme de **roches meubles** (sables, graviers, galets, …) et de **roches massives** (calcaires, granit, …). L'organisation d'une carrière offre divers espaces de roches nues ayant une topographie propre. On distingue les fronts de taille, flancs

marqués par une certaine verticalité, les banquettes qui séparent les fronts de taille, le carreau situé en fond de fosse ainsi que les éboulis (Figure 2).

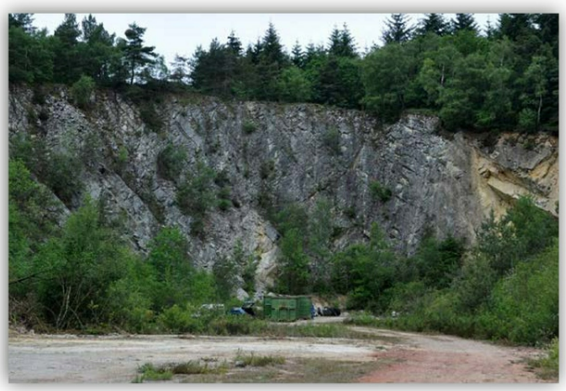
Figure 2 : Diversité des profils de milieux rupestres dans les carrières d'exploitation. Crédit photo : CEMEX (réalisé par A.TEMPE)

Les carrières de roches massives (Figure 3) apparaissent comme les plus intéressantes pour la **biodiversité** car elles permettent la durabilité dans le temps des fronts de taille, qui s'apparentent aux parois rocheuses naturelles. L'implantation des végétaux dépend en particulier, tout comme sur les parois naturelles, de la **cohésion** du matériau, de la **lithologie**, et de la **densité de fissures**. Les stigmates liés aux tirs de mines jouent un rôle important dans la recolonisation car ceux-ci agrandissent ou créent de nouvelles fissures possiblement exploitables par la faune et la flore (Pech, 2013). Les fronts de taille sont sujets aux mêmes processus d'érosion et de condition extrêmes que les parois naturelles.

Le **couvert végétal** de ces milieux est généralement discontinu, clairsemé. Les communautés contiennent des espèces capables de se développer sur des lithosols relativement compacts, comme l'Epilobe des collines (*Epilobium collinum*) ou l'Orpin blanc (*Sedum album*), ainsi que des bryophytes et lichens spécialisés (Figure 4). Quelques espèces ligneuses se comportant comme des espèces pionnières ont été observées sur des éboulis enrichis en particules fines, comme le Frêne élevé (*Fraxinus excelsior*) ou le Bouleau pendant (*Betula pendula*). On note la présence de plusieurs espèces de fougères notamment la Doradille noire (*Asplenium adiantum-nigrum*), la Doradille capillaire (*Asplenium trichomanes*) et le Polypode commun (*Polypodium vulgare*). Selon un inventaire faunistique et floristique réalisé par

l'UNICEM en 2008 sur 35 carrières du territoire national, les carrières de roches calcaires présentent une plus grande diversité floristique que celles de roches éruptives (UNICEM, 2008). Cette diversité s'explique par la lithologie de la roche : les roches calcaires apportent plus de nutriments assimilables par la végétation que les roches siliceuses.

Figure 4 : Revégétalisation d'un front de taille d'une ancienne carrière à Caen (Normandie).
Crédit photo : Lithothèque de Normandie



Les fronts de taille abritent une grande diversité **d'oiseaux rupestres**. Les oiseaux, par exemple le Rougequeue noir (*Phoenicurus ochruros*) et le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), peuvent nicher dans les anfractuosités et surplombs de la roche. Des espèces rupestres rares à forte valeur patrimoniale y trouvent également refuge comme le Hibou Grand-Duc d'Europe (*Bubo bubo*) (Figure 5), le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) ou encore l'Hirondelle rousseline (*Hirundo daurica*). Les carrières jouent un rôle primordial d'habitat pour ces espèces dans les régions de plaine où ces milieux sont rares.

Figure 5 : Hibou Grand-Duc d'Europe (Bubo bubo) dans une carrière.
Crédit photo : R. Verlinde

Les conditions des carrières sont également favorables à la présence des **reptiles** à la recherche de milieux ouverts et secs. Des espèces comme la Couleuvre de Montpellier (*Malpolon monspessulanus*), le Lézard ocellé (*Timon lepidus*), ou encore le Psammodrome algire (*Psammodromus algirus*) ont été observées. Les sites méridionaux sont plus peuplés que les sites septentrionaux de par la répartition nationale des espèces. Néanmoins, grâce au microclimat que créent les carrières, certaines espèces thermophiles comme le Lézard des murailles (*Podarcis muralis*) peuvent étendre leur aire de répartition jusque dans le Nord de la France (UNICEM, 2008). Au-delà de ces exemples, les carrières peuvent constituer un habitat pour bien d'autres espèces, sous influence d'autres facteurs comme notamment l'exposition de la carrière ou encore le climat régional.

b) – Les mines à ciel ouvert

Les mines à ciel ouvert constituent également des milieux rupicoles en remblais, elles correspondent à des **profondes excavations à l'air libre** résultat de l'extraction du minerai. Les mines à ciel ouvert sont mises en place lorsque le minerai recherché se trouve proche de la surface (CDE, 2015). Leur forme topographique s'apparente à celle des carrières, c'est pourquoi les facteurs biotiques de ces milieux s'apparentent également à celles-ci. En France, ce type de mine a essentiellement servi à extraire du charbon et de l'uranium. (Figure 6).

Figure 6 : Vue aérienne de l'ancienne mine d'or de Salsigne (Aude).
Crédit photo : P.Blot/Leemage

2) – Les formes en remblais

a) – Les terrils et les haldes

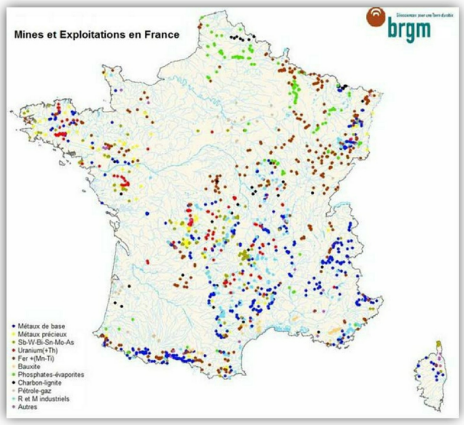
Les terrils et haldes correspondent à des formes en remblais. Ils sont tous deux associés au **travail minier**, qui s'est principalement développé lors de la révolution industrielle. Bien qu'ils soient souvent employés conjointement, les deux termes désignent des dépôts distincts.

Un **terril** (Figure 7) correspond à un dépôt de produits minéraux généré par l'exploitation charbonnière, soit aux abords des sites d'extraction miniers, soit sur des sites plus éloignés spécialement affectés à des mises à dépôt centralisées (Drelon, 2008). Les **haldes** (Figure 8), quant à elles, correspondent à des « tas » constitués avec les déchets de triage et de lavage d'une mine métallique (*Définition dictionnaire Larousse*). Ces deux types de dépôts peuvent être différenciés grâce à leur forme : les terrils décrivent une forme plutôt conique qui leur est caractéristique, tandis que les haldes prennent des formes de dépôt plus variées.

Figure 7 : Les deux terrils de Loos-en-Gohelle (Pas-de-Calais), plus hauts terrils d'Europe.
Crédit photo : Philippe Frutier / Altimage

Figure 8 : Halde dans la commune de Vialas (Lozère)
Crédit photo : vialas-commune.fr

Figure 9 : Présence des mines en France.
Source : BRGM, 2009



D'une manière générale, ces milieux se répartissent sur l'ensemble de la France métropolitaine (Erreur : source de la référence non trouvée), sur les sites où a eu lieu une extraction minière, ainsi que sur les territoires d'Outre-Mer, plus particulièrement en Nouvelle-Calédonie et en Guyane (Moullet, 2006). Le Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais accueille la plus grande densité de terrils : 225 terrils y ont été décomptés (DREAL Nord-Pas-de-Calais, 2017).

Suite à l'exploitation minière, ces milieux sont recolonisés par une végétation adaptée à leurs conditions extrêmes : milieux chauds, secs, plutôt acides, pauvres en matière organique, pentes instables, exposés au vent (Tableau 2).

Des espèces typiques des dunes et espaces littoraux peuvent être observées sur les terrils et haldes (par exemple, *Carlina vulgaris, Carex arenaria*, …). Le Cerisier de Sainte-Lucie (*Prunus Mahaleb*), espèce régionale thermophile, trouve la limite nord de son aire de répartition sur les terrils du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais.

Tableau 2 :

Exemple d'espèces végétales associées aux terrils et haldes

Nom du milieu	*Lithologie générale*	*Type de végétation*	*Exemples d'espèces*
Terrils	Schistes et grés houillers très poreux	Végétation pionnière Espèces thermophiles et acidophiles	***Espèces pionnières :*** Oseille en écusson (*Rumex Scutatus*) (Figure 10), pavot cornu (*Glaucium flavum*)[8] ***Plantes thermophiles :*** Vipérines (*Echium vulgare*), Millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*) (Figure 11)
Haldes	Sols riches en métaux lourds	Pelouses calaminaires : formations végétales ouvertes (le substrat est fréquemment visible) qui colonisent les sols riches en métaux lourds comme le zinc ou le plomb. Les espèces qui les composent sont qualifiées de métallophytes (DGARNE, 2016).	Pensée calaminaire (*Viola calaminaria*) Gazon d'Olympe calaminaire (*Armeria maritima)*

Figure 10 : Rumex scultatus sur un terril.
Crédit photo : G. Lemoine

Figure 11 : Hypericum perforatum sur un terril.
Crédit photo : Richard Old

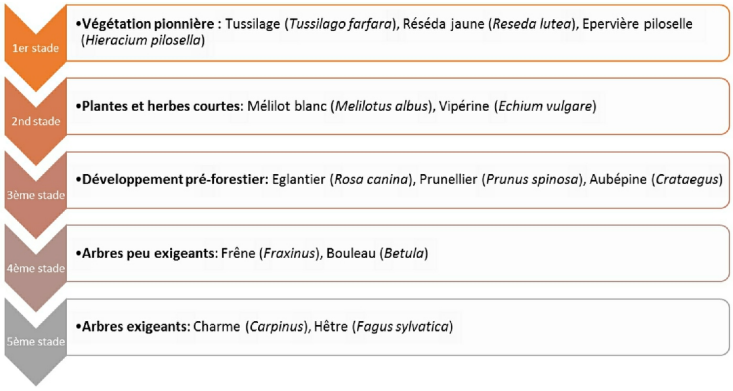
Tout comme les plantes, des espèces de **reptiles** et **d'amphibiens** ont également recolonisé ces milieux, parfois même par des espèces originellement absentes du territoire. Sur les terrils du Nord-Pas-de-Calais, le lézard des murailles (*Podarcis muralis*) (Figure 12) a opéré une remarquable colonisation alors même qu'il était absent de la région auparavant. Des **insectes** thermophiles sont également présents sur les terrils, comme le grillon d'Italie (*Oecanthus pellucens*) et le criquet à ailes bleues (*Oedipoda caerulescens*) (Lemoine, 2013).

Figure 12 : Podarcic muralis sur un terril.
Crédit photo : G. Lemoine

b) – Dynamique de végétation

Les plantes pionnières, qui sont les premières à s'installer sur les terrils et haldes, vont rendre le milieu apte à l'implantation d'autres espèces, jusqu'au développement d'un couvert végétal continu constitué notamment de ligneux. Une dynamique de végétation commune peut être mise en évidence (Figure 13).

Figure 13 : Chronologie de colonisation végétale d'un terril avec exemples d'espèces (A.TEMPE)



Outre une dynamique temporelle générale, la mise en place des successions végétales va varier en fonction de critères tels que l'exposition, la granulométrie, la topographie ou encore la pente, qui favorisera ou non le ruissellement (Artois Comm., 2013).

c) – *Autres formes en remblais*

D'autres structures rupicoles issues du travail de l'homme peuvent constituer de véritables refuges dans des milieux fortement homogénéisés comme les espaces agricoles. Les **murgiers** (appelés aussi *clapiers*, *meurgers*, *murgers*, … en fonction de la région) sont des « tas de pierres » provenant du travail agricole. Ils sont issus de l'historique de gestion agricole des sites et témoignent du travail des agriculteurs qui épierraient les parcelles afin de les rendre cultivables et formaient ainsi des amas de pierres sur les bordures des champs. En montagne, ce travail se réalisait régulièrement en raison d'un apport fréquent de charge grossière, lié aux aléas climatiques caractéristiques des milieux montagneux (avalanches, crues torrentielles, éboulements, …). La taille des murgiers est variable, généralement de quelques mètres de long, mais des murgiers de taille plus importante peuvent exister dans les fonds de vallées (Figure 14). Ils offrent un refuge à de nombreuses espèces de **reptiles**. Le Lézard des souches (*Lacerta agilis*) est par exemple une espèce vivant dans des milieux ouverts ayant besoin de ce genre de milieux pour se réfugier et se réchauffer. Les pratiques agricoles actuelles engendrent une raréfaction de ces milieux, notamment par l'utilisation de machines qui permettent de transporter les pierres afin de les stocker hors des espaces agricoles (Meyer, 2001). Les **murs**, les **murets** et **ruines** constituent également des milieux anthropiques, très diffus, pouvant accueillir des espèces rupestres.

Figure 14 : Grand murgier dans une zone de transition entre prairie et forêt.
Crédit photo : Andreas Meyer

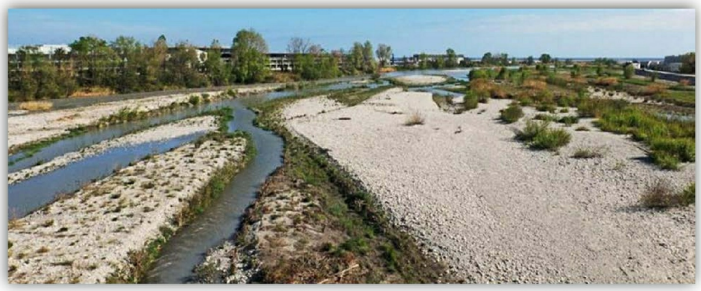
3. – *Les milieux rupicoles naturels*

Les milieux rupicoles sont également composés de milieux rocheux dits « naturels ». A l'inverse des milieux rupicoles d'origine anthropique, ces milieux existent dans les paysages sans l'intervention de l'homme.

Les milieux rupicoles naturels prennent des formes variées. Ils peuvent notamment se différencier par leur **durabilité :** les dépôts de crue sont des milieux très éphémères (échelle de l'année), comparé aux parois rocheuses plus « durables » (centaines d'années). Par ailleurs, la **lithologie** des éboulis et parois rocheuses a un impact significatif sur le type de végétation présente. Deux grandes catégories de roche sont généralement distinguées : les roches **siliceuses** et les roches **calcaires**. Les roches siliceuses contiennent peu d'éléments au-delà de la silice, elles s'opposent aux roches calcaires qui contiennent en plus d'autres éléments tels que le calcium et le magnésium. Un excès de calcium est toxique pour les plantes, toutefois certaines espèces sont capables de se développer malgré des concentrations élevées en calcium. Elles sont appelées **plantes calcicoles**, et s'opposent aux plantes calcifuges qui évitent ces milieux. Enfin, d'autres facteurs interviennent dans l'implantation de la végétation, comme **l'exposition,** la **nature du substrat,** la **pente** et le profil de fissurations, fractures ou failles.

1) – Les dépôts de crue

Figure 15 : Le Var depuis le pont Napoléon III (Nice).
Crédit photo : Jean-Philippe Chevreau



Les dépôts de crue (Figure 15) sont composés de galets, graviers et sables grossiers. Ces milieux sont **pauvres en matière organique** et sont caractérisés par leur **grande précarité**. En effet, ces milieux sont fréquemment rajeunis ou détruits par la dynamique du cours d'eau, qui alterne entre période de crues et basses eaux. Ces milieux se retrouvent plus particulièrement sur les cours d'eau marqués par

des écoulements spasmodiques comme les torrents, bien qu'ils puissent être présents en plaine, par exemple le long de la Loire qui présente un débit moyen très irrégulier (Pech, 2013).

Malgré leur caractère éphémère, une **végétation pionnière herbacée** parvient à coloniser ces milieux au moins pour un temps, en développant diverses stratégies. Les plantes de ces dépôts sont capables de **s'adapter à des milieux autant secs qu'humides** en réponse à la dynamique très irrégulière du cours d'eau. La Scrophulaire des chiens (*Scrophularia canina*) est une plante typique de ces milieux (Cornier, 2002). Quelques formations arbustives parviennent également à coloniser ces milieux comme certaines espèces de saules. Afin de s'accommoder des conditions de mobilité importante, les plantes doivent également être dotées d'un **important système racinaire à forte capacité de régénération**. L'Epilobe de Fleisher (*Epilobium fleischer*) (Figure 16) est une plante pionnière caractéristique de ces milieux alluvionnaires, elle est observée notamment dans les alluvions torrentielles dans les Alpes, le Jura, mais également dans le Verdon (Dentant, 2016).

Figure 16 : Epilobium fleisheri.
Crédit photo : Michael Jutzi

Figure 17 : Végétation pionnière des rivières méditerranéennes à Glaucière jaune en Corse.
Crédit photo : A. Lagrave, INPN

En fonction du **climat local**, les espèces de ces milieux peuvent varier. Les dépôts des cours d'eau méditerranéens abritent, à titre d'exemple, une végétation pionnière à Glaucière Jaune (*Glaucium flavum*). La densité du couvert végétal dépendra de la dynamique de rajeunissement de ces milieux par le cours d'eau (Figure 17).

En termes de faune, les bancs que forment ces milieux accueillent par exemple la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*). Cet oiseau qui affectionne les surfaces nues pour nicher, trouve sur ces dépôts un lieu de reproduction idéal notamment grâce à leur proximité immédiate avec l'eau leur permettant de trouver aisément leur nourriture constituée de petits poissons et invertébrés aquatiques (Lemarchand, 2014).

2) – Les éboulis

Les éboulis correspondent à des zones où s'accumulent des matériaux pauvres en matière organique **issus de l'érosion de pentes instables** qui les dominent. Ils forment alors des **dépôts essentiellement gravitaires** de débris rocheux.

Les éboulis sont des milieux poreux, mobiles et au fonctionnement complexe. On peut en distinguer divers types morphologiques, en fonction de la nature chimique, de la granulométrie et de la mobilité du substrat.

Figure 18 : Eboulis siliceux dans les Alpes-Maritimes.
Crédit photo : Alain Lagrave

La **lithologie** de la roche qui constitue un éboulis est le paramètre déterminant dans le type de végétation qui vient le coloniser, il convient alors de faire une distinction entre les éboulis calcaires et les éboulis siliceux (Erreur : source de la référence non trouvée).

La granulométrie d'un éboulis est le second paramètre qui va faire varier le type de végétation présente. En effet, celle-ci va jouer indirectement sur la teneur en eau : un éboulis grossier retiendra moins l'eau qu'un éboulis fin. Un éboulis voit ses débris **migrer d'amont vers l'aval**, allant en règle générale des plus petits blocs sur la partie haute de l'éboulis vers les plus gros blocs sur la partie basse. Cependant, un classement granulométrique est également à observer dans la **profondeur** de l'éboulis, lié à l'effet des chocs dus à la chute de nouveaux blocs ou par l'effet du lavage par l'eau qui fait glisser les plus petits débris dans les interstices (Pech, 2013).

La **couverture végétale** d'un éboulis est généralement faible et constituée de plantes herbacées à feuillage réduit, adaptées à la grande mobilité du milieu (Tableau 3).

Tableau 3 :

Espèces végétales associées aux éboulis calcaires et siliceux.(A.TEMPE)
Sources : fiches tela-botanica, infoflora.fr

	Exemples d'espèces végétales
Eboulis calcaires	Calamagrostide argentée (*Achnaterum calamagrostis*) : espèce typique des montagnes calcaires (du montagnard jusqu'au subalpin) sur les versants exposés sud notamment (Figure 20. *A*) Ibéris intermédiaire (*Iberis intermedia Guers.*) : plante des milieux calcaires du collinéen au montagnard (Drôme, Cévennes, …) (Figure 20. *B*) Athamante de Crète (*Athamanta cretensis L.*) et Scrophulaire du Jura (*Scrophularia juratensis Schleich.*) : espèces que l'on retrouve sur les éboulis de moyenne montagne (Jura, Bourgogne, causses des Cévennes, …) Sabline de Provence (*Arenaria provincialis*) : espèce patrimoniale protégée vivant sur les éboulis calcaires à gros blocs entre Toulon et Marseille
Eboulis siliceux	Galéopsis des moissons (*Galeopsis segetum*) : espèce caractéristique des éboulis siliceux Galéopsis des Pyréenées (*Galeopsis pyrenaica*) : plante des rocailles siliceuses pyrénéennes (Figure 20. *C*) Muflier à feuilles de Pâquerette (*Anarrhinum bellidifolium*) : espèce vivant sur des roches siliceuses dans des régions aride, notamment dans les Midi et le Centre

Cette grande mobilité induit des dynamiques de végétation variables, qui dépendent du degré d'instabilité de l'éboulis. Un éboulis actif à forte instabilité sera composé de plantes aux stratégies principalement ***migratrices*** (allongement ou régénération du stolon). Lorsque les mouvements de pierres viennent endommager la plante, chaque partie intermédiaire peut devenir indépendante (Figure 19, *schéma 1*). Un éboulis ayant une faible instabilité sera colonisé par des plantes ayant des stratégies ***stabilisatrices* ou *fixatrices***. Les organes stabilisateurs peuvent être souterrains, un dense réseau racinaire jouera un rôle de filet (Figure 19, *schéma 2*), ou aériens, sous formes de touffes denses à la surface de l'éboulis (Bensettiti, 2004). Ces milieux sont fréquents en haute montagne, mais ils se localisent également partout où une pente instable est marquée par l'érosion et où le milieu permet l'accumulation de ces dépôts.

Figure 19 : Exemples de stratégies des espèces végétales localisées sur les éboulis. Crédit : Cahier d'habitat Tome 5

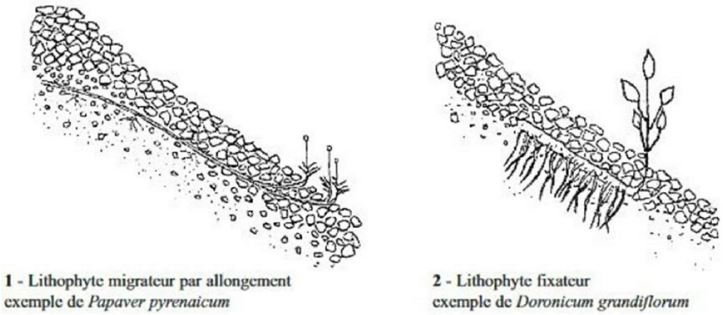
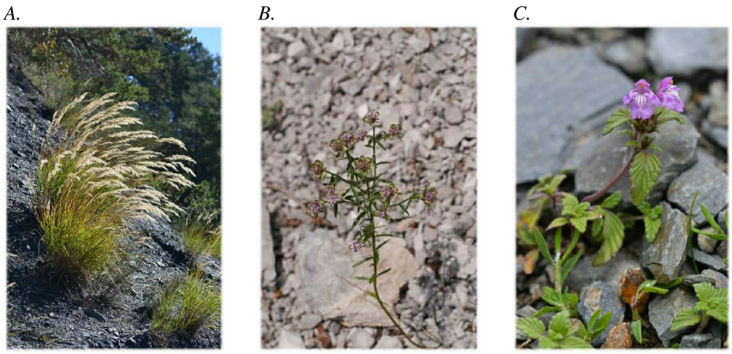


Figure 20 :
A. Achnatherum calamagrostis, Pontis, Alpes-de-Haute-Provence. Credit photo : Floralpes.
B. Iberis intermedia Guers, Jura. Crédit photo : Philippe Juillerat.
C. Galeopsis pyrenaica, Pyrénées orientales. Crédit photo : Floralpes.



En montagne, **l'étage bioclimatique** est également un des paramètres contribuant à la variété des espèces végétales. La partie basse des éboulis, constituée de gros blocs, peut également voir s'accumuler un peu de sol permettant de constituer des abris privilégiés pour les fougères.

Les éboulis forment la plupart du temps des milieux escarpés et inaccessibles pour l'homme, permettant à de nombreuses espèces de s'y réfugier. Dans les milieux de montagne, les éboulis sont fréquentés par des **mammifères** comme les Chamois (*Rupicapra rupicapra*) et Mouflons (*Ovis ammon*). La Marmotte des Alpes (*Marmotta marmotta*) est également une espèce fréquente dans ce type de milieux rocheux, elle se sert parfois des éboulis comme terrier (Pech, 2013, Figure 21).

Figure 21 : Marmotta marmotta, Massif Central.
Crédit photo : P. Duboc

Les éboulis constituent également un lieu de vie pour des **oiseaux** comme le Lagopède Alpin (*Lagopus mutus helveticus*), la perdrix Bartavelle (*Alectoris graeca*) ou encore le Monticole de roche *(Monticola saxatilis*) qui apprécient les milieux ouverts (Figure 22) (CREN, 2016).

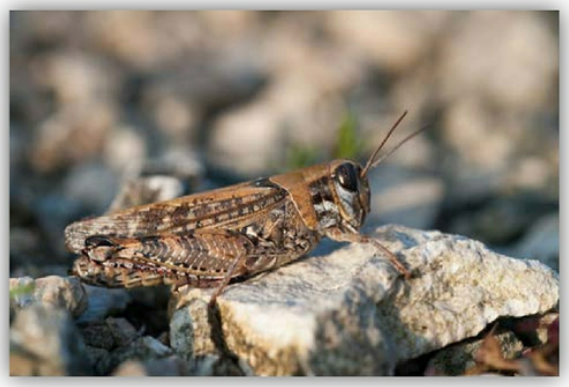
Figure 22 : Monticola saxatilis, Causse Méjean (Languedoc-Roussillon).
Crédit photo : Jean-Louis Corsin.

Figure 23 : Archaeolacerta bedriagae, Ospedale (Corse).
Crédit photo : F. Serre Collet, Muséum national d'Histoire naturelle

Les éboulis ensoleillés accueillent également un cortège d'espèces de **reptiles** qui affectionnent la chaleur des roches. Les reptiles sont fréquents dans les éboulis des régions au climat sec, notamment au climat méditerranéen, mais peuvent également être présents dans des éboulis de régions moins arides grâce au microclimat que forment parfois ces milieux. Le Lézard ocellé (*Timon lepidus*), espèce protégée, est par exemple présent dans les éboulis de la Fontaine de Vaucluse (Legouez, 2013). Le Lézard de Bédriaga (*Archaeolacerta bedriagae*, appelé aussi Lézard montagnard corse) (Figure 23) est une espèce que l'on retrouve uniquement en Corse, cette espèce affectionne également les éboulis. Des espèces de serpents s'y rencontrent également, comme la Couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus)* et la Coronelle Lisse (*Coronella austriaca*). Les Cévennes ardéchoises accueillent d'ailleurs une des plus belles populations françaises de Circaète Jean-le-blanc grâce à la présence de reptiles dans les éboulis fournissant à l'oiseau les serpents dont il se nourrit.

Outre la lithologie, l'exposition est également un paramètre déterminant pour ce milieu. En effet, un éboulis exposé nord ou à l'ombre diffèrera grandement d'un éboulis ensoleillé ou exposé sud. Les éboulis exposés sud accueillent également des **orthoptères**, comme le Criquet à ailes rouges (*Oedipoda germanica*) et le Criquet italien (*Calliptamus italicus*) (Figure 24). Un éboulis à l'ombre aura tendance à avoir un taux d'humidité plus élevé et une température plus basse, et donc une faune et flore tout à fait singulière.

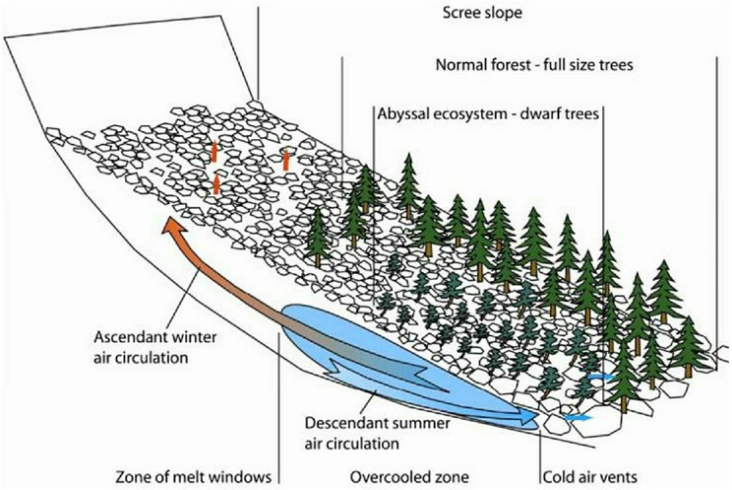
Figure 24 : Calliptamus italicus, Meuse (Lorraine).
Crédit photo : floredefrance.com.



Dans certaines conditions, la formation d'un véritable **pergélisol** peut même être observée. Une épaisseur importante de roche, une circulation complexe de l'air au sein de l'éboulis et un ensoleillement limité semblent être les paramètres déterminants à l'apparition de ces milieux. Ces **éboulis froids** sont fréquents dans le domaine de la haute-montagne, mais sont également présents à plus basses altitudes (environ 1000-1200 m). Ces milieux abritent une **végétation azonale**. Les espèces présentes sur ces milieux sont normalement présentes à plus haute altitude. En France, l'éboulis de la Combe obscure situé dans le Vallon de la Jarjatte dans la Drôme, est l'exemple le plus méridional des éboulis calcaires froids. L'éboulis de la Combe Obscure est situé à 1500 m d'altitude. Il renferme néanmoins une végétation caractéristique de l'étage alpin. Les arbres présents sont marqués par le nanisme, un épicéa de 120 ans mesurant 1,50 m a été observé. Cette croissance très lente rappelle la stratégie des arbres dans la zone de combat subalpine (Bertinelli, 1993). Ces milieux complexes sont connus depuis longtemps comme des « curiosités naturalistes », mais n'ont été étudiés que tardivement aux alentours des années 1960. Ils font aujourd'hui l'objet de recherches scientifiques plus approfondies, qui tentent notamment de les répertorier et de comprendre leur fonctionnement. En effet, à ce jour, aucun inventaire des éboulis froids n'est disponible à l'échelle française (Schoeneich, 2017). Par ailleurs, il a été prouvé que ces milieux avaient une dynamique de « tube à vent ». Une circulation d'air alternée saisonnière est possible grâce au volume du dépôt servant alternativement de réservoir de chaleur et de froid. En hiver, la chaleur accumulée dans l'éboulis est évacuée par la partie supérieure

de celui-ci. En été, le froid accumulé s'évacue au niveau du pied de l'éboulis (Figure 25).

Figure 25 : Les éléments principaux d'un éboulis froid, les flèches montrent la circulation de l'air en fonction de la saison. Crédit : P.Schoeneich



Encadré

Les marges proglaciaires : nouveaux milieux libérés par les glaciers

Le changement climatique affecte les territoires de haute-montagne et leurs glaciers Ces derniers connaissent un retrait conséquent depuis le Petit Age Glaciaire, accentué depuis une trentaine d'années (Moreau, 2010). Leur retrait libère de nouveaux espaces rocheux, qui seront par la suite recolonisés par la végétation.

Ces milieux rocheux sont **éphémères à l'échelle de quelques décennies**. Ces paysages récents sont relativement complexes dans leur organisation, et résultent des **laisses** produites par les glaciers. Ils se situent à l'aval du front de la langue glaciaire, et sont appelés « **marges proglaciaires** ». Les marges proglaciaires sont constituées de deux grands types de dépôts : les **dépôts glaciaires** constitués par les **moraines** (en sédimentologie le terme de *till* est communément employé), et les **dépôts fluvio-glaciaires**, résultats des activités de processus glaciaires et fluviatiles. Les moraines, créent des paysages qui peuvent sembler anarchiques de par **l'absence de stratification** et **l'importante hétérogénéité de leur granulométrie** (amas de roches, graviers, sable, …) (Société Suisse de Géomorphologie, 2009).

Le **retrait glaciaire** est un phénomène aisément observable grâce à l'abandon de la moraine frontale, qui correspond à la phase terminale de la langue glaciaire. En avançant, le glacier la pousse, et l'abandonne en cas de retrait, isolant dans le paysage cette moraine frontale qui servira de témoin de l'ancienne expansion du glacier (Erreur : source de la référence non trouvée) (Michel, 2016).

Comme beaucoup d'autres milieux rupestres, les sols libérés par les glaciers vont être reconquis par la **végétation**. La dynamique sera identique à celle d'autres milieux rocheux, avec l'installation dans un premier temps d'espèces pionnières, puis la formation de pelouses, pour arriver à la colonisation par les espèces ligneuses. Les espèces diffèreront en fonction de l'altitude et de la localisation géographique. Une dilatation progressive de la durée des stades successifs a été prouvée : les stades pionniers apparaissent relativement éphémères, contrairement à la formation du climax, beaucoup plus lente (Ozenda, 1985). La colonisation de ces milieux a fait l'objet de recherches scientifiques, particulièrement en Suisse et en Autriche : ces recherches ont démontré que **le type de végétation est corrélé à l'âge des dépôts** (Ozenda, 1985). Ainsi, les moraines les plus récentes sont constituées de végétation pionnière, et les plus anciennes d'un couvert végétal plus dense et continu, parfois même constitué de ligneux (Figure 28).

Figure 28 : Etude de la dynamique de la végétation des différentes moraines du glacier d'Aletsch (Alpes suisses). Source : Ozenda 1985

D'autres recherches sur les marges du glacier Rotmoosferner en Autriche, ont caractérisé la présence des espèces **d'insectes** qui colonisent ces milieux et ont montré que l'âge des moraines détermine le type d'insectes présent (Kaufmann). Ainsi, sur les jeunes moraines seront trouvés des **insectes prédateurs** comme *Nebria jockischii* et *Mitopus glacialis*. Apparaissent par la suite des **insectes herbivores**, dont la présence est permise par le développement du couvert végétal (50-60 ans), puis les **insectes décomposeurs**, qui n'apparaissent qu'aux derniers stades lorsque le sol est formé (Kaufmann).

Le retrait actuel des glaciers stimule l'intérêt croissant de la communauté scientifique, bien que peu de recherches aient été effectuées récemment sur les marges proglaciaires françaises. Ces milieux permettent notamment d'appréhender la **sensibilité** et la **résilience** des écosystèmes de montagne face aux changements environnementaux. Ils font donc figure de « laboratoire » pour l'analyse du processus de recolonisation, de formation du sol ou encore des stratégies de reproduction et colonisation des plantes (Kaufmann).

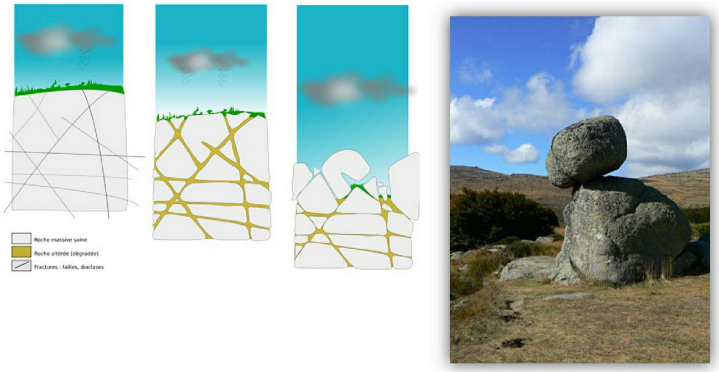
Dans un contexte de changements climatiques, la colonisation végétale des marges proglaciaires pourrait constituer un **soutien au pastoralisme** en cas de sécheresse et de difficulté à mobiliser suffisamment de ressources en herbe. Ces milieux auparavant défavorables peuvent aujourd'hui représenter un exemple de **service écosystémique d'adaptation** au changement climatique. Il est cependant important de noter que ce service demeure actuellement marginal en termes de conduite pastorale.

Certains glaciers français représentent des **facteurs d'attractivité majeurs** pour les activités touristiques et récréatives, comme le glacier des Evettes (Savoie) ou celui des Bossons (Haute-Savoie). La question de la **perception** des milieux morainiques par rapport à l'ensemble du paysage de la haute-montagne, ainsi que la valeur esthétique que les pratiquants de la montagne y rattachent, a récemment fait l'objet d'une enquête (Moreau, 2010). Cette enquête a permis d'identifier la perception du retrait glaciaire comme un phénomène récent. Elle prouve également de la forme d'« **impopularité** » dont souffre l'espace proglaciaire, 50 % des personnes interrogées le considèrent comme peu ou pas esthétique dans le paysage, contre seulement 25 % des répondants qui le considèrent esthétique ou très esthétique. Les 25 % restants ne l'identifiaient pas, ou le trouvaient seulement « original ». L'enquête ouvre de nombreuses perspectives pour ces milieux rocheux en termes de **valorisation des héritages géomorphologiques proglaciaires**, questionnant ainsi la construction future des valeurs culturelles et patrimoniales associées aux marges proglaciaires. La valorisation des espaces proglaciaires comme géomorphosites pour leur dimension historique, écologique et géomorphologique pourrait ainsi contribuer à maintenir l'attractivité des espaces glaciaires dans le contexte du recul généralisé des glaciers dans les paysages de haute montagne (Moreau, 2010).

3) Les chaos de blocs

Les chaos de blocs constituent des milieux rupestres bien représentés sur l'ensemble du territoire français. Ils sont le résultat d'un **long processus d'érosion et d'altération** (par l'eau, le gel, …), qui ont façonné des formes parfois originales, en ne préservant que les blocs rocheux les plus résistants. Les paysages de chaos de blocs se forment dans des roches de nature diverses : granits, grés, calcaires, … Chaque type de roche connaitra une dynamique singulière jusqu'à la formation des chaos. A titre d'illustration, les chaos granitiques sont formés par l'attaque de l'eau dans les fractures de la roche préexistantes (Figure 29) (Bouton, 2008).

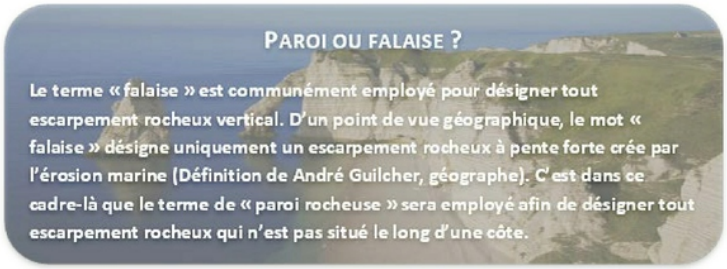
Figure 29 : A. Formation d'un chao granitique. L'eau se sert des diaclases de la roche afin de la dégrader. Peu à peu, les roches les plus résistantes émergent de la surface. Source : geodiversite.net B. Chaos granitique sur le Mont Lozère (Parc national des Cévennes).
Crédit photo : Ancalagon



4) – Les blocs erratiques

Les blocs erratiques (Figure 30) sont des milieux rupicoles **très ponctuels** dans l'espace, mais peuvent, dans un territoire de plaine par exemple, constituer un **refuge** pour certaines espèces. Ces blocs imposants ont été entrainés par un **glacier** et abandonnés sur place lors du retrait de celui-ci, ils constituent les témoins de l'extension passée des glaces. Ils peuvent être transportés à plusieurs centaines de kilomètres de leur point d'origine, leurs caractéristiques géologiques n'ont alors plus aucune relation avec leur environnement géologique actuel (*Dictionnaire des mots clés, CNRS*).

Figure 30 : La « Pierre du Diable », bloc erratique sur la commune d'Allinges (Hautes-Savoie) abandonné par le glacier du Rhône.
Crédit photo : Fanny Schertzer



5) Les parois et dalles rocheuses

5) – Les parois et dalles rocheuses

a) – Définition

Les dalles et parois rocheuses se distinguent selon leur degré de **verticalité**. Le terme de « **dalle rocheuse** » désigne un milieu rocheux horizontal ou de faible inclinaison, tandis que le terme de « **parois rocheuses** » désigne des affleurements rocheux se rapprochant de la verticalité (Figure 31). Ces deux milieux sont traités conjointement du fait de leurs dynamiques analogues. En effet, sur ces deux milieux, l'implantation des végétaux dépend plus de la rugosité de la roche et de son réseau de fissuration que du facteur pente (Pech, 2013).

Figure 31 : Les parois calcaires du massif de la forêt de Saoû (Drôme).
Crédit photo : Didier Donsez

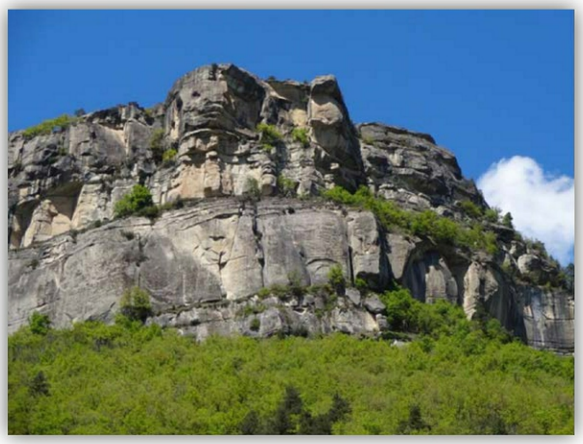
Enfin, les **lapiaz** (Figure 32) forment un cas particulier de dalles rocheuses. Ils se localisent uniquement dans les massifs calcaires et résultent de la dissolution opérée par les eaux de ruissellement à la surface des roches calcaires. Les fissures ainsi formées permettent parfois à une végétation spécialisée de s'installer. En France, ces milieux se retrouvent surtout en altitude, parfois sur de grandes étendues, mais ils se retrouvent également à des altitudes plus basses, comme dans le Jura ou l'Hérault (Gaudillat, 2008).

Figure 32 : Lapiaz de Loulle (Jura).
Crédit photo : jura-tourism.com

b) – Caractéristiques des parois et dalles rocheuses

Le **réseau de fissuration** (Figure 33) va varier en fonction de la roche et de l'environnement dans lequel elle se trouve. Il est composé par exemple de diaclases, fractures qui n'occasionnent pas de déplacement des parties disjointes, ou encore de failles, qui à l'inverse des diaclases, engendrent un déplacement des deux parties disjointes. Ces fissures vont notamment être à l'origine du rajeunissement des parois qui sont en proie à divers processus mécaniques. A titre d'exemple, l'eau présente dans les fissures va subir l'alternance des périodes de gel et de dégel (appelée *cryoclastie*). L'eau, en gelant, augmente son volume d'environ 9 %. Cette glace va exercer des pressions sur la roche, les fissures vont s'élargir, et ainsi favoriser, dans certains cas, la fragmentation de la roche. Les variations d'amplitude de la température de la roche peuvent également provoquer, de par la contraction-dilation de la roche, une désagrégation du milieu rocheux et donc de l'instabilité. Ce phénomène est appelé *thermoclastie*. La rugosité de la roche ainsi que ses zones de faiblesses vont permettre l'accumulation de particules fines qui vont constituer un substrat superficiel meuble pour la végétation. L'implantation des végétaux sera à l'inverse difficile sur une paroi ou une dalle lisse à la roche compacte et dure, comme le marbre ou le granit (Pech, 2013).

Figure 33 : Fissures dans une paroi rocheuse de gré, Annot (Alpes de Haute-Provence).
Crédit photo : Eric Chaxel.

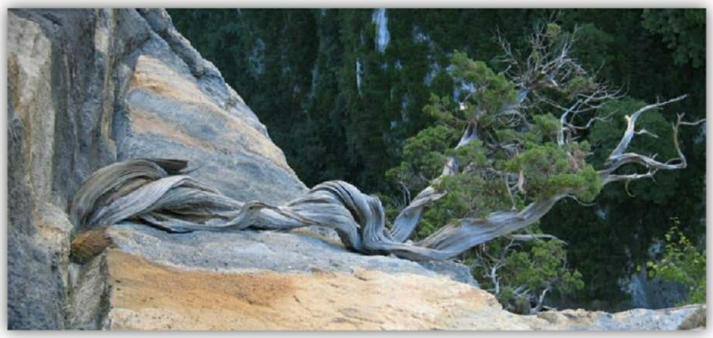


La végétation des parois rocheuses est particulièrement soumise aux **contraintes thermiques**. La verticalité de ces milieux va jouer un rôle dans la radiation solaire. Dans certaines conditions d'exposition, les valeurs de radiation solaire peuvent atteindre leur seuil maximal en fonction de l'inclinaison du versant. La radiation solaire influence la température de la roche, qui va à son tour réchauffer l'air ambiant. La situation inverse se produit en conditions d'exposition moins favorables : la température basse de la paroi renforce la fraicheur de l'air ambiant. De plus, la faible inertie thermique de la roche engendre des **changements de température brutaux**. Il a été prouvé que le passage d'un nuage peut être responsable d'une baisse quasi-immédiate de la température de la paroi (Pech, 2013). Le processus de thermoclastie n'affectera la roche que dans des milieux qui connaissent une forte amplitude thermique : par exemple lorsque l'écart entre les températures diurnes et nocturnes dépasse plusieurs dizaines de degrés (Girard, 2011).

c) – Stratégies végétales associées aux parois et dalles rocheuses

Afin de faire face aux conditions difficiles (pente, vent, …), la végétation associée aux dalles et parois rocheuses développe diverses **stratégies de maintien et de colonisation** (Figure 34). Ces stratégies sont également mises en œuvre par certaines plantes présentes sur les autres types de milieux rupicoles.

Figure 34 : Génevrier de Phénicie dans les gorges du Verdon (Provence-Alpes-Côte d'Azur).
Crédit photo : Christophe Bordieu



Le nanisme : Les milieux rupicoles sont dominés par les plantes basses, les lichens et mousses sont d'ailleurs les végétaux les plus présents sur ces milieux. Les plantes vasculaires adoptent quant à elles des formes rabougries, rampantes et réduites afin de se protéger des contraintes des milieux rupestres (vent, sécheresse, mobilité des matériaux, …) (Pech, 2013). Certains Genévriers par exemple se conduisent comme de réels bonsaïs sur les parois. Des arbres au tronc de 20 cm de diamètre âgés de plusieurs siècles subsistent sur les parois rocheuses françaises (DREAL Franche Comté, 2015).

Allongement racinaire et de la tige : Certaines espèces végétales opèrent un allongement de leur tige afin de répondre à la mobilité du milieu. Elles peuvent également développer un important système racinaire afin de s'assurer d'une certaine stabilité sur les parois rocheuses (Figure 35)

Les stratégies de reproduction : Les stratégies de certaines espèces pour se reproduire sur les milieux rupicoles ne sont pas uniquement sexuées mais également végétatives. Par exemple la reproduction par création de stolons (tige rampante aérienne qui se multiplie grâce à ses bourgeons, Figure 36) est utilisée par les plantes pour répondre à la mobilité du milieu (Pech, 2013).

Figure 35 : Développement racinaire d'un Genévrier dans les gorges de l'Ardèche. Crédit photo : Jean-Paul Mandin

d) – Espèces associées aux parois et dalles rocheuses

Quelques **espèces végétales** récurrentes sur les parois rocheuses peuvent être citées (Tableau 4). La lithologie de la paroi est un élément important dans l'implantation des différentes espèces végétales.

Tableau 4 :

Exemples d'espèces végétales sur les parois rocheuses calcaires et siliceuses.
Source : fiches florealpes.com, infoflora.ch, inpn.mnhn.fr.

	Exemples d'espèces végétales
Parois calcaires	Nerprun nain (*Rhamnus pumila*) : espèce ligneuse typique des parois rocheuses calcaires où il se comporte comme un bonsaï. Kernéra des rochers (*Kernera saxatilis*) et la Raiponce de Charmeil (*Phyteuma charmelii*) : Espèces qui affectionnent les parois calcaires ensoleillées. Hutchinsie des pierres (*Hornungia petraea*) : plante pionnière des bas de parois calcaires. Elle est également présente sur les dalles calcaires.
Parois siliceuses	Capillaire de Billot (*Asplenium obovatum subsp. billotii*) : espèce des parois siliceuses surtout localisée dans l'Ouest de la France mais également présente dans les milieux de moyenne montagne (Jura, Vosges, …) Woodsia des Alpes (*Woodsia alpina*) : espèce fréquente des parois de hautes montagnes, elle se retrouve dans les Alpes et dans les Pyrénées. Doradille du Nord (*Asplenium septentrionale*) : espèce des parois siliceuses surtout présente en montagne.

La végétation des dalles rocheuses est encore imparfaitement connue en France. Cependant, hormis la pente, les conditions y sont les mêmes que pour les parois rocheuses. La végétation qui les colonise est souvent une végétation de type

pionnière qui s'apparente à celle des pelouses rupicoles et pionnières (Bensettiti, 2004). Une végétation donc souvent rase qui, comme sur les parois, ne peut s'implanter que dans les fractures existantes. La Gagée de Bohème (*Gagea bohemica*) est par exemple une espèce colonisant les dalles siliceuses du Massif Central (Clignet, 2012). (Figure 37)

Figure 37 : Gagea bohemica, Graissessac (Hérault).
Crédit photo : Jean-Jacques Houdré

Tout comme pour les éboulis, **l'exposition** des parois joue sur le fonctionnement du milieu. Les parois ombragées vont être à l'origine d'un véritable topo-climat : la fraicheur du milieu va permettre le maintien de l'humidité de l'air ambiant (Pech, 2013). Dans ces milieux frais et humides, les bryophytes et fougères vont avoir tendance à être plus présents que les plantes à fleurs. La Scolopendre sagittée (*Asplenium sagittatum*) est une fougère typique des parois rocheuses ombragées en climat méditerannéen (Ollivier, 2011). Les espèces seront toujours spécialisées en fonction du type de substrat. Ainsi, les parois ombragées calcicoles abriteront par exemple la Doradille des sources (*Asplenium fontanum*) (Figure 38) et les parois ombragées siliceuses le Nombril-de-Vénus commun (*Umbilicus rupestris*) (Figure 39).

Figure 38 : Asplenium fontanum, Miscon (Drôme).
Crédit photo : Hugues Tinguy

Figure 39 : Umbilicus rupestris, Caen (Normandie).
Crédit photo : Lithotèque de Normandie

Au regard de la **faune**, les parois rocheuses constituent avant tout l'habitat des **rapaces rupestres** comme le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), le Hibou Grand-duc (*Bubo bubo*) ou encore le Vautour percnoptère (*Neophron percnopterus*). Ces oiseaux très sensibles ont souvent été victimes de préjugés ayant menés à leur abattage et leur raréfaction sur le territoire français durant les années 1950-1970. De nombreux programmes de protection et de réintroduction ont été mis en place à la suite de ce déclin, permettant à la France d'accueillir aujourd'hui une grande diversité d'espèces de rapaces rupestres (*http://observatoire-rapaces.lpo.fr*). Autrefois très répandu dans toute l'Europe, le Vautour Fauve (*Gyps Fulvus*) avait presque totalement disparu en France entre les années 1920 et 1950. Un programme de réintroduction lancé par la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) et le Parc national des Cévennes dans les années 1970 a permis à ce rapace rupestre de reconquérir l'environnement français, 333 couples ont été décomptés en 2011 (Arthur, 2010). Le Gypaète barbu

(*Gypaetus barbatus*) (Figure 40) bénéficie actuellement d'importants programmes de réintroduction en Europe depuis une vingtaine d'années. Malgré tout, les populations françaises de Gyapète restent fragiles, un « Plan national d'actions en faveur du Gyapète barbu » a donc été lancé pour la période 2010-2020 (Arthur, 2010).

Figure 40 : Gyapète barbu dans les Alpes.
Crédit photo : Antoine Rezer

Certaines espèces sont inféodées aux territoires de montagne, mais d'autres espèces de rapaces sont également présentes dans les milieux de plaine, c'est le cas du Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) (Figure 41) et le Hibou Grand-Duc d'Europe (*Bubo bubo*). Leur présence est dépendante de l'existence de parois rocheuses leur permettant généralement de nicher. Les fronts de taille des carrières jouent le rôle de parois naturelles et constituent fréquemment des habitats pour ces oiseaux présents sur l'ensemble du territoire français (*http://observatoire-rapaces.lpo.fr*). Le Vautour fauve (*Aegypius monachus)* est un exemple de charognard des milieux rupestres de moyenne montagne. Il peut aujourd'hui être aperçu dans la région des Grands Causses, dans la Drôme ou encore dans le Verdon, entre autres (*http://rapaces.lpo.fr/*).

Figure 41 : Falco peregrinus, Montbelliard (Doubs).
Crédit photo : Georges Lignier

Figure 42 : Tichodroma murari, Parc national des Ecrins (Rhônes-Alpes).
Crédit photo : Damien Combrisson – Parc national des Ecrins

Outre les rapaces, les parois rocheuses abritent également des oiseaux de plus petite taille. Le Tichodrome échelette (*Tichodroma muraria*) est un petit oiseau inféodé aux milieux rocheux des gorges et parois escarpées dans les zones montagneuses (Alpes, Pyrénées, Jura, Massif Central). Cet oiseau est parfaitement adapté à son environnement : son bec long et fin lui permet de déloger aisément les insectes dans les crevasses des parois (Figure 42) (Collin, 2002).

Comme pour les éboulis, les parois et dalles rocheuses sont également fréquentés par les **grands ongulés** tels que Chamois (*Rupicapra rupicapra*) (Figure 43), Mouflons (*Ovis ammon musimon*) et Bouquetins (*Capra ibex*), en particulier dans les zones

montagneuses. Ceux-ci se servent des vires, des pieds et faiblesses des parois comme couloirs de connexion et refuges vitaux en raison de la quiétude de ces lieux (Grassy, 2016).

Les **reptiles** sont surtout présents sur les dalles rocheuses et apprécient les dalles bien exposées au soleil. (Pech, 2013)

Figure 43 : Chamois sur une paroi rocheuse du Honeck (Vosges, Alsace).
Crédit photo : alsace-nature.photos

6) – Les badlands

Figure 44 : Paysage de badland du Ravins de Corbeuf, Emblavez (Haute-Loire).
Crédit photo : Hervé Sentucq Panoram'Art

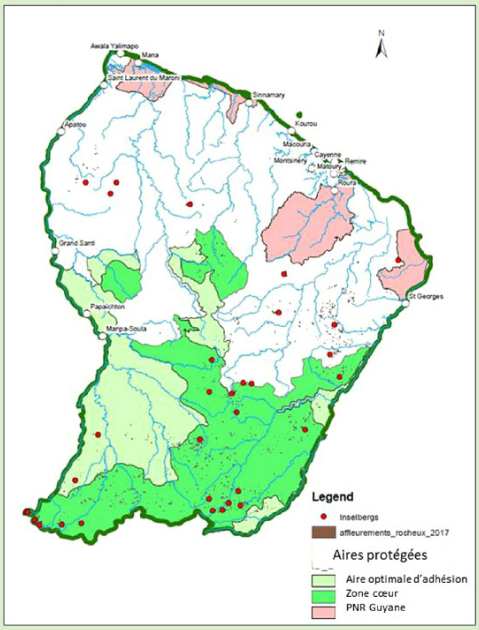
Les badlands, qui signifient "mauvaises terres" en français, constituent des paysages uniques. Les badlands sont communément définis comme des paysages naturels intensément disséqués caractérisés par **un sol maigre et une végétation éparse ou absente**, les rendant impropres à l'agriculture. Ces paysages se forment dans

des **terrains tendres**, comme des terrains formés de matériaux marneux ou argileux, fortement **sensibles à l'érosion**. Les eaux qui ruissellent sur ces terrains meubles créent de profondes ravines et des crêtes d'interfluves aiguës, qui forment leur **topographie originale**. Ces paysages **ruiniformes** sont répandus sur le globe, mais restent néanmoins peu abondants sur le territoire français. Ils sont par exemple présents dans ce que l'on appelle communément les « Terres-Noires » du bassin de la Durance dans les Hautes-Alpes et Alpes de Haute-Provence (Pomerol, 2011). Ces Terres Noires sont constituées de successions de couches argileuses et marneuses (Figure 44). En Haute-Loire, les « Ravins de Corbeuf » forment également un exemple remarquable de paysage de badlands (Figure 45). Ils forment un milieu rocheux particulier dans la campagne verdoyante qui l'entoure (DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, 2016).

7) Encadré - Milieux rocheux du Parc National Amazonien de Guyane

Le Parc Amazonien de Guyane couvre la partie sud de la Guyane, département français d'outremer situé sur le plateau des Guyanes, au nord du bassin amazonien. Il couvre 3,4 millions d'hectares, constitué d'une zone de coeur de 2 millions d'hectares (zone en vert foncé sur la Figure 50) et d'une zone de libre adhésion de 1,4 millions d'hectares (zone en vert clair). Le Parc amazonien de Guyane est le seul massif amazonien de l'Union européenne et le plus vaste parc national européen. Si le Parc est largement connu pour ses écosystèmes forestiers, il comporte aussi une diversité de milieux d'altitude et rocheux. Les inselbergs, sont des pitons de granit isolés émergeant de la forêt, dont le plus haut culmine à 740m. On compte environ 200 Inselbergs en Guyane, avec une plus forte concentration dans le Sud. Les inselbergs sont remarquables sur le plan paysager, pour la richesse et la spécificité des patrimoines naturels et archéologiques qu'ils abritent, ont joué un rôle important dans l'imaginaire et dans la vie des hommes ayant occupé le territoire.

Figure 46 : Distribution des inselbergs et affleurements rocheux en Guyane. Source : Parc Amazonien de la Guyane, Perbet et al. 2017



Les Inselbergs, aussi appelés « savanes-roches » peuvent également se présenter comme de grandes étendues plus ou moins plates de granit dénudé. La végétation des Inselbergs présente de nombreuses formes de transition allant du rocher nu, couvert de cyanobactéries pionnières, à la forêt haute humide.

Figure 47 :
A gauche, l'inselberg de la roche Koutou.
A droite : végétation basse des inselbergs
© Sophie Gonzalez/IRD

Les cyanobactéries sont les plantes pionnières des Inselbergs, dont la température atteint 50°C, et jusqu'à 75°C en saison sèche. Ce sont elles aussi qui donne au granit des inselbergs sa teinte noire caractéristique. Elles préparent le terrain pour l'installation des plantes vasculaires, en altérant cette roche si dure qu'elle a résisté à l'érosion mécanique subie par le bouclier des Guyanes. Les cyanobactéries interviennent ensuite dans la création des premiers sols de la savane-roche en construisent des croûtes qui permettront, avec l'action combinée de l'eau, l'installation des plantes vasculaires.

Les végétaux des inselbergs sont exposés à des conditions drastiques de sécheresse et de fort ensoleillement qui n'ont pas leur équivalent dans la forêt environnante. On y trouve des végétations basses, adaptées à ces conditions ; couverts herbacés, continus ou discontinus, des fourrés arbustifs, la forêt basse, chacune de ces formations correspondants à des conditions physiques et écologiques particulières. Les espèces colonisant la savane roche sont pour certaines strictement inféodées aux savanes roches des Inselbergs et on ne les retrouve pas dans la forêt environnante.

Les grandes familles d'Herbacées représentées sont les *Orchidaceae*, *Broméliaceae*, *Cyperaceae* et *Poaceae*. La plupart des espèces présentent des adaptations morphologiques à ces conditions fortement contraintes de sécheresse. Certaines ont développé des feuilles coriaces, à cuticule épaisse ou à forte pilosité, qui limitent les pertes d'eau par transpiration. D'autres constituent des réserves d'eau au moyen de leurs feuilles et tiges succulentes. Les pseudo-bulbes de certaines orchidées constituent également des réserves d'eau.

Les savanes roches abritent une flore vasculaire extrêmement diversifiée et l'on peut y observer, à quelques mètres de distance, des espèces adaptées à la sécheresse et à la chaleur (principalement *Bromeliaceae*, *Orchidaceae*, *Cyperaceae*) aussi bien que des espèces de zones humides (hygrophiles), présentes dans les mares gravillonnaires en saison des pluies (*Eriocaulaceae*, *Lentibulariaceae* et *Xyridaceae*). Ces espèces hygrophiles disparaissent toutes en saison sèche, lorsque les mares temporaires s'assèchent.

Sources :

http://www.parc-amazonien-guyane.fr/le-parc-amazonien-de-guyane/carte-identite/

http://herbier-guyane.ird.fr/flore-et-vegetations/savanes-roches-et-inselbergs/

Perbet, P., Karasiak, N., Joubert, P. Cartographie des végétations particulières observables par télédétection, Parc Amazonien de la Guyane, Janvier 2017.

Partie 2 : Etat et tendances d'évolution des milieux rupestres

Selon le rapport de la Directive Habitat Faune-Flore (DHFF), les milieux rupestres naturels sont globalement dans un **état favorable de conservation**, à l'exception de ceux présents dans la région biogéographique atlantique (Tableau 5). Néanmoins, différentes **pressions** affectent ces milieux (Tableau 6). En particulier, la surfréquentation liée à l'attractivité de ces milieux pour les activités de pleine nature et au tourisme ou encore les aménagements anthropiques sont les principaux facteurs exerçants des pressions sur les milieux rocheux. Concernant les changements climatiques, il est encore difficile à l'heure actuelle de prédire précisément de quelle manière seront impactés ces milieux.

Tableau 5 :

Etat des milieux rocheux, toutes régions biogéographiques.
Source : rapportage DHFF pour la période 2007-2012 (MNHN / SPN)

			ALPIN			ATLANTIQUE			CONTINENTAL			MEDITERRANEN		
			EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3	EC1	EC2	EC3
Code UE	Prioritaire (*)	Intitulé de l'habitat	Aire de répartition	Surface	Structure et fonction	Aire de répartition	Surface	Structure et fonction	Aire de répartition	Surface	Structure et fonction	Aire de répartition	Surface	Structure et fonction
Habitats rocheux et grottes														
Éboulis rocheux														
8110		Éboulis siliceux de l'étage montagnard à nival (*Androsacetalia alpinae* et *Galeopsietalia ladani*)	FV	FV	FV				FV	FV	FV	FV	FV	FV
8120		Éboulis calcaires et de schistes calcaires des étages montagnard à alpin (*Thlaspietea rotundifolii*)	FV	FV	FV				FV	FV	FV	FV	FV	FV
8130		Éboulis ouest-méditerranéens et thermophiles	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV	FV
8150		Éboulis médio-européens siliceux des régions hautes	XX	XX	FV	XX	FV	XX	XX	XX	U2	FV	FV	FV
8160	*	**Éboulis médio-européens calcaires des étages collinéen à montagnard**	XX	XX	XX	FV	U1	U1	FV	FV	U1			
Pentes rocheuses avec végétation chasmophytique														
8210		Pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique	FV	FV	FV	FV	XX	U1	FV	FV	FV	FV	FV	FV
8220		Pentes rocheuses siliceuses avec végétation chasmophytique	FV	FV	FV	FV	U1	U1	FV	FV	FV	FV	FV	FV
8230		Roches siliceuses avec végétation pionnière du *Sedo-Scleranthion* ou du *Sedo albi-Veronicion dillenii*	FV	FV	FV	FV	U1	U1	FV	FV	FV	FV	FV	FV
8240	*	Pavements calcaires	FV	FV	FV				FV	FV	FV	FV	FV	FV

Tableau 6 :

Pressions, activités ou menaces s'exerçant sur les habitats rocheux, toutes régions biogéographiques.
Source : rapportage DHFF pour la période 2007-2012 (MNHN / SPN)

Catégorie	Pression forte	Pression modérée	Pression faible	Pas de pression, ou pression inconnue	Total
A. Agriculture	8	14	16		38
B. Sylviculture et opérations forestières	2	8	9		19
C. Exploitation minière, extraction de matériaux et production énergétique	7	36	26		69
D. Voies de transport et de service	4	15	54		73
E. Urbanisation, développement résidentiel et commercial	10	17	50		77
F. Utilisation des ressources biologiques (hors agriculture et sylviculture)		8	6		14
G. Intrusions et perturbations humaines	2	26	29		57
H. Pollution	2	15	5		22
I. Espèces invasives, autres espèces problématiques et introductions de gènes		2	3		5
J. Modification de processus naturels	1	6	6		13
K. Processus naturels biotiques et abiotiques (hors catastrophes)	8	8	16		32
L. Evénement géologique, catastrophes naturelles		4	6		10
M. Changement climatique	3	2	10		15
U. Pressions ou menaces inconnues				1	1
X.Pas de menace ou pression				2	2
TOTAL	47	161	236	3	447

1. – La sur-fréquentation

La France représente la première destination touristique mondiale (UNWTO, 2016), les enjeux touristiques sont donc extrêmement forts sur ce territoire. Souvent considérés comme ponctuels et inaccessibles, les milieux rocheux sont pourtant concernés par la pression de la surfréquentation.

L'engouement croissant pour les sports de nature a entrainé **une hausse de la fréquentation des parois rocheuses**. Ceci concerne en particulier l'escalade, qui se pratique directement sur la paroi, mais également d'autres enjeux émergents tels que la multiplication des *via ferrata*. Ces installations composées de câbles, d'échelons métalliques, et d'échelles, entrainent de nombreux questionnements. Les problématiques que posent les *via ferrata* sont liées à leur localisation, à leur public, et à leur régulation. En effet, bien que celles-ci n'offrent que peu d'occasions d'être en contact avec la paroi, elles sont souvent installées à des endroits où l'escalade est impossible de par la difficulté technique du rocher, pouvant induire des **dérangements et impacts** nouveaux sur la faune et la flore. Ainsi, la question de la hausse de la fréquentation humaine à des endroits auparavant inaccessibles se pose. Par leur aspect plus « touristique » que « sportif », les *via ferrata* ne demandent aucune connaissance du milieu. Le public qui les fréquente peut être moins sensibilisé aux problématiques environnementales que les pratiquants de l'escalade. Enfin, la grande promotion des voies de *via ferrata* par les offices du tourisme et municipalités, pose la question de la régulation de cette pratique (Bensettiti, 2004).

D'autres activités se pratiquant à proximité d'un milieu rocheux peuvent également avoir un impact significatif sur la **biodiversité** des milieux rupestres : peuvent être citées le parapente, la highline, la randonnée, ou encore le base jump. Ces activités exercent des pressions sur la faune fragile de ces milieux originaux, bien qu'elles n'exploitent que la fonction de « support » du milieu comme pour le base jump par exemple. Les **oiseaux rupestres** sont les premiers concernés par les dérangements occasionnés par ces activités. Les impacts sur ces espèces sensibles sont nombreux : perturbation de la reproduction, abandon de la couvée ou du site, stress, …

De nombreux oiseaux rupestres font l'objet de suivis réguliers et des concertations entre fédérations sportives et associations naturalistes, qui ont pour objectif la conciliation entre usages récréatifs et maintien des habitats pour la biodiversité. La sensibilisation du public à l'aide de divers supports (panneaux, films, …) (Figure 48)

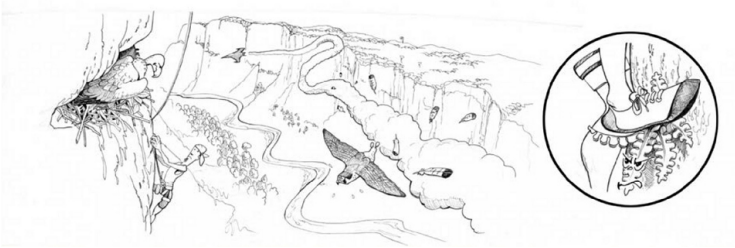
est également un outil indispensable à la mise en œuvre effective des aménagements d'usage en milieux rupestres. A titre d'exemple, dans le Verdon, la Ligue pour la Protection des Oiseaux PACA, un club d'escalade et le PNR du Verdon se sont associés afin de sensibiliser les grimpeurs à la nidification des vautours fauves présents dans les gorges du Verdon. Cette **sensibilisation** passe par l'identification des nids et la pause d'affichettes informatives au sommet des voies (Ferment, 2016). Une liste des voies sensibles durant la période de reproduction est disponible sur internet, chaque année réactualisée. En 2017, 39 voies d'escalade sont considérées comme sensibles et concernent 24 nids de vautours fauves (LPO PACA, 2017). La réussite des réintroductions des vautours fauves dans les gorges du Verdon se doit notamment à cette collaboration entre grimpeurs et naturalistes. Ainsi, le succès de cette première vague de réintroductions a encouragé le lâcher d'autres vautours : trois vautours moines ont été relâchés le 26 février 2017 dans le Verdon.

Figure 48 : Affichette d'information placée au sommet d'une voie d'escalade sensible vis-à-vis des Vautours fauves dans les Gorges du Verdon.
Crédit photo : S.Henriquet

La fresque ci-dessous (Figure 49) permet une sensibilisation du public aux enjeux locaux liés à l'activité d'escalade dans les gorges du Verdon. Elle rappelle la cohabitation entre grimpeurs et vautours fauves, mais également l'impact des grimpeurs sur la Doradille du Verdon (*Asplenium jahandiezii*), fougère endémique des gorges du Verdon poussant dans les anfractuosités des parois calcaires. Cette

dernière fait l'objet de campagnes de sensibilisation auprès des aménageurs, du public et des gestionnaires, afin de préserver cette espèce à l'aire de répartition très restreinte et aux exigences écologiques strictes (DREAL PACA, 2012).

Figure 49 : Fresque postée sur le site du PNR du Verdon, visant à sensibiliser les grimpeurs aux impacts potentiels de leur activité sur la biodiversité.
Crédit : C. Girard



La problématique de **l'érosion du sol** des milieux rupestres peut également être soulevée : une sur-fréquentation entrainant un piétinement important peut être la cause d'une érosion accrue, notamment sur des terrains de roches meubles. D'importantes mesures de prévention des dommages doivent être mises en œuvre pour éviter ces impacts. Le Raid des Terres Noires est par exemple un parcours de VTT se pratiquant sur les bad lands des Alpes du Sud. Afin de limiter l'érosion de ces terrains meubles, l'évènement s'est engagé en faveur de l'environnement en rédigeant des règles de bonne conduite, comprenant l'interdiction de couper les épingles et de sortir des tracés. Des mesures de limitation du nombre de participants ainsi que l'interdiction des spectateurs à certains endroits sensibles du tracé sont également en place (Raid des Terres Noires, 2015).

Outre les activités sportives, l'affluence liée au **patrimoine culturel ou géologique** peut également générer des dérangements pour la faune et la flore rupicoles.

Ainsi, dans un contexte de développement touristique, la question de la pérennité des milieux rocheux, de leurs services écosystémiques et de la biodiversité associée peut se poser (voir Partie III). Les milieux rupestres jouent un rôle de « **zones refuge** » pour de nombreuses espèces de faune et de flore. L'accentuation des pressions sur ceux-ci, liée à la hausse de la fréquentation touristique ou encore aux aménagements routiers peut remettre en question cette fonction. Par exemple, l'accessibilité difficile de certains milieux rupestres en montagne offre aux chamois

des lieux de quiétude vitaux pour la survie de leur population, potentiellement remise en cause par la création de nouveaux accès. La flore clairsemée et fragile de ces milieux peut également être sujette à des piétinements. Par ailleurs, les milieux rupestres contribuent au stockage de formations reliques, constituées d'écosystèmes et d'êtres vivants qui ne sont plus en équilibre avec le climat régional. Elles trouvent, dans les milieux rupestres, les conditions topoclimatiques nécessaires à leur survie (Pech, 2013). Les éboulis froids, décrits précédemment, sont particulièrement connus pour jouer ce rôle d'accueil et de conservation. Certaines modalités de gestion forestière ainsi que les piétinements sont les principales pressions pesant sur ces milieux (Schoeneich, 2017).

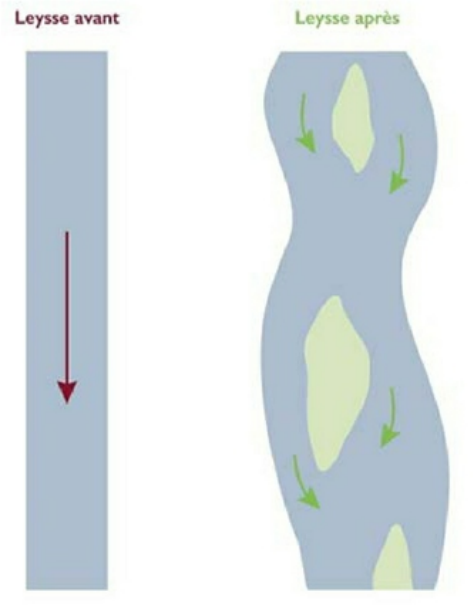
2. – *Les aménagements anthropiques*

Les milieux rupestres que constituent les dépôts rocheux sont particulièrement menacés par les aménagements anthropiques, par exemple en relation avec les **aménagements routiers** creusés dans la roche. Par ailleurs, endiguement, rectification du cours d'eau, recalibrage, canalisation, etc. sont d'autant **d'aménagements de cours d'eau** ayant conduits à la raréfaction de ces milieux. L'endiguement empêche par exemple l'apport en sédiments nécessaire à la création de ces milieux en forme de « bancs ». La régulation des débits des cours d'eau a également joué en défaveur des dépôts, qui ne peuvent se former que dans des cours d'eau au débit irrégulier. Ces dernières années sont cependant marquées par une prise de conscience concernant le fonctionnement hydraulique et écologique des cours d'eau. Certains aménagements effectués dans le passé ne correspondent plus aux volontés de gestion des milieux ripariens, notamment au regard de leur capacité de limitation des risques naturels comme les crues. De nombreux projets visant à rendre au cours d'eau une dynamique plus naturelle sont en cours sur l'ensemble du territoire, et jouent en faveur de ces milieux rupestres. Les dépôts de crue permettent par exemple de concentrer les faibles débits dans un lit étroit, et ainsi de permettre aux espèces aquatiques de mieux résister en cas de sécheresse (Chambéry métropole, 2016). D'un point de vue général, le réaménagement durable des cours d'eau français permettrait à l'écosystème de **redevenir fonctionnel**, et de fournir à nouveau davantage de services écosystémiques.

Le chantier de restauration de la Leysse (73)

La restauration de la confluence Leysse-Hyères, située sur les communes de Chambéry et de la Motte-Servolex en Savoie, est un exemple de restauration durable de cours d'eau. L'objectif principal de la restauration est de rendre la rivière, canalisée entre deux digues depuis 150 ans, « *plus sûre et plus vivante* » (Chambéry métropole, 2016). Divers travaux ont été entrepris, dont l'élargissement local de la rivière et la création de méandres qui favorisent la création des dépôts de crue (Figure 50), et la reconnexion avec les zones humides. Les travaux devraient permettre de limiter le risque d'inondation. Grâce à ces travaux, le fonctionnement écologique de la rivière devrait être restauré, et ainsi permettre à d'autres services de redevenir fonctionnels, les zones humides jouant par exemple un rôle important dans l'épuration de l'eau (Chambéry métropole, 2016).

Figure 50 : Bancs de la Leysse après les travaux de restauration (Savoie). Crédit : Chambéry métropole.



3. – *Les changements climatiques*

Peu de connaissances sont disponibles pour évaluer les impacts sur les milieux rocheux des changements du climat. Le changement climatique modifie la quantité, l'intensité et la temporalité des précipitations. Un accroissement de la fréquence et de l'intensité des épisodes pluvieux s'accompagnera de **l'accentuation de l'érosion** des milieux meubles. Ceci serait par exemple le cas pour les badlands, terrains rupicoles particulièrement sensibles à l'érosion. Les milieux rupicoles que constituent les dépôts de crue peuvent également être impactés par le changement climatique : la modification du régime de précipitation impacte indirectement ces milieux par la **modification du style fluvial** des cours d'eau (Malavoi, 2011).

Concernant les **éboulis froids**, le manque de connaissance de ces écosystèmes complexes ne permet pas à l'heure actuelle d'appréhender les impacts des changements climatiques sur ces milieux. La glace présente dans l'éboulis permettrait un rééquilibrage permanent de celui-ci grâce au principe de « tube à vent », même dans le cas d'une augmentation de la température extérieure. La question de la résilience de l'éboulis froid semble survenir dans le cas où la glace présente dans le milieu disparait, ne permettant plus de rééquilibrage (Bertinelli, 1993). Néanmoins, en l'absence de recherches approfondies, seules des hypothèses peuvent être formulées.

Enfin, les milieux rocheux font l'objet d'une importante surveillance vis-à-vis des **risques naturels** associés. Les chutes de blocs, éboulements et écroulements découlant des parois rocheuses, affectent régulièrement les voies de communication et autres infrastructures à proximité (routes, sentiers, habitations, …). D'importants dispositifs de protection sont parfois mis en place afin de limiter la vulnérabilité des sociétés aux aléas rocheux. Le changement climatique pourrait être à l'origine d'une **intensification de la fréquence d'instabilité** des versants rocheux. Par exemple, la modification des cycles gel-dégel en lien avec l'augmentation de la température entraine une augmentation de la fréquence des chutes de blocs et éboulements, et notamment dans les territoires de montagne (INERIS, 2013). Concernant **l'aléa lave torrentielle**, leur intensité pourrait augmenter dans les régions où des précipitations intenses et importantes augmenteront (INERIS, 2013). L'adaptation de la population face aux risques naturels induits par les changements climatiques constitue un enjeu à moyen et long termes.

4. – *La gestion des carrières : un enjeu environnemental ?*

1) – L'après-carrière

Après exploitation, les carrières sont soumises à une réglementation qui impose une remise en état afin de garantir la sécurité des biens et des personnes (DRIRE du Centre, 2005). Cette **remise en état**, aux frais de l'exploitant, doit également permettre le démantèlement des installations et le nettoyage des différentes zones de la carrière. La **réhabilitation** d'une carrière est l'étape qui suit la remise en état, elle vise à valoriser le site sur le long terme en lui rendant sa vocation d'origine ou en le destinant à une nouvelle vocation (http://www.unicem-bretagne.fr/fr/content.php ?pri=2&sub=4&ssub=2). Les carrières induisent une rupture dans des paysages parfois homogènes, tels que des forêts. Pour cette raison, celles-ci peuvent être perçues comme des « blessures » entraînant une « dégradation du paysage ». L'implantation d'une carrière peut remettre en question le cadre de vie des habitants, du fait de la transformation d'un site dans lequel ils ont été habitués à vivre. Il est évident que **la perception des carrières** par les individus dépend également de leur propre rapport à celles-ci. Ainsi, en complément des progrès vis-à-vis de l'intégration paysagère de ces milieux et de leur remise en état, les exploitants ont également amélioré leur relation avec le public, notamment les voisins directs des sites d'exploitation. Le contact régulier avec les habitants permet de faciliter la compréhension du projet, et donc son intégration (Delamette, 2014). La réhabilitation d'une carrière devient alors **un projet de territoire** collectif.

L'exploitation finie, la reconstitution rapide de l'écosystème initial d'avant exploitation est souvent recherchée, lorsque cela est possible, afin d'effacer du paysage ces milieux en mettant en place une **revégétalisation** de la carrière. Cette revégétalisation soulève néanmoins de nombreux débats. La reconstitution d'un couvert forestier constitue une **menace pour la faune et la flore rupicoles** qui s'y sont installées, voyant ce milieu comme un « refuge » dans un territoire non adapté à leurs besoins. Dans le sens où l'exploitation a généré de nouveaux habitats, la remise des milieux à leur état initial présente une contrainte pour la biodiversité en place. Il a été prouvé qu'une fermeture du milieu par les ligneux occasionne une baisse de la richesse spécifique (ENCEM, 2007). De nombreuses **espèces protégées** ont été observées dans des carrières, comme le lézard ocellé (*Timon lepidus*). La plantation d'arbres et d'arbustes occasionne alors une baisse de richesse spécifique en général mais également une perte d'habitat pour des espèces protégées

et rares. Entre nouvelle biodiversité et volonté d'effacer toute trace d'exploitation, le débat sur la revégétalisation de ces espaces reste ouvert. Cette volonté de revégétalisation rapide souligne les enjeux liés à la sensibilisation du grand public et des décideurs vis-à-vis des potentialités écologiques des carrières (Pech, 2013).

5. – *La problématique des espèces invasives sur les sites de carrière*

Les professionnels de la filière de production de granulats, comme l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG), se saisissent de manière croissante des enjeux liés aux **invasions biologiques** sur les sites d'exploitation (Bio Beri, 2014). En effet, ces sites apparaissent fortement vulnérables aux espèces invasives, qui « par leur prolifération dans des milieux naturels ou semi-naturels y produisent des changements significatifs de composition, de structure et/ou de fonctionnement des écosystèmes » (Voeltzel, 2010). Des inventaires réalisés par l'ENCEM sur trente-cinq échantillons de carrières de roches massives ont démontré la présence de treize espèces invasives avérées dans les carrières, sur la soixantaine que comprend la liste nationale *(Figure 82)* (Voeltzel, 2010). Le Robinier faux-acacia *(Robinia pseudacacia)* (Tableau 7) était par exemple présent sur seize des trente-cinq échantillons de sites étudiés (Voeltzel, 2010).

Tableau 7 :

Espèces végétales invasives inventoriées sur 35 carrières.
Crédit : ENCEM

Nom français	Nom scientifique	Nombre de sites
Robinier faux-acacia	*Robinia pseudacacia*	16
Vergerette du Canada	*Conyza canadensis*	15
Buddleia du père David (Arbre à papillons)	*Buddleia davidii*	7
Séneçon du Cap	*Senecio inaequidens*	5
Vergerette de Sumatra	*Conyza sumatrensis*	3
Onagre bisannuelle	*Oenothera biennis*	3
Ambroisie à feuilles d'armoise	*Ambrosia artemisiifolia*	1
Aster de la Nouvelle-Hollande	*Aster novi-belgii*	1
Herbe de la Pampa	*Cortaderia selloana*	1
Paspale dilaté	*Paspalum dilatatum*	1
Renouée du Japon	*Reynoutria japonica*	1
Solidage du Canada	*Solidago canadensis*	1
Sporobole d'Inde	*Sporobolus indicus*	1

Cette vulnérabilité des carrières s'expliquerait par les modifications d'ordre écologique liées à leur exploitation entrainant par exemple la **diminution des phénomènes de compétition** et favorisant l'invasion par des espèces exotiques envahissantes. Les espèces invasives, de par leur plasticité et leur potentialité de croissance rapide, parviennent à coloniser les carrières.

Elles ont notamment pour conséquence la régression de la biodiversité locale des sites touchés. Les espèces invasives représentent une **menace pour la flore originale** que peuvent abriter les carrières (Voeltzel, 2010). La lutte contre les espèces exotiques envahissantes est un enjeu au cœur des problématiques environnementales actuelles : ces espèces constitueraient la seconde cause d'érosion de la biodiversité, et une composante importante des changements globaux provoqués par l'activité humaine (Mercier, 203). De nombreux **dispositifs réglementaires** ont été mis en œuvre au niveau international, européen et national afin de lutter contre l'introduction et l'expansion des espèces exotiques invasives. Les gestionnaires des sites de carrière semblent mobilisés de manière croissante à

la prise en compte de cet enjeu. Le guide de l'UNPG préconise la prévention, l'alerte, et la détection précoce afin d'établir une lutte efficace (Bio Beri, 2014).

Figure 51 : Feuille et fleurs de Robinier faux-acacia.
Crédit photo : M.Faustino

Partie 3 : Biens et services écosystémiques, patrimoine naturel associés aux milieux rupestres

Les milieux rupicoles, de par leur faible couverture végétale, fournissent un bouquet spécifique de **services écosystémiques**, qui traduisent la contribution **biotique** au bien-être humain. Ces milieux fournissent additionnement divers **services environnementaux**, incluant en plus des services écosystémiques l'ensemble des biens et services, y-compris marchands, dérivés du compartiment **abiotique** seul (Figure 52).

Figure 52 : Services écosystémiques associés aux milieux rupestres

I. – Biens produits :

1) – Cueillette de plantes sauvages

Les milieux rocheux abritent un cortège de plantes originales aux vertus parfois nombreuses : médicinales, thérapeutiques, aromatiques, … (Pech, 2013). Cette flore est cueillie à visée **commerciale** ou **privée** et est l'objet de connaissances vernaculaires spécifiques liées aux modalités de prélèvement ainsi qu'aux usages possibles des plantes récoltées. Pour ces raisons, la cueillette peut être considérée comme « bien produit » ainsi que comme « service culturel avec prélèvement ». Ce service écosystémique fait l'objet d'une faible disponibilité en données. Aucune donnée quantitative concernant les volumes prélevés n'a pu être recueillie. De la même manière, il n'existe pas de liste exhaustive des espèces concernées par cette cueillette sur les milieux rocheux à l'échelle de la France. Les espèces mentionnées dans cette partie constitueront uniquement des exemples des principales espèces cueillies dans les milieux rupestres.

Figure 53 : Vulnéraire des Chartreux (Hypericum nummularium).
Crédit photo : Conservatoire national des plantes à parfum, médicinales et aromatiques.

Figure 54 : Génépi des glaciers (Artemisia glacialis), Parc national des Ecrins.
Crédit photo : M-G. Nicolas

Parmi les espèces fréquemment cueillies en milieux rupestres, peuvent être distinguées le **Génépi** (*Artemisia sp.*) et la **Vulnéraire des Chartreux** (*Hypericum nummularium*). Ces deux espèces se rencontrent sur les milieux rocheux montagneux et sont principalement récoltées pour la fabrication de liqueur et de tisane. La Vulnéraire des Chartreux (Figure 53) affectionne les roches calcaires à l'abri du plein soleil, elle est présente dans les Pyrénées et dans les Alpes, plus particulièrement dans le massif de la Chartreuse. Ses propriétés aromatiques sont utilisées pour la fabrication de la fameuse liqueur des moines Chartreux. La cueillette de cette plante emblématique du massif de la Chartreuse est **soumise à réglementation** afin de ne pas appauvrir les ressources : une autorisation préfectorale est nécessaire dans le cadre d'une cueillette à des fins commerciales, la cueillette à des fins de consommation familiale est tolérée dans la limite de

ce qu'une main peut contenir. Le Génépi se développe en général sur les rochers à des altitudes plus élevées que la Vulnéraire des Chartreux (à partir de 2000 m environ) (Corjon, 2012). Le Génépi est un terme commun désignant quatre espèces végétales : le Génépi blanc, le Génépi noir, le Génépi des glaciers (Figure 54), et enfin le Génépi Laineux. En France, seul le Génépi laineux est protégé, sa cueillette est formellement interdite. Les trois autres espèces peuvent faire l'objet d'arrêtés préfectoraux qui en limitent la cueillette. Par exemple, la cueillette du Génépi est interdite dans le Parc national de la Vanoise tandis que le Parc national des Ecrins tolère sa cueillette dans la limite de cent brins par personne (Ledauphiné, 2009). Le Thé des Alpes (*Sideritis hyssopifolia*) se développe sur les rochers, falaises, éboulis et moraines des montagnes alpines, jurassiennes et pyrénéennes, et est soumis à la même réglementation que la Vulnéraire des Chartreux. Il n'est néanmoins pas inféodé uniquement aux milieux rocheux puisqu'il se développe également sur les prairies attenantes à ces zones rocailleuses.

La pratique de la cueillette pose la question du **maintien des populations sauvages**. La mise en place de réglementations et de quotas prévient la perte des populations. La cueillette non commerciale constitue également un enjeu, car celle-ci regroupe un public de différents **niveaux de connaissance** des milieux et des espèces, qui peut engendrer la raréfaction des espèces suite à de mauvaises pratiques de collecte, par exemple par arrachage des pieds (Ledauphiné, 2009).

2. – *Services de régulation*

1) – Equarrissagenaturel

Les milieux rupicoles offrent un habitat privilégié pour de nombreux **charognards**, logeant dans les anfractuosités des parois rocheuses. Ces rapaces jouent un important rôle de régulation en faisant un travail « d'équarisseurs naturels ». Ces grands oiseaux sont spécialisés dans l'élimination des cadavres, ils sont d'ailleurs dotés d'une anatomie particulièrement adaptée à ce régime alimentaire : bec crochu, serres puissantes, fin duvet autour du cou se nettoyant facilement (*http://rapaces.lpo.fr/grands-causses/les-quatre-vautours*). Au cours du XXème siècle, les charognards ont vu leur population se raréfier considérablement sur l'ensemble du territoire français pour des raisons diverses (mauvaise réputation, raréfaction de leurs ressources et habitats, dérangements, …). Aujourd'hui, grâce aux programmes de réintroduction, certaines espèces de charognard sont de retour sur le territoire national. Parmi les espèces

présentes en France et nichant dans les milieux rocheux, sont représentées le Gyapète barbu (*Gyapaetus barbatus*), le Vautour percnoptère (*Neophron percnopterus*) (Erreur : source de la référence non trouvée) et le Vautour fauve (*Gyps Fulvus*) (*http://rapaces.lpo.fr/grands-causses/les-quatre-vautours*).

Figure 55 : Vautour percnoptère (Neophron percnopterus) dans le Luberon. Crédit photo : luberon.fr

En l'absence de réseaux trophiques complets, par exemple en l'absence de charognards, les moyens techniques de substitution anthropiques mobilisent des **entreprises d'équarrissage**. Quand l'écosystème redevient fonctionnel d'un point de vue des chaînes trophiques, les services écosystémiques de régulation sont à nouveau davantage fournis. Le retour des charognards permet ainsi de compléter la chaine trophique, et autorise le retour aux techniques d'équarrissage naturel, qui constituent un service de régulation. D'après plusieurs écrits anciens, les bergers avaient conscience de ce service que les vautours leur offraient, lorsque ceux-ci étaient encore abondants dans les régions françaises (Dupont, 2011). Le retour des vautours signe donc également le retour à une relation traditionnelle existante entre l'éleveur et le vautour. Plusieurs arguments sont mis en avant afin de promouvoir ce service rendu par ces grands oiseaux. Les arguments principaux résident dans leur aptitude à **limiter les épidémies** grâce à leur système digestif capable d'éradiquer les pathogènes présents dans les charognes. Les pathogènes peuvent être à l'origine d'une contamination du reste du troupeau dans le cas où ils ne sont pas éradiqués suffisamment rapidement. De plus, les charognes présentent également un risque pour la **pollution organique du milieu**, avec comme préoccupation principale l'eau. La capacité des charognards à faire disparaitre rapidement le bétail mort est donc un argument de poids dans la limitation des risques

sanitaires, là où les délais des entreprises d'équarrissage sont parfois longs (Dupont, 2011). En France, les services de régulation rendus par les charognards sont particulièrement intéressants durant la période de l'estive, où le bétail se situe loin des voies de communication, rendant l'intervention de l'Homme parfois impossible notamment dans des cas de surmortalité (Tessier, 2012).

Figure 56 : Vautours fauves sur une placette dans le Parc national des Cévennes. Crédit photo : Régis Descamps

Ce service de régulation fait cependant l'objet d'un soutien anthropique : des **placettes d'alimentation** doivent être mises en place, notamment pour gérer les risques sanitaires (Figure 56). Elles constituent l'endroit où les éleveurs vont pouvoir déposer les cadavres. Elles peuvent être individuelles, c'est-à-dire situées directement sur la propriété de l'éleveur, ou collectives. Les vautours vont venir se nourrir directement sur ces placettes d'alimentation. Cette solution a été trouvée afin de respecter la législation sur l'équarrissage, notamment pour des raisons de santé publique : la pénétration dans le sol et le ruissellement des jus d'égouttage provenant des carcasses peuvent constituer un risque de contamination pour la population. Les placettes sont donc constituées d'une dalle en béton afin de limiter ces écoulements et de réduire les risques. Les placettes d'alimentation doivent également répondre à plusieurs normes sur leur localisation : endroit situé dans le domaine vital de la colonie de vautours, à l'écart des voies de communication principales, des habitations et de lignes à haute tension (ces dernières représentent le risque principal de mortalité pour ces oiseaux). Elles doivent également être entourées d'une clôture électrique fonctionnant par panneau solaire afin de limiter la venue d'animaux errants. Ces normes sont validées par la Direction Départementale des Services Vétérinaires (DDSV), s'ensuit la prise d'un arrêté d'ouverture par le préfet du département pour arriver enfin à une convention signée

entre l'éleveur et la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) dans le cas d'une placette individuelle. La LPO ainsi que la DDSV assurent le suivi de fonctionnement de la placette (Dupont, 2011). Outre les raisons sanitaires, différents travaux de recherche et de suivi des espèces nécrophages ont prouvé l'intérêt des points d'alimentation pour le succès de leur survie. Elles contribuent également aux interactions entre les éleveurs et les gestionnaires d'espaces naturels (Tessier, 2012).

Selon la LPO, 900 couples de vautours fauves permettent une **économie** de plus de 440 000 € par an (Schaub, 2014). Cette économie est liée à la réduction des frais d'équarrissage. Dans les Baronnies, l'« Association Vautours en Baronnies » prend en charge l'aménagement des placettes. L'équarrissage naturel est également mis en avant par certains pratiquants d'une agriculture biologique, car il évite les trajets des camions des entreprises d'équarrissage. Au-delà de ce service de régulation, il est également intéressant de noter que les charognards représentent un **fort intérêt patrimonial** pour certains territoires. A titre d'exemple, à Rémuzat dans les Baronnies, quinze à vingt mille personnes se rendent chaque année au sommet du Rocher du Caire afin d'observer les vautours (Schaub, 2014).

2) – Pollinisation

Les milieux rocheux peuvent accueillir des insectes pollinisateurs qui construisent leur nid et y passent l'hiver. Certaines espèces d'insectes pollinisateurs sont connues pour préférer les milieux rupicoles. Le Bourdon des pierres (*Bourdon lapidarius*) (Figure 57) en est un exemple, les femelles confectionnant un nid dans les interstices des roches afin de se reproduire (https://www.aujardin.info/fiches/bourdon-des-pierres.php). Néanmoins la plupart du temps, les milieux rocheux ne constituent pour les insectes pollinisateurs qu'un choix parmi d'autres milieux, comme les tas de branches, le sol, les troncs, … A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur l'importance significative de ces milieux sur la pollinisation. Cependant, il est fréquemment rappelé dans les programmes en faveur de la préservation des habitats des insectes pollinisateurs l'importance de conserver en place les vieux murs, tas de pierres (tels que les murgiers), blocs rocheux,… en particulier dans les milieux agricoles, où la demande en service de pollinisation est la plus forte (Ministère de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire Canada, 2014).

Figure 57 : Bourdon des pierres (Bombus lapidarius).
Crédit photo : I. Leidus

3) – Régulation des ravageurs des cultures

Les murgiers, murs, murets et ruines situés dans les paysages agricoles constituent des habitats pour les **reptiles**, notamment les serpents. Les serpents jouent un rôle de régulation des **populations de rongeurs**, les vipères sont notamment les prédateurs directs de ces micromammifères considérés comme des ravageurs de cultures (Quere, 2011).

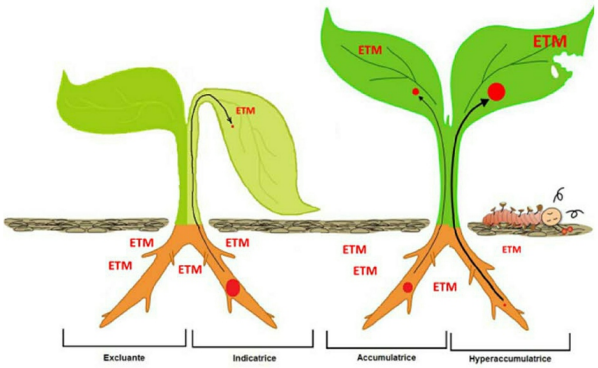
Les serpents (Figure 58) sont également considérés comme des **indicateurs de l'état écologique des écosystèmes :** leur présence prouve de la bonne santé d'un écosystème et de la richesse de sa biodiversité (LPO Isère, 2014). La banalisation des milieux, entrainant une raréfaction des milieux rocheux et donc une perte d'habitat pour ces prédateurs dans les terres agricoles constitue la principale pression pesant sur ce service. Aucune information quantitative n'a pu être mobilisée afin de quantifier les bénéfices liés à ce service de régulation.

Figure 58 : Vipère Aspic (Vipera aspis) sur un muret dans les Gorges de l'Allier. Crédit photo : Igor Girault

4) – Dépollution des sols par les plantes accumulatrices

Les terrils et sites miniers constituent des refuges pour des **plantes métallophytes**. Contrairement à la majorité des espèces végétales, ces plantes sont capables de supporter une très grande quantité de métaux dans le sol. Elles sont également capables d'extraire les éléments métalliques et de les stocker. Ce stockage d'éléments métalliques s'effectue dans leurs parties aériennes, et peut représenter jusqu'à 8 % de la masse sèche des feuilles pour les plantes hyperaccumulatrices (Grison, 2013) (*Figure 54*). L'aptitude exceptionnelle de ces plantes, dîtes **accumulatrices**, est à l'origine de **méthodes naturelles de dépollution partielle** des sols et des sédiments. La dépollution est une étape essentielle dans la restauration écologique des milieux pollués tels que les terrils, les haldes ou les sites de carrière. Elle contribue à une bonne qualité du sol et des eaux. Cette méthode appelée « **phytoextraction** » est mise en œuvre dans le cadre de la restauration des sols contaminés. Elle présente l'avantage de ne pas nuire aux activités biologiques du sol mais sa portée demeure actuellement limitée à cause des délais nécessaires à une extraction significative des éléments métalliques.

Figure 59 : Comportement des végétaux en présence d'ETM (Eléments Traces Métalliques).
Source : J.C Cleyet-Marel



Un nouveau **procédé de valorisation** de la phytoextraction a été mis au point récemment : les métaux emmagasinés par les feuilles pourraient servir de catalyseurs verts (Grison, 2013). Ces catalyseurs servent habituellement, dans le domaine de la chimie, à augmenter la vitesse d'une réaction pour la rendre possible ou efficace. Ils peuvent être naturels (enzymes) ou synthétiques (métal rare ou terre rare). De nombreuses industries (médicamenteuses, pharmaceutiques, de la pétrochimie, des textiles, des colorants et peintures, des cosmétiques, …) dépendent de l'utilisation de métaux tels que le Nickel, le Zinc ou le Cuivre comme catalyseurs. Néanmoins, la disponibilité de ces ressources non renouvelables suscite des inquiétudes croissantes, comme mentionné par le rapport du Pôle Interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations Economiques publié en février 2010. Ce nouveau procédé valorisant la phytoextraction pourrait être une alternative verte aux catalyseurs polluants et non-renouvelables utilisés actuellement (Grison, 2013). Sous réserve du développement de méthodes industrielles d'extraction, un nouveau service, qui se situerait dans la section « biens produits », serait alors fourni par les milieux rupestres.

3. – *Services culturels et récréatifs*

1) – Attractivité pour les activités sportives de pleine nature

Les milieux rocheux sont le support de nombreuses activités récréatives. Il convient de noter ici que la contribution des composantes écosystémiques (biotiques) par rapport aux composantes abiotiques, voire à des éléments culturels, sont particulièrement difficiles à démêler et demanderaient des explorations spécifiques pour aller au-delà des éléments généraux présentés ci-après.

Parmi les milieux rupicoles, les parois rocheuses constituent des sites privilégiés pour la pratique de nombreuses activités sportives demandant des milieux verticaux. **L'escalade** est l'activité emblématique des parois rocheuses et ne cesse de se démocratiser depuis les années 1980 (FFME, http://www.ffme.fr) : la Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade (FFME) comptait 45 000 licenciés au milieu des années 1990 et 93 000 en 2016 (La Fabrique Verticale, 2017). La discipline se pratique sur tous les types de milieux rocheux : des blocs de faible hauteur comme à Fontainebleau, jusqu'aux parois verticales de plusieurs centaines de mètres. Le premier axe de développement de la FFME s'oriente vers la mise en place et la maintenance des sites naturels d'escalade (Chenebier, 2011). Un annuaire des sites naturels d'escalade de France est mis à disposition du public sur le site de la FFME (http://www.ffme.fr/site/falaise.html). Au-delà des aspects techniques, certains sites connaissent une fréquentation plus forte que d'autres : gorges du Verdon, du Tarn, vallée de Chamonix,… Cette attractivité s'explique par les panoramas qu'ils offrent, ils font de ces sites des **endroits remarquables** pour la pratique de l'escalade. (Figure 60).

Figure 60 : Escalade à Chamonix sur le Massif du Mont Blanc.
Crédit photo : A. Torretta

En plein développement, la *Via Ferrata* (Figure 61) est une nouvelle pratique sportive s'exerçant sur les parois rocheuses. Cette pratique combine des éléments de pratiques de la randonnée et l'escalade, elle consiste à l'implantation d'un itinéraire

rocheux équipé d'éléments métalliques permettant de faire découvrir le terrain où évoluent les grimpeurs (http://www.viaferrata-fr.net/histoire.php). Ces itinéraires sont ludiques, constitués de passerelles aériennes, de pont de singe divers, … Aujourd'hui, des centaines de Via Ferrata sont dénombrées sur toute la France. Elles constituent un facteur d'attractivité significatif pour la fréquentation des écosystèmes rupestres.

Les milieux rocheux peuvent également constituer des lieux de passage pour les **randonneurs** et **traileurs**, notamment en montagne le long d'éboulis (Figure 62). Les sommets des escarpements rocheux peuvent également offrir des **panoramas privilégiés** et constituent fréquemment des objectifs à atteindre, pour partie en lien avec leur **importance patrimoniale**. La roche de Solutré en Bourgogne (Figure 63), par exemple, est la raison de nombreuses promenades et randonnées pour le panorama sur la vallée de la Saône qu'elle offre à son sommet, mais également pour son importance d'un point de vue patrimonial (curiosité géologique, site archéologique, importance d'un point de vue naturaliste, …) (Pech, 2013). Dans le domaine de la haute-montagne, l'alpinisme inclut tout type de progression en haute-montagne : sur neige, glace, et terrain rocheux.

Figure 62 : Chemin de randonnée dans la Réserve naturelle nationale des Aiguilles rouges (Haute-Savoie).
Crédit photo : A. Tempé

Figure 63 : Roche de Solutré, Bourgogne.
Crédit photo : A.Doire

Les milieux rocheux peuvent également servir **d'aires d'envol** pour des sports extrêmes tels que le BASE jump, saut dans vide équipé d'un parachute à partir d'un objectif fixe. Cette activité compte environ 300 pratiquants en France. Les milieux rocheux offrent ici uniquement une **fonction de support** pour ces activités (Vasseur, 2016).

Les milieux rocheux **d'origine anthropique** peuvent également être attractifs pour les loisirs de plein air. Certains terrils sont, par exemple, ouverts au public. Ils offrent ainsi des **espaces de loisirs et de détente**, leur permettant d'être le support d'activités sportives (randonnée, VTT, …). Dans une région de plaine, les terrils offrent aux VTTistes un terrain de jeu idéal (Erreur : source de la référence non trouvée). Les carrières font également l'objet de réaménagements dans le but d'accueillir un public sportif, notamment grâce aux fronts de taille qui offrent un support pour la pratique de l'escalade.

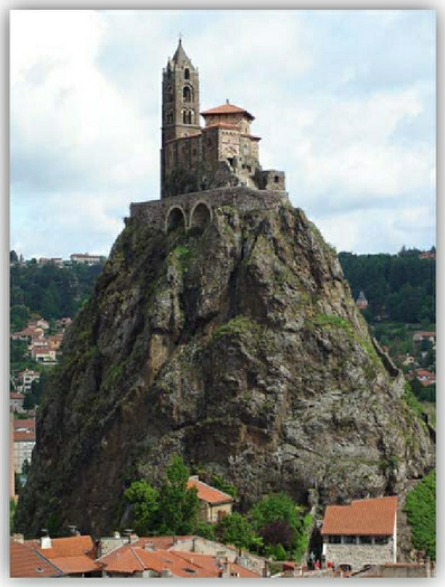
2) – Aménités paysagères

Figure 64 : VTT sur un terril du Bassin minier.
Crédit photo : D.Detelder

Les milieux rocheux peuvent également présenter certaines aménités paysagères, qui consistent davantage en un service environnemental qu'en un service écosystémique du fait de la faible contribution biotique liée. Malgré le caractère subjectif de la beauté d'un paysage, certains **traits esthétiques** d'un paysage rocheux peuvent être relevés : en particulier, la forme et la couleur que peuvent adopter les roches.

Figure 65 : Arche naturelle du Pont d'Arc, gorges de l'Ardèche.
Crédit photo : P.Fournier

Figure 66 : Eglise Saint-Michel d'Aiguilhe sur son neck, Puy-en-Velay (Auvergne-Rhône-Alpes).
Crédit photo : D. Giffard



Les phénomènes d'érosion peuvent sculpter des formes originales dans la roche. Parmi ces nombreuses formes, sont retrouvées les **arches naturelles**, liées à l'érosion par les cours d'eau comme pour le fameux Pont d'Arc en Ardèche (Figure 65) par exemple, ou encore pour la double-arche naturelle de la tour Percée dans le massif de la Chartreuse, la plus grande arche des Alpes. L'Ardèche est le département comptant le plus d'arches naturelles (hors départements d'outre-mer) avec plus de 230 arches recensées (Debossens, http://www.archmillennium.net/natural_arches_of_France.htm). Ces sculptures rocheuses présentent une **forte valeur culturelle** par leur équilibre original et leur rôle de témoin des phénomènes érosifs.

Les **pitons rocheux** sont des termes généraux qui désignent un sommet rocheux en forme d'aiguille. A titre d'illustration, l'Eglise Saint-Michel d'Aiguilhe a été édifiée sur un type de piton rocheux appelé neck, témoin de l'activité volcanique passée (Figure 66). Les « Pénitents des Mées », dans la vallée de la Durance, sont une suite de pitons rocheux isolés par l'érosion du plateau de Valensole. Les **cheminées de fées** (appelées aussi demoiselles coiffées) sont également une structure rocheuse originale. Elles sont formées de colonnes de matériaux rocheux hétérogènes et peu indurés (roches sédimentaires, anciennes moraines, matériaux fluvio-glaciaires, …).

Ces colonnes fragiles ont pu être isolées et conservées grâce à un bloc de pierre sur leur partie sommitale (« chapeau »), les protégeant du travail de l'érosion. Ces structures peuvent se rencontrer entre autres en Lorraine dans l'ancienne Carrière Barrois, à proximité de Saint-François Longchamp en Savoie, à Sauze du Lac dans les Hautes-Alpes (Erreur : source de la référence non trouvée), ou encore sur l'impressionnant site des Orgues d'Ille-sur-Têt dans les Pyrénées-Orientales (Michel, 2016).

Figure 67 : Cheminées de fées du Sauze du Lac (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Crédit photo : savinois.com

La **couleur de la roche** peut également contribuer aux aménités paysagères. L'exemple le plus probant est situé dans le Parc Naturel régional du Luberon (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et est appelé le Colorado Provençal (Figure 68). Le site représente les vestiges des anciennes carrières d'exploitation dans le massif des ocres du Luberon, et offre des dizaines de **nuances** (rouge, orange, blanc, …) et de **contrastes** entre le vert de la végétation et l'ocre de la roche. D'autres carrières d'ocres de ce type sont également ouvertes au public dans le Vaucluse (Obels, 2016). Les Ravins de Corboeuf (Haute-Loire), classés site naturel, offrent également des couleurs atypiques, liées aux alternances d'argiles sableuses rouges et de sables rosés ou verdâtres (http://www.ville-rosieres.fr/patrimoine-geologique/ravins-de-corboeuf/). La vallée de Salagou (Hérault) abrite un paysage rocheux à la couleur originale : les Ruffes des Lodévois. La formation de ces « terres rouges » s'explique par la ruffe, nom local employé dans l'Hérault, qui est une roche constituée de pélites (sédiments argileux très fins) associées à des oxydes de fer qui leur donnent leur couleur rouge (http://www.saga-geol.asso.fr/Geologie_

page_conf_reptiles_ruffes.html). L'érosion différentielle y a d'ailleurs dessiné localement des chevrons dans des couches inclinées (Michel, 2016) *(Figure 69)*.

Figure 68 : Colorado Provençal, Rustrel (Provence-Alpes-Côte d'Azur).
Crédit photo : A.Nazaret

Figure 69 : Ruffes du Lodévois, Saint-Jean-de-la-Blaquière (Hérault).
Crédit photo : G. Souche

4. – *Patrimoine naturel*

1) – Espèces patrimoniales

Comme mentionné dans le volet Haute Montagne de l'EFESE (Partie III), la notion d'espèce patrimoniale renvoie à une espèce à laquelle la société accorde une importance particulière, c'est-à-dire une espèce qui a une **valeur culturelle et**

symbolique forte. Les raisons de cet attachement peuvent être multiples et par exemple associées à la rareté de l'espèce, à son degré de vulnérabilité ou encore à son caractère emblématique d'un milieu ou région donnée. Les critères de patrimonialité sont donc multiples et non strictement définis. Il n'existe pas à ce jour de liste générique recensant les espèces 'patrimoniales' des milieux rupestres.

Figure 70 : Viola hispida, espèce classée « En danger critique » par l'IUCN.
Crédit photo : Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Normandie

Les caractéristiques propres des milieux rupestres (surface réduite, caractère discontinu, fortes contraintes physico-chimiques, …) induisent la **colonisation par une faune et une flore originales ou rares**. Dans des milieux fermés, tels que les forêts, ces milieux rupestres peuvent représenter un tout autre écosystème, pouvant être la raison d'une forte valeur culturelle ou symbolique des espèces associées.

Les espèces patrimoniales peuvent être définies en fonction de divers critères de sélection.

Dans le cadre de cette étude, il a été choisi de sélectionner les **espèces menacées sur la liste rouge nationale de l'IUCN**
(www.iucnredlist.org) (Erreur : source de la référence non trouvée) d'après les différents critères suivants proposés par l'IUCN :
Espèce associée au volet **habitat des milieux rocheux** (« Rocky areas (eg. inland cliffs, mountain peaks) »).

Espèce associée aux catégories '**En danger critique' (CR), 'En danger' (EN), Vulnérable (VU), et 'Quasi menacée' (TR)**

Espèce associée à **l'emprise géographique nationale** (champ « France »).

Au niveau de la faune, seules les espèces appartenant à l'embranchement « **Chordata** » ont été retenues. Toutes les espèces concernant les milieux littoraux ont été exclues car relatives aux travaux du groupe de travail Milieux Littoraux de l'EFESE.

Selon cette procédure, **11 espèces animales et 9 espèces végétales** appartenant à des groupes variés ont été retenues. De plus amples travaux seraient à encourager afin de caractériser finement la valeur patrimoniale et culturelle associée à ces espèces.

Tableau 8 :

Faune patrimoniale (11 espèces) et flore patrimoniale (9 espèces) des milieux rocheux selon la liste rouge de l'IUCN.
Crédit : Axelle Tempé

Faune	
Archaeolacerta bedriagae	Lézard de Bedriaga
Eliomys quercinus	Lérot
Euleptes europaea	Phyllodactyle d'Europe
Gypaetus barbatus	Gyapète barbu
Iberolacerta aranica	Lézard du Val d'Aran
Iberolacerta aurelioi	Lézard pyrénéen d'Aurelio
Iberolacerta bonnali	Lézard des Pyrénées
Neophron percnopterus	Vautour percnoptère
Sorex alpinus	Musaraigne alpine
Turdus iliacus	Grive mauvis
Vipera ursinii	Vipère d'Orsini

Flore	
Alyssum pyrenaicum	Alysson à feuilles de serpolet
Asplenium jahandiezii	Doradille du Verdon
Aster pyrenaeus	Aster des Pyrénées
Biscutella neustriaca	Lunetière de Neustrie
Centaurea corymbosa	Centaurée de la Clape
Saxifraga valdensis	Saxifrage de Vaud
Silene velutina	Silène Velouté
Trifolium saxatile	Trèfle de Rochers
Viola hispida	Violette de Rouen (Erreur : source de la référence non trouvée)

5. – *Paysages patrimoniaux*

1) – Le patrimoine géologique français

Le Muséum national d'histoire naturelle pilote, depuis 2007, l'élaboration d'un inventaire géologique à l'échelle nationale (De Wever, 2014). L'inventaire national du patrimoine géologique (INPG) a pour objectif **l'évaluation de la valeur patrimoniale d'objets géologiques et géosites**, liée à leur caractère remarquable d'un point de vue de leur rareté, leur unicité, leur lisibilité, leur état de conservation ou encore leur intérêt scientifique. Selon l'INPG, le patrimoine géologique *« considère tous les objets (patrimoine ex situ) et sites (patrimoine in situ) relatifs aux disciplines des Sciences de la Terre qui présentent un intérêt exceptionnel pour la mémoire de la Terre. Tous ces objets et sites étant à replacer dans leur cadre naturel, ils peuvent représenter un ou plusieurs phénomène(s) géologique(s). Le terme géologie est à prendre dans son acception large. Il inclut la paléontologie, la minéralogie, la tectonique, la sédimentologie…* » (INPN, https://inpn.mnhn.fr/informations/geodiversite/patrimoine-geologique). Cet inventaire a une vocation informative, mais servira également **d'outil de gestion** afin de mettre en place les politiques adéquates en faveur de la préservation et valorisation du patrimoine géologique, par exemple au travers de réserves naturelles (RN). En raison du caractère ponctuel des objets et sites géologiques, la création de RN multisites sera privilégiée. Une méthodologie commune a été établie afin de permettre à l'inventaire, commandité par le ministère en charge de l'écologie, d'être réalisé de façon homogène sur l'ensemble du territoire.

La création de cet inventaire se justifie par la **grande géodiversité française**. Selon l'INPN, « *la France recèle un patrimoine géologique remarquable par sa richesse et sa diversité* », et permet « *de reconstituer une histoire géologique de plus de 2 milliards d'années* » (INPN, https://inpn.mnhn.fr/informations/geodiversite/patrimoine-geologique). En effet, les grands types de structures géologiques sont très bien représentés sur le territoire. Les massifs anciens (Massif Central, Ardennes, …), les chaînes plissées (Pyrénées, Alpes, …), les grands ensembles sédimentaires (Bassin parisien, d'Aquitaine, …) et les fossés d'effondrements (Alsace, Limagne) constituent principalement ces structures. A cela s'ajoutent les phénomènes géologiques comme le métamorphisme, l'érosion, le volcanisme, … Tous les types de roches sont représentés sur le territoire (INPN, https://inpn.mnhn.fr/informations/geodiversite/patrimoine-geologique).

Objet géologique, géosite, géopark, Réserve Naturelle géologique : quelles différences ?

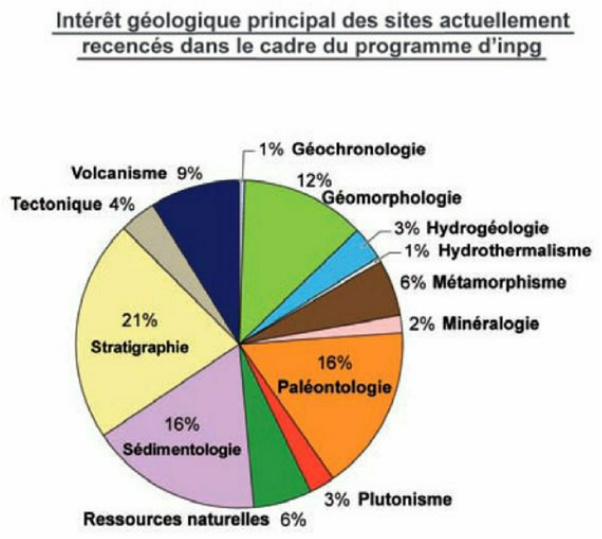
Un **objet géologique** est un terme très général qui regroupe tout élément appartenant à l'univers minéral (minéraux, roches, fossiles, relief caractéristique, …) à des échelles variées. Un **géosite** peut contenir un ou plusieurs objets géologiques, et est caractérisé par son fort intérêt au niveau de la compréhension de la géologie. Le label « **géoparc** » est attribué à certains géosites par l'UNESCO qui reconnait leur territoire géologique exceptionnel d'importance internationale (http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/frequently-asked-questions/what-is-a-unesco-global-geopark/).
Actuellement, cinq sites français ont obtenu ce label : le Géopark du Massif des Bauges, de Haute-Provence, du Luberon, du Chablais, et des Monts d'Ardèche (http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks/).
Certaines Réserves Naturelles de France peuvent constituer des Réserves Naturelles à intérêt géologique. La Réserve Naturelle de Haute-Provence, crée en 1984, forme la plus grande réserve de ce type en Europe, elle s'étend entre la Durance et le Verdon et regroupe 18 sites et 59 communes (http://www.reserves-naturelles.org/geologique-de-haute-provence).
La grande densité de sites remarquables sur ce même territoire a justifié la création de la Réserve. Parmi ces sites sont retrouvés, entre autres, la Dalle aux ammonites de Digne-les-Bains composée de 1500 fossiles, le pli de renommée mondiale du Vélodrome d'Esclangon (Figure 71) ou encore l'Ichtyosaure de la Robine (reptile marin) (Viallon, 2016).

Figure 71 : Vélodrome d'Escanglon (Alpes de Haute-Provence).
Crédit photo : N. Romeuf

e) – Les stratotypes : principal intérêt géologique de la France

La dernière enquête concernant l'avancement régional d'inventaire des géosites a été effectué en 2011 (De Wever, 2014). Cette enquête a permis de révéler que 4**700 géosites étaient attendus à l'inventaire**, parmi lesquels 3000 en cours de renseignement en région et près de 2300 faisant l'objet d'une saisie dans la base de données nationale « iGéotope ». 21 % des sites ont un intérêt géologique principal qui concerne la stratigraphie, 16 % la sédimentologie, 16 % la paléontologie, 12 % la géomorphologie, le reste concerne le volcanisme, les ressources naturelles, le métamorphisme, … (*Figure 68*) (De Wever, 2014).

Figure 72 : Intérêt géologique des sites actuellement recensés dans le cadre du programme d'INPG.
Source : De Wever, 2014



La **stratigraphie**, discipline de la géologie, étudie la succession des couches de terrains et évènements qui les ont fait naitre. Les stratotypes découlent de cette discipline : ce sont des affleurements précis et localisés servant de référence pour la définition des étages géologiques. Les stratotypes constituent l'intérêt géologique majeur actuel dans l'inventaire du patrimoine géologique, la France comptant à ce jour 40 stratotypes répartis sur l'ensemble du territoire. (Figure 73). La valeur associée aux fossiles, qui concernent le domaine de la paléontologie, se situe à la frontière entre services écosystémiques et services environnementaux, dans la mesure où ceux-ci sont les témoins abiotiques des écosystèmes passés. La plaine de Mèze dans l'Hérault abrite par exemple un des plus importants gisements d'œufs

appartenant à plusieurs espèces de dinosaures. Le gisement a été daté de la fin du Crétacé (-65 millions d'années), et revêt un grand intérêt scientifique pour la reconstitution de la faune et des écosystèmes présents il y a -70 millions d'années (Musée-parc des dinosaures de Mèze).

Figure 73 : Localisation des stratotypes français.
Source : P. De Wever 2014

f) – Les carrières : musées à ciel ouvert

Les carrières peuvent constituer des **sites privilégiés d'observation de la géologie**, elles sont à l'origine de nombreuses découvertes scientifiques par le dégagement d'objets géologiques qui n'auraient pas vu le jour naturellement. Une prise de conscience s'est fait ressentir ces dernières années sur l'intérêt des carrières dans ce domaine, notamment grâce à l'inventaire du patrimoine géologique (Conseil Général du Val d'Oise, 2007). Par exemple, le Diagnostic du patrimoine géologique en Auvergne (DIPAGE) réalisé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières en 2006 a retenu 17 sites d'intérêt géologique dont 11 carrières, dans le seul département de l'Allier (Graviou, 2006). Les enjeux de gestion de ces milieux, encore exploités ou abandonnés, sont bien réels. Il s'agit d'y **intégrer la dimension patrimoniale et pédagogique** en établissant une concertation avec l'exploitant et l'administration. Aujourd'hui, de nombreuses carrières sont aménagées pour l'accueil du public, comme la carrière de Vigny et

du Bois-des-Roches (Figure 74) qui abrite d'importants vestiges géologiques. La carrière permet notamment de comprendre les phénomènes géologiques importants dans l'histoire du Bassin Parisien, grâce aux travaux de réhabilitation réalisés en 2006 permettant un accès facilité aux affleurements rocheux (Conseil Général du Val d'Oise, 2007). La carrière de Loulle, dans le Jura, est un autre exemple de site ayant mené à une découverte géologique hors du commun. Des pistes de dinosaures ont été découvertes sur le plancher de la carrière en 2004 : 1500 empruntes figées dans la boue devenue calcaire sont aujourd'hui protégées et valorisées (Figure 75).

Figure 74 : Site de la Carrière de Vigny-Longuesse (Val d'Oise).
Crédit photo : valdoise.fr

Figure 75 : Pistes de dinosaures dans la carrière de Loulle (Jura) lors de leur étude. Les différentes couleurs employées permettent une meilleure lecture des traces. Crédit photo : Dinojura

2) – Le patrimoine culturel des milieux rocheux

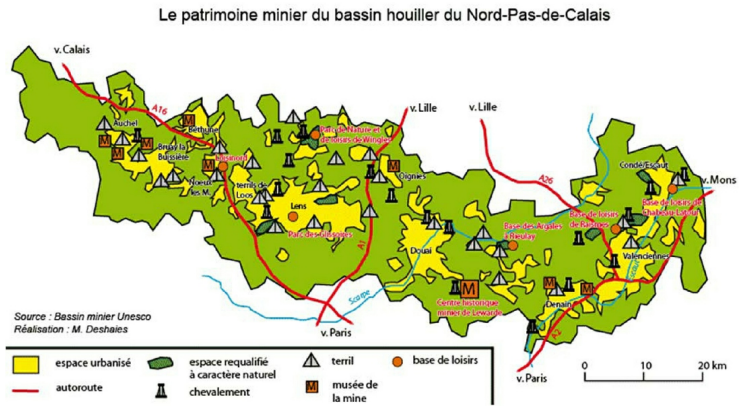
g) – Les terrils : « supports de la mémoire »

Les terrils du Nord-Pas de Calais constituent les vestiges de l'ampleur de l'activité minière passée de cette région. Les mines faisant partie du domaine souterrain, les terrils représentent les seules traces visibles de la ressource extraite du sous-sol depuis le XVIIIe siècle jusqu'au dernier tiers du XXe siècle. La **perception** des terrils du Bassin minier (Erreur : source de la référence non trouvée) a beaucoup évolué depuis les débuts de l'activité charbonnière à nos jours. Lors de l'activité minière, les terrils représentaient des **décharges** pour des matériaux non-exploitables au regard des besoins de l'époque. Les années 1970 sont marquées par le premier inventaire de ces terrils dans le but de **recenser leur valeur marchande** par la récupération de sous-produits (particules charbonneuses et schistes). Témoins des conditions socio-économiques associées à l'exploitation minière passée, les terrils connaissent un désintérêt jusque dans les années 1990, où a eu lieu une première prise de conscience de l'intérêt du **patrimoine bâti et naturel** du bassin minier par les scientifiques et le Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement Chaîne des terrils, association née en 1989 (http://www.bassinminier-patrimoinemondial.org/les-terrils/). Depuis 2012, le bassin minier du Nord-Pas de Calais fait l'objet d'une reconnaissance mondiale par son inscription sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. Il a été distingué au titre de « **paysage culturel** » et « **œuvre conjuguée de l'homme et de la nature** ». Le site s'étend sur 120 000 hectares et regroupe 109 biens individuels

dont des fosses, des chevalements, diverses infrastructures (gares, logements des mineurs, édifices religieux, …) et des terrils (Figure 77) (http://whc.unesco.org/fr/list/1360/).

Figure 76 : Localisation du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais.
Source : Dosto, Wikipédia

Figure 77 : Le patrimoine minier du bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais avec identification des terrils.
Source : M.Deshaies – Bassin minier Unesco



Grâce à cette reconnaissance, les terrils sont aujourd'hui recensés, distingués, et valorisés par de nombreuses actions de communication destinées au grand public *(Figure 74)*. Les terrils, milieux rupicoles d'origine anthropique, présentent donc un réel intérêt patrimonial dans leur dimension historique. Au même titre, les carrières peuvent également faire l'objet d'un patrimoine historique, comme les anciens fronts de taille des carrières de Couzon au Mont d'Or (Auvergne-Rhône-Alpes) par exemple.

h) – Les habitats troglodytiques et l'art rupestre

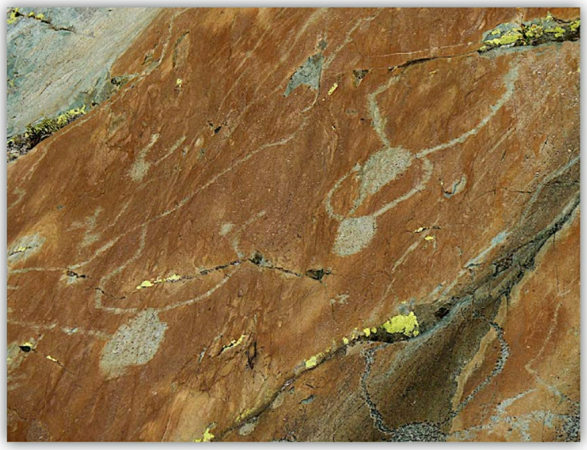
Outre les grottes, qui ne concernent pas cette étude, les milieux rocheux « hors domaine souterrain » ont également servi de **refuge et d'habitats** pour les Hommes et leurs troupeaux depuis le Néolithique : **l'habitat troglodytique** en est l'exemple emblématique (*Figures 75 et 76*). Ces milieux renferment aujourd'hui une importante fonction culturelle. Néanmoins, les habitats troglodytiques peuvent plutôt s'apparenter à un service environnemental par le manque de contribution biotique. Les maisons troglodytiques sont directement creusées dans la roche, notamment à flanc de montagne. Ces milieux représentent les vestiges de la présence ou de l'activité humaine d'un territoire. Ils servaient habituellement d'habitat permanent, saisonnier ou temporaire, mais avaient également des usages agricoles, économiques, et des fonctions cultuelles (sépultures, sanctuaires, …) (Rewerski, 1995). Les habitats troglodytiques sont particulièrement bien représentés en France, notamment en Dordogne, en Anjou, en Touraine, dans la vallée de la Seine, … Ils existent également de manière plus ponctuelle sur le restant du territoire.

Figure 79 : La Roque Saint Christophe (Peyzac-le-Moustier, Dordogne), cité troglodytique occupée de la Préhistoire jusqu'à la Renaissance construite sur une paroi calcaire d'un kilomètre de long et 80 mètres de hauteur.
Crédit photo : sarlat-tourisme.com

Figure 80 : Ancienne étable troglodytique à Rochemenier, Louresse-Rochemenier (Maine-et-Loire).
Crédit photo : Père Igor

La dureté du matériel rocheux a également permis à de nombreuses gravures liées à **l'art rupestre** de perdurer dans le temps. De la même manière que pour les habitats troglodytiques, ces gravures représentent un véritable témoignage d'une époque ancienne. Le milieu rupicole devient le support d'une activité culturelle rendant compte des écosystèmes. La **Vallée des Merveilles** dans le Mercantour abrite 40 000 gravures rupestres datées d'environ 3300 ans avant J-C réparties sur 4000 roches (Figure 81). En plein cœur du Parc national du Mercantour, le patrimoine archéologique et naturel de ce site est exceptionnel : la vallée est considérée comme un « musée à ciel ouvert ». La Zone archéologique des gravures rupestres du Mont Bégo constitue par ailleurs le plus grand site européen de son genre. Les gravures de la Vallée des Merveilles permettent de découvrir des indices d'installation de l'homme et de sa culture ancienne (http://www.mercantour.eu/index.php/nature-et-culture/la-vallee-des-merveilles). En pleine saison, 50 000 visiteurs se pressent sur le site. La haute fréquentation touristique oblige les gestionnaires du Parc à mettre en place des mesures afin de préserver le site fragile. Les cannes et bâtons ferrés sont par exemple interdits, afin d'éviter la dégradation des gravures (Parc national du Mercantour, 2015).

Figure 81 : Gravures représentant des corniformes dans la Vallée des Merveilles (Mercantour).
Crédit photo : G. Seither



Bibliographie

ARTHUR C., CLEMENT C., et al., 2010, *Plan national d'actions en faveur du gypaète barbu Gypaetus barbatus 2010-2020*, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 150p.
[en ligne] http://rapaces.lpo.fr/sites/default/files/gypaete-grands-causses/946/pna-gypaetebarbu.pdf consulté le 07/04/2017

Au jardin, *Le bourdon des pierres*.
[en ligne] https://www.aujardin.info/fiches/bourdon-des-pierres.php consulté le 09/05/2017

Bassin minier – patrimoine mondial, *Zoom sur les Terrils*.
[en ligne] http://www.bassinminier-patrimoinemondial.org/les-terrils/ consulté le 09/05/2017

BENSETTITI F., HERARD-LOGEREAU K., VAN ES J., BALMAIN C., 2004, *« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 5 - Habitats rocheux*, MEDD/MAAPAR/MNHN, Ed. La Documentation française, Paris, 381p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/cahab/tome5.pdf consulté le 10/05/2017

BERTINELLI F., PETITCOLAS V., ASTA J., RICHARD L., SOUCHIER B., 1993, *Relations dynamiques entre la végétation et le sol sur éboulis froid dans les Alpes françaises méridionales*, Université J.Fourier Grenoble I, 12p.
[en ligne] http://ecologie-alpine.ujf-grenoble.fr/articles/REC_1993__2__93_0.pdf consulté le 26/05/2017

BIO BERI F., ADAM Y., BERANGER C., VOELTZEL D., 2014, *Guide « Espèces invasives sur les sites de carrière : comprendre, connaître et agir »*, UNPG, 60 p.
[en ligne] http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2013/01/guide-especes-invasives-unpg.pdf consulté le 10/05/2017

BOGET J-N., *Ravins de Corboeuf*, ville-rosières.
[en ligne] http://www.ville-rosieres.fr/patrimoine-geologique/ravins-de-corboeuf/ consulté le 09/05/2017

BOUTON P., 2008, *La Basse vallée de l'Yon : Le chaos granitique de Piquet*, Patrimoine géologique vendéen, fiche n°16, 2p.
[en ligne] www.vendee.fr/content/download/13426/287067/.../fiche-geologique-vallee-yon.pdf consulté le 06/04/2017

Chambéry métropole, 2016, *Chantier de restauration de la Leysse – Pour une rivière plus sûre et plus vivante*, 7p.
[en ligne] http://www.chambery-bauges-metropole.fr/46-la-reconquete-des-berges-de-la-leysse.htm consulté le 10/05/2017

CHENEVIER J-M., 2011, *Escalade La croissance verticale*, Outdoor Experts, n°129.
[en ligne] http://www.ffme.fr/uploads/federation/documents/presse/articles/2011/2011-07-outdoor_experts.pdf consulté le 09/05/2017

CLIGNET A., BROSSE L., et al., 2012, *Document d'objectifs du site Natura 2000 « Vallée du Gardon de Saint-Jean » FR9101368, Phase 1 : Diagnostic écologique*, Cabinet Barbanson Environnement & AquaLogiq, 233 p.
[en ligne] http://valleegardonsaintjean.n2000.fr/sites/valleegardonsaintjean.n2000.fr/files/documents/page/DOCOB_DiagnosticEcologique_28VersionFinaleValidC3A9e_13-01-201229.pdf consulté le 07/04/2017

COLIN S., 2014, *La carte des carrières françaises en activité est disponible, minéralinfo*.
[en ligne] http://www.mineralinfo.fr/ecomine/carte-carrieres-francaises-en-activite-disponible consulté le 24/05/2017

COLLIN D., 2002, *Fiche Tichodrome échelette*, oiseaux.net.
[en ligne] http://www.oiseaux.net/oiseaux/tichodrome.echelette.html consulté le 07/04/2017

COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DE L'ARTOIS, 2013, *Flore des terrils*, 13p.
[en ligne] https://environnement.bethunebruay.fr/sites/default/files/docsjoints/La %20flore %20des %20terrils.pdf consulté le 05/04/2017

CONNAISSANCE DES ÉNERGIES (CDE), 2015, *Techniques d'exploitation des mines de charbon*, Fiches pédagogique « Connaissances des énergies ».
[en ligne] http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/techniques-d-exploitation-des-mines-de-charbon consulté le 05/04/2017 consulté le 24/05/2017

Conseil Général du Val d'Oise, 2007, *Patrimoine géologique du Val d'Oise*, 42p.
[en ligne] http://troglos.free.fr/dossiers_liens_biblio/pdf_idf/geologie-valdoise %20sites_a_visiter.pdf consulté le 09/05/2017

CONSERVATOIRE D'ESPACES NATURELS RHONE-ALPES, 2014, *Les carrières de roches dures, un projet de territoire naturel et humain*, Les cahiers techniques, 28p.
[en ligne] http://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2014/04/CTcarrieres-roches-dures.pdf consulté le 05/04/2017 consulté le 24/05/2017

CORJON G., 2012, *La vulnéraire des Chartreux : plante emblématique de la Flore cartusienne*.
[en ligne] http://www.acteur-nature.com/usages-proprietes-plantes-medicinales/la-vulneraire-des-chartreux-plante-emblematique-de-la-flore-cartusienne.html consulté le 05/04/2017

CORNIER T., 2002, *La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : essai de modélisation de l'hydrosystème*, Université Franois Rabelais Tours, 231p.
[en ligne] https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00853584/document consulté le 05/04/2017

CREN (FRAPPA F.), 2016, 820032303 *Landes, prairies, pelouses, éboulis et boisements de Crêts du Pilat*, INPN SPN-MNHN Paris, 8p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/ZNIEFF/znieffpdf/820032303.pdf consulté le 06/04/2017

DE WEVER P., EGOROFF G., CORNÉE A. & LALANNE A. (eds.), 2014, *Géopatrimoine en France*. - Mém. H.S. Soc. géol. Fr., 14, 180p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/ipg/Geopatrimoine-En-France_INPG_Methodo.pdf consulté le 09/05/2017

DEBOSSENS G., *The natural arches of France*, Archmillennium.
[en ligne] http://www.archmillennium.net/natural_arches_of_France.htm consulté le 09/05/2017

DELAMETTE M., 2014, *Les Carrières de roches dures, un projet de territoire naturel et humain*, Les cahiers techniques, 28p.
[en ligne] http://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2014/04/CTcarrieres-roches-dures.pdf consulté le 10/05/2017

DENTANT C. et al, 2016, *Le Haut Verdon, ses principaux affluents et leurs ripisylves, de sa source jusqu'au Vaucluse*, INPN, SPN-MNHN Paris, 8p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/ZNIEFF/znieffpdf/930020047.pdf consulté le 05/04/2017

Dinosaure.eu, *Découverte et fouilles*.
[en ligne] http://www.dinosaure.eu/ ?page=decouverte %20et %20fouilles consulté le 26/05/2017

Direction Générale Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 2016, *Pelouses calaminaires*, Catalogue des espèces et habitats des sites natura 2000 da la région Wallone DGARNE/DNF, 2p.
[en ligne] http://biodiversite.wallonie.be/servlet/Repository/6130_pelouses-calaminaires.pdf ?ID=12805 consulté le 26/05/2017

DREAL AUVERGNE-RHONE-ALPES, 2016, *Ravins de Corboeuf*, Site classé Patrimoine national, 3p.
[en ligne] **Error ! Hyperlink reference not valid.** consulté le 26/05/2017

DREAL FRANCHE-COMTE, 2015, *Reculées de Baume-Les-Messieurs et Saint-Aldegrin*, INPN, SPN-MHNH Paris, 13p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/ZNIEFF/znieffpdf/430009470.pdf consulté le 07/04/2017

DREAL LIMOUSIN/VERPN, 2016, *Orgues basaltiques de Bort*, Sites protégés de la Corrèze, 2p.
[en ligne] http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/BORT-LES-ORGUES_orgues_.pdf consulté le 26/05/2017

DREAL NORD-PAS-DE-CALAIS, 2017, *62-SC 38 Terrils du bassin minier*, Sites classés du Nord-Pas-de-Calais, 4p.
[en ligne] https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/62-sc_38_terrils_du_bassin_minier_nord-pas_de_calais_54_communes.pdf consulté le 05/04/2017

DREAL PACA, 2012, *Doradille du Verdon*, Natura 2000, 2p.
[en ligne] http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2_veg2_E1423_DoradilleVerdon_de579e36.pdf consulté le 10/05/2017

DRELON V., ANDRZEJEWSKI P., 2008, *Fenêtre sur la mine : Lexique du vocabulaire minier*.
[en ligne] http://mineur62.free.fr/Lexique/lexiqueT.html consulté le 05/04/2017 consulté le 26/05/2017

DRIRE du Centre, 2005, *La remise en état des carrières après exploitation : un enjeu environnemental*, En région centre, 6p.
[en ligne] http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Plaquette_La_remise_en_etat_des_carrieres_apres_exploitation_-_decembre_2005_de1d77ae.pdf consulté le 10/05/2017

DUPONT H., 2011, *Modélisation multi-agents d'un service écosystémique : scenarios de systèmes d'équarrissage par des rapaces nécrophages*, Sciences de la Terre, Ecole Normale Supérieure de Paris – ENS Paris, 310 p.
[en ligne] https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00598563/document consulté le 09/05/2017

ENCEM, 2007, *Carrières de roches massives – Potentialités écologiques – Analyse bibliographique et réflexions*, ENCEM & CNC - UNPG, 176p.
[en ligne] http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/roches-massives-analyse-bibliocompressed.pdf consulté le 10/05/2017

FALCONNET J., *Des reptiles dans les ruffes ? Enquête sur le Lodévois avant les dinosaures*, Société Amicale des Géologues Amateurs.
[en ligne] http://www.saga-geol.asso.fr/Geologie_page_conf_reptiles_ruffes.html consulté le 09/05/2017

FERMENT A., 2016, Actualités vautours du Verdon, *Voies d'escalade et nidification des Vautours du Verdon en 2016*, LPO PACA.
[en ligne] http://paca.lpo.fr/protection/especes/oiseaux/vautours-du-verdon/vautours-actualites/5700-voies-d-escalade-et-nidification-des-vautours-du-verdon-en-2016 consulté le 10/05/2017

FFME, Escalade, *Présentation*.
[en ligne] http://www.ffme.fr/escalade/page/presentation-2.html consulté le 10/05/2017

GAUDILLAT V., 2008, *Les « Pavements calcaires », habitat d'intérêt communautaire prioritaire (UE 8240). Présentation et situation en France*, Rapport SPN 2008/1, MNHN-DEGB-SPN, Paris, 34p.
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/docs/Pavements_calcaires.pdf consulté le 07/04/2017

GIRARD M-C., SCHVARTZ C., 2011, JABIOL B., *Etude des sols : Description, cartographie, utilisation*, Dunod, 403p.

GRASSY G. - ASSOCIATION LYSANDRA, 2016, *Falaises et rochers. Derniers espaces sauvages*, Biodiversité en pays de Gervanne et de Sye 2p.
[en ligne] http://gervannenature.free.fr/images/stories/programmebiodiversite/plaquettemilieuxrocheuxgervanne.pdf consulté le 07/04/2017

GRAVIOU P., et al., 2006, *Inventaire des sites géologiques remarquables*, Diagnostic du patrimoine géologique en Auvergne (DIPAGE),
[en ligne] http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54870-FR.pdf consulté le 09/05/2017

GRISON C., 2013, *R47 : La chimie verte, par Claude Grison*, sfecologie.
[en ligne] https://www.sfecologie.org/regard/r47-chimie-verte-claude-grison/ consulté le 09/05/2017

HOUADEC M., 2016, *Une attaque massive de vautours au Pays basque*, La république des Pyrénées.
[en ligne] http://www.larepubliquedespyrenees.fr/2016/04/15/une-attaque-massive-de-vautours-au-pays-basque, 2017952.php consulté le 09/05/2017

INERIS, 2013, *Impacts du changement climatique sur la stabilité des versants*, Rapport d'étude, 44p.
[en ligne] http://www.ineris.fr/centredoc/drs-13-135683-09371a-impact-changement-climlatique-sur-versants-instables-1392817834.pdf consulté le 24/05/2017

INPN, La Géodiversité – Patrimoine géologique, *Qu'est-ce que le patrimoine géologique ?*,
[en ligne] https://inpn.mnhn.fr/informations/geodiversite/patrimoine-geologique consulté le 09/05/2017

KAUFMANN R., Primary Succession on Glacial Moraines - The Start of New Life under Alpine Conditions. [Non publié]

La Fabrique Verticale 2016, *Escalade : un marché en pleine expansion*.
[en ligne] https://lafabriqueverticale.com/fr/escalade-marche-pleine-expansion/ consulté le 09/05/2017

Ledauphine, 2009, *La cueillette du Génépi : « Une réglementation très stricte »*.
[en ligne] http://www.ledauphine.com/hautes-alpes/2009/08/22/la-cueillette-du-genepi-une-reglementation-tres-stricte consulté le 09/05/2017

Ledauphine, 2009, *La récolte du Génépi sous contrôle*.
[en ligne] http://www.ledauphine.com/hautes-alpes/2009/08/22/la-recolte-du-genepi-sous-controle consulté le 09/05/2017

LEGOUEZ C., MARCHAND M.A., 2013, *Plan interrégional d'actions de Provence-Alpes-Côte d'Azur et du Languedoc Roussillon en faveur du lézard ocellé Timon lepidus 2013-2017*, Conservatoire d'espaces naturels de PACA, 130p.
[en ligne] http://lashf.org/wp-content/uploads/2016/06/LO_2014_PIRA_PACA-LR.pdf consulté le 06/04/2017

LEMARCHAND C., FORTINI P., FRELIN C., CORVELERT T., 2014, *Statut de la Sterne pierregarin Serna hirundo dans la basse vallée du fleuve Var (Alpes-Maritimes)*, LPO PACA, Faune-PACA Publication n°46, 39p.
[en ligne] http://files.biolovision.net/www.faune-paca.org/userfiles/FPPubli/201410FPP46-StatutSternahirundoBVVF.pdf consulté le 05/04/2017

LEMOINE G., 2013, *La biodiversité des terrils miniers*.
[en ligne] https://www.sfecologie.org/regard/r49-terrils-guillaume-lemoine/ consulté le 05/04/2017

LPO Isère, 2016, *J'habite chez vous : les serpents*.
[en ligne] http://isere.lpo.fr/2016/jhabite-chez-vous-les-serpents consulté le 09/05/2017

LPO MISSION RAPACES, *Généralités*.
[en ligne] http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php ?m_id=20074 consulté le 07/04/2017

LPO MISSION RAPACES, *Les quatre Vautours*.
[en ligne] http://rapaces.lpo.fr/grands-causses/les-quatre-vautours consulté le 07/04/2017

LPO PACA, 2017, Actualités vautours du Verdon, *Les voies d'escalade sensibles en 2017*.
[en ligne] http://paca.lpo.fr/protection/especes/oiseaux/vautours-du-verdon/vautours-actualites/6878-les-voies-d-escalade-sensibles-en-2017#prettyPhoto consulté le 10/05/2017

MALAVOI J-R., GARNIER C., LANDON N., RECKING A., BARAN P., 2011, *Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière, ONEMA*, 216p.
[en ligne] http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/Transport_Solides_BD.pdf consulté le 21/05/2017

MERCIER F., 2013, *Stratégie de lutte contre les espèces invasives menaçant la biodiversité en Basse-Normandie*, Conservatoire d'Espaces Naturels de Basse-Normandie, 75p.
[en ligne] http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2014/04/Strat %C3 %A9gie-de-lutte-contre-les-El-mena %C3 %A7ant-la-biodiversit %C3 %A9-de-BN.pdf consulté le 10/05/2017

MEYER A. *et al.*, 2011, *Notice pratiques petites structures - Murgiers*, KARCH – Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse, 12p.
[en ligne] http://www.karch.ch/files/live/sites/karch/files/Doc_a_telecharger/Praxismerkblaetter/Notice_pratique_petites_structures.pdf consulté le 05/04/2017

MICHEL F., 2016, *Le Dico des mots de la géologie*, Réserves Naturelles de France, 155p.
[en ligne] http://www.reserves-naturelles.org/sites/default/files/fichiers/dico_des_mots_de_geologie_rnf.pdf consulté le 09/05/2017

Ministère de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire Canada, 2014, *Les insectes pollinisateurs indigènes et l'agriculture au Canada*, Canada, 47p.
[en ligne] https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Les_insectes_pollinisateurs_indig %C3 %A8nes_et_l %E2 %80 %99agriculture_au_Canada.pdf consulté le 09/05/2017

MOREAU M., 2010, Visual perception of changes in a high moutain landscape : the case of the retrat of the Evettes Galcier (Haute-Maurienne, northern French Alps), Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol.16 – n°2.
[en ligne] https://geomorphologie.revues.org/7901#citedby consulté le 18/05/2017

MOULLET D., SAFFACHE P., TRANSLER A-L., 2006, *L'orpaillage en Guyane française : synthèse des connaissances*, Etudes caribéennes.
[en ligne] https://etudescaribeennes.revues.org/753#quotation consulté le 05/04/2017

OBELS M., 2016, *Le « Colorado provençal », un air de Far West*, LeMonde.
[en ligne] http://www.lemonde.fr/m-voyage-le-lieu/article/2016/07/22/un-air-de-far-west-dans-le-sud-est-provencal_4973469_4497643.html consulté le 09/05/2017

OLLIVIER D., 2011, *Parois siliceuses Asplenietalia septentrionalis*, Guide des habitats naturels du Poitou-Charentes.
[en ligne] http://www.poitou-charentes-nature.asso.fr/Parois-siliceuses.html consulté le 07/04/2017

OZENDA P., 1985, La Végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen, Masson, 330p.

Parc national du Mercantour, 2015, vidéo : *Chroniques du Mercantour* – Saison 1 – Episode 7 : la Vallée des Merveilles.
[en ligne] https://www.youtube.com/watch ?v=wTiKR8-xgaI consulté le 09/05/2017

Parc national du Mercantour, *La Vallée des Merveilles*, Nature et Culture.
[en ligne] http://www.mercantour.eu/index.php/nature-et-culture/la-vallee-des-merveilles consulté le 09/05/2017

PECH P., 2013, *Les milieux rupicoles : Les enjeux de la conservation des sols rocheux*, Editions Quae, 159p.

POMEROL C., LAGABRIELLE Y., RENARD M., GUILLOT S., 2011, *Eléments de géologie – 14e édition – L'essentiel des Sciences de la Terre et de l'Univers : Cours, QCM et site compagnon*, Dunod, 944p.

QUERE J-P., LE LOUARN H., 2011, *Les rongeurs de France : Faunisitique et biologie*, Editions Quae, 312p.

Raid des Terres Noires, 2015, *12ème Raid des Terres Noires, 21 juin 2015 – Règlement*, 7p. [en ligne] http://www.raid-des-terres-noires.com/upload/elfinder/pdf/reglement %20terres %20noires %202015 %20V3.pdf

consulté le 10/05/2017

Réserves Naturelles de France, *Géologique de Haute-Provence*, [en ligne] http://www.reserves-naturelles.org/geologique-de-haute-provence consulté le 09/05/2017

REWERSKI J., 1995, *Le monde des troglodytes*, Le Courrier de l'UNESCO, [en ligne] http://unesdoc.unesco.org/images/0010/001020/102011fo.pdf consulté le 09/05/2017

Saosnois - Office de Tourisme de Mamers et du Saosnois, *Escalade – carrière de Louzes*. [en ligne] http://www.tourisme-mamers-saosnois.com/visites-activites/loisirs-et-sports/autres/402304-escalade---carriere-de-louzes consulté le 09/05/2017

SCHAUB C., 2014, *Prise de bec autour des vautours*, Libération. [en ligne] http://www.liberation.fr/terre/2014/11/02/prise-de-bec-autour-des-vautours_1134637 consulté le 09/05/2017

SCHOENEICH P., HUC S., BRUN J-J., MEYNIER S., DESPLANQUE C., 2017, *ABYS 38 -Ecosystèmes forestiers abyssaux : une opportunité pour la gestion durable des forêts de montagne en Isère – Rapport final*, Pôle de Recherche sur la Biodiversité – Conseil Général de l'Isère, 61p. [non publié]

Société Suisse de Géomorphologie, 2009, *Les dépôts glaciaires*, Fiches pour l'enseignant, Chapitre 2 : Les glaciers. [en ligne] http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/glacier/2301.php consulté le 18/05/2017

TESSIER C., 2012, *Les services rendus par la réintroduction des vautours dans les Alpes*, LPO Rhône-Alpes, 5p. [en ligne] https://auvergne-rhone-alpes.lpo.fr/IMG/pdf/07_les_services_rendus_par_la_reintroduction_des_vautours_dans_les_alpes.pdf consulté le 09/05/2017

UNESCO, *Bassin minier du Nord-Pas de Calais*, [en ligne] http://whc.unesco.org/fr/list/1360/ consulté le 09/05/2017

UNESCO, *List of UNESCO Global Geoparks*, [en ligne] http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks/ consulté le 09/05/2017

UNESCO, *Qu'est-ce qu'un géoparc mondial UNESCO ?*, [en ligne] http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/frequently-asked-questions/what-is-a-unesco-global-geopark/ consulté le 09/05/2017

UNICEM Bretagne, La carrière, *L'après-carrière*. [en ligne] http://www.unicem-bretagne.fr/fr/content.php ?pri=2&sub=4&ssub=2 consulté le 10/05/2017

UNICEM, 2008, *Carrières de roches massives : Potentialités écologiques. Analyse et synthèse des inventaires de 35 carrières*, Les études de l'UNICEM – Nature et paysage, 304p.
[en ligne] http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/inventaires-35-carrieres-roches-massives.pdf consulté le 05/04/2017 consulté le 24/05/2017

UNWTO, 2016, *Faits saillants OMT du tourisme, édition 2016*, Organisation mondiale du tourisme, 16p..
[en ligne] http://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284418169 consulté le 10/05/2017

VASSEUR Q., 2016, *La pratique risquée du BASE jump se développe, et ses accidents tragiques aussi*, franceinfo.
[en ligne] http://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/pratique-risquee-du-base-jump-se-developpe-ses-accidents-tragiques-1064995.html consulté le 09/05/2017

ViaFerrata-fr, *Histoire des via ferrata, comment sont-elles apparues ?*
[en ligne] http://www.viaferrata-fr.net/histoire.php consulté le 09/05/2017

VIALLON C., 2016, *L'ichtyosaure de la Robine*, Les dossiers randonnées naturalistes de Géodes et Gentianes, 15p.
[en ligne] http://geodes-et-gentianes.fr/wp-content/uploads/mini-randos/minirando-ichtyosaure.pdf consulté le 09/05/2017

VOELTZEL D., FÉVRIER Y. (ENCEM), 2010, *Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives. Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières*, ENCEM et CNC - UNPG, SFIC et UPC, 232p.
[en ligne] http://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/gestion_et_amenagement_ecologique_des_carriere_de_roches_massives_guide_pratique.pdf consulté le 10/05/2017

Table des illustrations

Figure 1 : Cadre conceptuel proposé pour articuler les besoins des différents chapitres du rapport. Ce cadre conceptuel est basé sur le cadre général de l'EFESE. Il a été adapté pour mettre en évidence la contribution aux différents chapitres considérés par le présent rapport (ovales verts).

Tableau 1 : Groupe de travail et membres du comité de pilotage des travaux de l'EFESE 'Milieux rocheux et de haite montagne'.

Figure 1 : Etagement de la végétation en fonction de l'altitude et de l'exposition dans les Alpes de la région briançonnaise (A – Aubert, 2013) et en Corse (B – Gamisans, 1999).

Figure 2 : Etagement de la végétation en versant ubac au niveau du col de Lautaret – Hautes-Alpes. La définition exacte de la limite de la zone de combat est complexifiée par l'utilisation pastorale du versant. Crédit photo : Coline Byzcek (LECA).

Figure 3 : Critères de détermination des ceintures bioclimatiques des régions de montagne établis par le Global Mountain Biodiversity Assessment (Körner et al. 2011). Ces critères tiennent compte de la durée de la période de végétation (PV) ainsi que de la température moyenne durant la période de végétation (T).
Image en ligne : http://www.mountainbiodiversity.org.

Tableau 1 : Code Corine Land Cover considérés pour l'identification du périmètre couvert par la haute montagne métropolitaine.

Figure 4 : Filtres mobilisés pour l'identification du périmètre considéré pour le volet 'haute montagne métropolitaine' de l'EFESE.

Figure 5 : Carte lithologique simplifiée au 1/1000000. A. Alpes, B. Corse, C. Pyrénées, D. Légende. Les milieux de haute montagne apparaissent en couleurs vives. Les milieux avoisinants sont conservés en couleurs pâles en tant qu'éléments de contexte. Crédit : BRGM.

Figure 6 : Deux premiers niveaux de la typologie des milieux de haute montagne.

Figure 7 : Quelques espèces associées aux zones humides de montagne A. Droséra à feuilles rondes (Drosera rotundifolia L.) Source : Tela Botanica B. Grassette commune (Pinguicula vulgaris L.) Source : Tela Botanica C. Cordulie arctique (Somatochlora arctica) Source : Piet Spaans.

Figure 8 : Exemple de typologie des zones humides de montagne. Source : BAOZH RhoMéo - Porteret 2015.

Figure 9 : Exemple de typologie des milieux humides d'altitude. La typologie est une recherche des traits qui permettent de déterminer, dans un ensemble, différents types ; grâce à elle, on peut cataloguer les milieux humides d'altitude en une quinzaine de formations vivantes caractéristiques. Source image et légende : Dupuis et Fischesser 1987.

Figure 10 : Définition du périmètre haute montagne par application de 4 filtres successifs. A. Filtre altitudinal (1000m), B. Filtre d'enneigement (MODIS), C. Filtre de couverture des sols (CLC 2012), D. Filtre surfacique permettant la visualisation du périmètre final, E. Superficie

correspondant à chaque étape de restriction du périmètre.

Figure 11 : A. Périmètre final de la haute montagne métropolitaine telle que définie dans l'EFESE. B. Répartition du périmètre de la haute montagne entre les massifs des Alpes, des Pyrénées et de la Corse.

Figure 12 : Localisation du périmètre de haute montagne par massif (A., C., E.) et distribution de la surface occupée selon l'altitude (B., D., F.).

Figure 13 : Couverture des sols selon CLC2012 par massif et altitude, en pourcentage de la superficie de la haute montagne dans chaque massif.

Figure 14 : Statuts de protection des milieux en haute montagne métropolitaine. A. Reconnaissance patrimoniale (ZNIEFF I et II – ZICO). B. Protection réglementaire (réserve intégrale et cœur de parc national, réserve naturelle nationale ou régionale ou de Corse, réserve nationale de chasse et de faune sauvage, réserve biologique, arrêté préfectoral de protection de biotope, site classé). C. Protection contractuelle (aire d'adhésion des parcs nationaux et territoire des parcs naturels régionaux) D. Désignations internationales (Zones de protection spéciales au titre de la directive "oiseaux sauvages", Zones spéciales de conservation au titre de de la Directive Habitat Faune Flore, patrimoine mondial de l'humanité (convention UNESCO), réserve de la biosphère (programme Man and Biosphere)).

Figure 15 : Le Pic du Midi d'Ossau et le lac d'Ayous. Crédit photo : J-P Sarthou.

Figure 16 : Les contrastes thermiques liés à la méso- et microtopographie sont aussi marqués que ceux qui sont observés le long du gradient altitudinal. Source Körner 2003.

Figure 17 : Facteurs déterminants de la distribution méso-topographique de la végétation à l'étage alpin, et de ses caractéristiques fonctionnelles. Sur les crêtes qui ont un enneigement intermittent (sous l'effet du vent) et un déneigement précoce, on trouve des plantes avec des caractéristiques dites conservatrices, telles que des feuilles plus denses, plus épaisses et plates. Dans les creux où la neige persiste jusque tard en saison, les plantes sont de type dit exploitateur, avec des feuilles plus fines, moins denses et plus concentrées en azote. D'après Choler (2005).

Figure 18 : Exemples d'espèces invertébrées des milieux de haute montagne.

Figure 19 : Influences des gradients abiotiques (exposition, pente, humidité…) sur les séries de végétation. Transects montrant la répartition des essences forestières dominantes en fonction de l'altitude, de l'exposition et de la roche mère (A. roches mères calcaires, B. roches mères siliceuses). Transects de répartition des groupements végétaux de l'étage subalpin au niveau du Col du Lautaret, en ubac (C.) et en adret (D.) Source : Aubert et al. 2.

Figure 20 : Plante en coussin (*Androsace helvetica)* Crédit photo : Serge Aubert.

Figure 21 : Effet tampon des plantes en coussin sur la température du sol. Cas de *Azorella aretioides* (Equateur, 4700 m a.s.l.). (A) *A. aretioides* réduit les températures maximales durant la journée. (B) *A. aretioides* augmente les températures minimales durant la nuit. Source : Anthelme et al. 2014.

Figure 22 : Convergence entre les mosaïques de végétation et les patrons de fonte des neiges sur les fortes pentes des Alpes (Tirol - Ötztal). Source : Körner 2003.

Figure 23 : Dynamique saisonnières des plantes et des microorganismes des sols en milieu alpin. La couverture neigeuse hivernale n'est pas synonyme d'inactivité, bien au contraire elle permet le développement des populations fongiques du sol, alors que pendant la période de croissance des plantes ce sont les bactéries qui dominent les communautés microbiennes des sols. D'après Bardgett et al. 2005.

Figure 24 : A. La Renoncule des glaciers (*Ranunculus glacialis L*) et B. le rhododendron ferrugineux (*Rhododendron ferrugineum L.*) préforment leurs bourgeons floraux à l'avance. Crédit photo : Station Alpine, Joseph Fourier/Serge Aubert ; Irène Till-Bottraud.

Figure 25 : Reproduction d'une plante clonale à partir d'une tige à croissance horizontale. Crédit : Aubert et al. 2.

Figure 26 : A. Campanule du Mont Cenis, (*Campanula cenesia L. Campanulaceae*), plante alpine en touffe qui se reproduit par drageonnage. B. Inflorescence de la renouée vivipare (*Polygonum viviparum L. Polygonacées*) montrant les fleurs issues de la reproduction sexuée (partie supérieure, 1) et les bulbilles issues de reproduction asexuée

(partie inférieure, 2). Crédit photos et légende : Station Alpine, Joseph Fourier/Serge Aubert (Aubert et al. 2006).

Figure 27 : Communauté végétale colonisatrice d'une marge glaciaire. Crédit photo : M. Shields (Alamy stock photo).

Figure 28 : Effets en cascade des paramètres abiotiques (altitude, fertilité des sols) sur les caractéristiques des plantes dominantes des prairies subalpines, et sur la production de biomasse, la décomposition des litières et les stocks de carbone et d'azote des sols. D'après Lavorel & Grigulis 2012.

Figure 29 : Facilitation thermique au niveau d'un cousin de Sinene acaulis (Caryophllaceae), avec Cassiope tetragona (Ericaceae, 1), Salix polaris (Salicaceae, 2), Oxyria digyna (Polygonaceae, 3), Polygonum viviparum (Polygonaceae, 4), Carex rupestris (Cyperaceae, .) et Dryas octopetalis (Rosaceae, 6). Longyearbyen, Spitzberg (Norvège). Crédit photo : Serge Aubert, SAJF, 63

Figure 30 : Interactions entre les plantes et la biodiversité des sols responsables des effets sur le recyclage du carbone et des nutriments. D'après Wardle et al. 2004.

Figure 31 : Effets de la méso-topographie via son impact sur l'enneigement sur les processus du cycle du carbone par leurs effets directs (contraintes abiotiques) et leurs effets indirects via la composition fonctionnelle des communautés végétales.

Figure 32 : Effets de la gestion des prairies de haute-montagne sur les processus du cycle de l'azote via leurs effets sur la composition fonctionnelle de la végétation et des sols. © Jean-Christophe Clément.

Figure 33 : A. Tourbière dans la haute vallée d'Ars, commune d'Aulus-les-Bains (Pyrénées). Crédit photo : Syndicat mixte du Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises.
B. Zone humide sur le domaine skiable de Val Thorens (Alpes).
C. Impacts observés en 2009 suite aux travaux d'aménagement sur la station de Val Thorens (Alpes)
Crédit photos B et C : IRSTEA – Gaucherand et Isselin-Nondedeu 2.

Figure 34 : A. Embouteillage sur la route d'une station de ski dans les Pyrénées, illustrant l'importance des flux de personnes entre milieux urbains et milieux de haute montagne.
Crédit photo : France3 Région ©MaxPPP
B. Interface entre un village de montagne (Gavarnie, Hautes-Pyrénées) et les écosystèmes de haute altitude adjacents, illustrant l'influence des activités humaines sur l'ouverture du paysage et les dynamiques des habitats.
Crédit photo : Patrimoines. MidiPyrénées.fr.

Figure 35 : A. Lacets de la route du Col de la Bonnette (Mercantour)
Crédit photo : Anthospace.
B. Complexe hydroélectrique de Roselend La Bâthie (Haute-Savoie), qui produit l'équivalent de la consommation en énergie domestique de 450 000 habitants. Crédit photo : D. Dereani - Fondation Facim
C. A Vaujany (Oisans), pour lutter contre les avalanches, l'installation de tripodes et le reboisement ont été les deux mesures choisies pour diminuer la reptation du manteau neigeux. Crédit photo et légende : RTM.

Figure 36 : Suivi diachronique de l'évolution du paysage de la soulane de l'Artigue, dans les Pyrénées : d'un paysage agro-pastoral (A. 1904 Crédit photo : RTM) à un paysage en voie d'enforestation (B. 2006 Crédit photo : J.P. Métailié). Photos issues de photothèque de l'Observatoire Homme-Milieu Pyrénées Haut-Vicdessos.

Figure 37 : A. Relations gravitaires entre une zone de départ de blocs (1), une zone d'interception potentielle (2 – forêt de protection) et une zone à enjeu (3). Crédit : adapté d'une illustration IRSTEA.
B. Bloc de pierre arrêté par la forêt en amont d'une voie de circulation. Crédit photo : IRSTEA.

Encadré 1 : Importance des flux de transhumance estivales sur les alpages et estives de deux parcs nationaux d'altitude (A. Parc National des Ecrins, B. Parc National de la Vanoise)
Texte et illustrations directement extraits de : Parcs Nationaux de France, 2012

Tableau 2 : Principaux flux entre milieux en interactions avec les milieux de haute montagne.

Figure 1 : Suivi et évaluation de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire en UE et en France. Crédit : SPN - MNHN.

Figure 2 : Intersection entre les régions biogéographiques du rapportage DHFF et le périmètre de la haute montagne métropolitaine (A.) et le maillage de référence DHFF correspondant (B.).

Figure 3 : Critères utilisés pour le rapportage DHFF Article 17 – Habitats. Quatre catégories sont utilisées pour décrire l'état de conservation : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) et inconnu (XX).
Source : INPN-MNHN https://inpn.mnhn.fr/programme/rapportage-directives-nature/presentation.

Figure 4 : Résultats du rapportage DHFF pour la période 2007-2012 sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux).

Figure 5 : Sélection des sites Natura 2000 qui intersectent le périmètre de la haute montagne métropolitaine. A. ZPS, B. ZSC et SIC.

Figure 6 : Degré de conservation des habitats de haute montagne des sites Natura 2000 intersectant le périmètre haute montagne (Nombre de sites concernés ; Superficie cumulée (km^2) par habitat et degré de conservation ; Superficie relative(%) par habitat et degré de conservation).

Figure 7 : Etat de conservation des habitats des sites Natura2.

Figure 8 : Pressions, activités ou menaces s'exerçant sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux) – en nombre d'habitats concernés (attention, pas de lien avec la superficie couverte).

Figure 9 : Pressions, activités et menaces s'exerçant sur les habitats de haute montagne des sites Natura 2000 (ZSC SIC) intersectant le périmètre HM (N : nombre de sites

concernés – A : aire cumulée des sites concernés, en km^2).

Figure 10 : Pressions, activités et menaces s'exerçant sur les habitats de haute montagne des sites Natura 2000 (ZPS) intersectant le périmètre HM.

Figure 11 : Evolution de l'emprise des glaciers dans les Pyrénées. Source : Moraine -L'association Pyrénéenne de Glaciologie http://asso.moraine.free.fr.

Figure 12 : Volume de neige projeté par altitude pour l'actuel (bleu) et pour un scenario de changement climatique (rouge) dans les Alpes suisses. Le scénario prévoit une augmentation de la température hivernale moyenne de 4°C, ce qui est légèrement supérieur à la médiane des estimations proposées pour la fin du 21ème siècle. Selon ce scénario, les très hautes altitudes (>3000m) recevraient un enneigement légèrement supérieur aux tendances actuelles (« Slight increase ») tandis que les altitudes inférieures sont marquées par une forte décroissance des niveaux d'enneigement (« 40-60 % loss »). Source : Gobiet et al. 2014.

Figure 13 : Principaux impacts physiques primaires et secondaires du changement climatique sur l'hydrologie – évolutions qualitatives (en rouge : températures ; en bleu : précipitations). Crédit figure : ACTeon, 2012 dans OPCC-CTP 2013.

Figure 14 : Combe à neige acide. Crédit photo : Peter Bolliger – Olivone (Info Flora).

Figure 15 : Evolution modélisée de la distribution de la renoncule des glaciers sur le massif du Mont-Blanc. La renoncule des glaciers occupe les éboulis et les fissures de rochers sur des sols pauvres en calcaire entre 2 300m et 3 200m. Elle fait partie des plantes détenant des records d'altitude dans les Alpes. Peu d'espèces ont développé comme elle de telles adaptations au climat rigoureux d'altitude. Très dépendante de la température, son habitat est menacé par le changement climatique.
Source images et texte : Atlas du Mont-Blanc CREA
http://www.atlasmontblanc.org/fr/repartition-des-especes.

Figure 16 : Evolutions modélisées de la distribution de l'Apollon (Parnassius apollo), papillon emblématique des montagnes. (a) Distribution observée (cercles noirs) et distribution obtenue par modélisation de la niche climatique (orange). (b) et (c) Distribution modélisée en 2080 sous deux scénarios d'évolution climatique : (b) scénario modéré et (c) scénario extrême. Légende : orange : pas de changement ; gris : perte prévisible ; marron : gain prévisible (source : Settele et al. 2008 in D'Amico 2013).

Figure 19 : Forêt subalpine mixte à pin cembro et mélèze ayant brulé trois fois au cours des 200 dernières années et dont le sous-bois est dominé par les airelles et les herbes. Alpes externes. Crédit photo et légende : O. Blarquez (Blarquez & Carcaillet 2010).

Figure 20 : A. Flotteurs de signalisation des câbles pour l'avifaune de montagne en station de ski. Crédit photo : ONCFS. B. Destruction localisée des milieux ouverts d'altitude du fait des activités touristiques (pistes de ski et de VTT).

Sur un substrat de gypse, l'érosion des sols est très rapide et difficile à contenir. Crédit photo : Parc national de la Vanoise — Beatrix Von Conta.
C. Impacts des activités humaines sur les paysages par fragmentation des espaces forestiers. Crédit photo : Parc national de la Vanoise - Nicolas Gomez.

Encadré 1 : Influence des modalités de pastoralisme sur la composition et la dynamique des milieux ouverts de haute altitude.
Texte et illustrations directement extraits de : PNF 2012

Figure 21 : La diminution des surfaces de fauche en vallée impacte la taille des cheptels et le chargement des alpages. Crédit figure : Suaci Montagn'Alpes et al. 2017.

Figure 22 : Surfaces en gestion collective ou individuelle sur le massif pyrénéen (délimité en rouge) : sur les 915 000 ha de surface agricole utile recensés, la moitié est gérée collectivement (estives).
Source : RPG - ACAP Pyrénées Les chiffres clés de l'agriculture.
http://www.agriculturepyrenees.fr/l-agriculture-pyreneenne/chiffres-des.

Figure 23 : Taux de fonction touristique en 2016. Les communes concernées par la haute montagne présentent fréquemment une fonction touristique marquée. Crédit figure : Gauche 2017 (carte 1) Sources : Insee, DGE, fichiers capacité d'hébergements touristiques, 2016 ; Insee, recensement de la population 2012 (résidences secondaires). Traitements : SOeS, 2.

Figure 24 : Répartition des communes en zones de montagne, par massif, selon leur taux de fonction touristique. Les classes réfèrent aux catégories mentionnées.

Figure 25 : Extrait du « Guide d'Aménagement - Domaines Skiables et Tétras lyre » (GADT), édité en 2014 : Fiche 18 - Gestion des pistes – Préserver la qualité des habitats. Ce guide est le fruit de la collaboration entre les fédérations départementales des chasseurs des Alpes du Nord, l'Observatoire des Galliformes de Montagne, la DREAL-Rhône-Alpes et Domaines Skiables de France. Crédit figure : GADT 2014, http://fcs.domaines-skiables.fr/index.htm.

Figure 26 : Taille et composition des cheptels pâturant sur domaines skiables dans le massif des Alpes (enquête pastorale 2012/2014). Crédit figure : Suaci Montagn'Alpes et al. 2017.

Figure 27 : Impacts de l'aménagement et de l'exploitation des domaines skiables sur les processus hydrologiques et géodynamiques des versants (Koscielny 2008).

Figure 28 : Evolution des surfaces équipées (en ha) en neige de culture. Source : Atout France, 2009 in DDT73 2009.

Figure 29 : A. Un serpent de neige pour accueillir la coupe du monde de ski de fond en décembre 2016 à La Clusaz, en Haute-Savoie. Crédit photo + légende : France 3 Auvergne-Rhône-Alpes B. Recours à la « neige de culture » pour compenser les aléas climatiques, domaine skiable de Gourette dans les Pyrénées (1350-2350 m, décembre 2007). Crédit photo : F. D.Amico (D'Amico 2013).

Figure 30 : Atteintes aux zones humides occasionnées par les activités touristiques en montagne. Source : Soureillat 2015.

Figure 31 : Vision d'ensemble des conséquences des activités humaines sur le fonctionnement des zones humides. Source : Porteret 2015.

Figure 32 : A. Grande hydroélectricité : le barrage de Roselend (Savoie) fait partie des barrages les plus hauts de France (150 mètres de hauteur pour une retenue de 185 millions de m3). Crédit photo : Valroc.
B. Petite hydroélectricité : le refuge du lac Blanc, sur le secteur des Aiguilles Rouges (Haute-Savoie), est alimenté par une pico-centrale hydroélectrique de 6 kW reliée au torrent du Lac Blanc. Crédit photo : Savoie Mont Blanc.

Figure 33 : A. Irradiation solaire globale et potentiel électrique solaire annuels pour des modules photovoltaïques inclinés de manière optimale. Données : PVGIS © European Union, 2001-2012. B. Panneaux solaires en site isolé sur le Refuge de l'Arpont (Vanoise). Crédit photo : DualSun, PNV.

Figure 34 : Une éolienne à axe vertical et géométrie variable tourne à vitesse constante, sa voilure s'ouvrant lorsque le vent diminue, pour contribuer à l'alimentation du refuge de Sarenne en énergie (Isère). Crédit : Refuge de Sarenne, www.connaissancedesenergies.org.

Figure 35 : Le brome inerme (Bromopsis inermis), largement utilisé pour la restauration et la stabilisation des pentes, est considéré comme une plante envahissante dans les Alpes. D'autres espèces non natives peuvent s'implanter

localement mais ne sont pas considérées comme invasives (par exemple : le pavot d'Islande (Papaver croceum) ou le trèfle bâtard (Trifolium hybridum)). Crédit photo : Tela Botanica.

Figure 36 : Dépassement des charges critiques par habitat, étude Suisse. Proportion des valeurs mesurées des différents habitats divisée en classes en fonction du dépassement de la « charge critique » en kilogrammes d'azote par hectare et année. Dans les prairies alpestres, les dépôts d'azote sont inférieurs à la charge critique sur 9 %, dans les montagnes sur 22 %, dans les prairies sur 23 % et dans la forêt sur seulement 1 % des surfaces d'échantillonnage. Dans la forêt, les « charges critiques » sont souvent massivement dépassées. Crédit illustration et légende : OFEV 2.

Figure 37 : Symptômes visibles d'ozone chez le pin cembro (Parc national du Mercantour). A. Aiguilles asymptomatiques à la fin de la première saison de végétation. B aiguilles symptomatiques après 3 saisons de végétation : les aiguilles sont jaunissantes et présentent un mottling caractéristique, i.e. des marbrures aux contours diffus de couleur vert clair ou jaune vert. Barres : 1 cm. Crédit photo et légende : Dalstein et al. 2002.

Figure 38 : Suivis de la concentration en ozone atmosphérique sur six sites d'altitude. L'AOT 40 est un indicateur de la qualité de l'air vis-à-vis de la végétation qui rend compte de la dose d'ozone accumulée pendant le printemps et l'été, au moment où la plante croît. Crédit : Air-APS Bilan 2011 de la qualité de l'air dans le Parc Naturel de la Vanoise.

Figure 39 : Changements d'occupation des sols entre 1990 et 2012 selon CLC. Le référentiel est l'occupation des sols de 2012 (superficie 2012 par classe CLC entre parenthèse dans chaque boîte colorée). Les flèches indiquent la proportion de chaque classe en 2012 qui était classée différemment en 1990. Par exemple, en Corse, les forêts et végétations arbustives en mutation occupent en 2012 10 % du territoire de haute montagne. Sur cette surface, 50 % proviennent d'espaces qui étaient considérés en 1990 comme des landes et broussailles. Les boîtes colorées encadrées en pointillés indiquent que la classe CLC n'est pas considérée dans la définition de la haute montagne.

Figure 40 : Démarche de synthèse des critères mobilisés pour le rapportage DHFF Article, 17 – Habitats. Quatre catégories sont utilisées pour décrire l'état de conservation : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) et inconnu (XX). L'agrégation des critères EC1 à EC4 permet de conclure sur l'état de conservation (critère bilan EC. G). Source : INPN-MNHN https://inpn.mnhn.fr/programme/rapportage-directives-nature/presentation.

Figure 41 : Résultats du rapportage DHFF pour la période 2007-2012 sur les habitats de la région biogéographique alpine et concernés le périmètre haute montagne (hors milieux rocheux).

Tableau 1 : Biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel considérés par le Groupe de Travail Haute Montagne de l'EFESE.

Tableau 2 : Facteurs de changement associés aux milieux d'altitude et tendances d'évolution liées.

Tableau 2 (suite) : Biens, services écosystémiques et éléments du patrimoine naturel considérés par le Groupe de Travail Haute Montagne de l'EFESE.

Figure 1 : Production de fourrage – Synthèse.

Figure 2 : Productivité brute de biomasse. Distribution des résultats sous forme de quintiles pour les valeurs standardisées (0-1) sur l'ensemble des trois massifs pour les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction de l'altitude (D.). Seuls les espaces considérées comme prairies permanentes sont traités dans l'analyse, les autres apparaissent en gris sur les cartes. Données issues de Choler et al. en préparation.

Figure 3 : Modélisations de la quantité de biomasse fourragère (A.) et de la digestibilité de la biomasse produite (B.) par les prairies et pelouse de la zone d'adhésion optimale du Parc National des Ecrins.

Figure 4 : Contribution de la haute montagne au contrôle du risque parasitaire. Deux effets sont mis en avant : i) l'action vermifuge de certaines espèces fourragères, et ii) l'interruption du cycle parasitaire en vallée permise par la montée en estive. Figure extraite de la brochure « Gestion du risque parasitaire interne des ruminants dans le Queyras ». Crédit : Carlier, J. & Cornille, Y. (2012).

Figure 5 : Cueillette de plantes sauvages – Synthèse.

Figure 6 : Cueillette de l'Alchémille dans les Alpes. Crédit photo : FloreS http://wp.unil.ch/flores.

Figure 7 : Distributions sur les Alpes françaises des habitats potentiels de trois espèces fréquemment cueillies : A. Arnica des montagnes (Arnica montana), B. Genévrier nain (Juniperus nana), C. Gentiane jaune (Gentiana lutea). Crédits photos : Tela-botanica. Crédit cartes : Thuiller et al. 2009, 2014.

Figure 8 : Enjeux autour de la cueillette du génépi - Extrait de Limon, S. 2011. Revue Faune Sauvage (2011 – n°290).

Figure 9 : Régulation du climat global – Synthèse.

Figure 10 : Variabilité des résultats de modélisation en fonction de l'échelle considérée et du type de modèle employé.

Figure 11 : Régulation hydrologique quantitative et qualitative – Synthèse.

Figure 12 : Rôle d'une zone humide en montagne. Source : Porteret 2015.

Figure 13 : Suivi de la dynamique hydrique des zones humides de montagne par utilisation des images satellitaires Sentinel-2 (Loriaz – Massif du Mont-Blanc). Ces données permettent de relier la vitesse de déneigement, l'évolution de la surface en eau et la dynamique de la végétation. Crédit illustration : B. Carlson, CREA Mont-Blanc (2017).

Figure 14 : Quantité annuelle d'eau infiltrée les sols (valeur relative). Les valeurs de forte infiltration sont symbolisées en tons orange à rouge, tandis que les valeurs faibles sont représentées en bleu. Les zones d'infiltration nulle (glaciers, roches nues) sont symbolisées en noir.

Distribution des résultats sur les Alpes (A.) et les Pyrénées (B.). Crédit : Mulligan, M. 2017 Results from the WaterWorld Policy Support System Version3. http://www.policysupport.org/links/waterworld.

Figure 15 : Contrôle de l'érosion des sols - Synthèse.

Figure 16 : A. Influence du couvert végétal sur les figures d'érosion des sols (Pyrénées) Source : AgroParisTech B. Prairies gérées en terrasse à Villar d'Arène (Alpes) Source : Bernard Nicollet - Parc national des Ecrins. C. Terrains marneux érodés (badlands) dans les Alpes du Sud (Draix). Le taux d'ablation annuel est de l'ordre d'un centimètre par an (Rey et al. 2001).
Crédit photo : F. Rey issue de Rey et al. 2015.

Figure 17 : Facteurs individuels de l'équation universelle de perte des sols. Données mises à disposition par le European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre (Panagos et al. 2015).

Figure 18 : Contribution de l'écosystème au contrôle de l'érosion des sols. Les valeurs proposées sont classés par quintile (tranches de 20 % des effectifs). Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) et de l'altitude (D.), et superficies concernées par les quintiles par massif (E.).

Figure 19 : Protection contre les risques naturels - Synthèse.

Figure 20 : Avalanche de fond, ou de glissement. Une énorme "gueule de poisson" ou "gueule de baleine" s'est ouverte et est encore visible en haut à gauche. Dans la partie droite, le manteau neigeux qui se trouvait sous cette ouverture

s'est soudainement décroché jusque sur le sol sous forme d'avalanche de glissement. Montana, VS. Crédit photo : F. Meyer, 20.02.2008 – Crédit légende : WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF (http://www.slf.ch).

Figure 21 : Facteur de glissement associé à différentes classes de couvertures des sols, en fonction de leur exposition. Les classes de couvertures de sols sont issues d'observations de terrain couplées à des imageries aériennes. Les auteurs de cette étude insistent sur la nécessité d'affiner la discrimination entre les types de couverture de la classe 4 pour améliorer les capacités de prédiction du risque d'avalanche et de son contrôle. Crédit figure : Peitzsch et al. 2015.

Figure 22 : Distances de reptation du manteau neigeux en fonction de l'intensité de gestion pastorale dans les Alpes (Tyrol). On constate l'augmentation de la susceptibilité du manteau au glissement avec l'abandon du pastoralisme. Cette tendance s'inverse lorsque la durée suite à l'abandon augmente et que des ligneux plus robustes s'implantent et permettent l'ancrage du manteau (phase non représentée sur la figure). Crédit illustration : Newesely et al. 2000187 Figure 23 : Effet érosif marqué (griffure, arrachement et lissage) sur un versant par la reptation de la neige (Bachtal, VS). Crédit photo et légende : Société Suisse de Géomorphologie (SSGM 2009).

Figure 23 : Effet érosif marqué (griffure, arrachement et lissage) sur un versant par la reptation de la neige (Bachtal, VS). Crédit photo et légende : Société Suisse de Géomorphologie (SSGM 2009).

Figure 24 : Débris et dégâts de lave torrentielle (Savoie - 2006). Crédit photo : Alain Delaune www.toraval.fr.

Figure 25 : Attractivité pour les activités sportives de pleine nature - Synthèse.

Figure 26 : Opportunités de pratiques sportives de pleine nature en haute montagne (adapté de Byczek et al. en préparation). Les valeurs élevées (proches de 1 – en rouge) représentent la conjonction d'un environnement favorable à la récréation et d'opportunités de pratiques sportives accessibles. Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes couleurs en dessous - et de l'altitude (D.). Résultats issus d'une collaboration avec l'Association Camptocamp, que nous tenons à remercier ainsi que l'ensemble des contributeurs au site www.camptocamp.org.

Figure 27 : Aménités paysagères - Synthèse.

Figure 28 : Description de deux paysages caractéristiques de haute montagne. Source texte : Les 7 familles de paysages en Rhône-Alpes - Des paysages pluriels pour un territoire singulier (DIREN RA 2005).

Figure 29 : Diversité paysagère des bassins de vision en haute montagne. Les valeurs sont classées en cinq quantiles (classes de 20 % du nombre de valeurs). Distribution des résultats sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes

couleurs en dessous - et de l'altitude où se trouve l'observateur (D.).

Figure 30 : Modélisation de la qualité esthétique des prairies du Parc National des Ecrins (A.) et éléments de situation (B.). Crédit carte de situation : PNE.

Figure 31 : Chasse récréative - Synthèse.

Figure 32 : Inventaire des populations françaises d'ongulés sauvages. Source : Corti 2012 (Première de couverture).

Figure 33 : Tableaux de chasse départementaux pour le chamois, l'isard et le mouflon. Source images : ONCFS 2017.

Figure 34 : Galliformes de montagne – A la croisée des enjeux patrimoniaux et cynégétiques.

Figure 35 : A. Lagopède alpin en plumage d'hiver Crédit photo : Jean Guillet, OGM.
B. Habitat pyrénéen à nichées typique du Grand tétras Crédit photo : Emmanuel Menoni, OGM
C. Parade de coqs de Tétras lyre Crédit photo : Bernard Bellon, OGM.

Figure 36 : Espèces patrimoniales - Synthèse.

Figure 37 : Extrait de l'Atlas de la flore rare et protégée de Vanoise (PNV 2014). Pour chacune des 182 espèces suivies par les agents du Parc, l'Atlas présente une fiche d'identité de l'espèce, sa carte de distribution sur les 29 communes du PNV, un histogramme de répartition des observations par tranche altitudinale de 500 mètres, une photographie ainsi qu'un texte synthétisant les caractéristiques de la plante ansi que les enjeux principaux associés à sa conservation.

Tableau 3 : Critères d'évaluation des espèces vertébrées présentes sur le territoire du Parc National des Pyrénées en vue de la hiérarchisation des enjeux de conservation associés. Source : Thirion & Vollette 2.

Figure 38 : Richesse en végétaux endémiques sur le territoire du Parc National du Mercantour. Source : Parc National du Mercantour, Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles – Figure extraite du poster de présentation de la flore vasculaire du Parc National du Mercantour, disponible en ligne http://en.calameo.com/read/001006185e69ad448533a.

Figure 39 : Catégories de l'UICN utilisées pour classer les différentes espèces ou sous-espèce en fonction du degré de menace qu'elles subissent. Source : UICN France & MNHN 2014.

Figure 40 : Présence d'au moins une espèce végétale classée Liste Rouge (CR, EN, VU et NT) et inventoriée sur le territoire des Parcs Nationaux (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Pyrénées) et recoupant le périmètre de la haute montagne selon l'EFESE (maille de résolution 1 hectare). A. Massif des Alpes, B. Massif des Pyrénées. Source : SILENE 2017, PIFH, Parc National des Pyrénées.

Tableau 4 : Espèces végétales classées Liste Rouge (CR, EN, VU et NT) inventoriées sur le territoire des Parcs Nationaux (Vanoise, Ecrins, Mercantour, Pyrénées) et recoupant le périmètre de la haute montagne selon l'EFESE (*noms scientifiques*). Source : SILENE 2017, PIFH, Parc National des Pyrénées.

Tableau 5 : Liste des espèces végétales concernées par les statuts CR, EN, VU et NT des listes rouges nationales, dont la distribution modélisée est disponible sur les Alpes et qui recoupe le périmètre de la haute montagne.

Figure 41 : Distributions modélisées des 43 espèces patrimoniales végétales dont la distribution modélisée est disponible et recoupe le périmètre de la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), et valeurs en fonction des classes de couverture du sol (CLC) et de l'altitude (B.). Données : Thuiller et al. 2009, 2014.

Figure 42 : Distributions modélisées des 4 principales espèces patrimoniales de mammifères sélectionnées pour la haute montagne métropolitaine. A. Bouquetin des Alpes, B. Desman des Pyrénées, C. Lièvre variable, D. Loup gris. Données : Maiorano et al. 2013.

Tableau 6 : Principaux oiseaux patrimoniaux de haute montagne.

Figure 43 : Distributions modélisées des 28 principales espèces patrimoniales d'oiseaux sélectionnées pour la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.), et valeurs par massif en fonction des classes de couverture du sol (CLC) – voir codes couleurs en dessous - et de l'altitude (D.). Données : Maiorano et al. 2013.

Tableau 7 : Principaux amphibiens et reptiles patrimoniaux de haute montagne.

Figure 44 : Distributions modélisées des 12 espèces patrimoniales de reptiles et d'amphibiens issus des listes rouges et/ou plans nationaux d'action qui intersectent le périmètre de la haute montagne métropolitaine (indice de richesse en nombre d'espèces) sur les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.). Données : Maiorano et al. 2013.

Tableau 8 : Liste des espèces emblématiques retenues pour le PNE. Critères de sélection : i) au moins trois citations hors site internet du PNE, ou ii) au moins une citation hors site du PNE ET au moins 3 citations sur le site internet du PNE. A. Faune emblématique. B. Flore emblématique. Données : Lyonnard 2.

Figure 45 : Habitats favorables à la flore patrimoniale (A.), à la flore emblématique (B.), à la faune patrimoniale (C.) et à la faune emblématique (D.) sur le territoire du Parc National des Ecrins. Les couleurs foncées indiquent que le milieu est favorable à un grand nombre d'espèces. Données : Thuiller et al. 2009, 2014, Maiorano et al. 2013, Lyonnard 2016, Zawada 2.

Figure 46 : Paysages patrimoniaux - Synthèse.

Figure 47 : Exemples de sites classés. A. Plateau d'Emparis en automne (Alpes)
Crédit photo : J. Obiols photographie B. Cirque de Gavarnie (Pyrénées).
Crédit photo : B. Lieu Song C. Vallée de la Restonica (Corse)
Crédit photo : http://corte-decouverte.fr.

Tableau 9 : Liste des 66 sites classés dont le périmètre intersecte la haute montagne métropolitaine. Données CARMEN.

Figure 48 : Présence de sites classés en haute montagne dans les Alpes (A.), la Corse (B.) et les Pyrénées (C.). Distribution des superficies par massif (D.). Données : CARMEN.

Figure 49 : Logos associés aux marques des Parcs Nationaux (A.) et des Parcs Naturels Régionaux (B.).
Crédits photo : www.espritparcnational.com – www.consommer-parc.fr.

Figure 50 : Toiles peintes sur la montagne, par trois membres de la Société des Peintres de Montagne : A. Emilie Noirot, B. Leberecht Lortet et C. Raymond d'Espouy. Crédit images : Société des Peintres de Montagne. - Affiches de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (PLM) illustrant l'attractivité des paysages de montagne et des activités associées : A. Cirque de Gavarnie (Pyrénées), B. Chamonix Mont-Blanc (Alpes), C. Evisa (Corse). Crédit affiches : Compagnie PLM.

Figure 51 : Samivel, artiste inspiré par le territoire de la Vanoise et œuvrant à sa protection. A. Peintures, B. Les Commandements du Parc National de la Vanoise, écrits en 1963.

Tableau 10 : Fourniture en bien, service ou élément du patrimoine naturel en fonction du type de milieu d'altitude, tendance d'évolution et degré de confiance associé.

Figure 1. Cartographie des bouquets de services à l'échelle des Alpes françaises. Sur la base des données de Crouzat et al. (2015). Productions agricoles (crop - !), production de fourrage (fodd - 2), production de bois (wood – 3), production d'hydroelectricite (hydro - 4), recreation de pleine nature (recre - 5), tourisme de pleine nature

(tour - 6), chasse recreative (hunt - 7), habitats pour des especes vegetales et vertebrees protegees (propt – 8 et protv – 9, respectivement), contribution au contrôle de l'erosion des sols (eros - 10), protection contre les chutes de blocs (rock - 11), maintien de la qualite des eaux (wql - 12), regulation de volumes d'eau (wqt - 13), contrôle biologique (cbiol - 14), pollinisation (poll - 15) et stockage de carbone (csto - 16).

Figure 2. Bouquets de services fournis par les écosystèmes de haute montagne. (A) Espaces en évolution depuis les pâtures et pelouses vers les landes arborées, via la transition par les espaces mosaïqués à ligneux bas (haut) ; (B) milieux humides et (C) milieux rocheux. Les bouquets sont réalisés pour une sélection de biens (fourrage, cueillette), services écosystémiques de régulation (régulation de l'érosion, hydrologique, des avalanches et du climat global) et culturels (attractivité récréative), et éléments de patrimoine (espèces patrimoniales et labels).

Figure 3. Bouquets de services des différents types de prairies de l'adret de Villar d'Arêne, Hautes-Alpes. Les différentes couleurs représentent les différents types d'usages des sols. Pour les cinq types d'usage analysés ici, le diagramme radar présente les valeurs pour chacun des indicateurs de services identifiés par les acteurs du site (d'après Quétier et al. 2007 et Lamarque et al. 2014).

Figure 4. Réseau de biens ciblés par la gestion, services écosystémiques ressources ou impactés et éléments de patrimoine impactés pour les espaces ruraux

de montagne de la région grenobloise. Source : Lavorel et al. 2.

Figure 5. Réseau de relations d'influence entre la production agricole de fourrage, les activités touristiques et la biodiversité patrimoniale. Pour chacun d'eux les relations sont analysées selon qu'elles concernent la capacité de fourniture (P), la demande (D) ou le flux de service (A). Source : Crouzat et al. 2.

Figure 6. Croisements entre contrôle de l'érosion et production de fourrage pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas ; au vu des très faibles surfaces concernées la carte n'est pas présentée). Les cartes et les histogrammes présentent les combinaisons de fortes / faibles valeurs pour chacun des deux services.

Figure 7. Croisements entre infiltration et production de fourrage pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas ; au vu des très faibles surfaces concernées la carte n'est pas présentée). Les histogrammes présentent les combinaisons de fortes / faibles valeurs pour chacun des deux services.

Figure 8. Interactions entre quantité et qualité du fourrage (corrélée à la valeur esthétique) pour le Parc National des Ecrins. Source : Zawada 2.

Figure 9. Interactions entre attractivité pour les activités récréatives de plein air est distribution de la faune patrimoniale pour les Alpes (en haut), les Pyrénées (au milieu) et la Corse (en bas).

Figure 10. Interactions entre attractivité pour les activités récréatives de plein air est distribution de la faune vertébrée (à gauche) et la flore (à droite) patrimoniales pour le Parc National des Ecrins. Source : Zawada 2.

Figure 1. Réseau de services associés aux bénéfices des écosystèmes de haute montagne pour la santé et le bien-être.

Figure 2. Réseau de services associés à la contribution des écosystèmes de haute montagne à la sécurité des biens et des personnes.

Figure 3. Réseau de services directement associés à la contribution des écosystèmes de haute montagne pour l'économie.

Figure 1 : L'île de la Réunion se situe dans l'hémisphère Sud, à l'Est du continent africain. Positionnée entre l'île Maurice et Madagascar, elle se trouve dans l'océan Indien, au niveau de la limite Sud de la zone équatoriale. Le Parc National de la Réunion couvre une superficie de 1054,47 km^2 (zone centrale) et son aire optimale d'adhésion s'étend sur 878 km^2. Source : Google Maps – PNR.

Figure 2 : La Guadeloupe, petit archipel des Antilles situé dans la mer des Caraïbes, se trouve à environ 6 700 km de la France hexagonale et à 600 km au nord des côtes de l'Amérique du Sud. Le Parc National de la Guadeloupe couvre une superficie de 380 km^2 (zone centrale) et son aire optimale d'adhésion s'étend sur 940,65 km^2. Source : Google Maps – PNG.

Figure 3 : Délimitation de l'étage altimontain à la Réunion. A. Pyramide des étages de végétation de la Réunion. Source : Cadet, T. 1980. B. Cartographie de l'étage altimontain à la Réunion. Source : Cahier des habitats 2.

Figure 4 : Carte de situation de la Réunion, Département 974.

Figure 5 : Les deux grands massifs volcaniques de l'Ile de la Réunion : A. Massif du piton des Neiges. Source : Comité régional de tourisme de la Réunion. B. Piton de la Fournaise. Crédit photo : Hervé Douris.

Figure 6 : Cirques de l'ile de la Réunion. A. : Cirque de Mafate. Source : Notre-planète info. B. : Cirque de Cilaos. Crédit photo : Hervé Douris. C. : Cirque de Salazie Crédit photo : Hervé Douris.

Figure 7 : Caractéristiques climatiques de la Réunion ; A. : Régions climatiques calculées par la méthode de chaleur cumulée, B. Carte de l'ensoleillement annuel moyen de la Réunion. Source : Raunet, 199.

Figure 8 : Zonages thermométriques de l'ile de la Réunion. A. Profil altitudinal, B. Vue à plat. Source : BEI 1998.

Figure 9 : Pluviométrie annuelle de la Réunion (m/an). Source : BEI, 1998.

Figure 10 : Alizés et Zone de Convergence Intertropicale durant l'été austral. Source : BEI, 1998.

Figure 11 : Carte de végétation de l'ile de la Réunion. Source : ONF 2.

Tableau 1 : Exemples d'espèces animales endémiques de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat. Source : Parc National de la Réunion.

Figure 12 : Statut d'indigénat global de la flore vasculaire recensée dans l'altimontain. Source : CBNM 2.

Tableau 2 : Exemples d'espèces végétales endémiques de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat. Source : CBM - Cahier des habitats de l'étage altimontain, 2.

Tableau 3 : Principaux facteurs de changement des écosystèmes altimontains de l'île de La Réunion.

Figure 13 : Risques naturels de la Réunion. Source : WordPress, mars 2.

Figure 14 : Nombre d'éruption par an du piton de la Fournaise. Source : tpe-volcans, 2.

Figure 15 : Etapes de colonisation végétale suite à une coulée volcamique. A. Mousses et lichens, B. Fougère héliophile, C. Bois de rempart. Crédit photo : Trentin. F.

Figure 16 : Zones à risque d'incendie de la Réunion. Source : ONF - IGN Paris 2003.

Tableau 4 : Principales espèces de la faune invasive de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat. Source : Groupe espèces invasives de la Réunion[13], Parc National de la Réunion.

Tableau 5 : Taxons végétaux impactés par le cerf de Java selon leur statut[29]. Source : Attié, 1994.

Tableau 6 : Principales espèces de la flore invasive de la Réunion pour laquelle la haute montagne peut constituer un habitat. Source : Groupe espèces invasives de la Réunion[13], Parc National de la Réunion.

Figure 17 : Ajonc d'Europe, Ulex europaeus, 2007, Crédit photo : Commange Christian.

Figure 18 : Sensibilité à l'érosion des sols. A. Sensibilité de l'aléa érosion du sol face aux paramètres climatiques. Source : BRGM, 2011. B. Intensité des phénomènes d'érosion actifs et passés à la Réunion. Source : Le chevalier et al, 2.

Figure 19 : Sensibilité de l'aléa Instabilités rocheuses face aux paramètres climatiques. Source : BRGM, 2.

Figure 20 : Sensibilité de l'aléa Glissement de terrain face aux paramètres climatiques. Source : BRGM, 2.

Figure 21 : Biens et services écosystémiques associés à la haute montagne de la Réunion.

Figure 22 : Plantes médicinales originaires de la Réunion introduites dans la pharmacopée française et appartenant à la haute montagne : A. Bois de fleur jaune, B. Ambavilles. Crédit photo : Guide touristique mi-aime-a-ou.

Figure 23 : Plantes de la Réunion faisant l'objet de cueillette et appartenant à la haute montagne : A. Petit tamarin des hauts (Sophora denudata), B. Cochléaria du pays (Centella asiatica). Crédit photo : Parc national de la Réunion - Guide touristique mi-aime-a-ou.

Figure 24 : Les trois grands sentiers de Grande Randonnée de La Réunion. Source : Fédération Française de Randonnée.

Figure 25 : Parcours du Grand Raid à La Réunion. Source : Grand Raid.

Figure 26 : Alpinisme aux Trois Salazes. Source : Trekking.

Figure 27 : Evaluation des menaces d'extinction de la flore altimontaine recensée sur 156 taxons, Crédit : CBNM.

Figure 13 : Cratère de Commerson, Réunion, 2017, Crédit : Jean-Luc Sonntag.

Figure 28 : Formations géologiques d'intérêt liées aux coulées de lave. A. Tunnel de lave bleu. Crédit photo : Alexandre Hec. B. Le lion, coulée de lave 2014, Grande Ravine.

Figure 29 : Formations géologiques d'intérêt liées aux coulées de lave. A. Chapelle de Rosemont (Spatter cône). Source : Wikipedia. B. Trois fissures émissives sur le flanc sud du piton de la Fournaise, 2007. Crédit photo : Pierre Thomas. C. Cheveux de Pelé sur le piton de la Fournaise, Réunion. Source : Wikipedia.

Figure 30 : Lever du soleil au piton des Neiges, 2014, Crédit photo : KERENA.

Figure 31 : Plaine des sables, Crédit photo : Stéphane Toupin.

Figure 32 : Scories du Pas de Bellecombe.

Figure 33 : Mise en relation des enjeux liées aux habitats altimontains et des menaces qu'ils subissent. Source : CBM 2011 - Cahiers d'habitats de La Réunion : étage altimontain.

Figure 34 : Agents du Parc National initiant des élèves aux enjeux de la protection et conservation du patrimoine naturel, Lycée des métiers, Roches maigres.

Figure 35 : Le cas particulier de l'élevage des Hauts. Source : Charte du parc de La Réunion, 2014 :.

Tableau 7 : Principales actions du parc national de la Réunion menées sur trois des espèces endémiques présentes à l'étage altimontain de la Réunion. Source : PNR[2].

Figure 36 : Application de phytocide par un agent de l'ONF sur souches d'ajonc.

Figure 37 : Le volcan de la Soufrière, point culminant des Petites Antilles à 1467 m, est situé sur le territoire du Parc National de la Guadeloupe. (A.), Paysage typique de la Grande Faille Nord (B.) et Gentiane des Hauts (Irlbachia frigida) (C.).

Figure 38 : Délimitation de la haute montagne en Guadeloupe. A. Etagement des formations végétales de la Basse Terre et fonctionnement du système de pluviosité orographique. D'après Rousteau (1995) et Sastre et Breuil (2007), dans Migeot 2010. B.

Figure 39 : Végétation des fourrés d'altitude : Mangle montagne (Clusia mangle) (A.), Fuschia montagne (Charianthus alpinus) (B.).

Figure 40 : Savane aux ananas (A.) et végétation associée : Thym montagne (Tibouchina ornata) (B.), Ananas jaune montagne (Guzmania plumieri) (C.), Ananas rouge montagne (Picairnia bifrons) (D.).

Figure 41 : Végétation des affleurements rocheux : Orchidée Epidendrum patens (A.), Lycopode (Lycopodium sp.) (B.). et Algues bleues (cyanobactéries) (C.).

Figure 42 : Crête à mangles.

Figure 43 : Végétation de la Basse-Terre. La haute montagne est concernée par les "formations non forestière d'altitude". Toutes comprises dans la zone cœur du Parc National de la Guadeloupe, elles couvrent 2463 ha. Source : Rousteau, 1996 – PNG.

Figure 44 : Températures moyennes et records minimaux – maximaux mensuels pour les stations du programme Moveclim – Massif de La Soufrière. Source : Moveclim - PNG.

Figure 45 : Quelques espèces endémiques pour lesquelles les milieux d'altitude constituent un habitat : Mygale de la Soufrière (Holothele sulfurenscis) (A.), L'Hylode de Pinchon (Eleutherodactylus pinchoni) (B.), Hylode de Balagne (E. Balagnei) (C.), et Hylode de la Martinique (E. martinicensis) (D.). Crédits photos Hylodes : Breuil, 2002.

Figure 46 : Colibri madère (Eulampis jugularis).

Figure 47 : Végétation brûlée par les fumerolles.

Figure 48 : Cratère sud, émanation de soufre.

Figure 49 : Projet de Réserve Intégrale du massif de la Soufrière. Crédit photo : Hervé Magnin-PNG.

Figure 1 : Présence de roche nue selon CLC 2012.

Tableau 1 : Typologie des milieux rocheux.

Figure 2 : Diversité des profils de milieux rupestres dans les carrières d'exploitation. Crédit photo : CEMEX (réalisé par A.TEMPE).

Figure 4 : Revégétalisation d'un front de taille d'une ancienne carrière à Caen (Normandie). Crédit photo : Lithothèque de Normandie.

Figure 5 : Hibou Grand-Duc d'Europe (Bubo bubo) dans une carrière. Crédit photo : R. Verlinde.

Figure 6 : Vue aérienne de l'ancienne mine d'or de Salsigne (Aude). Crédit photo : P.Blot/Leemage.

Figure 7 : Les deux terrils de Loos-en-Gohelle (Pas-de-Calais), plus hauts terrils d'Europe. Crédit photo : Philippe Frutier / Altimage.

Figure 8 : Halde dans la commune de Vialas (Lozère) Crédit photo : vialas-commune.fr.

Figure 9 : Présence des mines en France. Source : BRGM, 2009.

Tableau 2 : Exemple d'espèces végétales associées aux terrils et haldes.

Figure 10 : Rumex scultatus sur un terril. Crédit photo : G. Lemoine.

Figure 11 : Hypericum perforatum sur un terril. Crédit photo : Richard Old.

Figure 12 : Podarcic muralis sur un terril. Crédit photo : G. Lemoine.

Figure 13 : Chronologie de colonisation végétale d'un terril avec exemples d'espèces (A.TEMPE).

Figure 14 : Grand murgier dans une zone de transition entre prairie et forêt. Crédit photo : Andreas Meyer.

Figure 15 : Le Var depuis le pont Napoléon III (Nice). Crédit photo : Jean-Philippe Chevreau.

Figure 16 : Epilobium fleisheri. Crédit photo : Michael Jutzi.

Figure 17 : Végétation pionnière des rivières méditerranéennes à Glaucière jaune en Corse. Crédit photo : A. Lagrave, INPN.

Figure 18 : Eboulis siliceux dans les Alpes-Maritimes. Crédit photo : Alain Lagrave.

Tableau 3 : Espèces végétales associées aux éboulis calcaires et siliceux.(A.TEMPE) Sources : fiches tela-botanica, infoflora.fr.

Figure 19 : Exemples de stratégies des espèces végétales localisées sur les éboulis. Crédit : Cahier d'habitat Tome 5.

Figure 20 : A. Achnatherum calamagrostis, Pontis, Alpes-de-Haute-Provence. Credit photo : Floralpes. B. Iberis intermedia Guers, Jura. Crédit photo : Philippe Juillerat. C. Galeopsis pyrenaica, Pyrénées orientales. Crédit photo : Floralpes.

Figure 21 : Marmotta marmotta, Massif Central. Crédit photo : P. Duboc.

Figure 22 : Monticola saxatilis, Causse Méjean (Languedoc-Roussillon). Crédit photo : Jean-Louis Corsin.

Figure 23 : Archaeolacerta bedriagae, Ospedale (Corse). Crédit photo : F. Serre Collet, Muséum national d'Histoire naturelle.

Figure 24 : Calliptamus italicus, Meuse (Lorraine). Crédit photo : floredefrance.com.

Figure 25 : Les éléments principaux d'un éboulis froid, les flèches montrent la circulation de l'air en fonction de la saison. Crédit : P.Schoeneich.

Figure 28 : Etude de la dynamique de la végétation des différentes moraines du glacier d'Aletsch (Alpes suisses). Source : Ozenda 1985.

Figure 29 : A. Formation d'un chao granitique. L'eau se sert des diaclases de la roche afin de la dégrader. Peu à peu, les roches les plus résistantes émergent de la surface. Source : geodiversite.net B. Chaos granitique sur le Mont

Lozère (Parc national des Cévennes). Crédit photo : Ancalagon.

Figure 30 : La « Pierre du Diable », bloc erratique sur la commune d'Allinges (Hautes-Savoie) abandonné par le glacier du Rhône. Crédit photo : Fanny Schertzer.

Figure 31 : Les parois calcaires du massif de la forêt de Saoû (Drôme). Crédit photo : Didier Donsez.

Figure 32 : Lapiaz de Loulle (Jura). Crédit photo : jura-tourism.com.

Figure 33 : Fissures dans une paroi rocheuse de gré, Annot (Alpes de Haute-Provence). Crédit photo : Eric Chaxel.

Figure 34 : Génevrier de Phénicie dans les gorges du Verdon (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Crédit photo : Christophe Bordieu.

Figure 35 : Développement racinaire d'un Genévrier dans les gorges de l'Ardèche. Crédit photo : Jean-Paul Mandin.

Tableau 4 : Exemples d'espèces végétales sur les parois rocheuses calcaires et siliceuses. Source : fiches florealpes.com, infoflora.ch, inpn.mnhn.fr.

Figure 37 : Gagea bohemica, Graissessac (Hérault). Crédit photo : Jean-Jacques Houdré.

Figure 38 : Asplenium fontanum, Miscon (Drôme). Crédit photo : Hugues Tinguy.

Figure 39 : Umbilicus rupestris, Caen (Normandie) Crédit photo : Lithotèque de Normandie.

Figure 40 : Gyapète barbu dans les Alpes. Crédit photo : Antoine Rezer.

Figure 41 : Falco peregrinus, Montbelliard (Doubs). Crédit photo : Georges Lignier.

Figure 42 : Tichodroma murari, Parc national des Ecrins (Rhônes-Alpes). Crédit photo : Damien Combrisson – Parc national des Ecrins.

Figure 43 : Chamois sur une paroi rocheuse du Honeck (Vosges, Alsace). Crédit photo : alsace-nature.photos.

Figure 44 : Paysage de badland du Ravins de Corbeuf, Emblavez (Haute-Loire). Crédit photo : Hervé Sentucq Panoram'Art.

Figure 46 : Distribution des inselbergs et affleurements rocheux en Guyane. Source : Parc Amazonien de la Guyane, Perbet et al. 2017.

Figure 47 : A gauche, l'inselberg de la roche Koutou. A droite : végétation basse des inselbergs © Sophie Gonzalez/IRD.

Tableau 5 : Etat des milieux rocheux, toutes régions biogéographiques. Source : rapportage DHFF pour la période 2007-2012 (MNHN / SPN).

Tableau 6 : Pressions, activités ou menaces s'exerçant sur les habitats rocheux, toutes régions biogéographiques. Source : rapportage DHFF pour la période 2007-2012 (MNHN / SPN).

Figure 48 : Affichette d'information placée au sommet d'une voie d'escalade sensible vis-à-vis des Vautours fauves dans les Gorges du Verdon. Crédit photo : S.Henriquet.

Figure 49 : Fresque postée sur le site du PNR du Verdon, visant à sensibiliser les grimpeurs aux impacts potentiels de leur activité sur la biodiversité. Crédit : C. Girard.

Figure 50 : Bancs de la Leysse après les travaux de restauration (Savoie). Crédit : Chambéry métropole.

Tableau 7 : Espèces végétales invasives inventoriées sur 35 carrières. Crédit : ENCEM.

Figure 51 : Feuille et fleurs de Robinier faux-acacia. Crédit photo : M.Faustino.

Figure 52 : Services écosystémiques associés aux milieux rupestres.

Figure 53 : Vulnéraire des Chartreux (Hypericum nummularium). Crédit photo : Conservatoire national des plantes à parfum, médicinales et aromatiques.

Figure 54 : Génépi des glaciers (Artemisia glacialis), Parc national des Ecrins. Crédit photo : M-G. Nicolas.

Figure 55 : Vautour percnoptère (Neophron percnopterus) dans le Luberon. Crédit photo : luberon.fr.

Figure 56 : Vautours fauves sur une placette dans le Parc national des Cévennes. Crédit photo : Régis Descamps.

Figure 57 : Bourdon des pierres (Bombus lapidarius). Crédit photo : I. Leidus.

Figure 58 : Vipère Aspic (Vipera aspis) sur un muret dans les Gorges de l'Allier. Crédit photo : Igor Girault.

Figure 59 : Comportement des végétaux en présence d'ETM (Eléments Traces Métalliques). Source : J.C Cleyet-Marel.

Figure 60 : Escalade à Chamonix sur le Massif du Mont Blanc. Crédit photo : A. Torretta.

Figure 62 : Chemin de randonnée dans la Réserve naturelle nationale des Aiguilles rouges (Haute-Savoie). Crédit photo : A.Tempé.

Figure 63 : Roche de Solutré, Bourgogne. Crédit photo : A.Doire.

Figure 64 : VTT sur un terril du Bassin minier. Crédit photo : D.Detelder.

Figure 65 : Arche naturelle du Pont d'Arc, gorges de l'Ardèche. Crédit photo : P.Fournier.

Figure 66 : Eglise Saint-Michel d'Aiguilhe sur son neck, Puy-en-Velay (Auvergne-Rhône-Alpes). Crédit photo : D. Giffard.

Figure 67 : Cheminées de fées du Sauze du Lac (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Crédit photo : savinois.com.

Figure 68 : Colorado Provençal, Rustrel (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Crédit photo : A.Nazaret.

Figure 69 : Ruffes du Lodévois, Saint-Jean-de-la-Blaquière (Hérault). Crédit photo : G. Souche.

Figure 70 : Viola hispida, espèce classée « En danger critique » par l'IUCN. Crédit photo : Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Normandie.

Tableau 8 : Faune patrimoniale (11 espèces) et flore patrimoniale (9 espèces) des milieux rocheux selon la liste rouge de l'IUCN. Crédit : Axelle Tempé.

Figure 71 : Vélodrome d'Escanglon (Alpes de Haute-Provence). Crédit photo : N. Romeuf449 Figure 72 : Intérêt géologique des sites actuellement recensés dans le cadre du programme d'INPG. Source : De Wever, 2014.

Figure 72 : Intérêt géologique des sites actuellement recensés dans le cadre du programme d'INPG. Source : De Wever, 2014.

Figure 73 : Localisation des stratotypes français. Source : P. De Wever 2014.

Figure 74 : Site de la Carrière de Vigny-Longuesse (Val d'Oise). Crédit photo : valdoise.fr.

Figure 75 : Pistes de dinosaures dans la carrière de Loulle (Jura) lors de leur étude. Les différentes couleurs employées permettent une meilleure lecture des traces. Crédit photo : Dinojura.

Figure 76 : Localisation du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Source : Dosto, Wikipédia.

Figure 77 : Le patrimoine minier du bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais avec identification des terrils. Source : M.Deshaies – Bassin minier Unesco.

Figure 79 : La Roque Saint Christophe (Peyzac-le-Moustier, Dordogne), cité troglodytique occupée de la Préhistoire jusqu'à la Renaissance construite sur une paroi calcaire d'un kilomètre de long et 80 mètres de hauteur. Crédit photo : sarlat-tourisme.com.

Figure 80 : Ancienne étable troglodytique à Rochemenier, Louresse-Rochemenier (Maine-et-Loire). Crédit photo : Père Igor.

Figure 81 : Gravures représentant des corniformes dans la Vallée des Merveilles (Mercantour). Crédit photo : G. Seither.

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 : 978-2-11-145862-3