



Les sols

de Normandie



Réalisation

Ce document présente les sols de Normandie. Fruit d'un travail assidu et collectif, il a été conçu grâce à la contribution de nombreux rédacteurs issus de services spécialisés. Réalisé en mode de co-construction, il réunit les données qui ont été transmises par les acteurs mobilisés. Compte tenu de l'état de la connaissance et des moyens affectés, ce recueil ne peut pas être exhaustif. Une rubrique internet dédiée permet son actualisation et son enrichissement. Les services de l'Etat ont coordonné l'ensemble des travaux.

Publication

Directeur de publication :

Jean-Benoît Albertini, préfet de la région Normandie, préfet de la Seine-Maritime

Directrices de la rédaction :

Claire Grisez, directrice régionale (DREAL)

Sandrine Pivard, directrice régionale adjointe (DREAL)

Relectures et validations :

DREAL : Sandrine Pivard, Stéphane Douchet, Nicolas Puchalski, David Romieux, Emilie Boivin

Association française pour l'étude du sol : Sophie Raous

Conservatoire des espaces naturels : Clément-Blaise Duhaut

Université de Caen-Normandie : Patrick le Gouée

Coordination : Sandrine Hélicher, avec la contribution de Simon Roussigné (DREAL)

Conception graphique et mise en page :

Séverine Bernard (DREAL)

Illustrations

Cartographies :

Université de Caen Normandie : Patrick Le Gouée

DREAL : Jérôme Potel, Julien Defenouillère et Véronique Moufle

Photographies :

Cet ouvrage a bénéficié de la transmission de nombreuses photographies. Les auteurs sont précisés pour chaque illustration. Les droits de reproduction sont accordés spécifiquement pour l'usage du Profil environnemental. Toute reproduction complémentaire pour d'autres utilisations nécessite l'accord des auteurs.

Illustration de couverture :

Séverine Bernard (DREAL)

ISBN :

Dépôt légal : à parution

Experts et auteurs

Rédaction, co-auteurs et expertises

Clément Blaise-Duhaut (Conservatoire des espaces naturels), Marion Brosseau (ANBDD), Daisy de Lartigue (DDTM14), Nathalie Desruelles (DREAL), Morgane Faure (ARS), Véronique Feeny-Féréol (DREAL), Guylaine Gautier (DREAL), Emmanuel Goujon (DREAL), Frédéric Gresselin (DREAL), Sandra Gridaine (DREAL), Sandrine Hélicher (DREAL), Eloi Larchevêque (DREAL), Florence Leblond-Viennot (DREAL), Jérôme Le Bouard (ARS), Patrick Le Gouée (Université de Caen-Normandie), Théophie Legoupil (DREAL), Hélène Malvache (DRAAF), Ilona Marlin-Paini (DREAL), Hélène Michaud (OFB), Edouard Paillette (DRAAF), Nicolas Puchalski (DREAL), Sophie Raous (Association française pour l'étude des sols), Simon Roussigné (DREAL), Nadine Tournaille (ANBDD), Laurent Troude (DREAL), Mathilde Zoonekyndt (DREAL).

Relecture :

Une consultation des collectivités, des organismes experts et des associations a été organisée par voie électronique entre le xxx et le xxx. De nombreux partenaires acteurs du territoire ont ainsi transmis leurs observations et propositions, ce qui a permis d'enrichir et d'améliorer le projet. Nous remercions l'ensemble des partenaires mobilisés.

Actualisation et suivi :

La réalisation de cette publication a fait l'objet d'échanges approfondis et de plusieurs ateliers de travail de co-construction. Un portail web dédié permet la mise à jour de ce document dans sa version numérique.

Site web

Conception et actualisation : Serge Harmard (DREAL)

www.normandie.developpement-durable.gouv.fr

Citation de l'ouvrage

Collectif coordonné par la DREAL Normandie. *Profil environnemental. Les sols en Normandie*. xxx pages. 2025.



Association Française pour l'étude du sol



Normandie Université



La réalisation de ce document a bénéficié de financements de la DREAL Normandie

Le Profil environnemental de Normandie



Une collection de référence

Les Profils environnementaux ont pour objectif d'aider les acteurs du territoire à mieux prendre en compte l'environnement et la santé humaine. Ils dressent un état des connaissances non exhaustif, relatif à l'environnement, accompagné de la formalisation d'enjeux et d'orientations. Ces publications sont réalisées à partir des informations transmises par les services rédacteurs. Elles sont complémentaires de toutes les autres démarches d'analyse régionale.

Elles permettent d'aider les acteurs à adapter leurs actions sur le territoire en améliorant l'impact environnemental et sanitaire de leurs projets, plans ou programmes.

Le Profil environnemental de Normandie est réalisé avec de nombreux partenaires co-auteurs. Il fait l'objet d'actualisations régulières grâce à leur implication.

“
Un état des
connaissances
”

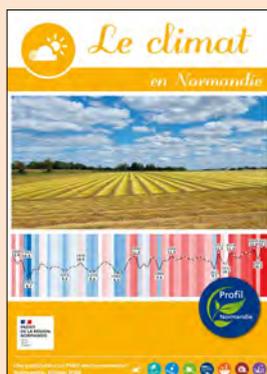
Web

Portail du Profil environnemental

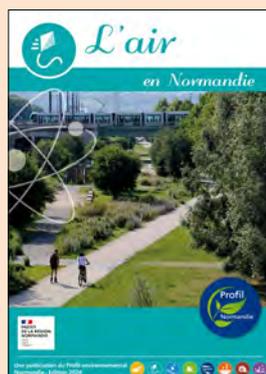
Retrouvez l'ensemble des publications du Profil environnemental de Normandie sur le site internet de la DREAL.



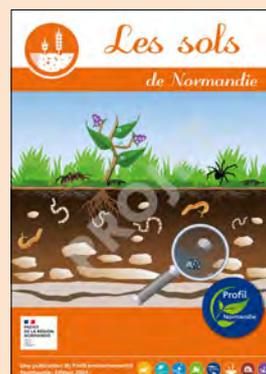
Le climat



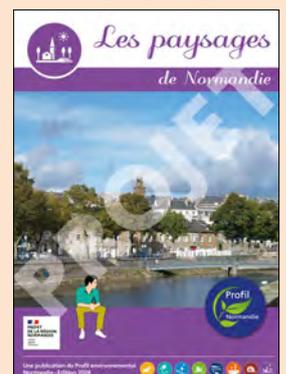
L'air



Les sols



Les paysages



Introduction

Les sols ont longtemps été considérés comme de simples supports pour les activités humaines.

Or, ils constituent un patrimoine précieux, lié à l'histoire de la région. La nature des activités humaines qui s'y déploient est déterminante pour leur évolution et pour leur avenir.

A COMPLÉTER



Sommaire

1 Les sols de Normandie : des milieux vivants et diversifiés 11

▪ Des milieux riches et vivants	12
▶ Qu'est-ce qu'un sol ?.....	12
▶ Les constituants d'un sol	15
▶ La biodiversité des sols.....	19
▶ Un héritage issu de plusieurs siècles d'évolution.....	23
▪ Les différentes familles de sols en Normandie	25
▶ Présentation générale des sols de Normandie.....	25
▶ Les sols bruns carbonatés	28
▶ Les sols bruns acides.....	32
▶ Les sols issus du lessivage	34
▶ Les sols podzolisés.....	37
▶ Les sols hydromorphes.....	39
▶ Les autres types de sols référencés	43

2 Les fonctions et services associés aux sols 47

▪ Fonctions ou services ?	48
▶ Les fonctions des sols	48
▶ Les services rendus par les sols.....	48
▶ Evaluer les fonctions et les services.....	49
▶ Qualité ou santé des sols ?.....	49
▪ Les fonctions assurées par les sols	50
▶ Un réservoir d'eau et de nutriments	50
▶ Une fonction de régulation	52
▶ La décomposition de la matière organique.....	53
▶ La dégradation des polluants.....	55
▶ L'épuration et la filtration	56
▶ La structuration	57
▪ Les services rendus par les sols	59
▶ Les services d'approvisionnement.....	59
▶ Le rôle des sols face au changement climatique.....	62

3 Les dégradations subies par les sols 65

▪ Préambule	66
▪ L'érosion	68
▶ Définition	68
▶ Les différentes formes d'érosion des sols.....	68
▶ Les conséquences de l'érosion des sols	71

▪ L'artificialisation et l'imperméabilisation	73
▶ La Normandie, une région très consommatrice de sols	73
▶ Les impacts environnementaux et sanitaires.....	75
▪ Les contaminations	77
▶ Les pesticides.....	77
▶ Les excès de matières nutritives	82
▶ Les pollutions industrielles.....	85
▶ Les pollutions plastiques et micro-plastiques.....	92
▪ L'effondrement de la biodiversité	95
▶ Un effondrement généralisé.....	95
▶ Origine	98
▶ Les impacts environnementaux et sanitaires.....	99
▪ La baisse des matières organiques	100
▪ Les glissements de terrain et chutes de bloc	102
▶ Les glissements de terrain	102
▶ Les chutes de bloc	104
▪ Les tassements	106
▶ Les tassements liés aux activités humaines	106
▶ Les tassements différentiels	107

4 *Les leviers d'action pour restaurer et préserver les sols* **111**

▪ Observer et caractériser les sols	113
▶ Observer un sol	113
▶ Caractériser un sol	117
▪ Réaliser un diagnostic des sols	120
▶ Définir les différents types de sols sur le territoire	120
▶ Evaluer les fonctions et les services associés à leurs caractéristiques.....	122
▶ Evaluer les altérations subies et leurs conséquences environnementales et sanitaires.....	123
▪ Préserver les sols	124
▶ Eviter et réduire à la source les pollutions des activités humaines.....	124
▶ Privilégier la sobriété dans l'usage des sols.....	131
▶ Mieux appliquer la séquence "Eviter, Réduire, Compenser" (ERC)	133
▪ Restaurer les sols	135
▶ Désimperméabiliser les sols.....	135
▶ Dépolluer les sols	136
▶ Restaurer la biodiversité des sols.....	140
▶ Développer les solutions fondées sur la nature dans les choix d'aménagements.....	141
▶ Restaurer les milieux naturellement riches en matières organiques.....	143

5 *Synthèse, enjeux et orientations* **145**

6 *Acteurs régionaux* **149**

7 *Webographie et bibliographie* **157**

1 Les sols de Normandie :

des milieux vivants et diversifiés

Sol littoral à Lion-sur-Mer (Calvados)



Séverine Bernard / DREAL Normandie

Plan du chapitre

- ▶ Des milieux riches et vivants
- ▶ Les différentes familles de sols en Normandie

Rédacteurs



Patrick Le Gouée (Université de Caen-Normandie), Clément Blaise-Duhaut (Conservatoire d'espaces naturels), Sophie Raous (Association française de l'étude des sols), Sandrine Héricher (DREAL), Nicolas Puchalski (DREAL), Simon Roussigné (DREAL)



Des milieux riches et vivants

Repères

L'observation d'un sol se fait en général par le biais d'une tarière manuelle qui permet d'extraire des échantillons de terre (carottes). Associés les uns aux autres, ces échantillons permettent de visualiser le sol dans sa profondeur.

L'ouverture d'une fosse pédologique au moyen d'engins mécaniques complète cette approche par un examen beaucoup plus approfondi.

Définitions

L'altération du matériau parental a pour effet de décomposer la roche en des atomes solubles et des grains qui vont être mobilisés par l'érosion et par un dépôt résiduel qui demeure sur place.

Les mécanismes responsables de l'altération sont à la fois physiques, biologiques et chimiques.

Qu'est-ce qu'un sol ?

Un sol est un milieu vivant et fragile, à l'interface de nombreux éléments de l'écosystème terrestre. C'est une ressource considérée comme non renouvelable à l'échelle humaine : sa constitution est le résultat de plusieurs centaines voire milliers d'années d'évolution.

La constitution d'un sol (pédogenèse)

Le sol est issu à la fois de la dégradation des organismes vivants végétaux et animaux et, parallèlement, de l'altération des roches (matériau parental). Les roches apportent de la matière minérale : argiles, limons, sables, éléments grossiers. Les organismes vivants forment la matière organique (cf. les constituants d'un sol). La formation et l'évolution des sols est appelée "pédogenèse".

Le sol : définition

Le sol est la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre. Il s'étend en volume :

- verticalement depuis la surface jusqu'au front de roche altérée ;
- horizontalement, de façon quasi continue à la surface des continents.

Il est interrompu principalement par les affleurements rocheux, les cours d'eau, les constructions humaines et les glaciers. L'épaisseur d'un sol est très variable : de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il repose sur une roche (le matériau parental) qui peut être dure ou meuble.

Sol reconstitué au moyen d'une tarière à main



Patrick Le Gouée

Ouverture d'une fosse pédologique au moyen d'une pelle mécanique



Patrick Le Gouée

Les horizons

Le sol évolue en fonction des phénomènes biologiques et chimiques qui dépendent de plusieurs facteurs : climat, relief, organismes vivants, matériau parental... Il se différencie verticalement en formant plusieurs couches : les "horizons". Ses composants se transforment. Cette évolution génère une très grande diversité de sols sur le territoire. Son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres.

Les différents horizons d'un sol se distinguent par des critères de couleur, de texture et de structure. Chacun est caractérisé par des propriétés spécifiques. Les horizons situés dans la partie supérieure forment un ensemble nommé « l'épisolum ». La partie inférieure réunit ce que l'on appelle « les horizons profonds ». La couleur des horizons est en partie héritée du matériau parental. Elle varie aussi en fonction de la teneur en matières organiques et des états d'oxydation du fer liés à la circulation de l'eau et d'autres paramètres.

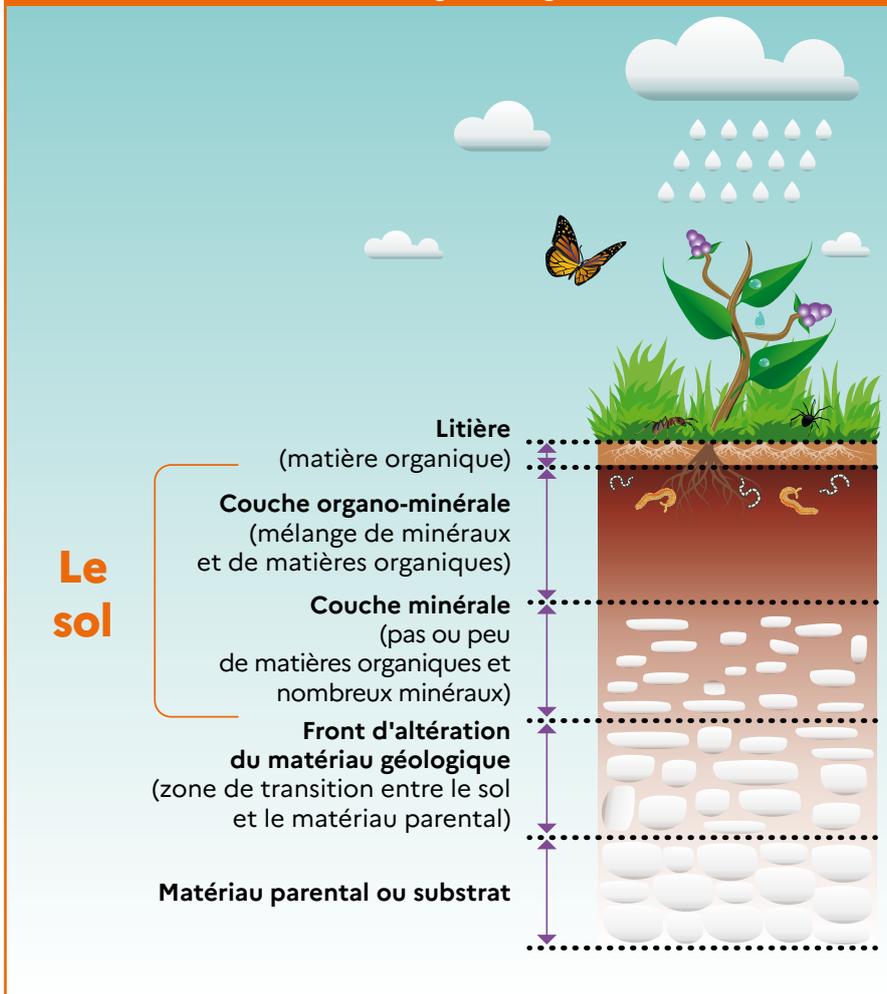
Définitions

Litière d'un sol :

ensemble des débris organiques, en cours de décomposition, à la surface du sol.

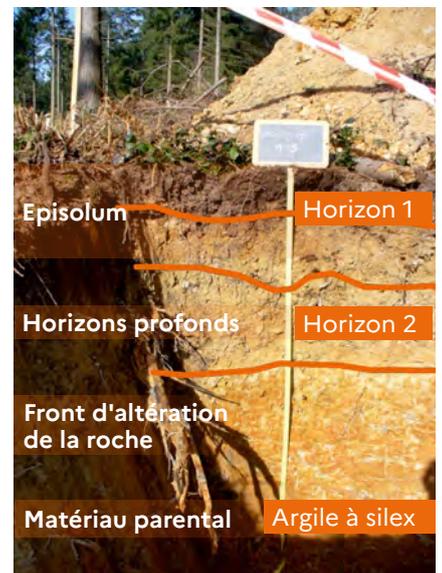
Les horizons d'un sol

Réalisation : DREAL Normandie et Agence Bingo



Les zones de couleurs et de structures différentes sont les horizons. Un drainage du sol s'effectue naturellement : les substances solubles sont entraînées vers le bas (les ions minéraux notamment) : c'est le lessivage

Organisation générale d'un sol : les horizons



Patrick Le Gouée

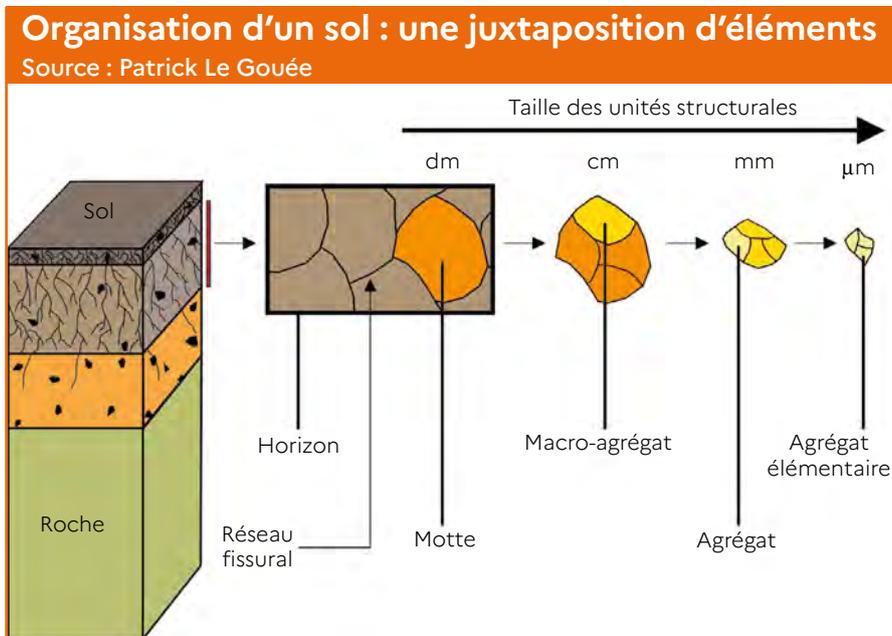
Falaises de Lion-sur-Mer (14)



Séverine Bernard/DREAL Normandie

Les éléments structuraux

A un niveau plus fin, l'observation du sol montre qu'il est constitué d'une juxtaposition d'éléments structuraux : mottes, macro-agrégats, agrégats et agrégats élémentaires.



La manière dont les particules minérales sont agencées entre elles caractérise la structure d'un sol. On distingue :

- la structure compacte qui limite la présence de pores à travers lesquels l'eau et l'air peuvent circuler ;
- la structure particulaire, caractérisée par des éléments libres entre eux, ce qui confère une grande porosité au sol et permet à l'air et à l'eau de circuler (l'oxygénation et le drainage sont favorisés) ;
- la structure fragmentaire qui présente des agrégats plus ou moins solidement liés avec de nombreuses lacunes favorisant l'oxygénation et le drainage du sol. Ces lacunes permettent aussi à l'air et à l'eau de circuler (oxygénation et drainage favorisés).

Cette organisation résulte de l'activité biologique et du comportement de certains constituants, comme les argiles, dont le volume varie selon l'état hydrique du sol. Ainsi, en phase de dessèchement, ces constituants se rétractent et génèrent un réseau de fissures complexes.

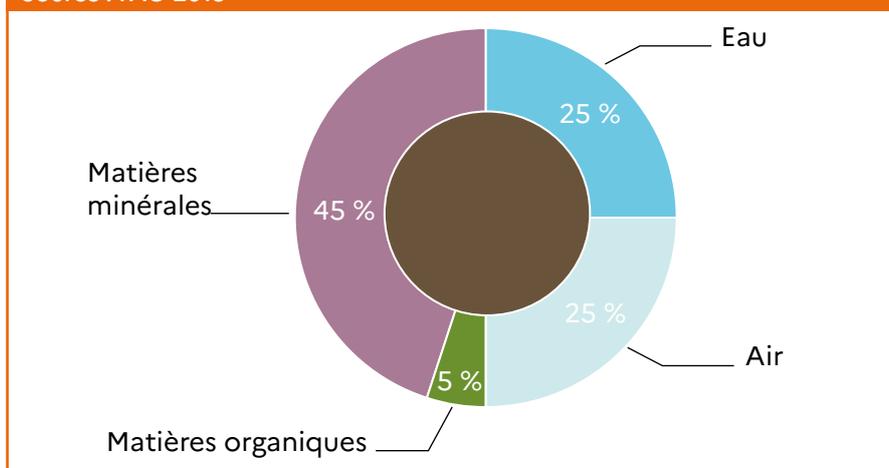
Les constituants d'un sol

Les horizons matériels du sol sont composés de matières minérales, de matières organiques ainsi que d'eau et d'air. La couche superficielle d'un sol contient, en moyenne :

- 45 % de matières minérales ;
- 5 % de matières organiques mortes et vivantes ;
- 25 % d'eau ;
- et 25 % d'air (air plus ou moins riche en CO₂).

Les composants de l'horizon de surface des sols (30 premiers centimètres)

Source : FAO 2015



Cette moyenne varie énormément en fonction notamment :

- des conditions climatiques ;
- du matériau parental (roche mère) ;
- de la topographie ;
- de la biodiversité.

La diversité des sols est considérable, même sur des surfaces réduites d'observation.

Les matières minérales

La composition et les caractères physiques du matériau parental (dureté, porosité...) ainsi que des facteurs extérieurs (climat, relief...) déterminent les modalités de libération d'éléments minéraux.

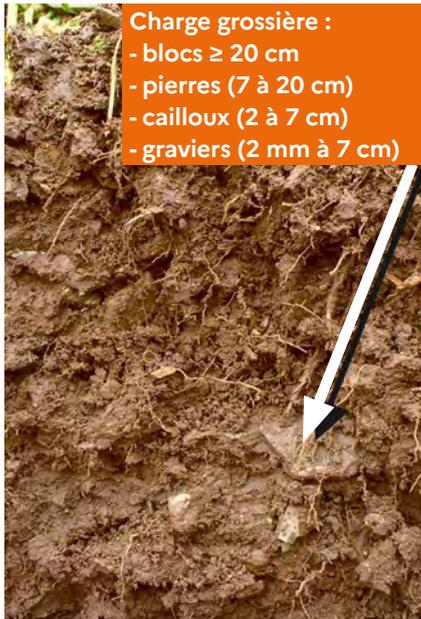
En Normandie, il existe une grande diversité de matériaux parentaux liée à la richesse géologique de la région et, par conséquent, une grande diversité de sols.

Un sol est également caractérisé par la taille de ses particules minérales qui peut varier de moins de 2 microns à plus de 20 cm.

Définitions

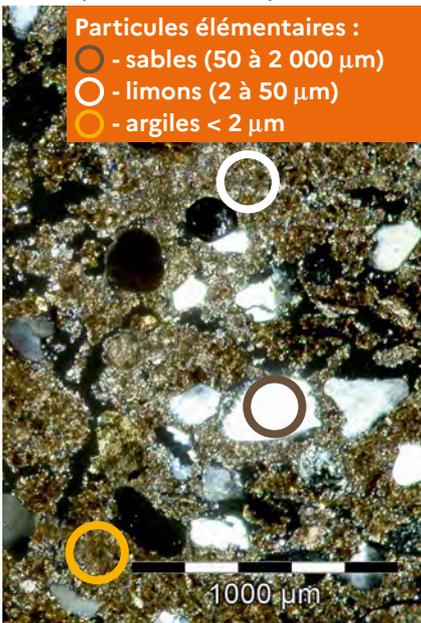
Les **matières minérales** sont constituées d'une part des roches du sous-sol et, d'autre part, d'une transformation de la matière organique issue des restes d'êtres vivants. Ces matières forment des argiles, des limons et des éléments grossiers.

Cliché pris sur le terrain



Patrick Le Gouée

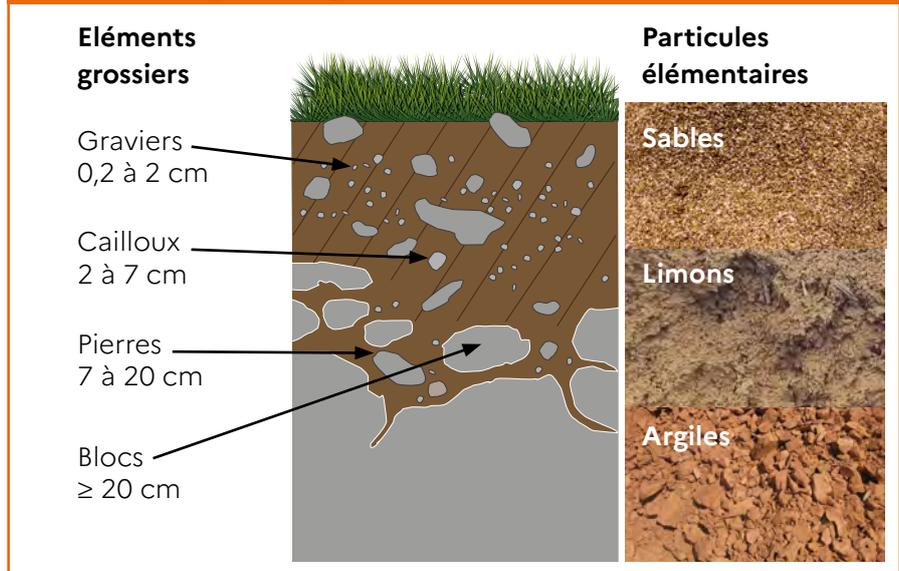
Cliché pris au microscope



Patrick Le Gouée

Classification des matières minérales du sol

Source : Dominique Arrouays, 2014 et Patrick Le Gouée, 2024



En-dessous de 2 mm, ces éléments sont dénommés « **particules élémentaires** ». Ce sont les sables, limons ou argiles. Leur part respective permet de déterminer la texture du sol.

Cette texture influence :

- la capacité de réserve en eau utile pour les végétaux ;
- les échanges d'eau et de gaz entre le sol et l'atmosphère ;
- et les modalités de distribution des organismes du sol.

Tableau de classification des sols selon leur classe granulométrique (1 000 μm = 1 mm)

	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers
Limites de taille	< 2 μm	2 à 20 μm	20 à 50 μm	50 à 200 μm	200 à 2 000 μm

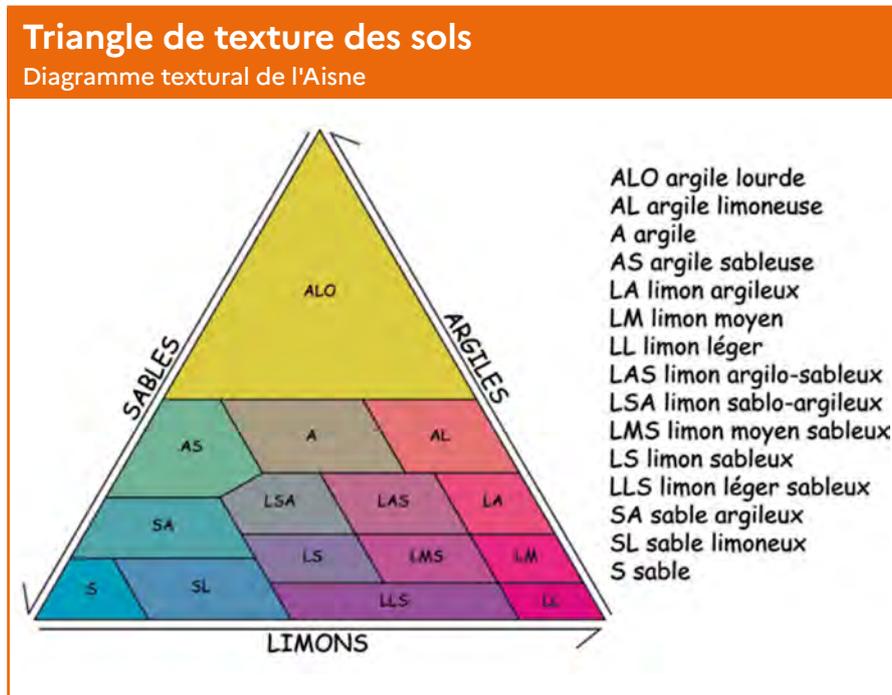
Les pourcentages d'argiles, de limons et de sables représentent la composition granulométrique de l'échantillon qui peut être reportée sur un triangle pour nommer la texture. Cette texture peut aussi être appréciée « à la main » (voir chapitre « Comment observer et caractériser un sol ? »). Elle peut varier considérablement selon les horizons d'un même sol.

Les triangles de texture du Sol

Il existe plusieurs représentations possibles de la texture d'un sol, elles sont dénommées "triangles de texture". Ces figures permettent de caractériser un sol et d'apprécier ses propriétés.

La texture du sol fait référence à la proportion des particules élémentaires du sol. Elles sont rangées en 3 classes de taille correspondant :

- aux argiles (particules les plus fines) ;
- aux limons (particules de taille intermédiaire) ;
- aux sables (particules les plus grossières).



Ces particules élémentaires influencent notamment la capacité du sol à retenir l'eau, sa perméabilité et sa fertilité.

Le diagramme textural de l'Aisne permet d'identifier les différentes classes de textures qu'il est possible de rencontrer lors d'une description de sol. Par exemple, un sol sableux draine beaucoup plus vite qu'un sol argileux. Ces informations sont particulièrement utiles pour :

- déterminer les cultures les mieux adaptées ;
- gérer la ressource en eau ;
- orienter les techniques de construction des maisons ;
- aider à préserver l'environnement.

Les matières organiques

Les matières organiques jouent un rôle primordial dans le fonctionnement des sols. Elles sont constituées d'éléments morts et vivants. Les matières mortes sont formées par tous les débris végétaux (feuilles, tiges, racines plus ou moins décomposées) et les molécules organiques qui proviennent en grande partie de l'activité des microorganismes du sol. Elles représentent 95 % des matières organiques des sols. Les matières vivantes sont constituées de l'ensemble des organismes qui vivent dans le sol (micro-organismes, faune et racines).

Définitions

Les **matières organiques du sol** sont issues de la transformation des résidus végétaux du sol, des résidus animaux et des corps microbiens.

Elles sont principalement constituées de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote et d'autres composés. Elles déterminent les propriétés physiques et chimiques du sol : ameublissement, rétention d'eau, échange des éléments nutritifs...

On distingue :

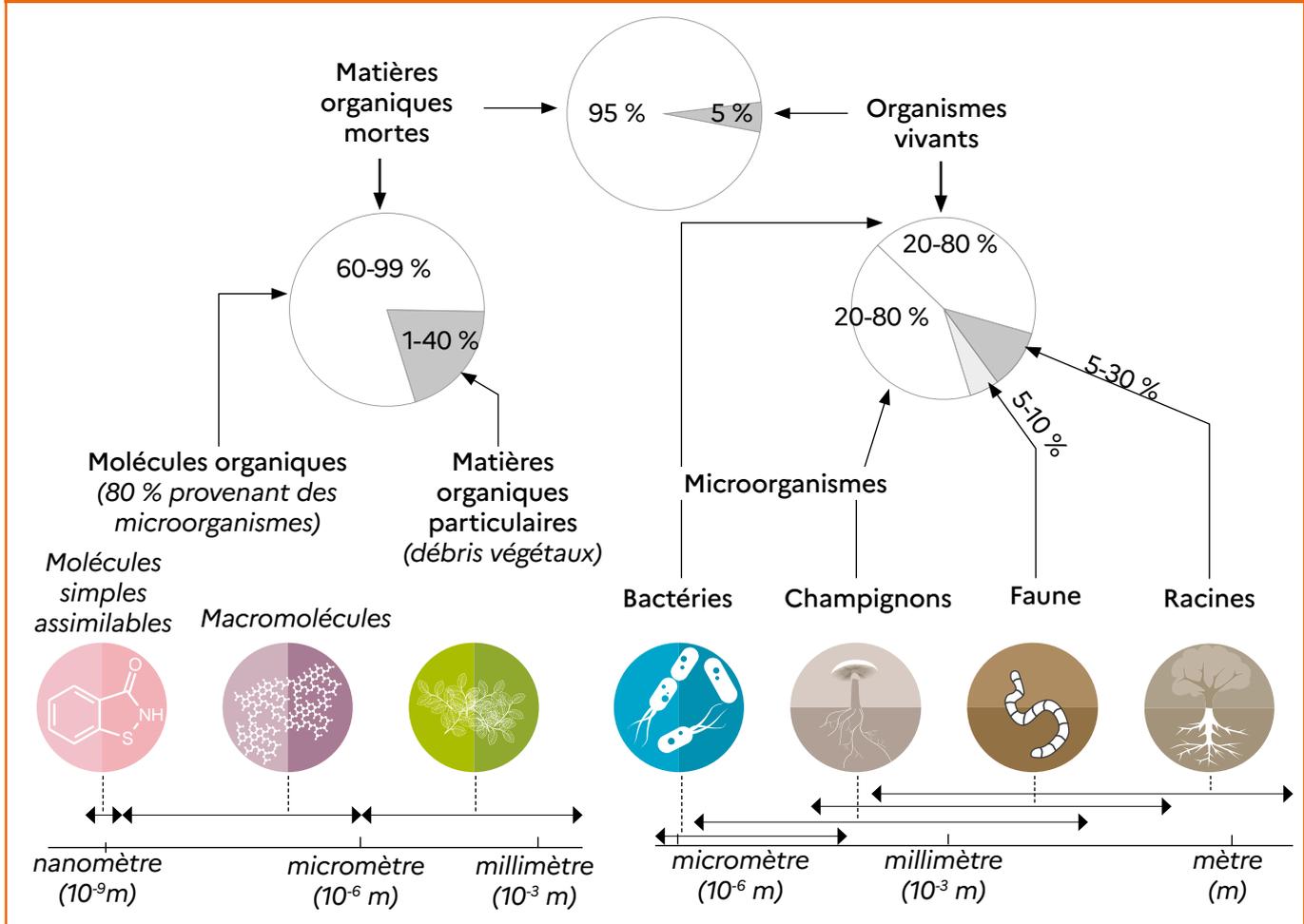
- les **matières organiques libres** séparables par des moyens physiques, correspondant essentiellement aux débris végétaux (résidus culturaux divers, racines mortes) ;
- les **matières organiques associées à la fraction minérale**, non séparable par des moyens mécaniques, c'est-à-dire associées aux minéraux du sol, appelée traditionnellement humus, de couleur noirâtre. Ce terme d'humus, un peu vague a laissé la place au terme « matières organiques des sols » (MOS).

Les matières organiques contribuent à la structure des sols en formant des volumes élémentaires appelés "agrégats". Elles influencent leur fertilité, leur capacité à retenir l'eau et constituent la source principale de matière et d'énergie pour les organismes vivants du sol (Calvet et al. 2011).

Constituées à plus de 50 % de carbone, **les matières organiques sont un réservoir de carbone de première importance** qui participe à l'augmentation ou à la diminution de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère.

Les matières organiques des sols

Représentation simplifiée. Source : Basile-Doelsch et al. 2020



L'eau et l'air

Indispensables composants du fonctionnement des sols, l'eau et l'air sont déterminants pour qualifier les sols, tant sur leur fonctionnement biologique que sur leurs aspects physiques. La circulation d'air et d'eau dans les sols dépend de la structure de leurs horizons et de leur constitution. Ce sont les vides structurels qui permettent aux molécules de circuler ou d'être stockées.

La biodiversité des sols

Les sols abritent une grande diversité d'organismes vivants : la pédoflore (végétaux) et la pédofaune (espèces animales). L'abondance et la diversité de ces organismes dépendent du type de sol, de la végétation, du climat et des activités humaines qui ont une influence sur leur croissance et leur activité.

Ces organismes sont de puissants agents de la construction des sols et participent aussi à leurs fonctions. Les sols constituent ainsi une réserve de biodiversité majeure qui héberge 25 % des espèces connues.

La pédoflore, flore du sol

La pédoflore, flore du sol, représente jusqu'à 90 % de la masse des organismes vivants du sol. Cette proportion est souvent plus forte pour les sols sous prairie que pour les sols cultivés.

Les racines vivantes représentent une masse de carbone de l'ordre de 5 à 15 % de la masse totale du carbone organique du sol. Elles occupent également une place particulière dans l'écosystème des sols par leur influence sur les phénomènes physiques, chimiques et biologiques.

Certains micro-organismes invisibles à l'œil nu, tels que des bactéries ou des champignons, sont considérés par les spécialistes comme de la « flore ». C'est l'option retenue dans ce document.

Une grande partie des micro-organismes se trouve au voisinage des racines, où les substances nutritives sont abondantes.

Ces organismes sont très impliqués dans la plupart des fonctions des sols :

- ils décomposent la matière organique en la transformant en nutriments ;
- ils participent à l'altération des minéraux, à la structuration du sol et à la dégradation des polluants.

A l'origine de nombreuses transformations chimiques, ils participent aux cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et du soufre. Ce sont des agents essentiels de la construction des sols. Les bactéries et champignons sont nécessaires pour la minéralisation de la matière organique. Les matières organiques doivent être minéralisées pour être assimilables par les plantes. Les micro-organismes utilisent les matières organiques du sol pour leurs ressources nutritives. Celles-ci sont dégradées et des éléments minéraux sont libérés. Ils sont ainsi accessibles aux plantes dans le sol.

Leur présence et leur diversité varient en fonction des caractéristiques naturelles du sol, des conditions climatiques et des usages.

“
La biodiversité des sols héberge 25% des espèces connues
”

Références

La Convention sur la diversité biologique définit la **biodiversité des sols** comme « *la variation de la vie du sol, des gènes aux communautés, et des complexes écologiques dont ils font partie, c'est-à-dire des microhabitats du sol aux paysages* ».

Le concept désigne traditionnellement le nombre d'espèces distinctes (richesse) et leur abondance, présentes dans un système. Cette définition peut être étendue pour englober la diversité phénotypique (exprimée). La biomasse totale souterraine est généralement égale ou supérieure à celle de la surface.

Définition

La **rhizosphère** est la partie du sol pénétrée par les racines des plantes et les micro-organismes associés. Les éléments nutritifs y sont transformés en vue de leur absorption par la plante.

Pour en savoir +



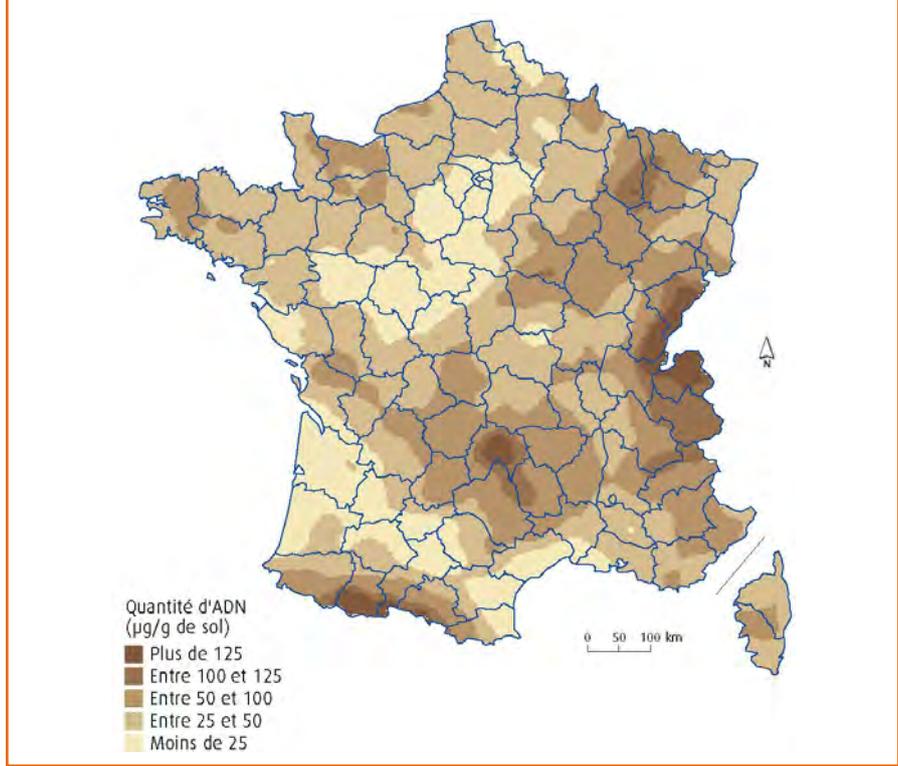
Battle Karimi, Nicolas Chemidlin-Prévost Bouré, Samuel Dequiedt, Sébastien Terrat Lionel Ranjard. *Atlas français des bactéries du sol*. Biotope. 2018. 192 pages.

<https://leclub-biotope.com/fr/librairie-naturaliste/1076-atlas-francais-des-bacteries-du-sol>

L'atlas français des bactéries dresse un bilan de l'état microbiologique des sols de France.

Biomasse microbienne des sols

Sources : © Inra Dijon, plateforme Genosol ; Gis Sol, RMQS, 2015.
Traitements : Gis Sol ; SOeS, 2015



Microflore du sol : ordres de grandeur par famille

Source : Girard MC et al. Sols et Environnement. 2005

		Nombre d'espèces	Taille	Abondance	Biomasse (g/m ²)	Régime alimentaire
Bactéries	Indispensables au fonctionnement des cycles du carbone et de l'azote	10 ⁴ génotypes microbiens différents/g de sol	0,01 à 0,05 mm	10 ⁸ à 10 ⁹ /g de sol	2 à 200 g/m ²	Matière organique, azote atmosphérique
Champignons	Dégradent la matière organique morte		< 1 micromètre	10 ⁴ à 10 ⁶ /g de sol	100 à 150 g/m ²	Résidus de végétaux, parasite ou symbiote mycorhysien
Algues	Capables de créer de la matière organique à partir d'éléments minéraux		0,2 mm	10 ² à 10 ⁴ /g de sol	5 à 20 g/m ²	

La pédofaune, faune du sol

La pédofaune, ou la faune du sol, comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologiques et physiologiques très variées. On les classe en fonction de leur taille. Les espèces de la pédofaune sont classiquement regroupées en trois classes :

- la microfaune (protozoaires, nématodes...);
- la mésofaune (acariens, collemboles, enchytréides);
- la macrofaune (lombrics, araignées, myriapodes...).

Il est en général accepté que la macrofaune des sols regroupe les invertébrés du sol facilement visibles à l'œil nu. Selon les classifications, les référents de taille sont variables (cf. tableau).

Au sein de cette pédofaune, les macro-invertébrés (vers de terre, mille-pattes, insectes) jouent un rôle-clé. Ils décomposent la litière et l'incorporent, ils construisent et maintiennent la structure et la porosité des sols et protègent les plantes contre les maladies et les pathogènes.

Ils sont considérés comme des ingénieurs des sols car leurs activités (turricules, galeries, nids), affectent significativement la diversité et les activités microbiennes.

Collembole



Florence Magliocca et Fabrice Parais/DREAL

Acariens



Florence Magliocca et Fabrice Parais/DREAL

Faune du sol : ordres de grandeur par famille (listing non exhaustif)

Source : Girard MC et al. Sols et Environnement. 2005

		Nombre d'espèces	Taille	Abondance	Biomasse (g/m ²)	Régime alimentaire
Microfaune (Microphages consommateurs des colonies bactériennes)	Nématodes	65	0,1 à 5 mm	10 ⁶ à 10 ⁸ /m ²	1 à 30 g/m ²	Champignons, bactéries, débris organiques, algues (action de prédation stimulant le renouvellement de la microflore)
	Protozoaires	68	0,2 mm	10 ³ à 10 ¹¹ /m ²	6 à >30 g/m ²	
Mésofaune (Broyeurs de feuilles)	Arthropodes inférieurs et enchytraéides	Arthropodes : 140 Enchytraéides : 36	de 0,2 à 4 mm	2x10 ⁴ à 4x10 ⁵ /m ²	0,2 à 400 g/m ²	Résidus de végétaux, champignons, bactéries, cadavres d'invertébrés
Macrofaune (« ingénieurs de l'écosystème » : fragmentation des matières organiques et brassage avec les matières minérales)	Lombrics, araignées, myriapodes (mille-pattes), fourmis...	Lombrics : 11 Myriapodes : 6 ...	Taille > 4 mm (ex : lombrics : 3 à 30 cm, jusqu'à 1 m)	Lombrics : 10 à 10 ³ /m ² Myriapodes : 20 à 700/m ²	Lombrics : 20 à 400 g/m ² Myriapodes : 0,5 à 12,5 g/m ²	Résidus de végétaux, champignons, bactéries, cadavres d'invertébrés

Cloporte



Florence Magliocca et Fabrice Parais/DREAL

Iule



Florence Magliocca et Fabrice Parais/DREAL

Geophile



Florence Magliocca et Fabrice Parais/DREAL

La faune du sol joue aussi un rôle majeur dans le cycle du carbone et de nombreux grands cycles biologiques et chimiques.

Sous l'action des organismes vivants du sol, la matière organique est transformée. Il en résulte une libération rapide d'éléments nutritifs (processus de minéralisation) et la formation d'humus (processus d'humification). Les matières organiques sont dégradées et des éléments minéraux sont libérés. Ils sont ainsi accessibles aux plantes dans le sol. Tout comme les macro-invertébrés, les micro-organismes contribuent ainsi à une meilleure structure du sol.

Les menaces sur les milieux vivants

Aucune donnée très précise n'existe dans la région sur les organismes vivant dans le sol. La biodiversité des sols et les fonctions qu'elle assure sont profondément affectées par les activités humaines.

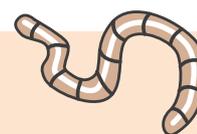
Les sols sont notamment perturbés par :

- l'utilisation de pesticides qui agissent également sur les espèces non ciblées ;
- l'usage des engrais minéraux, qui entraîne une baisse de la diversité biologique ;
- le travail mécanique du sol, qui, dans certaines conditions, peut en détériorer la structure.

A *contrario*, certaines pratiques permettent de mieux prendre en compte la biodiversité des sols. Ainsi, un moindre travail du sol contribue à une meilleure préservation des organismes vivants qu'un labour.

Repères

Les vers de terre, des agents essentiels de la vie du sol



Dans le tube digestif des vers de terre, s'opère la liaison entre les fines particules minérales du sol (argile, limon) et l'humus issu de la décomposition de la matière organique. Elle participe à la genèse du complexe argilo-humique, constituant le réservoir de fertilité chimique du sol.

Les vers de terre sont munis d'un organe spécial liant entre elles, les minuscules particules (micelles) de matière organique aux minuscules particules d'argiles qui, d'un point de vue chimique, ne se lieraient pas sans ce phénomène. La terre prend peu à peu une structure grumeleuse c'est-à-dire souple, aérée, accessible aux racines et facile à préparer pour les semis et plantations. Les vers de terre accroissent la quantité et les types de micro-organismes du sol en créant des conditions propices à leur vie et à leur reproduction.

Source : www.terralombrics.fr/les-vers-de-terre

Les vers de terre sont des espèces particulièrement sensibles aux pratiques de gestion des sols agricoles et urbains. L'observatoire participatif des vers de terre (OPVT) analyse l'impact des activités humaines sur la biodiversité de cette macrofaune des sols.

Source : www.agriculture.gouv.fr

Un héritage issu de plusieurs siècles d'évolution

La rapidité avec laquelle les sols peuvent être détruits contraste avec la lenteur de leur formation. En Normandie, la formation des sols est datée d'il y a environ 10 000 ans, à l'issue de la dernière glaciation, lorsque l'augmentation des températures a « réveillé » l'activité biologique nécessaire à leur formation.

Dans les conditions environnementales qui règnent à la surface du globe (pression, température...), les roches sont instables. Elles se transforment par fragmentation ou dissolution. Cette altération conduit à la formation d'altérites. A ce stade, le matériau parental est encore reconnaissable. Puis, sous l'effet notamment du climat et de l'activité biologique, l'assemblage des constituants évolue et les structures du matériau parental deviennent méconnaissables : le sol se forme, c'est la pédogenèse.

La formation d'un sol résulte ainsi de l'interaction de 6 facteurs :

- la nature du matériau géologique ;
- le climat ;
- l'activité biologique ;
- le temps ;
- le relief ;
- l'activité humaine.

L'importance relative de chacun de ces facteurs varie dans le temps et dans l'espace. Le matériau parental peut se présenter sous la forme de roches cohérentes, comme les granites, les calcaires, les schistes, ou sous la forme de roches meubles à l'image des loess et des alluvions. Le climat agit sur la désagrégation physique de la roche entraînant un fractionnement mécanique et la formation de fragments de plus en plus petits.

La faune et la flore provoquent une altération biochimique des minéraux initiaux qui se traduit par de nouvelles formations (minéraux secondaires) telles que l'argile. Dans les régions froides, la formation de l'altérite résulte avant tout de la désagrégation physique, alors que dans les régions chaudes du globe, celle-ci dépend principalement de l'altération biochimique.

Les caractéristiques topographiques des étendues terrestres constituent un autre facteur essentiel de la formation d'un sol. Les conditions d'exposition, de pente, de forme des versants tout comme les conditions de site (sommet, milieu de versant, fond de vallée...) interviennent dans la redistribution des flux d'énergie (chaleur) et de matière (eau).

“
Les sols sont non renouvelables à l'échelle humaine
”

Néoluvisol, Noyer-Bocage (14)



Patrick Le Gouée

Luvisol - Rédoxisol bathyhistique, Baupte (50)

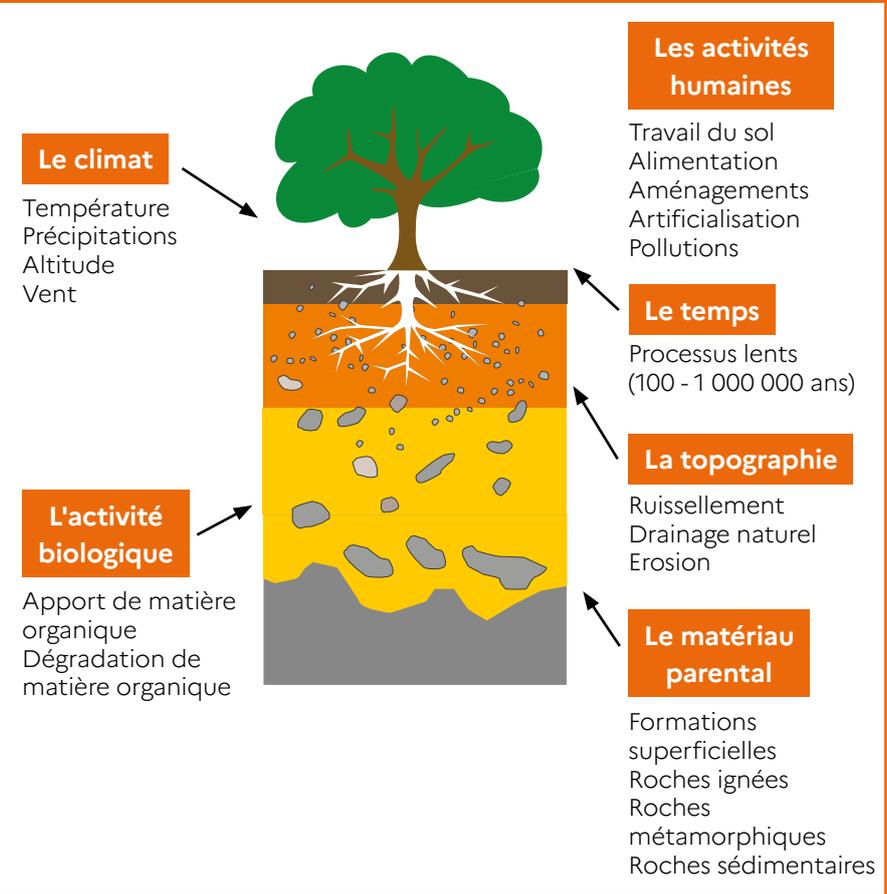


Patrick Le Gouée

Enfin, **les activités humaines jouent un rôle décisif**. Les modalités d'occupation du territoire et les pratiques de gestion des espaces peuvent intervenir à différents degrés sur les processus de la constitution des sols.

Les facteurs de la genèse des sols

Réalisation : DREAL Normandie - Source : Brauman 2021, Patrick Le Gouée, 2024





Les différentes familles de sols en Normandie

La diversité des sols et leur répartition sur le territoire normand sont liées à la richesse et à la diversité des matériaux parentaux, du relief, du climat et des activités humaines qui ont évolué et qui se sont succédés au cours du temps.

Présentation générale des sols de Normandie

La diversité des sols normands

Les processus d'humification et d'oxydo-réduction ont fortement influencé la constitution des sols normands. Ils permettent de regrouper les territoires en grandes familles de sol.

Définitions

L'humification est le processus par lequel les restes d'organismes morts d'animaux et de plantes s'accumulent, se décomposent et se mélangent avec le sol pour former de l'humus. Elle fait intervenir de nombreuses réactions réalisées par les bactéries, les champignons et la microfaune du sol. Elle forme l'humine et des substances humiques.

Les réactions d'oxydoréduction sont des échanges d'électrons entre un oxydant et un réducteur. Plus un sol est aéré, plus il dispose d'oxygène et plus il est oxydé. Au contraire, dans un sol compacté ou inondé, l'air circule peu ou ne circule pas. Dans ces conditions, le sol est peu ou pas oxydé.



Références

Le programme d'inventaire multi-échelles « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols » permet de constituer des bases de données sur les sols et leur répartition géographique. Elles sont gérées au sein d'une base à structure unique « Donesol » permettant le transfert des données des échelles les plus détaillées vers les échelles couvrant des espaces plus vastes.

Références

Le programme « Référentiel régional pédologique (RRP) »

a permis d'obtenir une couverture de la connaissance des sols à l'échelle du 1/250 000 en Normandie. Les connaissances se sont considérablement développées sous l'impulsion des programmes nationaux et sous l'égide du GISSOL.

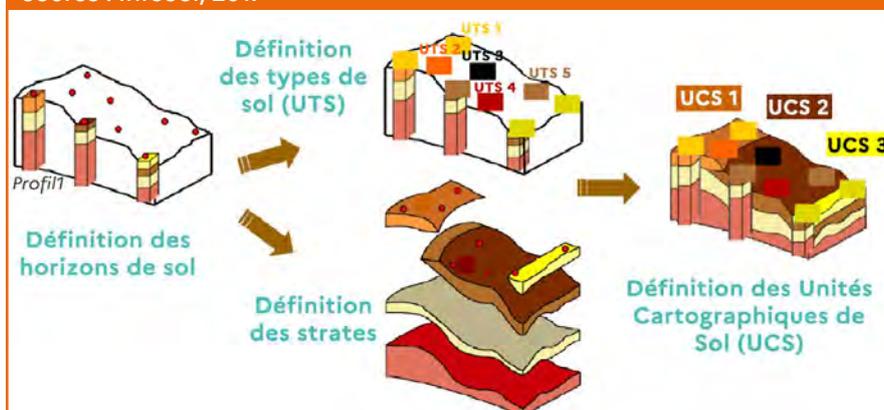
La Normandie s'est engagée dans le programme dès 2008 et dispose depuis 2018 d'une cartographie complète sur l'ensemble de son territoire. C'est en Basse-Normandie, à l'initiative de l'Université de Caen Normandie puis de la SAFER de Normandie et de VigSol, que les travaux ont été conduits entre 2008 et 2015, d'abord dans le Calvados, puis dans l'Orne et dans la Manche. Le RRP Haute-Normandie a été réalisé sous l'égide du Conservatoire d'espaces naturels de Normandie entre 2013 et 2018.

La méthodologie de conception de la carte harmonisée des sols de Normandie

La connaissance des sols régionaux ne s'est développée que récemment sous l'impulsion de programmes nationaux et régionaux. Les observations de terrain et les résultats de laboratoire ont permis l'élaboration du référentiel régional pédologique (RRP) de Normandie en mobilisant les concepts de base du programme « Inventaire, gestion et conservation des sols » (IGCS). Ces concepts sont présentés dans le dictionnaire de données du Gis Sol et schématisés ci-dessous.

Schéma des différents éléments observés et analysés lors de la réalisation d'un inventaire des sols

Source : InfoSol, 2017



Les observations de terrain ponctuelles obtenues à partir des sondages à la tarière et à partir des fosses pédologiques sont qualifiées de « profils ». Il ressort de ces profils une succession d'horizons jusqu'au matériau parental.

Les sols observés ponctuellement par des sondages et des fosses pédologiques qui présentent des caractéristiques pédologiques similaires et de même intensité sont alors considérés comme appartenant à la même unité typologique de sol (UTS). La localisation de ces observations ponctuelles permet de définir l'extension spatiale de l'UTS.

Si les concepts de base du programme ont bien été mobilisés à l'identique pour la Basse-Normandie et la Haute-Normandie, les choix de critères dans la dénomination et la représentation cartographique diffèrent sensiblement. C'est la raison pour laquelle un important travail de traitement et de représentation des deux RRP a été réalisé afin de produire une cartographie des sols harmonisée à l'échelle de la Normandie.

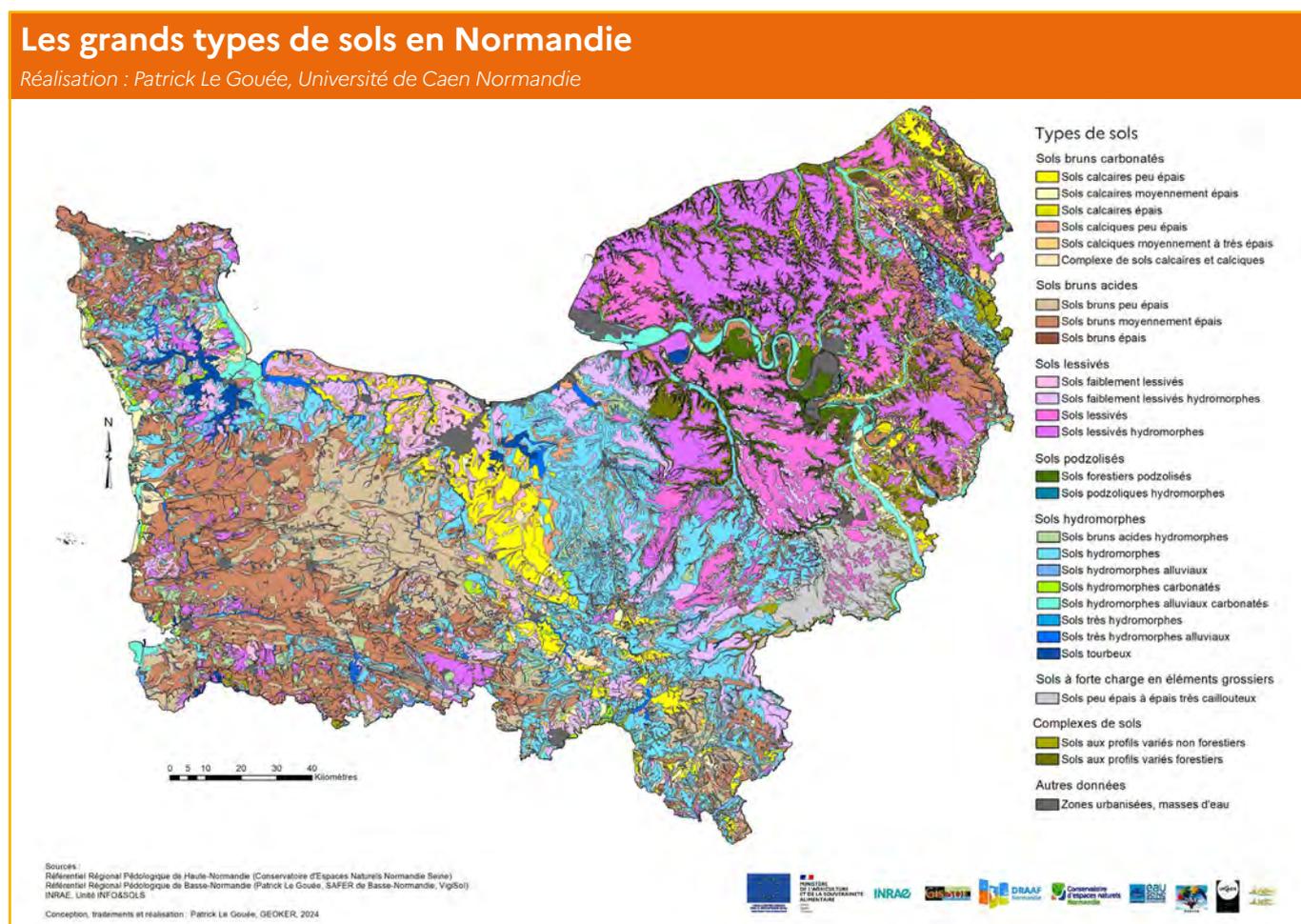
La démarche repose sur des critères relatifs à la pédogenèse, à l'épaisseur des sols, aux contextes pédologiques, géographiques et géologiques singuliers (forte charge en éléments grossiers, couvert forestier, topographie et géologie de fond de vallée...).

Cette carte harmonisée est composée des 495 unités cartographiques de sols (UCS) du territoire normand. Afin d'en permettre un premier niveau de lecture aisé, il en a été proposé une version simplifiée en 27 types de sol.

Chaque type de sols a ses spécificités propres :

- modalités de constitution (pédogenèse) ;
- caractéristiques écologiques ;
- activités humaines prépondérantes ;
- pressions et vulnérabilités.

Ces caractéristiques sont synthétisées dans les fiches présentées ci-après.



Les sols bruns carbonatés

Définitions

La formation des sols issus de la carbonatation est influencée par la présence de matériaux parentaux contenant des carbonates.

Les carbonates sont des minéraux basés sur une association de carbone et d'oxygène (CO₃) et d'un autre élément chimique (carbonate de sodium, carbonate de fer...).

Ils sont très présents sur Terre et jouent un rôle majeur dans le cycle du carbone. Ainsi, le carbonate de calcium est le constituant principal des coquilles de nombreux organismes. Il s'est accumulé dans les fonds marins pendant des millions d'années, jusqu'à devenir une composante des sols calcaires.

Exemples de sols appartenant à cette famille :
les rendisols, rendosols, calcisols, calcosols...

Les sols bruns carbonatés sont issus de la carbonatation et de la décarbonation.

Pédogenèse

La carbonatation est un processus qui conduit à la formation de carbonate de calcium.

Ce processus est créé en présence de roche calcaire (craie, marne...), formée il y a des millions d'années par l'accumulation de coquillages ou de squelettes de micro-organismes marins.

Les carbonates issus de ces micro-organismes se dissolvent et se recombinaient avec d'autres éléments : c'est la carbonatation. La matière organique s'accumule en surface et se dégrade. Certains éléments présents se recomposent avec les carbonates et forment notamment des carbonates de calcium.

Il en résulte des sols avec un horizon de surface très développé et des horizons inférieurs où le calcaire issu du matériau parental est plus ou moins accumulé et plus ou moins dégradé.

Pour en savoir +

Pour mieux connaître les différents types de sols, vous pouvez accéder à une carte des sols et à des fiches descriptives du Groupement d'intérêt scientifique Sols (GIS) : <https://www.geoportail.gouv.fr>



Coteau calcaire du Camp romain, à Courseulles-sur-Mer et Revières (14)



ROMEIO INDIA P.V.A - Cléville - 50340 - LE ROZEL

Caractéristiques écologiques

Ces sols sont aérés et en général particulièrement bien drainés. Cependant, dans certains cas, des minéraux résiduels qui ne se recombinaient pas avec le carbonate s'accumulent en surface sous la forme d'argile. Celle-ci a la particularité inverse de retenir l'eau et peut être collante et boueuse.

Il existe donc des formes variées de sols issus de la carbonatation, selon leur teneur en carbonates ou en argile ou selon l'importance de la dégradation du matériau parental..

Ces sols peuvent être associés à des écosystèmes variés. Ils dépendent de facteurs locaux : présence de milieux humides ou de relief, nature du matériau parental... Ils ne sont pas acides et contiennent de la matière organique, ils sont donc généralement propices à une bonne croissance des végétaux.

Ces sols contribuent à la biodiversité des espaces en favorisant le développement d'écosystèmes spécifiques aux sols alcalins. Lorsqu'ils sont peu épais, ils constituent des zones préférentielles de recharge des nappes phréatiques en raison de leur faible réserve utile et de substrats calcaires ou crayeux perméables sous-jacents.

Ils participent donc activement au cycle de l'eau mais **diffusent, de ce fait, la pollution en nitrates dans les eaux souterraines, lorsque les pratiques agricoles ne sont pas raisonnées.**

Dans un contexte agricole, les sols calcaires sont associés au bocage et aux prairies, plus ou moins humides. Dans les plaines calcaires dévolues aux grandes cultures peut se développer tout un écosystème adapté (plantes messicoles, oiseaux d'affinité steppique...).

Dans certains cas, des sols très calcaires, secs et peu épais, accueillent des pelouses rases très spécifiques. Ces pelouses calcaires ou calcicoles sont naturelles ou associées à des pratiques agropastorales. Elles sont entretenues par la présence d'herbivores sauvages ou domestiqués.

Activités humaines

La variété des sols issus de la carbonatation les rend aptes à toutes sortes d'activités humaines (agriculture, sylviculture...). Certains se montrent particulièrement propices aux grandes cultures, s'ils sont peu argileux et disposent d'un horizon supérieur constitué de limons particulièrement fertiles. Ils peuvent être facilement aménagés et adaptés aux travaux agricoles. Ils servent alors principalement à la culture de céréales ou d'oléagineux.



Nathalie Moreira/CEN Normandie

Définition

Un sol est alcalin (ou basique) lorsque son PH varie entre 7 et 14. Plus un sol contient de calcaire, plus il est basique (= alcalin), par opposition à un sol acide. Le pH d'un sol acide varie entre 1 et 7.

Sol calcaire peu épais sur une pelouse rase



Clément-Blaise Duhaut/CEN Normandie

Pour en savoir +

Les pelouses dites "calcaires" ou "calcicoles" ("pelouses sèches") ont un intérêt spécifique pour la biodiversité régionale. Elles correspondent à un type de végétation rase développée sur un sol carbonaté et peu épais. Ces deux caractéristiques en font un milieu plutôt pauvre en oligoéléments, sensible à la sécheresse et au pH neutre à basique. Ainsi, les coteaux calcaires sont situés sur des milieux pentus, sensibles à l'érosion qui a accentué le décapage des sols. Les pelouses calcaires ou calcicoles peuvent être d'origine naturelle ou agropastorale : la pâture par des herbivores (sauvages ou domestiques) maintient cette végétation et empêche le développement d'une strate arborée. La régression de l'élevage extensif en fait un milieu relictuel, cantonné aux espaces les moins accessibles et les moins productifs pour l'agriculture.

Dans d'autres cas, les sols calcaires sont plus propices aux prairies d'élevage et à une agriculture bocagère. Certains sols difficilement exploitables, notamment en raison de leur relief (coteaux), peuvent être dévolus au pâturage extensif et mener au développement des pelouses calcaires.

Pressions et vulnérabilités

Les sols calcaires sont plutôt faciles à travailler et s'adaptent bien à différentes formes d'exploitation humaine. Ils subissent des pressions directement liées aux remaniements ou à leur imperméabilisation. Les pratiques agricoles intensives tendent à les fragiliser : accentuation de l'érosion, tassement par le passage des machines, perte de matière organique et de capacité à stocker du carbone... Ils retiennent moins bien l'eau, ce qui les expose davantage à la sécheresse.

Les pelouses calcicoles sont également en forte régression et à l'état relictuel, du fait du recul des pratiques agropastorales. Leur fermeture progressive lorsque se développe un milieu arboré modifie également à terme la nature du sol.

Les sols calcaires sont aussi propices à l'urbanisation qui génère d'importants mouvements de terres et perturbe l'écoulement des eaux, avec l'imperméabilisation de grandes surfaces. Leurs fonctionnalités naturelles sont altérées par ces interventions humaines.



ROMEO INDIA P.V.A - Cléville - 50340 - LE ROZEL

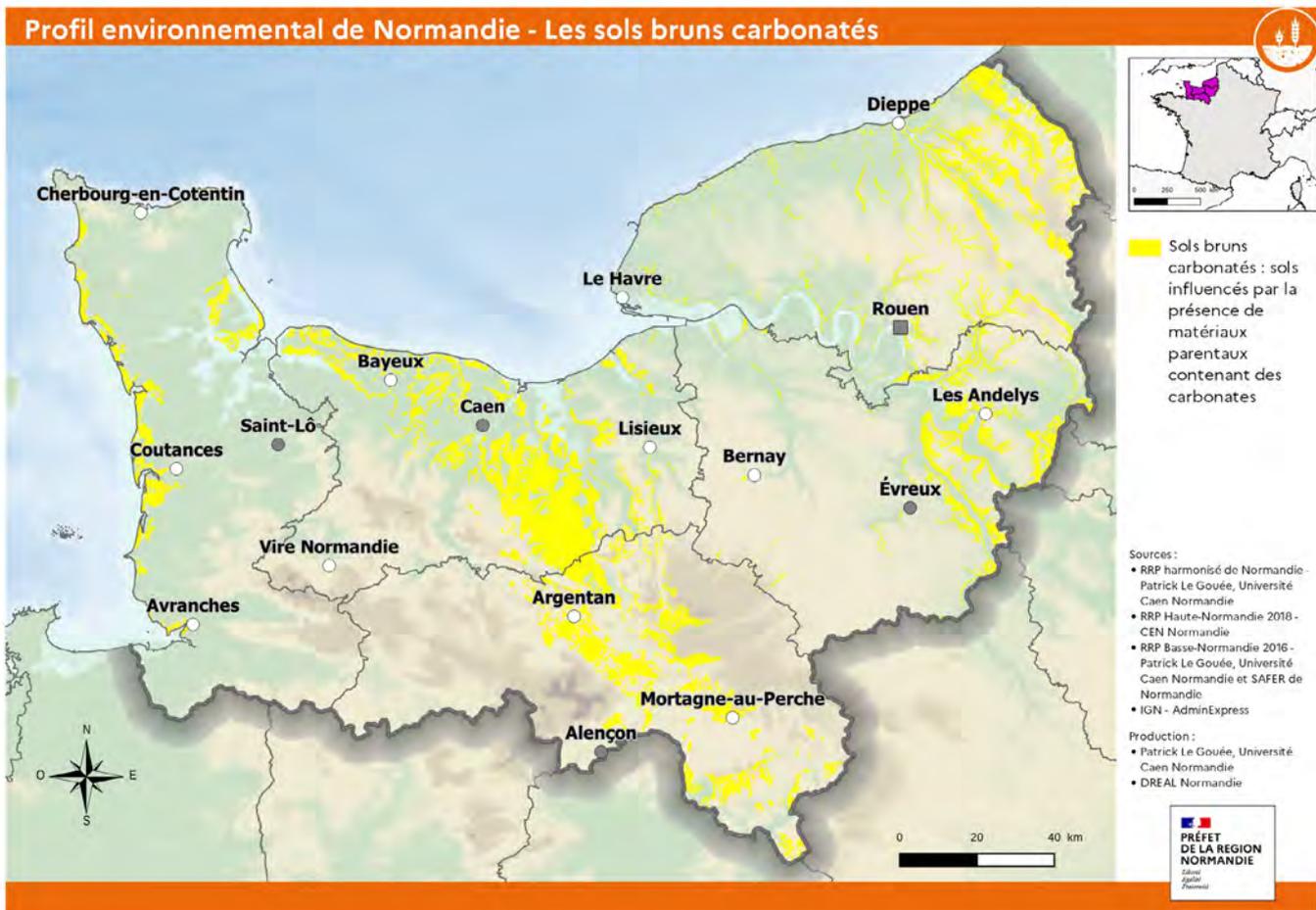
Localisation en Normandie

Les sols bruns carbonatés se sont développés sur les plateaux et leurs bordures : Plaine de Caen, de Falaise, d'Argentan, d'Alençon, Perche ornais, Plateau de Madrie, Petit Caux...

Ils sont présents aussi sur les parties hautes et pentues des versants des principales vallées : Orne aval, Seulles aval, Touques, Boucles de la Seine, Eaulne et Yères).

Ces secteurs sont présents dans des secteurs de précipitations souvent inférieures à 800 mm par an et sont fortement mobilisés par une agriculture céréalière sur pentes douces à modérées et par la présence d'herbages et de bois et forêts sur pentes fortes.

Les sols calcaires sont principalement localisés à l'est de la Normandie, dans la partie qui correspond au Bassin parisien.



Les sols bruns acides

Définition

La **brunification** est un processus de libération du fer, à l'origine de la couleur brune observée.

Les **brunisol**s en constituent les sols les plus caractéristiques : la brunification y est largement dominante dans le processus de pédogenèse.

Secteur d'Avranches (Manche)



Sandrine Héricher/DREAL

Les **sols bruns acides** sont issus de la brunification qui résulte d'un processus de libération du fer (cf. encadré). Les sols issus de la brunification se trouvent dans des zones tempérées et humides, comme en Normandie.

Pédogenèse

De manière générale, la brunification nécessite un matériau non carbonaté, riche en fer et en argile.

Les brunisol sont des sols plutôt acides, c'est-à-dire à pH relativement bas (inférieur à 6). De ce fait, en milieu calcaire, une « décarbonatation » préalable (soit la dissolution des carbonates présents dans le sol) est nécessaire à la genèse d'un brunisol. Ces sols sont bien drainés : l'eau ne stagne pas et la décomposition des différents éléments organiques ou minéraux se fait correctement. Ils sont peu évolués, c'est-à-dire que le lessivage provoqué par l'infiltration des eaux de pluie n'a pas encore fait migrer en profondeur le fer ou l'argile. Il en résulte des sols aux horizons peu différenciés. Ils peuvent en revanche être épais.

Caractéristiques écologiques

Le processus de brunification est favorisé par des précipitations régulières et des températures modérées. C'est ce qui permet une bonne décomposition de la matière organique, qui libère ainsi les éléments qu'elle contient, dont le fer. Ces conditions sont favorables à la constitution d'un humus riche en éléments nutritifs et au pH modérément acide. Elles permettent le développement d'une biodiversité qui, en retour, contribue à la décomposition de l'humus et à formation du complexe organo-minéral.

Activités humaines

Les sols bruns se prêtent en général bien à l'agriculture et notamment aux « grandes cultures » : ils disposent des éléments nécessaires à la croissance des plantes et sont plutôt faciles à travailler. Ils sont naturellement bien drainés. Lorsque l'acidité est plus marquée, selon le matériau parental, ils sont plus adaptés au développement des forêts (feuillus ou mixtes), des prairies d'élevage et du bocage.

Pressions et vulnérabilités

Les sols bruns sont soumis aux diverses pressions générées par l'exploitation humaine, qu'il s'agisse des pratiques agricoles,

industrielles ou de l'urbanisation. En particulier, le recul des prairies permanentes et du bocage au profit des grandes terres de labour s'accompagne de la disparition de leurs fonctions d'épuration, de filtration et de stockage de carbone. Ces terres, remaniées et amendées, sont ainsi utilisées pour la culture intensive. Les tassements répétés et les imperméabilisations altèrent leurs fonctionnalités. Les pratiques agricoles tendent à l'uniformisation de leurs caractéristiques et à la destruction de leur biodiversité.

L'usage des sols sous forme de prairies permanentes et de bocages a permis néanmoins de préserver un certain nombre de leurs fonctions d'épuration, de filtration et de stockage de carbone.

Localisation en Normandie

Les sols bruns sont très bien représentés en Normandie, notamment dans le Massif armoricain. Dominants à l'ouest (sud de la Manche, ouest ornaï, bocage virois), ils sont présents dans les cinq départements. A l'est de la région, on les retrouve sur les argiles à silex du Méso-Cénozoïque, sur les rebords du Plateau de Madrié et surtout dans le Vexin normand.



Clément-Blaise Duhaut/CEN Normandie



Les sols issus du lessivage

Définitions

Dans les sols lessivés, l'infiltration d'eau entraîne certaines particules dans les profondeurs.

Exemples de sols issus du lessivage :
les luvisols, néoluvisols ...

L'humification est le processus par lequel les restes d'organismes morts d'animaux et de plantes s'accumulent, se décomposent et se mélangent avec le sol pour former de l'humus. Ce processus est principalement effectué par des organismes vivant dans le sol.



Nathalie Moreira/CEN Normandie

Repères

La croûte de battance correspond à la formation d'une couche superficielle qui empêche l'eau et l'air de s'infiltrer. La battance se forme par l'action de la pluie sur les sols travaillés, limoneux et pauvres en matières organiques.

Les sols lessivés (issus du lessivage des argiles) sont très présents en Normandie.

Pédogenèse

Dans les sols lessivés, le processus d'humification de la matière organique fraîche est associé à un déplacement vertical causé par la circulation de l'eau. Celle-ci entraîne dans les profondeurs du sol des particules libérées par la dégradation de la matière organique (argile, fer).

Ce processus génère des sols dits « évolués », dans lesquels plusieurs horizons se distinguent. Les horizons supérieurs sont appauvris et décolorés, au bénéfice des horizons plus profonds, où s'accumulent les particules lessivées.

On distingue les sols lessivés selon le degré de différenciation des horizons : les luvisols ont des horizons bien distincts, du fait d'un processus de lessivage marqué, tandis que les néoluvisols connaissent un processus moins avancé.

Caractéristiques écologiques

Les sols lessivés sont relativement fertiles. Bien que le lessivage entraîne certaines particules en profondeur, le processus d'humification se déroule correctement dans les horizons supérieurs. Ceux-ci disposent ainsi des éléments nutritifs, organiques et minéraux, nécessaires à la croissance des plantes.

Ces sols sont associés à l'action de l'eau, on les trouve donc plutôt dans les régions de climats tempérés et humides, avec les écosystèmes associés : boisements de feuillus ou mixtes ou prairies... Ces deux écosystèmes se caractérisent par une forte teneur en matière organique dans les sols.

Dans certains cas, l'accumulation d'argile dans des couches plus profondes peut perturber la circulation de l'eau. En période pluvieuse, ces sols peuvent se saturer d'eau et mener à des phénomènes d'hydromorphie. Ils peuvent ainsi être associés à des milieux humides temporaires.

Activités humaines

Les sols lessivés présentent une bonne aptitude à l'agriculture et notamment aux grandes cultures : ils sont relativement fertiles, riches en matière organique et faciles à travailler.

Ils s'ouvrent de plus en plus au maraîchage. Les rendements sont toujours très élevés et en font d'excellentes terres agricoles. La mise en culture très ancienne et continue (depuis l'âge du fer) des sols lessivés provoque une érosion hydrique diffuse et concentrée qui les décaper et les fragilisent. Les pertes de terre sont alors considérables et ne leur permettent plus de se régénérer.

Pressions et vulnérabilités

Le développement des grandes cultures encourage la mise en œuvre de méthodes intensives sur des surfaces importantes et la simplification des espaces (suppression des espaces boisés).

Certaines pratiques laissent les sols à nu. Ces éléments accentuent le phénomène d'érosion. Les sols issus du lessivage sont structurellement moins stables et y sont spécifiquement sensibles. Les eaux de pluie produisent une croûte de battance sur les premiers millimètres, l'eau ne peut plus s'infiltrer et s'écoule. Lors des pluies, plutôt que de s'infiltrer, l'eau ruisselle en surface et emporte avec elle la terre sous l'effet de la gravité et du vent. Les sols les moins épais sont particulièrement déstructurés.

De plus, les modes de culture, notamment les retournements des sols, entraînent une perte notable de matière organique. Les sols s'épuisent progressivement et nécessitent d'être amendés. Ils perdent aussi leur capacité à stocker de l'eau et sont plus sensibles aux sécheresses.

D'une façon générale, ces pratiques affectent le fonctionnement global des sols issus du lessivage et leur capacité à se régénérer.

Localisation en Normandie

Les sols lessivés sont très présents en Normandie. Le lessivage est en général assez faible à l'Ouest et plus intense à l'Est.

Les plateaux y sont recouverts d'une couche de loess (limon calcaire), roche issue de l'accumulation de limon en période glaciaire, parfois épaisse de plusieurs mètres. C'est une roche fine, meuble et particulièrement sujette au lessivage.

On retrouve ces sols principalement sur les plateaux loessiques du Lieuvin, du Neubourg et du Roumois ainsi que sur les plateaux tabulaires du Pays de Caux et du Vexin normand. A l'Ouest de la région, les sols lessives forment un vaste ensemble entre la Plaine de Caen nord et le Bessin mais, ailleurs, ils donnent l'illusion de confettis (dépôts loessiques).

L'hydromorphie observée dans ces sols tient à la fois à des variantes climatiques attestant de précipitations abondantes, supérieures à 900 mm par an et de substrats imperméables proches de la surface.

Illustration du phénomène d'érosion



Patrick Le Gouée

Exemple de sol sensible à l'érosion dans le pays de Bray (Seine-Maritime)



Clément Blaise-Duhaut/CEN Normandie

Profil environnemental de Normandie - Les sols lessivés



Les sols podzolisés

La **podzolisation** est un processus qui concerne une petite partie de la Normandie, notamment certains milieux forestiers résineux.

Pédogénèse

Pour avoir lieu, la podzolisation suppose un matériau parental filtrant et une végétation acidifiante, comme certaines landes ou certains peuplements résineux. Au cours de sa dégradation, la matière organique issue de cette végétation forme au sol un humus particulièrement acide. Les acides humiques migrent progressivement en profondeur et dégradent chimiquement le substrat minéral. Les constituants organo-métalliques de fer ou d'aluminium migrent et s'accumulent dans un horizon sous-jacent. Le lessivage peut accélérer le processus, en accélérant la migration des éléments acides vers le matériau parental.

Les podzosols constituent des sols acides évolués. Ils présentent plusieurs horizons : sous un premier horizon encore brun se trouve une couche cendreuse où domine la silice. Cette couche a perdu ses éléments ferriques, emportés par l'acide humique. Ils s'accumulent dans un horizon inférieur, noir ou orangé. Lorsque le processus de lessivage est avancé, ces horizons sont d'autant plus distincts.

Caractéristiques écologiques

Les podzosols se forment dans des régions froides à climat humide. Ils sont ainsi souvent localisés dans des régions de toundra, comme au Canada ou en Russie. En zone tempérée, des podzosols peuvent néanmoins se développer, notamment dans des espaces forestiers exploités par les activités humaines. La monoculture de résineux, notamment de pins sylvestres, et le développement de landes à *Ericacées*, par exemple, suite à une coupe claire, sont propices à une acidification des sols. Elle peut aboutir à un processus de podzolisation, dans les secteurs de roches pauvres en cations (sables, grès...).

A l'inverse, le développement de feuillus y est peu propice : les podzosols ont un pH acide et la décomposition de la matière organique y est ralentie, ce qui réduit d'autant la circulation des éléments nutritifs dont ils ont besoin.

Les forêts de résineux, même d'origine humaine, peuvent accueillir un riche écosystème. C'est particulièrement le cas s'ils sont associés à des écosystèmes proches (landes, fourrés, feuillus, milieux ouverts...).

Définition

La **podzolisation** est un phénomène de dégradation des argiles par une matière organique particulièrement acide.

Les termes "podzolisation" et "podzosol" sont issus du russe "podzol", qui signifie "sous la cendre".

Il rappelle la présence importante de ces sols dans les zones de toundra, qui se découvrent par un premier horizon poudreux de silice pouvant rappeler la cendre.

Coupe typique d'un podzosol mettant en évidence ses différents horizons.

Un horizon poudreux et blanchâtre apparaît sous une première strate brune et peu épaisse, dominée par la matière organique en cours de dégradation.

L'horizon poudreux est dominé par la silice. Les composés organo-métalliques ont migré plus profondément et se retrouvent dans un horizon orangé.



Clément-Blaise Duhaut/CEN Normandie

Les landes sèches peuvent être associées aux podzosols lorsqu'elles se développent sur un site déboisé. Leur végétation (bruyères, ajoncs...) est en effet particulièrement adaptée aux milieux pauvres.



Eric Bogaërt/DREAL Normandie

Activités humaines

Dans les régions tempérées, les podzosols sont rares. En raison de leur acidité, ils ne se prêtent pas à l'agriculture. Ils sont en général directement issus d'activités de culture de résineux, qui a progressivement acidifié les sols. Les podzosols sont étroitement associés à la sylviculture.

Pressions et vulnérabilités

En raison de leurs caractéristiques, les podzosols sont des sols peu fréquents dans la région. Leur biodiversité est assez spécifique. Les pressions subies par ces milieux sont en général liées à l'exploitation sylvicole. Certaines opérations peuvent générer des remaniements importants (tassement par les machines par exemple).

Localisation en Normandie

Les sols podzolisés se forment dans des conditions particulières. Si on les retrouve notamment dans la toundra, ils peuvent être ponctuellement présents dans d'autres types de régions. En Normandie, ils sont principalement localisés dans les grandes forêts de la vallée de la Seine.

Profil environnemental de Normandie - Les sols podzolisés



Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes occupent de vastes étendues en Normandie. Comme leur nom l'indique, ils sont caractérisés par la présence d'eau.

Pédogénèse

Les situations d'engorgement en eau des sols sont liées à différents facteurs qui peuvent se combiner. Ces situations traduisent toujours un déficit de drainage naturel qui peut être lié :

- à l'absence de pente ;
- à des positions topographiques déprimées (cuvettes...);
- à des matériaux parentaux imperméables proches de la surface (roches siliceuses...);
- ou à un lessivage important des argiles qui a conduit à la formation d'un horizon imperméable.

L'engorgement en eau asphyxie la vie du sol et modifie sa structure. Le complexe argile/humus est déstructuré. Les minéraux présents, comme le fer, connaissent de nombreuses réactions chimiques. Les sols engorgés de façon saisonnière subissent ainsi des phases répétées de réduction puis de réoxydation du fer. L'engorgement laisse des traces typiques dans les sols qui permettent de les distinguer.

L'eau peut également être source d'apport de matière, en déposant à son passage des matériaux, comme les alluvions d'un fleuve. Ces horizons dits « illuviaux » peuvent devenir imperméables et être source, à leur tour, d'un engorgement. Ce processus dépend :

- de la durée de l'engorgement (temporaire ou permanent) ;
- de son ampleur (horizons profonds ou de surface) ;
- de la nature de l'eau (eau stagnante de marais, eau courante de rivière et, dans certains cas, eau de mer ou saumâtre ...);
- d'autres processus auxquels il peut s'associer.

Il existe ainsi une multitude de combinaisons de phénomènes et de types de sols.

Caractéristiques écologiques

Les sols hydromorphes présentent un grand intérêt environnemental et écologique. Ils sont une ressource fondamentale pour la gestion de l'eau dans les écosystèmes. Ils constituent ainsi une étape importante du cycle de l'eau. Celle-ci y circule plus ou moins librement et peut y être filtrée et stockée. Les eaux stockées en période d'engorgement peuvent alimenter les cours d'eau et la végétation en saison sèche et rendent les milieux plus résilients aux sécheresses.

La présence de l'eau, même temporaire, modifie la vie du sol. Elle mène au développement d'un milieu sans oxygène (anaérobie) et à la

Définition

L'**hydromorphie** correspond à un contexte de saturation régulière voire permanente en eau. Les sols hydromorphes constituent une famille de sols ayant pour point commun cette hydromorphie. Cette famille comprend des types de sols plus spécifiques, tels que les réductisols, les rédoxisols, les histosols... Ils se distinguent les uns des autres par la nature de l'hydromorphie et la façon dont elle va influencer la pédogénèse et leurs propriétés physiques et chimiques.

Pour en savoir +

Vous pouvez accéder aux travaux et publication du Gissol : <https://www.gissol.fr/>



Exemple de sol hydromorphe de type "luvisol dégradé/rédoxisol" : les phases répétées de réduction et de réoxydation ont laissé des traces blanches caractéristiques



Patrick Le Gouée

Définition

L'**anaérobie** désigne le mode de développement d'un organisme en l'absence d'oxygène.

dénitrification du milieu (perte de nitrates). Ils contribuent donc à la lutte contre la pollution azotée des eaux superficielles et souterraines. Lorsque la présence d'eau est temporaire et limitée aux horizons les plus profonds des sols, ceux-ci restent compatibles avec des écosystèmes adaptés aux sols secs.

Un engorgement en eau important peut mener au développement d'un écosystème plus spécifique de milieux humides : forêts ou prairies humides, boisements alluviaux, mégaphorbiaies, voire milieux aquatiques (mares, marais, lits majeurs de cours d'eau...). Ces milieux constituent des réservoirs d'une biodiversité spécifique. A l'extrême, ces sols mènent à la formation de tourbières : la matière organique s'y accumule tout en se décomposant très peu, du fait de la présence permanente d'eau stagnante.

Les estuaires ou les côtes présentent aussi des sols formés en présence d'eau. La proximité de la mer génère une salinité plus ou moins forte. Les écosystèmes (vasières, formations dunaires, prés salés) sont adaptés au contexte marin (influence de la marée, présence d'eau saumâtre...).

Activités humaines

L'agriculture n'est pas impossible sur les sols hydromorphes mais elle y est plus difficile. Ces sols humides sont souvent mis en culture après un drainage agricole. Ils sont généralement occupés par des prairies et destinés au pâturage ou à la production de fourrages pour les bovins.

L'aménagement de prairies pour l'élevage y est plus aisée que la production végétale (à l'exception de certaines cultures spécifiques, comme celle du riz). Les sols à l'engorgement important sont plus généralement délaissés : il s'agit de milieux humides difficilement mis en valeur, à moins de travaux de drainage ou d'assèchement.

Les sols hydromorphes sont également plus susceptibles d'être inondés, par débordement d'un cours d'eau proche, par ruissellement d'eaux pluviales (localisation en bas d'une pente) ou par remontée d'une nappe peu profonde. Ils paraissent peu propices aux installations humaines.

Pressions et vulnérabilités

Entre 1960 et 1990 en France, la moitié des zones humides a été détruite (source : ministère de la Transition écologique). La ressource en eau est fondamentale pour le développement des activités humaines. Les villes se sont ainsi étalées à proximité d'écosystèmes aquatiques qu'elles ont parallèlement contraints, canalisés ou même dévastés : aménagements de berges, drainages, poldérisation, artificialisation... L'accroissement de la population a aussi considérablement accentué

les pressions sur les sols hydromorphes. L'industrialisation et la mécanisation ont accéléré ces phénomènes.

La destruction de nombreux sols hydromorphes a bouleversé les écosystèmes associés. **De précieuses fonctionnalités naturelles ont été perdues, avec des pertes écologiques considérables sur les territoires environnants** : purification de l'eau, dénitrification, stockage de l'eau, infiltration progressive dans les sols, réservoirs de biodiversité, stockage de carbone... De très nombreuses espèces associées (végétations spécifiques, batraciens et reptiles...) ont été détruites.

Parallèlement, le changement climatique est source de modification de l'hydromorphie en altérant les régimes de précipitation des pluies (plus irrégulières, plus concentrées) ou en provoquant la montée du niveau de la mer.

Localisation en Normandie

Les sols hydromorphes sont encore assez présents en Normandie, même s'ils ont fortement été détruits. Très importants en zones estuariennes et de marais, ils se retrouvent naturellement dans les vallées fluviales, les lits majeurs des cours d'eau et dominent le Pays d'Auge et le Pays de Bray.

L'abondance des précipitations n'est pas systématiquement un critère de présence des sols hydromorphes. C'est pourquoi cette catégorie est très présente à la fois dans les espaces soumis aux influences maritimes (Cotentin, Bocages de Coutances et de Valognes) et aussi dans ceux situés en position d'abri vis à vis du relief (Haute vallée de la Dives, Pays d'Ouche).

Ces sols sont principalement localisés dans les grandes vallées fluviales normandes, sur les plateaux étroits et les rebords de plateau du Pays d'Auge Nord et Sud, sur les plateaux tabulaires du Pays d'Ouche, les parties encaissées du Pays de Bray et dans les Marais du Cotentin et du Bessin. Il est fréquent également de les observer à l'Ouest sur la zone de contact entre le Massif armoricain et le Bassin parisien, à la faveur des affleurements marneux.

L'estuaire de la Seine présente une grande variété de sols hydromorphes, qui reflète la diversité des milieux humides et aquatiques (eau douce, salée, saumâtre, eau courante ou stagnante, milieux marnants...) et des écosystèmes associés (roselières, vasières, cordons dunaires, milieux marins ou fluviaux...).



Patrick Galineau

Profil environnemental de Normandie - Les sols hydromorphes



Sandrine Hélicher/DREAL

Les autres types de sols référencés

Les facteurs participant à la formation des sols sont nombreux et interviennent à des degrés très variables. Dans certain cas, la classification des sols est localement complexe. Elle peut n'être pertinente qu'à petite échelle. L'étude de sols à plus grande échelle peut nécessiter de les regrouper par catégorie.

Les sols à forte charge en éléments grossiers

Les sols dont la fraction minérale se présente sous la forme de gros fragments et correspond à plus de la moitié du volume total sont identifiés comme « à forte charge en éléments grossiers ». Ces fragments peuvent faire quelques millimètres ou plusieurs dizaines de centimètres. Il s'agit de graviers, cailloux ou pierres. Cette fraction minérale peut venir directement de l'altération du matériau parental ou d'une accumulation après déplacement, notamment sous l'action de l'eau (accumulation en aval de matériaux érodés, ancien lit d'une rivière...).

Cette présence importante de gros éléments minéraux a des conséquences très variables sur les sols. Elles dépendent du type de matériau parental, de la densité des éléments et de leur granulométrie.

Définition

Certains sols sont composés d'une part majoritaire d'éléments minéraux sous forme de gros fragments (graviers, cailloux, pierres), issus de l'altération du matériau parental ou suite à une accumulation après déplacement. Ils sont référencés en tant que "**sols minéraux**" ou "**à forte charge en éléments grossiers**". Selon le type de minéral, on peut distinguer les rankosols, les lithosols, les régosols...

Sol à forte charge en élément grossier : peyrosol dans le Perche (61)

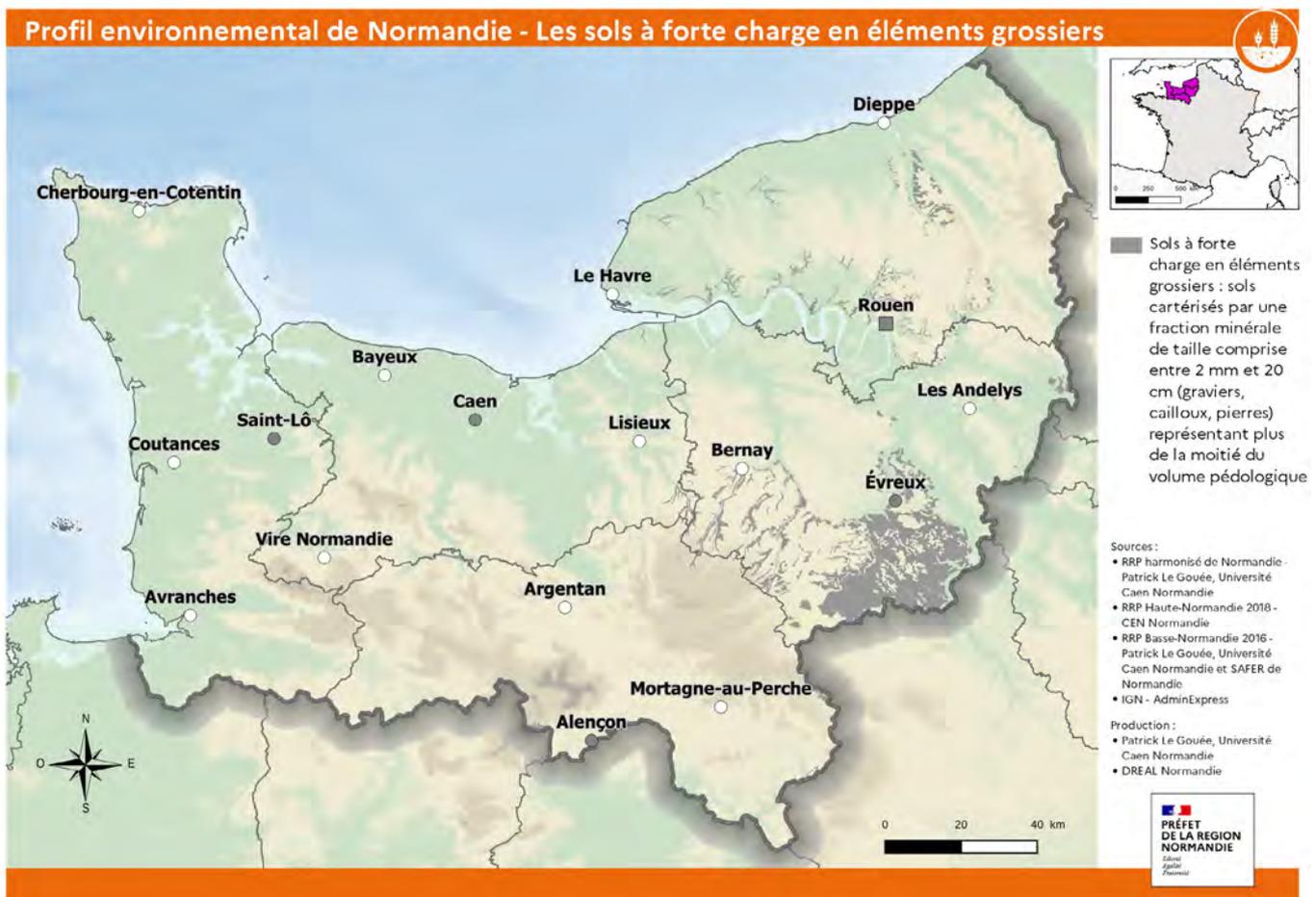


Patrick Le Gouée

Les autres facteurs de pédogénèse et les caractéristiques de la matière organique présente entrent également en compte. Ces variables influent sur les caractéristiques du sol (structure, texture...), ainsi que ses fonctionnalités (présence de nutriments pour les plantes, réserve utile en eau, propension à l'érosion). Les sols caillouteux disposent en général de moins de nutriments et retiennent moins l'eau, en raison du volume plus restreint occupé par la terre fine. Cependant, dans certains cas, la présence des éléments grossiers peut agir dans un sens favorable. Une étude locale approfondie est donc nécessaire.

Les sols à forte charge en éléments grossiers sont généralement considérés comme contraignants pour l'exploitation agricole. Les plantes sont susceptibles d'être entravées lors de la germination, voire endommagées. Les sols sont moins productifs. C'est surtout le cas pour les cultures annuelles. Pour les prairies ou les cultures de plantes ligneuses, les conséquences sont beaucoup plus variables et dépendent du contexte local.

Le référentiel régional pédologique identifie essentiellement les sols à forte charge en éléments grossiers dans le sud de l'Eure, notamment au niveau du Plateau de Saint-André. Certains versants de vallées de l'Eure et de la Seine-Maritime sont également fortement chargés en graviers ou cailloux : il s'agit notamment de colluvions transportées depuis les plateaux par l'érosion.



Les complexes de sols

Dans certains secteurs, les sols présentent des caractéristiques très variées sans logique spatiale claire. Il est difficile d'identifier un type dominant, sans occulter la présence notable d'autres sols. Les différents phénomènes de pédogénèse (carbonatation, hydromorphie...) coexistent, mais le phénomène dominant peut fortement varier à peu de distance et donner un sol différent. Là encore, une analyse spécifique est nécessaire localement pour comprendre les sols présents et leurs caractéristiques.

Le référentiel régional pédologique a repéré essentiellement des complexes de sols dans les départements de l'Eure et de la Seine-Maritime. Il s'agit de regroupement de sols variés. On en retrouve notamment dans la vallée de la Seine, qui a subi de profonds remaniements à travers le temps. Cette concentration dans l'ex-Haute-Normandie peut s'expliquer par des raisons méthodologiques, même si le référentiel a été harmonisé sur l'ensemble du territoire.

Définition

Certains sols sont qualifiés de **"complexes de sols"** lorsqu'une grande variété de types de sols coexistent localement, sans domination ni logique de répartition spatiale claires. L'échelle d'analyse doit alors être revue pour une compréhension plus fine de ces sols.

Complexe de sols à Camembert (14)



Patrick Le Gouée

Profil environnemental de Normandie - Les complexes de sols



② Les fonctions et services associés aux sols

L'estuaire de la Seine (Calvados et Seine-Maritime)



Fabrice Parais et Cyrille Bicorné / Equipe Drone / DREAL Normandie

Les sols assurent de nombreuses fonctions dans l'écosystème terrestre et rendent d'innombrables services aux activités humaines.

Plan du chapitre

- ▶ Fonctions ou services ?
- ▶ Les fonctions assurées par les sols
- ▶ Les services rendus par les sols

Rédacteurs



Sophie Raous (AFES), Marion Brosseau (ANBDD), Morgane Faure (ARS), Sandrine Hélicher (DREAL), Daisy de Lartigue (DREAL), Patrick Le Gouée (Université de Caen-Normandie), Hélène Malvache (DRAAF), Edouard Paillette (DRAAF), Nadine Tournaille (ANBDD)



Fonctions ou services ?

Références

ADEME. *Diagnostic de la qualité des sols agricoles et forestiers. Indicateurs de suivi et stratégies de déploiement.* 80 pages. 2019.



L'ADEME s'est appuyée sur un collectif de huit experts du Réseau National d'Expertise Scientifique et Technique sur les sols (RNEST) pour réaliser une revue de la littérature scientifique sur la définition des fonctions et services éco systémiques rendus par le sol¹ et faire un point sur le diagnostic de la qualité des sols agricoles et forestiers.

¹ Une revue de la littérature scientifique et technique internationale relative à la qualité « multifonctionnelle » des sols agricole, forestier et urbain a été réalisée tout au long de l'étude. Au total, plus de 200 articles et plus de 20 « grands » projets internationaux ont été consultés

Les **fonctions des sols** existent indépendamment de bénéficiaires identifiés, elles sont « *ce que fait le sol* » (Calvaruso et al., 2020). Elles sont le résultat des flux de matière, d'énergie, d'information dont le sol est l'interface. Les **services**, quant à eux, font explicitement référence à un bénéficiaire identifié. Cette distinction entre fonctions et services est largement reprise par de nombreux auteurs, même si, selon certains, les définitions ne sont pas encore complètement stabilisées.

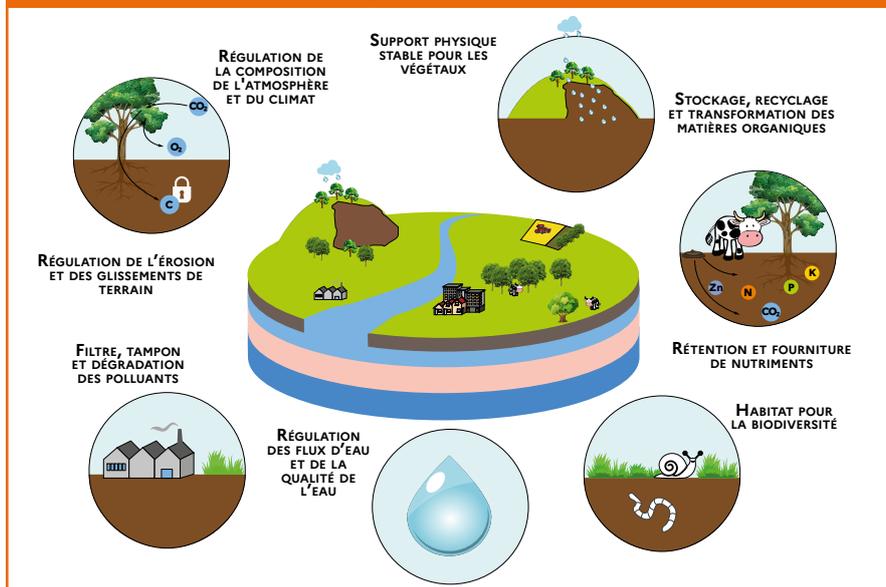
Les fonctions des sols

Un consensus international définit 7 grandes fonctions des sols :

- ▶ Stockage, recyclage et transformation des matières organiques ;
- ▶ Habitats pour la biodiversité ;
- ▶ Régulation de la composition de l'atmosphère et du climat ;
- ▶ Rétention et fourniture des nutriments pour les organismes du sol et les végétaux ;
- ▶ Filtre, tampon et dégradation des polluants ;
- ▶ Support physique stable pour les végétaux ;
- ▶ Rétention, circulation et infiltration de l'eau.

Les principales fonctions assurées par les sols

Source : Association française pour l'étude du sol



Les services rendus par les sols

Les services écosystémiques rendus par les sols peuvent être ainsi résumés :

- régulation du climat, des déchets, des effluents, des maladies et des ravageurs ;
- production de biomasse alimentaire et non alimentaire ;
- conservation du patrimoine.

Évaluer les fonctions et les services

L'évaluation des fonctions des sols et des services qu'ils nous rendent peut permettre aux acteurs :

- d'observer leur niveau de dégradation ;
- de définir les services qu'ils peuvent rendre et les moyens de les préserver ;
- d'adapter en conséquence les documents de planification ;
- d'intégrer les sols dans leurs projets d'aménagement.

Cette évaluation doit notamment porter sur :

- l'état du cycle de la matière organique (carbone actif, respiration du sol, activité bactérienne...);
- l'activité de recyclage et de transfert des nutriments ;
- le maintien de la structure du sol (susceptibilité à l'érosion : stabilité des agrégats...);
- l'accès et le transfert de l'eau (mesure des niveaux de nappes superficielles, de la conductivité hydraulique, de la réserve utile, test d'infiltration de l'eau...);
- la biodiversité.

Qualité ou santé des sols ?

La qualité d'un sol peut être définie comme sa capacité à « accomplir différentes fonctions ». Cette notion dominait dans les années 1990 et se focalisait presque exclusivement sur les aspects de fertilité physique et chimique.

La notion de santé des sols s'est développée dans les années 2000. La bonne santé des sols se traduit par leur capacité à maintenir un fonctionnement en tant que système vivant, permettant de maintenir sur le long terme l'ensemble de leurs fonctions, grâce à une diversité de processus et d'organismes impliqués (Kimblewhite et al. 2008).

La productivité de biomasse végétale doit être compatible avec le maintien à long terme des fonctionnalités écologiques de l'écosystème, naturel ou cultivé, ainsi que les processus associés :

- participation à la préservation des ressources naturelles que sont l'air, l'eau et la biodiversité dans leurs dimensions quantitatives et qualitatives ;
- préservation de la santé des plantes, des animaux et des humains en favorisant les processus physiologiques impliqués dans leurs systèmes d'autodéfense.

Tomates en permaculture



Sandrine Hélicher



Les fonctions assurées par les sols

Définitions

La réserve utile (RU)

correspond à la fraction de la réserve qui est exploitable par la plante, c'est-à-dire la fraction accessible par les racines et absorbable par leur succion. Elle est exprimée en millimètres.

Le bilan hydrique permet de calculer la quantité d'eau présente dans le sol. C'est un bon indicateur pour évaluer les ressources disponibles pour les cultures.

Pour en savoir +

Les eaux vertes regroupent les eaux de pluies stockées temporairement dans le sol sous forme d'humidité. Elles peuvent être prélevées par les plantes et retournent à l'atmosphère par évaporation ou par transpiration de la plante.

Les eaux bleues

correspondent à l'ensemble des eaux douces de surface et souterraines. Une partie est captée pour les usages domestiques et agricoles (irrigation, élevage).

Source : INRAe

Les différentes fonctions assurées par les sols peuvent être ainsi résumées :

- réservoir ;
- régulation ;
- décomposition de matière organique ;
- dégradation des polluants ;
- épuration et filtration ;
- structuration.

Un réservoir d'eau et de nutriments

Les sols sont un réservoir d'eau et de nutriments indispensables à la vie.

Un réservoir d'eau

Un sol peut stocker de l'eau qui est mise à disposition des plantes (*flux d'eaux vertes*), ou transférée vers des nappes d'eau souterraine ou des cours d'eau (*flux d'eaux bleues*).

Le sol stocke des volumes d'eau considérables en automne et en hiver, permettant ainsi la survie de végétaux en période sèche. Certaines zones humides peuvent ainsi stocker jusqu'à 15 000 m³ d'eau par hectare (Convention de Ramsar, 2001). Les premières pluies de l'automne servent à reconstituer la réserve. L'eau peut ensuite s'infiltrer en direction des nappes d'eau souterraine.

L'eau nécessaire à la plante est directement prélevée par les racines dans la réserve utile des sols. Cette consommation d'eau sert à la transpiration, fonction biologique permettant à la fois le refroidissement et la croissance du végétal. La croissance s'effectue en faisant circuler la sève et les nutriments jusqu'aux feuilles.

Un réservoir de nutriments

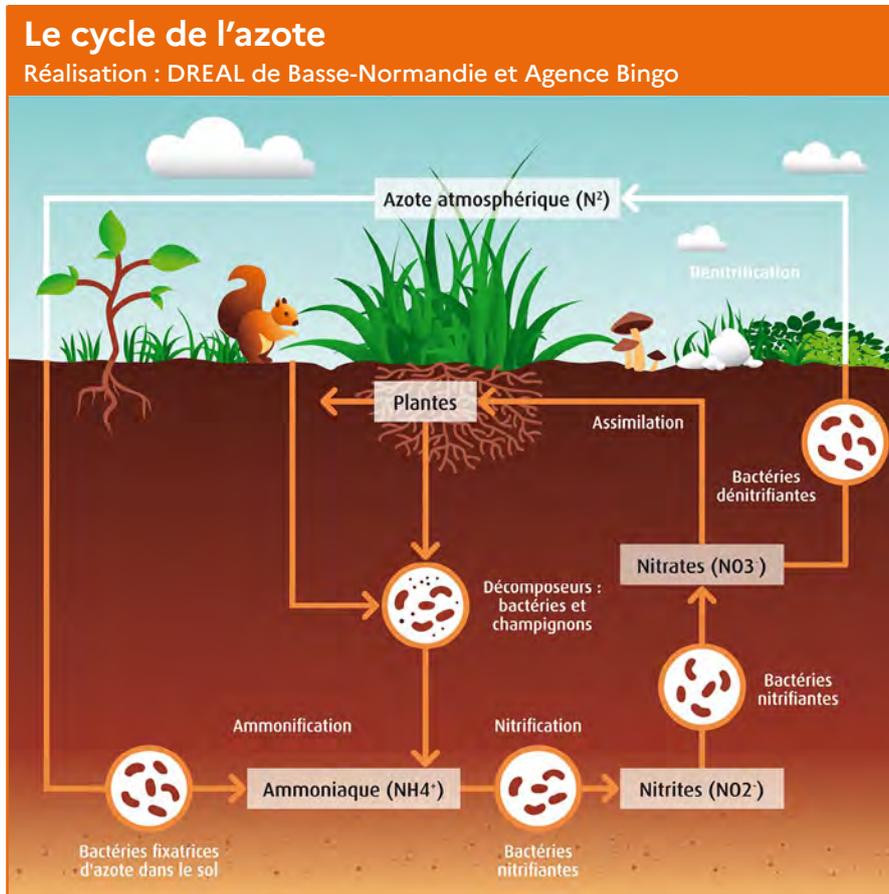
Le sol constitue un réservoir de nutriment important pour la biodiversité. Ses éléments nutritifs sont indispensables au développement des organismes et au maintien des chaînes alimentaires des écosystèmes. Les trois éléments nutritifs majeurs du sol sont :

- l'azote ;
- le phosphore ;
- le potassium.

Leur présence dépend de mécanismes complexes liés à la constitution du sol (cf. partie 1).

L'azote

L'azote est prélevé par les racines sous forme ammoniacale ou nitrique. Sa présence dépend de mécanismes complexes réalisés par les micro-organismes (cf. schéma ci-dessous). L'importance de l'azote assimilable par les végétaux est liée au processus de minéralisation des composés organiques.



Le phosphore

Le phosphore est un élément présent à l'état naturel et très utile à la croissance des cultures, des plantes et des algues.

Dans les écosystèmes terrestres, il se trouve à la surface du sol ou en profondeur. Seul le phosphore en solution dans l'eau peut être assimilé par les racines. Le phosphore peut être soit minéral, soit organique. La teneur en phosphore assimilable dans le sol et son évolution sont fortement conditionnées par :

- le contexte géologique local ;
- l'export par les cultures ;
- et les pratiques de fertilisation, qu'elle soit minérale ou organique.

Le potassium

A la différence de l'azote et du phosphore, le potassium n'est pas présent dans les matières organiques du sol. Constituant de minéraux comme les micas, il provient à l'état naturel de l'altération des roches.

Dans les régions de culture, sa présence est due à la pratique d'une fertilisation permanente sous forme :

- d'engrais simple ;
- de mélange avec d'autres fertilisants ;
- ou d'effluents d'élevage (dans ce cas, le potassium est contenu dans les urines).

Une fonction de régulation

Les sols constituent une interface entre plusieurs composantes de l'environnement. Dans ce cadre, ils participent à de nombreux processus de régulation concernant :

- la qualité de l'air ;
- l'absorption des polluants atmosphériques gazeux et particulaires ;
- les flux aquatiques ;
- les gaz à effet de serre ;
- la biodiversité ;
- les déchets et effluents.

La régulation des écoulements aquatiques et le stockage de carbone dans les sols sont deux mécanismes particulièrement représentatifs.

Les fonctions de régulation des flux aquatiques permettent notamment :

- le stockage et la restitution de l'eau aux cultures ;
- la modération des inondations et des crues ;
- la recharge des nappes d'eau souterraine ;
- la gestion des eaux pluviales urbaines...

La circulation de l'eau dans un sol dépend de sa porosité et de sa structure (connectivité entre les pores...). L'importance de la biodiversité du sol participe à améliorer les possibilités de stockage et de mise à disposition de l'eau, grâce à ses fonctions d'aération. En cas de pluies importantes et intenses, une structure aérée contribue à ralentir les écoulements et à retenir l'eau mise à disposition pour les végétaux.

Le sol joue aussi un rôle de puits ou d'émetteur de carbone, ce qui contribue à la régulation de ce gaz à effet de serre, et donc à l'atténuation ou à l'accroissement du changement climatique.. L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre le volume des apports végétaux au sol et la vitesse de minéralisation. Certains changements d'usage ou de pratiques agricoles favorisent le stockage de carbone dans les sols, comme la conversion des cultures en prairies ou en forêts. Au contraire, la mise en culture des prairies ou des forêts entraîne une diminution du stock de carbone. A l'échelle régionale, les sols des plaines céréalières sont celles qui stockent le moins de carbone.

La décomposition de la matière organique

Dans le sol, la matière organique (feuilles mortes, cadavres d'animaux...) se décompose progressivement en substances minérales grâce aux décomposeurs aux bactéries, champignons et à la micro-faune. Leur rôle est essentiel car ils permettent aux végétaux de se procurer les sels minéraux dont ils ont besoin (cf. partie 1).

Un processus de transformation de la matière

Les débris animaux et végétaux qui arrivent au sol subissent un ensemble de transformations du fait de l'activité biologique et de l'environnement physique. Cette séquence de transformations est nommée « décomposition ». C'est une série de réactions chimiques qui aboutit à la transformation des composés organiques en composés minéraux simples.

La décomposition de la matière organique est une réaction d'oxydation par les micro-organismes du sol qui produit du CO₂, de l'eau, et de l'énergie.

Quand la matière organique est intégrée au sol, il y a 3 réactions principales :

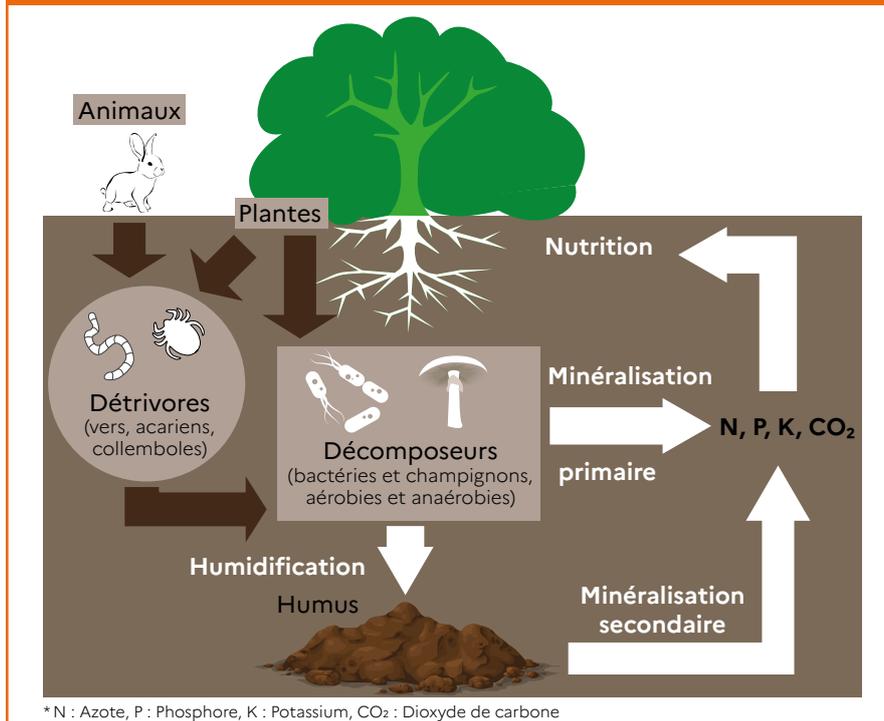
- la décomposition de la matière avec la production de CO₂ ;
- la minéralisation lors de laquelle les plantes absorbent des éléments nutritifs du sol sous forme « minérale » et les transforment en molécules « organiques » (cellulose, lignine, fleurs...);
- le stade final est l'humification avec la production de molécules complexes appelées « humus ». L'humus s'attache aux argiles pour former le « complexe argilo-humique. »

Le rôle de la microflore du sol

Les bactéries participent au processus de minéralisation qui transforme les matières organiques en minéraux assimilables par la plante. Ces minéraux sont dissous dans l'eau du sol. Plus le compost est riche en azote, plus ce processus est important. Pour que cette transformation ait lieu, il faut également un sol vivant, aéré et humide. La température et le pH du sol ont aussi un impact sur la vitesse de cette minéralisation.

Le cycle de la matière organique (minéralisation et humification)

Réalisation : DREAL Normandie - Source : Wikimedia Commons



Le rôle de la pédofaune du sol

La faune du sol contribue à l'enfouissement de la matière organique, à sa fragmentation et à son assimilation. Elle seconde en cela les micro-organismes dont le rôle principal est de la décomposer.

Les vers de terre, les cloportes, les coléoptères se positionnent au sommet de la chaîne. Leur travail d'enfouissement et de fragmentation est complété par celui des myriapodes, puis des collemboles et des acariens. En bout de chaîne, la matière organique, suffisamment fragmentée, s'offre à l'attaque des champignons et des bactéries. Seuls ces deux derniers ont la capacité de digérer certains composés organiques (ce sont les décomposeurs).

Les décomposeurs vivent souvent en dormance en attendant d'une part que les conditions (température, hygrométrie) leur soient favorables, d'autre part que la pédofaune les mette en relation avec leur nourriture.

Repères

Un gramme de sol contient un milliard de bactéries (un million d'espèces différentes), entre 1 000 et 10 000 espèces de champignons et environ un millier d'autres espèces d'eucaryotes unicellulaires.

La dégradation des polluants

Les sols sont les récepteurs de nombreuses pollutions. Celles-ci proviennent principalement de trois ensembles d'activités :

- industrielles (production d'énergie, métallurgie, industries chimiques...);
- urbaines (transports, gestion et traitement des déchets...);
- et agricoles (surplus de fertilisation, pesticides..).

Grâce aux organismes qui les composent et à l'action des plantes, les sols ont la capacité de dégrader certains polluants. Cependant, cette capacité est limitée. Elle repose sur un optimum de fonctionnement lié à ses qualités biologiques et chimiques. D'autres phénomènes sont aussi à l'origine de la stabilisation des polluants sous forme de résidus non extractibles appelés couramment "résidus liés". C'est ainsi que l'épuration peut être favorisée par le stockage des polluants.

L'impact de l'accumulation de polluants et de leur intégration dans les écosystèmes n'est pas sans conséquences environnementales et sanitaires.

Le comportement d'un sol conditionne la perception des pollutions, qui peuvent être détectées à travers la qualité des eaux prélevées ou de son intégration dans des denrées alimentaires.

Dans le cadre de pollutions, les sols sont soumis à différents processus :

- la rétention des polluants ;
- leur stabilisation ;
- leur transformation ;
- et les phénomènes de transfert.

Des interrogations restent néanmoins posées sur l'éventuelle libération des polluants ainsi stockés et sur les conséquences de leur accumulation à long terme.

Pour en savoir +

Association française pour l'étude des sols (AFES).
E. Barriuso, R. Calvet, M. Schiavon et G. Soulas. Forum « **Le sol, un patrimoine menacé ?** ». **Les pesticides et les polluants organiques des sols. Transformation et dissipation**. 18 pages. 1996.

L'épuration et la filtration

La capacité de filtration du sol permet notamment l'amélioration de la qualité de l'eau présente dans les cours d'eau et les nappes souterraines. Les micro-organismes et les autres composés du sol contribuent à la dégradation des produits épandus, solides ou liquides, minéraux ou organiques.

Les capacités de filtration d'un sol dépendent notamment :

- de ses caractéristiques propres (nature, propriétés physiques, propriétés chimiques...);
- et du climat (intensité des pluies...).

La capacité de **filtration mécanique** (fonction de tamis) du sol lui permet de retenir les particules d'impureté et de pollution fines voire très fines (<0,2 microns) des eaux issues des précipitations. Certains sols peuvent même filtrer de très fines particules (< 0,2 µm). La fonction de filtre physique du sol est affectée par la compaction et l'érosion.

Les sols assurent également une fonction de **filtre chimique** avec le stockage de substances provenant de gaz ou de liquides à leur surface (adsorption). Les substances dissoutes sont ainsi liées à des particules d'argile ou d'humus. La fonction de filtre chimique du sol peut être altérée par de nombreux facteurs : pollution de l'air, précipitations et dépôt de poussières, engrais, déchets, pesticides...

Les sols permettent aussi une **filtration biologique** avec la dégradation microbienne des polluants organiques (huiles usagées...) par l'intermédiaire de micro-organismes, de champignons ou de petits organismes vivants. La fonction de filtre biologique du sol peut être altérée par des organismes génétiquement modifiés ou par des organismes vivants pathogènes ou qui sont étrangers au lieu et invasifs.

Cette capacité de filtration naturelle se régénère d'elle-même si la structure du sol reste intacte et si les éléments qui la dégradent n'augmentent pas.

De nombreux paramètres entrent en jeu (sols, précipitations, irrigations, pollutions...) dans le processus de filtration. Il est dès lors particulièrement compliqué de modéliser précisément les phénomènes de dispersions de pollutions dans les sols et en direction des nappes et des cours d'eau.

La structuration

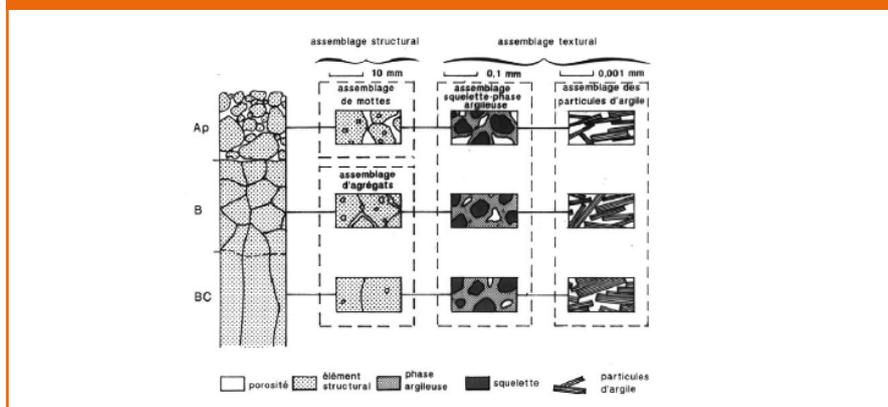
La structure des sols, un élément clé

La structure du sol représente l'organisation des éléments solides, liquides et gazeux, discernables à une certaine échelle, sans que ces éléments soient pour autant homogènes dans leur constitution.

Elle conditionne ses capacités de stockage et de filtration pour l'ensemble des éléments qui y transitent (eau, particules physiques constitutives du sol, éléments fertilisants, éléments contaminants).

Les différents niveaux d'organisation du sol. Concepts de porosité structurale et de porosité texturale

Source : Bruand and Tessier, 1996



Elle détermine la pénétrabilité des racines et donc la constitution de la biomasse végétale, car elle contribue directement et indirectement à la germination, à l'émergence des plantules, puis à la croissance et au développement racinaire tout au long du cycle végétatif.

La structure du sol est ainsi reconnue comme un indicateur écologique fondamental de l'état du sol et contribue à sa santé et à sa qualité (Andrews *et al.*, 2004). Elle détermine également les caractéristiques du support physique de la vie animale, en particulier pour la faune dont elle constitue l'habitat.

Définitions

Un **agrégat** est un agglomérat de particules dont la cohésion interne est assurée par les argiles, le fer, les matières organiques et l'eau. Un agrégat est le résultat de l'organisation naturelle des constituants solides du sol.

Opérationnellement, cette définition se décline à l'échelle de l'horizon du sol en deux niveaux :

- le **réseau poreux structural**, qui résulte de l'ensemble des contraintes appliquées sur le sol,
- le **réseau poreux textural**, qui résulte de l'assemblage des particules constitutives du sol telles que les sables, limons, argiles et composantes de la matière organique.

La porosité texturale est en général inférieure à la centaine de microns, tandis que la porosité structurale est plus macroscopique, mais les deux réseaux poreux sont naturellement imbriqués l'un dans l'autre, et des pores d'une centaine de microns peuvent être, selon les cas, des pores structuraux ou des pores texturaux.

Une organisation évolutive

La structure du sol évolue en permanence sous l'effet de facteurs qui créent des vides ou qui les font disparaître. Leurs conséquences peuvent se faire sentir :

- de façon brutale et instantanée ► tassement ou fragmentation de l'horizon de surface par les activités culturales ;
- à très court terme ► développement de croûtes de battance en quelques heures sous l'effet de pluies ;
- à moyen terme ► fissuration saisonnière ou annuelle due à des alternances d'humectation/dessiccation (deshydratation), perforation par la macrofaune, croissance des racines...
- à très long terme ► effet du climat ou de la mise en culture sur la pédogenèse.

Les principaux facteurs de structuration

Plusieurs facteurs impactent la structuration du sol.

Les facteurs favorables à une bonne structuration du sol sont notamment :

- des teneurs équilibrées en argiles et en humus, riches en acides humiques ;
- la présence de calcium ;
- des teneurs suffisantes en oxydes de fer et d'aluminium ;
- la présence de vers de terre (surtout les espèces fousseuses) jouant un rôle primordial dans la formation des complexes argilo-humiques.

Les principaux facteurs défavorables à une bonne structuration du sol sont les suivants :

- le tassement et la compaction par passage des engins lourds ;
- l'action mécanique des pluies ;
- l'altération des ciments colloïdaux (fins).



Les services rendus par les sols

Les services d'approvisionnement

Des services généraux indispensables aux activités humaines

Les services d'approvisionnement regroupent l'ensemble des productions issues des sols :

- support physique d'évolution pour les humains, la faune et la flore ;
- produits destinés à l'alimentation humaine et aux animaux ;
- bois issus des forêts pour le bâtiment ou l'énergie ;
- fibres destinées à produire les textiles (coton, lin...) ;
- matériaux bruts extraits pour servir de support horticole (tourbe, argile) ou de matériaux de construction (bauge, brique en terre) ;
- ressource génétique issue de la biodiversité interne au sol permettant de réaliser des produits biochimiques et pharmaceutiques.

L'importance de ces services assurés par les sols est considérable. Plus de 90 % des besoins nutritionnels de la population humaine (97 % des calories et 93 % des protéines) sont couverts par des produits végétaux ou animaux fournis directement ou indirectement par les sols (source : cf. encadré).

Pour en savoir +

Christian Walter, Antonio Bispo, Claire Chenu, Alexandra Langlais, Christophe Schwarz. **Les services écosystémiques des sols. Du concept à sa valorisation.** Cahiers Demeter pp. 53-68. 2015.

<https://shs.hal.science/halshs-01137484/document>

Evaluation à l'échelle mondiale de différents types de services d'approvisionnement dépendant des sols via l'agriculture, la production forestière ou l'extraction directe de matériaux du sol

Source : Christian Walter, Antonio Bispo, Claire Chenu, Alexandra Langlais, Christophe Schwarz. Les services écosystémiques des sols. Du concept à sa valorisation. Cahiers Demeter

Services	Surfaces dédiées (millions ha)	Produits	Types de productions liées au sol	Productions liées au sol	Part dans la production totale (%)
Alimentation Humaine *	1 500 (cultures) + 3 300 (prairies)	Énergie	Végétaux Animaux	2 400 kcal/hab/j 400 kcal/hab/j	84 14
		Protéines	Végétaux Animaux	45 g/hab/j 29 g/hab/j	56 37
Fibres textiles *	36 (cultures)	Fibres naturelles	(coton, lin, ...) Animaux (laine, soie)	30 Mt 2,3 Mt	48 4
Énergie **	4 000 (Forêt) + 3 (Plantations) + 40 (cultures énergétiques)	Chauffage	Bois	104 Mtep	18 % (1)
		Carburants	Biocarburants	0,2 Mtep	3 % (2)
		Électricité	Biomasse	28 Mtep	2 % (3)
Matériaux ***	1 500 (forêts exploitées) 8 (tourbières exploitées)	Construction	Bois	1 650 Mm ³	
		Support horticole	Tourbe	11 000 t	

(1) en % de l'énergie dédiée au chauffage ; (2) en % de la production de carburants ; (3) en % de la production d'électricité

Sources :

*FAO statistical yearbooks : world food and agriculture, 2013 ; The state of world fisheries and aquaculture

** IEA, World Energy Outlook, 2013

***FAO State of the World's Forests 2014 ; USGS Mineral resource program, Index Mundi, 2014

“
La production agricole représente 6 milliards d'euros en 2021
 ”

Chiffres clés

L'agriculture en Normandie

- 26 510 exploitations agricoles, d'une taille moyenne de 74 hectares,
- 34 006 exploitants agricoles et coexploitants,
- une production agricole totale (hors subventions) proche de 6 milliards d'euros en 2021 (source : Agreste, Comptes régionaux de l'agriculture).

Source : Agreste - Recensement agricole (RA) 2020 et Comptes régionaux de l'agriculture

Des données complémentaires sont disponibles sur le site internet de la DRAAF Normandie : <https://draaf.normandie.agriculture.gouv.fr>

Pour en savoir +

Agreste Normandie. **Atlas agricole de Normandie**. 15 pages. 2018.



<https://www.prefectures-regions.gouv.fr>

L'agriculture

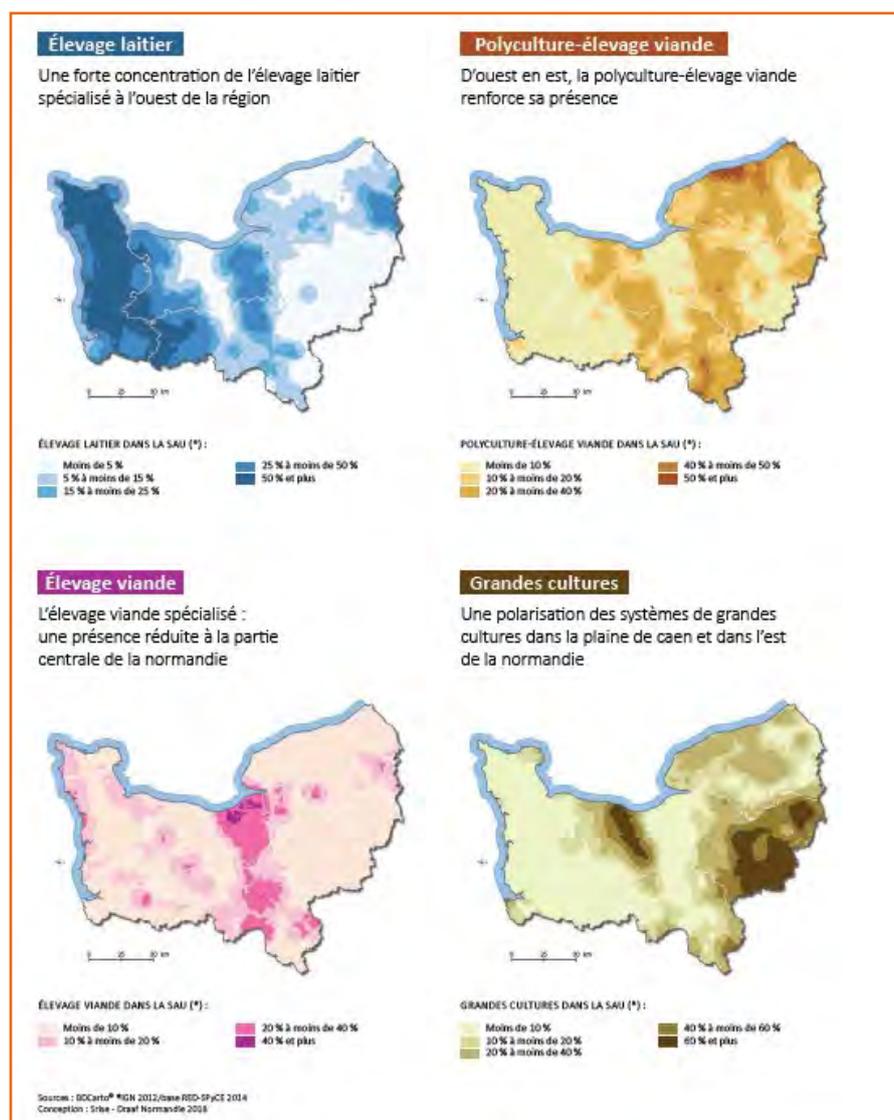
Plus de 68 % de la surface régionale est consacrée à la production agricole, ce qui témoigne de la grande présence de l'agriculture en Normandie (source : OSCOM). Le blé et le maïs fourrage prédominent largement. Les cheptels de bovins et d'équidés sont également importants.

Cinq systèmes agricoles majeurs cohabitent en Normandie :

- l'élevage laitier spécialisé ;
- la polyculture-élevage laitière, qui associe production de lait et cultures de vente ;
- l'élevage viande spécialisé ;
- la polyculture-élevage viande
- et les grandes cultures.

La Normandie est la 1^{re} région française productrice

- de fromages au lait de vache,
- de beurre, de crème,
- de pommes à cidre et de produits cidricoles,
- de lin textile,
- de poireaux.



Cartes en cours de réalisation selon charte graphique

La Normandie représente 11 % de la production de blé français, avec 4 millions de tonnes de blé tendre. Plus de la moitié du blé normand est exportée, le reste est transformé en farine pour l'alimentation humaine ou animale, en éthanol, décomposé en amidon ou en gluten (source : statistique agricole annuelle 2022). La région se distingue également par le développement des plantes à fibres nationales. Depuis 2010, la surface en lin augmente en moyenne de 3 300 hectares par an. Après teillage textile, la majorité des fibres sont expédiées en Chine pour tissage (source : Statistique agricole annuelle 2022).

L'urbanisation

L'urbanisation consiste en l'aménagement d'espaces collectifs et individuels avec imperméabilisation de surfaces naturelles. En 2023, la surface de territoires urbanisés est évaluée à 9,2 % (Source DRAAF). Alors que les territoires agricoles ont 26 984 ha, les territoires urbanisés se sont étendus de 29 288 ha, ce qui représente une augmentation de 11,8 %.

Les voiries, au-delà de la consommation d'espace qu'elles entraînent, participent largement à la fragmentation des milieux naturels et contribuent à la pollution chimique des sols (gaz d'échappement des véhicules, matériaux utilisés pour leur construction...).

Les productions industrielles : l'exemple de la tourbe

Les sols fournissent également à l'industrie des ressources pour certains matériaux. Leur exploitation a parfois eu des conséquences néfastes en particulier pour ce qui concerne les tourbières qui ont été exploitées pour le chauffage domestique par le passé et plus récemment par l'industrie en Normandie. L'usage de la tourbe a évolué de la production de briquettes pour le chauffage domestique à l'alimentation de chaudières, puis à la production de tourbe à usage horticole.

Tourbière de Baupte (Manche)



Cyrille Bicorné et Fabrice Parais / Equipe Drone / DREAL Normandie

Chiffres clés

L'occupation des sols en Normandie, en 2023

- 68,1 % de territoires agricoles (2 418 800 ha)
- 9,2 % de territoires artificialisés (187 400 ha)

Source : OSCOM, DRAAF Normandie

Pour en savoir +

L'Observatoire des Sols à l'échelle COMMUNALE (OSCOM)

est un outil de mesure de l'évolution de l'occupation des sols par commune en Normandie. Il permet d'évaluer plus particulièrement, la perte du foncier agricole et l'artificialisation des sols.



www.draaf.normandie.agriculture.gouv.fr/observatoire-des-sols-a-l-echelle-communale-oscom-a4100.html

Le rôle des sols face au changement climatique

Dans le contexte du changement climatique, les sols jouent un rôle essentiel, non seulement en permettant le stockage de carbone (*levier d'atténuation*), mais aussi en développant notre capacité de résilience (*levier d'adaptation*).

L'atténuation du changement climatique grâce aux sols

Les sols ont un rôle majeur dans les cycles de l'azote et du carbone. Ils échangent en permanence avec l'atmosphère des gaz à effet de serre qui ont un impact sur le changement climatique :

- le dioxyde de carbone (CO₂), impliqué dans la photosynthèse et la respiration ;
- le méthane (CH₄), provenant notamment des élevages ;
- et le protoxyde d'azote (N₂O), produit par la transformation des engrais ou des déjections animales.

L'agriculture est un levier important pour lutter contre le réchauffement climatique, qu'il s'agisse de réduire les émissions de gaz à effet de serre ou d'en améliorer le bilan net en stockant, par exemple, plus de carbone dans les sols.

L'adaptation au changement climatique par la préservation et la restauration des sols

Dans le contexte actuel d'évolution climatique, avec l'élévation des températures moyennes, l'augmentation des périodes de sécheresses et des pluies intenses, les sols peuvent contribuer à améliorer notre capacité d'adaptation.

De manière générale, ils ont une capacité :

- à stocker de l'eau et à la restituer pour alimenter les plantes, c'est ce qu'on appelle « l'eau verte » ;
- à recharger les nappes phréatiques et les cours d'eau, c'est ce qu'on appelle « l'eau bleue ».

La nature du sol influence à la fois :

- ses capacités de rétention de l'eau et d'infiltration en cas de fortes pluies ;
- ses capacités à restituer aux écosystèmes de l'eau pour l'alimentation des végétaux et des animaux, lors de grandes chaleurs.

Accumulation de terre érodée en bas de parcelle en recouvrement du semis de blé



Patrick Le Gouée

Le réservoir en eau accessible à la plante est « le réservoir utilisable », « la réserve utile en eau » du sol. Il est intrinsèquement lié à sa nature et au couvert végétal qui lui est associé (prairie, forêt, culture...). La caractérisation de ce réservoir, très variable dans l'espace et le temps, est déterminante pour :

- comprendre les interactions entre les cultures et leur environnement ;
- optimiser la gestion de l'eau par l'irrigation ;
- choisir de nouvelles cultures, ou de nouvelles successions culturales.

Au-delà des applications agricoles, cette donnée est aussi utilisée dans des applications hydrologiques, par exemple pour simuler les régimes des cours d'eau, les crues ou les étiages.

En milieu urbain, la préservation ou la restauration de sols naturels sont essentielles pour pouvoir s'adapter au changement climatique. Contrairement aux surfaces imperméabilisées, les sols naturels permettent en particulier le rafraîchissement de l'atmosphère lors de grandes chaleurs et la rétention d'eau en cas de fortes pluies.

Sol forestier à Mesnils-sur-Iton (Eure)



Frédéric Gresselin

③ Les dégradations

subies par les sols



Plan du chapitre

- ▶ Préambule : les dégradations subies par les sols
- ▶ L'érosion
- ▶ Les contaminations
- ▶ L'artificialisation et l'imperméabilisation
- ▶ La baisse de biodiversité
- ▶ La baisse des matières organiques
- ▶ Les glissements de terrain et chûtes de bloc
- ▶ Les tassements différentiels

Rédacteurs



Clément Blaise-Duhaut (Conservatoire d'espaces naturels), Nathalie Desruelles (DREAL), Jean-Claude Estienne (Autorité de sûreté nucléaire), Guylaine Gauthier (DREAL), Emmanuel Goujon (DREAL), Frédéric Gresselin (DREAL), Patrick Le Gouée (Université de Caen-Normandie), Sandrine Héricher (DREAL), Florence Leblond-Viennot (DREAL), Ilona Marlin-Païni (DREAL), Sophie Raous (AFES), Laurent Troude (DREAL)

Préambule

Pour en savoir +

Afin d'expliquer les différents types de risques présents sur le territoire, la DREAL Normandie a piloté la réalisation de **vidéos pédagogiques**.



Ces vidéos sont accessibles sur le site :

<https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr>

Les sols sont actuellement affectés par différents processus qui altèrent toutes ou parties de leurs fonctions. Ces dégradations ont des impacts majeurs sur les activités humaines et sur la santé publique. A l'échelle européenne, neuf phénomènes de dégradation des sols ont été identifiés :

- l'érosion hydrique ou éolienne et les glissements de terrain ;
- l'artificialisation qui altère le sol par imperméabilisation, pollution, ou tassement ;
- l'acidification qui réduit l'assimilation des nutriments par les plantes ;
- le tassement qui impacte sa fertilité et sa capacité épuratoire ou de stockage de l'eau et plus largement l'ensemble de son fonctionnement ;
- la contamination / pollution des sols avec la présence de composés chimiques organiques ou minéraux (métaux lourds) potentiellement dangereux pour la santé des plantes ou des animaux à des concentrations anormales ;
- les carences, excès et déséquilibres en éléments nutritifs ;
- la perte de matière organique qui entraîne une baisse de la fertilité des sols, une augmentation de la sensibilité à l'érosion, un renforcement de la sensibilité au tassement ainsi qu'une perte de biodiversité ;
- le déclin de la biodiversité ;
- la salinisation et l'alcalinisation qui réduisent considérablement la productivité agricole.

Principaux phénomènes de dégradation des sols

Illustration par T. FUNGENZI -

Journée Mondiale des Sols 2022 : dégradations des sols : quels enjeux actuels et futurs ?



Les données recueillies pour cette publication ont permis de développer sept dégradations majeures en Normandie :

- l'érosion ;
- les contaminations ;
- l'artificialisation et l'imperméabilisation ;
- la baisse de biodiversité ;
- la diminution des matières organiques ;
- les glissements de terrain et chutes de blocs ;
- les tassements.

Parce qu'ils sont à la base du bon fonctionnement de tous les écosystèmes terrestres, les sols en bonne santé soutiennent de nombreux secteurs de l'économie. Leur dégradation coûte plusieurs dizaines de milliards d'euros chaque année à l'échelle européenne.

L'érosion

Différentes formes d'érosion des sols



Patrick Le Gouée

Définition

L'érosion est considérée comme la principale menace pesant sur les sols à l'échelle européenne. C'est un processus par lequel la couche superficielle du sol disparaît sous l'effet de plusieurs contraintes. Elle peut être d'origine naturelle ou liée à l'activité humaine :

- écoulement de l'eau ;
- vent ;
- gravité ;
- travail du sol.

Même lorsqu'il s'agit d'un processus naturel, l'érosion des sols est souvent accélérée par l'activité humaine avec les modifications du couvert végétal, l'organisation du parcellaire...

L'érosion hydrique, liée à la pluie et au ruissellement, est considérée comme la plus préoccupante. Elle est aussi loin d'être négligeable en France et en Normandie. Elle est liée à différents facteurs, plus ou moins accentués selon les caractéristiques des sols. Elle a par ailleurs des impacts très importants sur la production agricole.

Les différentes formes d'érosion des sols

Différentes formes d'érosion des sols sont identifiées en Normandie. Elles sont identifiables à travers plusieurs phénomènes, notamment :

- la formation de rigoles et de ravines par ruissellements concentrés ;
- la diminution de l'épaisseur du sol, voire sa disparition ;
- l'accumulation de dépôts en bas de versants.
- l'imperméabilité du matériau parental.

Elles sont plus ou moins marquées selon :

- le matériau parental (argiles...);
- l'état des sols > structure, végétation présente...
- la topographie > présence de pentes...
- les activités humaines > implantation ou suppression de haies, cultures ou intercultures...
- la climatologie et les phénomènes météorologiques > agressivité des pluies...

La formation de croûtes de battance

La battance est un phénomène par lequel les premiers millimètres du sol se désagrègent sous l'action des pluies. Les gouttes d'eau fragmentent les agrégats et les éléments très fins comblent les pores du sol, ce qui crée une croûte qui limite les possibilités d'infiltration de l'eau et favorise l'accumulation de l'eau en surface et le ruissellement. La battance concerne notamment les sols riches en limons caractérisés par une faible stabilité des agrégats de surface, dès lors qu'ils sont peu ou pas protégés par un couvert végétal.

Sur cette surface battue, des pluies, même de faible intensité, peuvent générer rapidement l'apparition d'un ruissellement important. Il peut se déclencher aussi sur des pentes très faibles. Il occasionne alors une érosion diffuse. Elle s'exprime généralement par des accumulations de quelques centimètres d'épaisseur dans le bas des parcelles. Dans certains cas, il est possible de limiter ou de différer le phénomène par des cultures intermédiaires (culture dérobée...), par des chaumes, par une culture d'hiver ou du labour en période d'intercultures.

Le ruissellement

Lorsque les sols sont caractérisés par une fraction limoneuse assez importante et par une faible épaisseur (<30 cm), l'apparition du ruissellement est à la fois provoquée par l'installation partielle d'une croûte de battance et par la saturation du sol en eau liée à sa faible épaisseur.

Le ruissellement nécessite que les pluies soient abondantes dans le temps pour entraîner un état de saturation prolongé.

Sur pente assez faible (2-5 %), le ruissellement occasionne la formation de griffures et de rigoles avec la formation de dépôts importants. La présence dans ces dépôts d'une charge caillouteuse de taille millimétrique à centimétrique souligne l'importance du ruissellement.

Les sols en relative instabilité structurale et en faible capacité de stockage sont confrontés à la formation d'un ruissellement très important, exacerbé par des pentes modérées lors des épisodes orageux. La fin du printemps et la période estivale sont les périodes les plus propices. En effet, les fortes pluies qui s'abattent en quelques heures rencontrent des sols non ou peu couverts par la végétation (avant les semis de printemps et après la moisson).

Des plaques entières peuvent être ainsi arrachées formant de véritables cicatrices dans la topographie. En l'absence de barrières hydrologiques, le ruissellement des surfaces émettrices s'organise à l'échelle du bassin versant et se transforme en crue turbide provoquant des dégâts matériels importants dans les secteurs situés en aval. Lorsque les sols sont peu épais et qu'ils reposent sur une couche argileuse, le ruissellement est accentué. La capacité d'infiltration des

Monocultures



Nadège Basset

couches sous-jacentes est en effet très limitée. Les sols se saturent ainsi rapidement en périodes automnale et hivernale.

L'absence de pente significative peut assurer durablement le maintien de cet état hydrique. La mise en place d'une croûte de battance partielle réduit les possibilités d'infiltration des pluies. L'arrivée de nouvelles pluies s'accompagne de la mise en place rapide d'un ruissellement diffus, même lorsque la pente est à peine perceptible. De faibles modifications de la topographie peuvent suffire à rendre le ruissellement beaucoup plus spectaculaire. Il forme alors un chenal très turbide qui peut facilement franchir les barrières hydrologiques et provoquer des inondations qui peuvent être importantes.

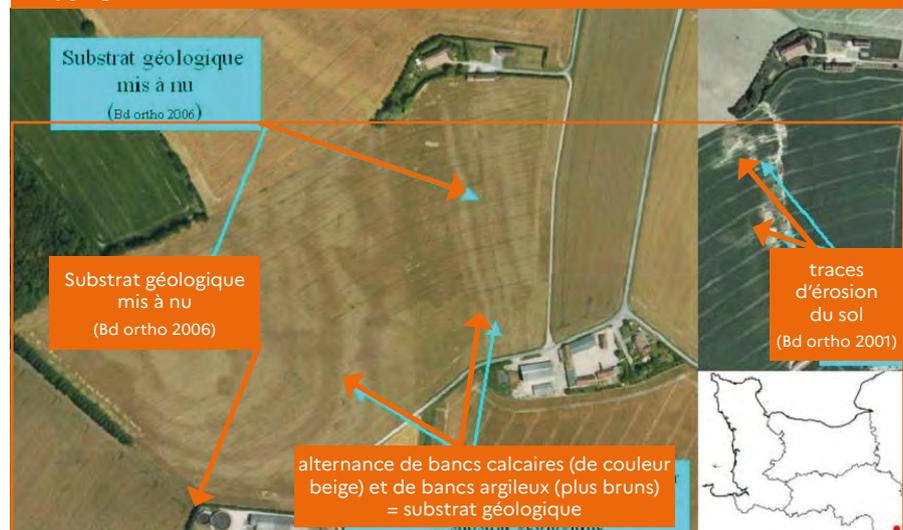
Dans certains cas, la très bonne stabilité structurale des sols ne suffit pas à empêcher le phénomène de ruissellement.

L'imperméabilité du matériau parental conjuguée à une forte pente (> 10%) peut, par exemple, empêcher l'infiltration en profondeur des eaux de pluie et favoriser les ruissellements, indépendamment de l'état de surface du sol.

Les ruissellements sont ainsi possibles y compris sur des prairies. Ils entraînent alors une érosion à la fois diffuse et concentrée pouvant conduire à la formation de rigoles ponctuelles.

Mise à nu du matériau parental sous l'effet de l'érosion des sols dans le Perche (61)

Copyright : IGN BD Ortho 2001 et IGN BD Ortho 2006



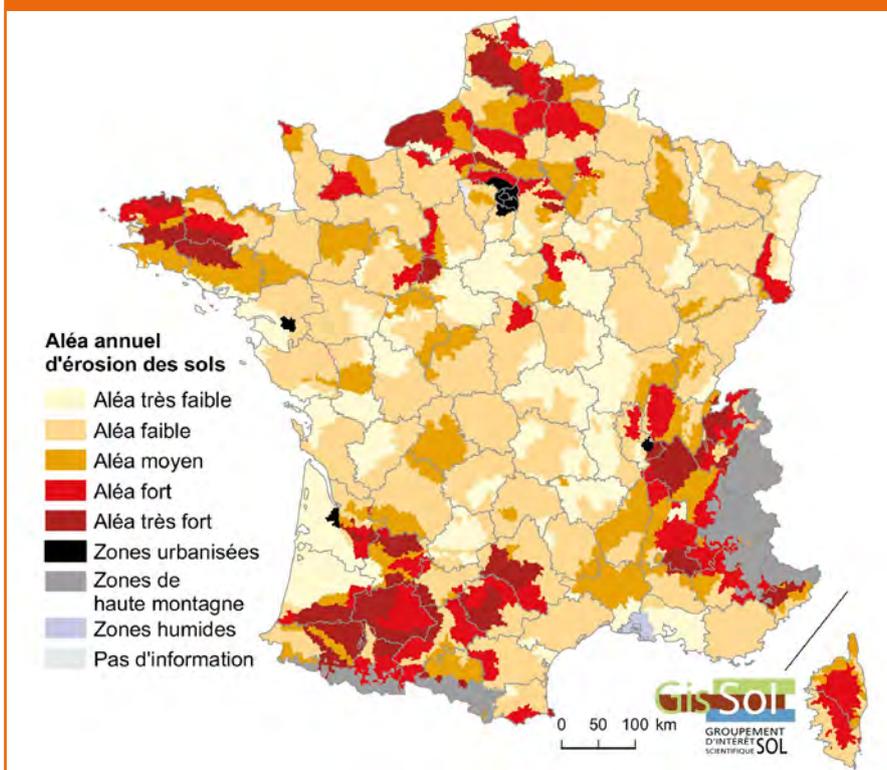
Les conséquences de l'érosion des sols

Les impacts sur l'agriculture

Les préjudices liés à l'érosion hydrique des sols touchent notamment les exploitants agricoles. Les dégâts concernent principalement les cultures. Cela se traduit par des destructions de semis, par des déchaussemements ou par des arrachements de plants. Dans certains secteurs de la Normandie, l'aléa érosion peut être très fort.

L'aléa érosion des sols par petites régions agricoles

Source : Gis Sol-Inra-SOeS, 2011



Aléa érosif des sols par petite région agricole, estimé à l'aide du modèle Mesales. Il combine plusieurs caractéristiques du sol (sensibilité à la battance et à l'érodibilité), du terrain (type d'occupation du sol, pente) et climatiques (intensité et hauteur des précipitations).

Dans les parties basses des parcelles, le dépôt de terre conduit au recouvrement des semis ou des jeunes plants enfouis sous la boue. D'autres préjudices, moins visibles directement, sont à signaler. Ils se traduisent par une perte de fertilité liée à :

- une réduction de l'épaisseur du sol ;
- une diminution de la réserve utile ;
- une dilution de la matière organique ;
- une perte importante en éléments fertilisants et en produits de traitement.

Cette perte de fertilité conduit ainsi à une perte de qualité agronomique.

Décapage de surface



Patrick Le Gouée

Les impacts sur les aménagements collectifs et les biens

Les dégâts peuvent affecter également les structures collectives et les biens des personnes. Les coulées de boues et les inondations peuvent également détériorer des routes, des ouvrages d'art, des réseaux divers, des bâtiments et des logements.

Les impacts sur la qualité des eaux

Les particules de terre érodée sont emportées par les eaux de ruissellement qui se chargent en matières en suspension. Elles alimentent les nappes d'eau souterraine qui servent à l'alimentation en eau potable.

Les impacts sur l'eau potable sont particulièrement importants dans la partie sédimentaire crayeuse de la Normandie (Bassin parisien), qui est drainée par des points d'engouffrement ou "dolines" (régionalement, appelés "bétoires"). Ces bétoires sont connectées avec les conduits souterrains de la craie (karstiques). Elles constituent les chemins préférentiels d'introduction des eaux infiltrées et de ruissellement vers la nappe d'eau souterraine de la craie sous-jacente.

L'apport de particules de terre érodées entraîne :

- une augmentation de la turbidité de l'eau ;
- une diminution de la pénétration de la lumière dans l'eau ;
- une réduction de l'activité de photosynthèse ;
- un engorgement du lit du cours d'eau.

L'érosion des sols provoque ainsi une dégradation de la qualité des eaux qui nécessite des traitements supplémentaires et, parfois, le renforcement ou la construction d'ouvrages de traitement.

Cette dégradation provoque parallèlement l'arrivée d'éléments polluants ou nutritifs dans l'eau favorisant notamment l'eutrophisation. Ainsi, la qualité biologique du milieu aquatique se trouve très affectée. Les équilibres écologiques sont modifiés avec des conséquences sur la faune piscicole (mortalités importantes de poissons...).



L'artificialisation et l'imperméabilisation

La Normandie, une région très consommatrice de sols

Chaque année, 24 000 ha d'espaces naturels, agricoles et forestiers sont consommés en moyenne en France. **La Normandie est particulièrement concernée par le phénomène d'artificialisation avec environ 20 919 ha d'espaces naturels, agricoles et forestiers consommés entre 2011 et 2022.** Cette surface représente environ un terrain de football tous les 4 heures (source : portail web de l'artificialisation des sols).

A l'échelle nationale et régionale, le rythme de consommation d'espace connaît une stagnation depuis 2015. Une légère hausse est observée en Normandie depuis 2020.

Cette consommation semble toutefois de plus en plus "efficace", comme le montrent les chiffres nationaux. Ainsi, 1 hectare de terrain permet de construire 2 538 m² de bâti en 2021, contre 1 950 m² en 2011, soit +30 % en 10 ans (Source : CEREMA).

L'étude de l'année 2022 montre que la consommation d'espace est majoritairement dédiée à l'habitat et aux activités économiques en France et en Normandie.

Définitions

L'artificialisation constitue une altération durable de tout ou partie de la fonctionnalité écologique d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage.

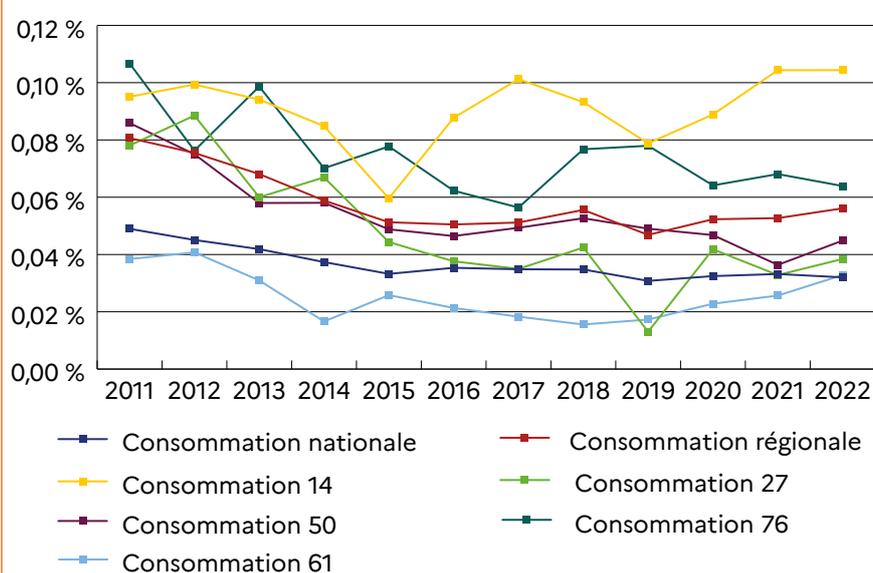
L'artificialisation nette des sols est définie comme le solde de l'artificialisation et de la renaturation des sols constaté sur un périmètre et sur une période donnés.

La consommation d'espaces est définie comme la création ou l'extension effective d'espaces urbanisés sur le territoire concerné. Il s'agit de la transformation d'espaces naturels, agricoles ou forestiers en espaces urbanisés.

La renaturation d'un sol, ou désartificialisation, consiste en des actions ou des opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé.

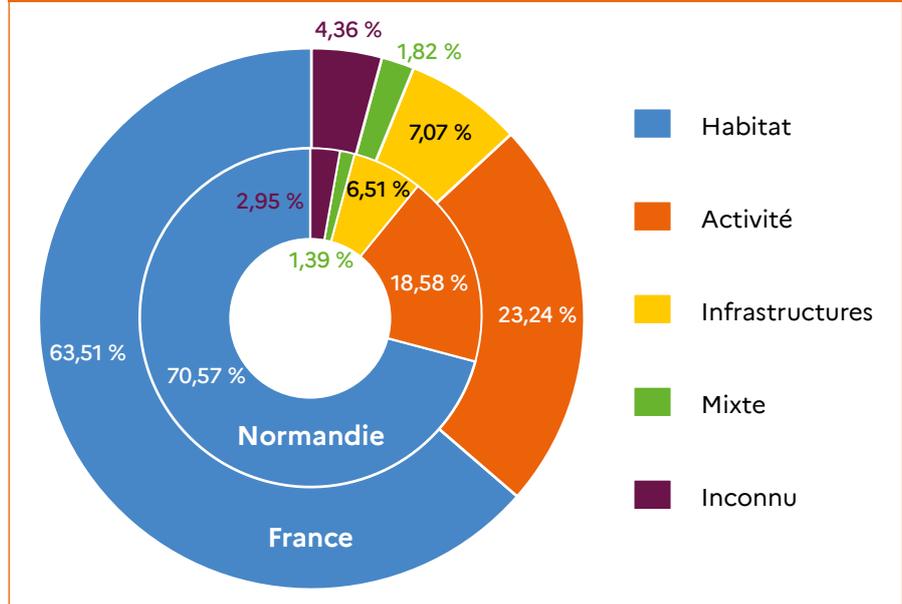
Evolution de l'efficacité de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers

Source : CEREMA



Typologie de la consommation d'espaces naturels agricoles et forestiers en France et en Normandie en 2022

Source : CEREMA



Pour en savoir +

Portail de l'artificialisation des sols



<https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/>

Etude de l'Insee



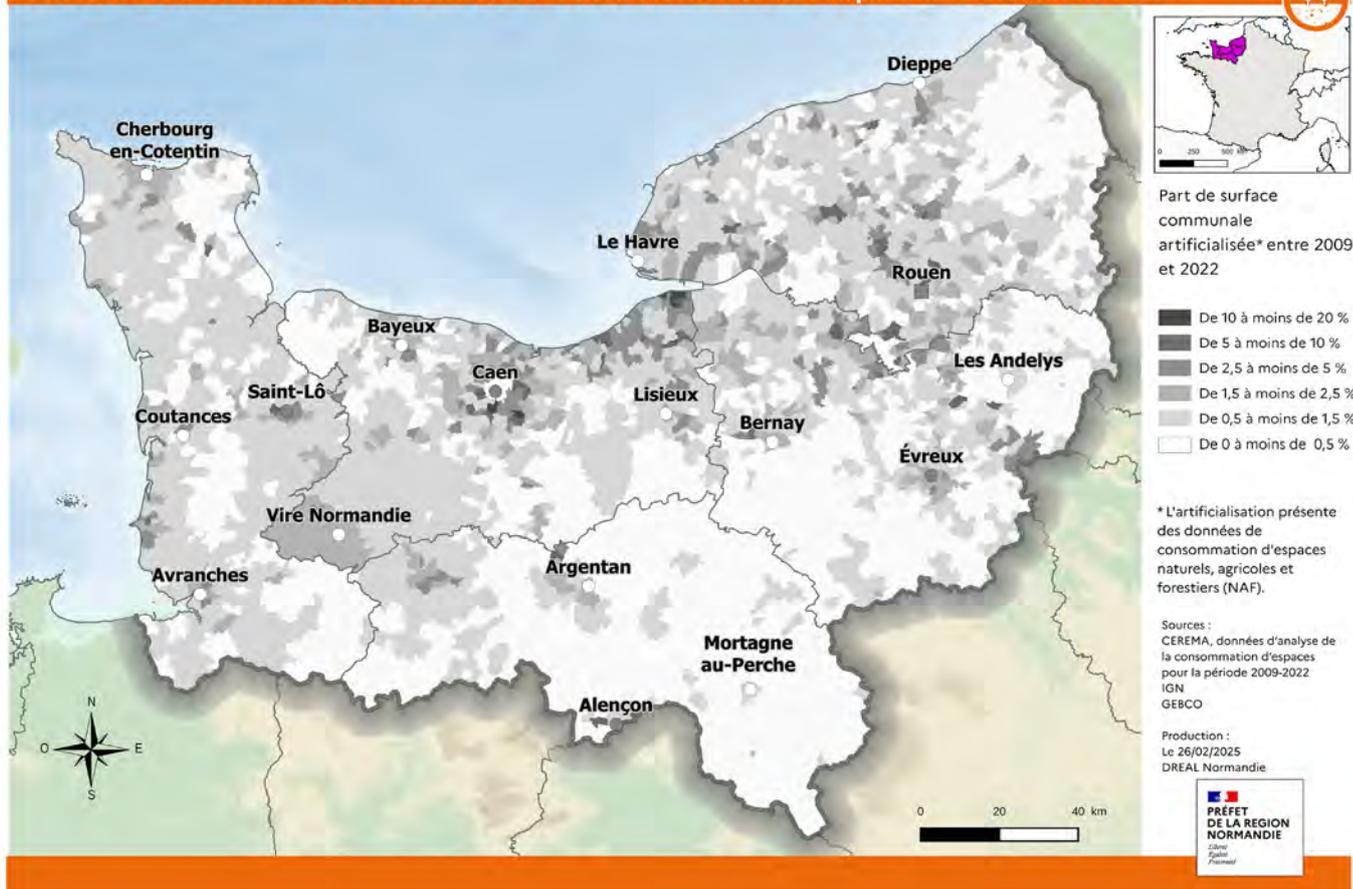
<https://www.insee.fr/fr/information/7623814>

L'artificialisation est aussi associée à un changement d'usage des sols avec les espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF) par opposition aux usages urbains (logement, activités économiques, commerces, loisirs notamment). Les villes s'étendent en consommant les surfaces agricoles ou naturelles périphériques. Parfois, les formes urbaines évoluent parallèlement vers moins de densité, au détriment des surfaces de sols plus importantes qui sont consommées.

Une étude de l'INSEE a porté sur la période 2009-2019 (cf. encadré). Elle a montré que, sur cette période, la consommation d'espace pour l'habitat a augmenté proportionnellement davantage en Normandie qu'au niveau national (+10,1% en Normandie, contre +7,4% en moyenne en France métropolitaine), plaçant la Normandie au deuxième rang des régions les plus consommatrices.

La hausse de la consommation d'espace a concerné l'ensemble des départements et particulièrement les territoires situés aux abords des grandes agglomérations. La population normande ayant quasiment stagné au cours de cette décennie, la consommation d'espace pour l'habitat apparaît faiblement liée aux évolutions démographiques. La croissance de la population normande ne contribue qu'à hauteur de 7% à l'augmentation de la surface consommée.

Les conséquences de ce phénomène sur la santé, les milieux naturels et la biodiversité sont considérables, c'est pourquoi, la loi Climat et résilience a fixé l'objectif national d'absence de toute artificialisation nette des sols en 2050.



Les impacts environnementaux et sanitaires

L'artificialisation constitue notamment une perte d'habitat pour la biodiversité. Or, au côté des végétaux, les sols abritent une macrofaune (vers de terre, termites, fourmis...), mésofaune (insectes, acariens, microarthropodes...), microfaune (protozoaires, nématodes...) et microflore (bactéries, virus, champignons...) abondante et extrêmement diversifiée. Cette biodiversité leur permet d'assurer de nombreuses fonctions et de rendre de multiples services (cf. parties précédentes).

L'artificialisation des sols provoque :

- une perte des services rendus par les sols (approvisionnement, atténuation du changement climatique...) ;
- une perte des fonctions associées aux sols (réservoir, régulation, décomposition de matière organique, dégradation des polluants, épuration et filtration...)

Ainsi, le changement d'état effectif d'une surface agricole, forestière ou naturelle, vers des surfaces artificialisées se fait au détriment des terres agricoles et peut en particulier affecter notamment les sols disposant des meilleures potentialités agronomiques et ainsi l'alimentation d'un territoire.

Imperméabilisation de sols



Nadège Basset

De plus, l'imperméabilisation, la compaction, les pollutions minérales et organiques modifient les structures et les textures des sols et conduisent à accentuer l'érosion, les coulées d'eau boueuse, les risques d'inondation et les transferts de sédiments contaminés (engrais, métaux, pesticides) vers les cours d'eau.

Les impacts indirects sont aussi très nombreux : l'îlot de chaleur, le bruit, la pollution de l'air, les enjeux de cadre de vie et des paysages.

Réalisation d'un lotissement à Rosel (Calvados)



Aude Lecomte



Les contaminations

Les milieux naturels sont impactés par les activités humaines. Ainsi, les écosystèmes et la santé humaine dépendent des choix d'aménagement et des pratiques agricoles et industrielles. Les particules de matières contaminées se déplacent dans les sols et atteignent les cours d'eau, les nappes d'eau souterraine et les milieux marins : intrants agricoles (engrais, pesticides...), polluants d'origine industrielle, urbaine, routière...

Les pesticides

Les pollutions aux pesticides sont devenues une préoccupation majeure de santé publique. En tant que grande région agricole consacrée à des cultures consommatrices de pesticides, la Normandie est très concernée par la nécessité de s'engager dans une réduction de leur utilisation pour préserver les écosystèmes et la santé humaine.

Origine

« Pesticides » est un terme générique, connu du grand public, qui désigne l'ensemble des substances chimiques, naturelles ou de synthèse, destinées à repousser ou détruire les organismes jugés nuisibles (« microbes », animaux ou végétaux). Il couvre trois catégories de produits :

- les biocides ;
- les produits phytopharmaceutiques (ou phytosanitaires) ;
- et les antiparasitaires (à usages vétérinaires et humains).

La population peut être exposée aux pesticides par de multiples voies (air, eau, nourriture...). Les utilisateurs fréquents sont les plus exposés : agriculteurs, riverains de parcelles agricoles, consommateurs de produits traités...

Du fait de ses activités, le secteur agricole est le principal utilisateur de pesticides en France (90 % des quantités vendues) et les agriculteurs sont aussi les plus exposés. Les pesticides sont également utilisés pour l'entretien des infrastructures de transport (routes, chemins de fer, aéroports...), les usages domestiques (antiparasitaires, lutte contre les insectes...), le traitement des bois, l'horticulture...

Evaluation sur le territoire

La surveillance de la contamination des sols par les pesticides n'existe pas à l'échelle du territoire régional. Cependant, au niveau national, des travaux récents de chercheurs de l'INRAE, en collaboration avec l'IFREMER et l'université de Bordeaux, ont montré qu'un grand nombre de substances, en quantité importante, y persistent

Référents

Une **Commission d'enquête** a été créée suite au constat des grandes difficultés de la France de réduire sa consommation de pesticides malgré le déploiement de trois plans de réduction successifs "Ecophyto", mis en place à partir de 2008. Cette instance a rappelé les conclusions rendues à partir de l'expertise collective publiée par l'Inserm en 2013 puis mise à jour en 2021 (cf. pages suivantes).

Le rapport met en avant deux autres points d'alerte :

- la dégradation de la qualité des eaux superficielles et des nappes phréatiques qui, dans le contexte du changement climatique, pourrait priver d'accès à l'eau potable des territoires ruraux d'ici 10 ans ;
- la disparition de 60 % des oiseaux du milieu agricole depuis 40 ans, en lien avec les pollutions chimiques, et notamment les pesticides.

Source : [Assemblée nationale](#)

Pour en savoir plus :

www.assemblee-nationale.fr/dyn/16/rapports/cepestici/116b2000-t1_rapport-enquete.pdf

Pour en savoir +

Phytosol

47 sites du réseau de mesure de la qualité des sols ont été échantillonnés par les partenaires régionaux du programme, dans toute la France entre 2019 et 2021, à une profondeur de 0-20 cm en se basant sur le protocole mis en place sur le réseau (Jolivet et al., 2018). Il s'agissait principalement de sols cultivés (grandes cultures, vignes et vergers) et sols supposément non traités (prairies, forêts, friches).

111 substances, priorisées par l'Anses sur la base des usages et du comportement dans l'environnement, ont été recherchées dans les prélèvements de sols par le laboratoire LPTC de l'université de Bordeaux et le laboratoire d'analyse des sols d'Arras du centre Hauts-de-France de l'INRAE.

Ce projet, dénommé "Phytosol", a été financé par l'Anses via une convention de recherche et par le GIS Sol (www.gissol.fr).

sous forme de résidus (cf. encadré). Près d'une cinquantaine de sols ont été prélevés dans toute la France métropolitaine. En se basant sur le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), ils ont pu mesurer la persistance de ces substances et les risques associés pour la biodiversité des sols.

Les résultats ont montré que 98 % des sites étudiés présentent au moins 1 substance. Au total, 67 molécules différentes ont été retrouvées, majoritairement des fongicides et des herbicides. Les parcelles de grandes cultures sont les plus contaminées, avec jusqu'à 33 substances différentes retrouvées dans un seul site, et une moyenne de 15 molécules dans les sols. Plus inattendu, dans les sols sous forêts, prairies permanentes, en friche ou en agriculture biologique depuis plusieurs années, plus de 32 pesticides différents ont été détectés, à des concentrations majoritairement plus faibles que pour les sites en grandes cultures.

Ces résultats démontrent une persistance inattendue des molécules de pesticides dans l'environnement, bien au-delà de leur temps de dégradation théorique et à des concentrations supérieures à celles escomptées.

Repères

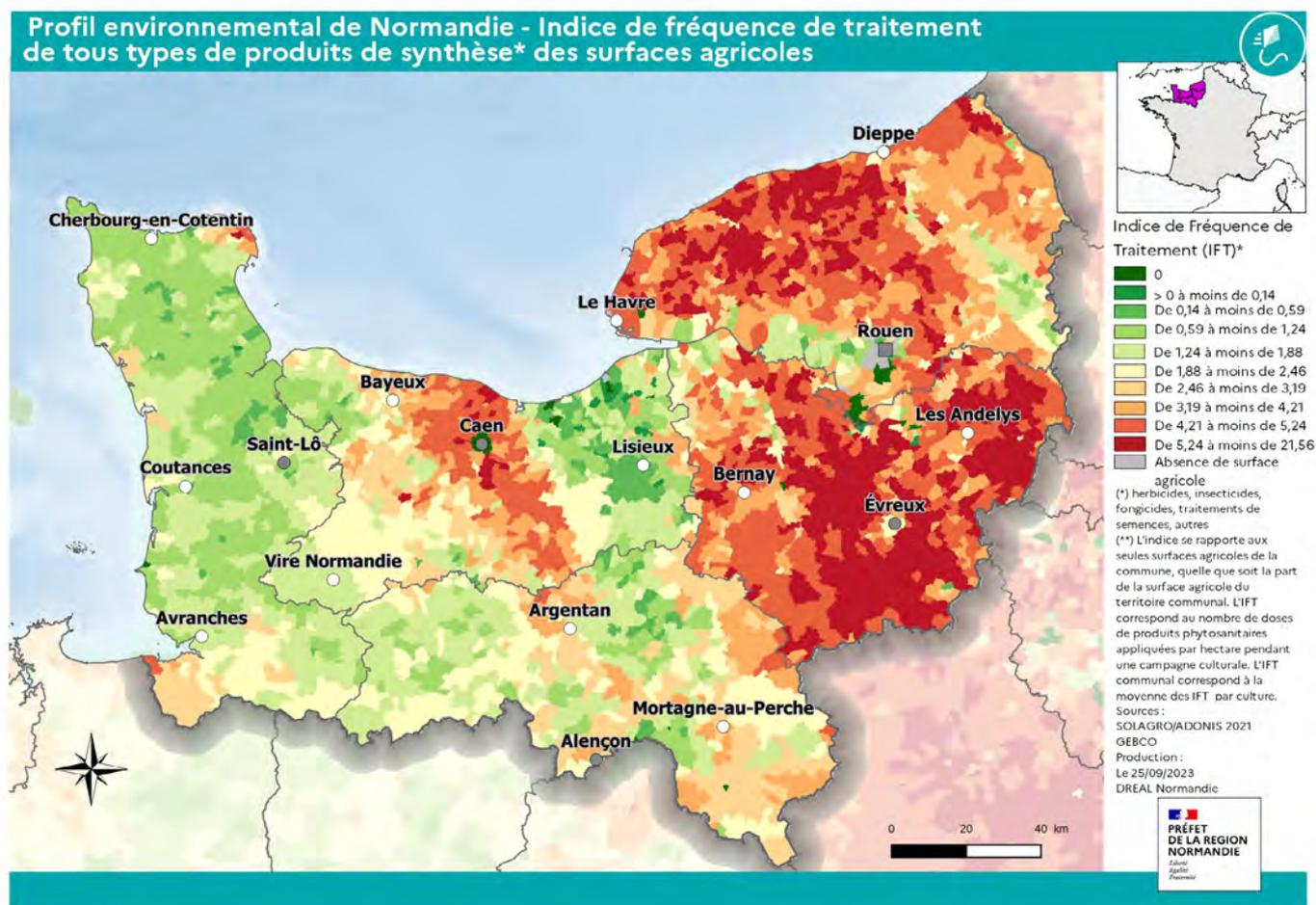
L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) rend compte du nombre de doses de produits phytosanitaires appliquées par hectare pendant une campagne culturale.

Il peut être calculé sur une parcelle, à l'échelle d'un ensemble de parcelles, d'une exploitation, d'un territoire ou bien d'une région. Il peut également être décliné par famille de produits appliqués ou type de traitements réalisés (traitements de semences, produits de biocontrôle, herbicides, insecticides-acaricides, fongicides-bactéricides...).

Les IFT de référence sont issus de la période 2001-2006 (point zéro du plan Ecophyto établi en 2008). Une mise à jour est en cours actuellement afin de disposer de données actualisées. La comparaison de l'IFT sur l'exploitation avec l'IFT de référence du territoire permet à l'agriculteur de situer ses pratiques et d'identifier les progrès possibles pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires.

Source : <https://www.syngenta.fr>

Les indices de fréquence de traitement en Normandie



Impacts environnementaux

Source : ministère de la Transition écologique

Les pesticides et les molécules issues de leur dégradation sont susceptibles de se retrouver dans toutes les composantes de l'environnement (air, sol, eaux, sédiments...) ainsi que dans les aliments. Ils ont initialement un rôle sanitaire contre les nuisibles mais ils représentent aussi des dangers pour les écosystèmes, avec des impacts immédiats ou à long terme, tels que la destruction de la biodiversité du sol, l'altération de l'ensemble des êtres vivants qui en dépendent : pollinisateurs, biodiversité des sols, oiseaux, humains, faune et flore aquatiques...

Ainsi, l'évaluation réalisée au niveau national par l'INRAe a montré que le risque majeur estimé pour les vers de terre est dû aux insecticides et aux fongicides. Les risques de toxicité chronique pour ces vers de terre sont modérés à forts pour toutes les parcelles cultivées (cf. encadré).

Pour en savoir +

L'analyse des effets des pesticides sur la santé

Inserm. Synthèse. *Pesticides et effets sur la santé. Nouvelles données.* 2021. 164 pages. 2021.



Inserm. *Pesticides et effets sur la santé. Nouvelles données.* 2021. 1036 pages. 2021.



Pour en savoir plus :

<https://www.inserm.fr/expertise-collective/pesticides-et-sante-nouvelles-donnees-2021/>

Agreste. *Pratiques culturales en grandes cultures en 2021.*
Pratiques phytosanitaires sur les légumes en 2018.

<https://agreste.agriculture.gouv.fr/>

Impacts sanitaires

Source : INSERM

Dans son rapport « Pesticides et santé », L'INSERM a analysé les données publiées au cours des 30 dernières années (mises à jour en 2021).

En considérant les études sur des populations qui sont en contact régulier avec des pesticides, l'expertise confirme la présomption forte d'un lien entre l'exposition aux pesticides et six pathologies : lymphomes non hodgkiniens, myélome multiple, cancer de la prostate, maladie de Parkinson, troubles cognitifs, bronchopneumopathie chronique obstructive et bronchite chronique. Pour les lymphomes non hodgkiniens, il a été possible de préciser des liens (présomption forte) avec des substances actives (malathion, diazinon, lindane, DDT) et avec une famille chimique de pesticides (organophosphorés). Pour la maladie de Parkinson et les troubles cognitifs un lien a été mis en avant avec, respectivement, les insecticides organochlorés et les organophosphorés. Il s'agit essentiellement de pesticides pour lesquels les études se sont appuyées sur des biomarqueurs permettant de quantifier l'exposition.

Sassy (Calvados)



Cyrille Bicorné et Fabrice Parais Equipe drone / DREAL Normandie

Des liens ont été identifiés pour d'autres pathologies ou événements de santé avec une présomption moyenne. C'est le cas notamment pour la maladie d'Alzheimer, les troubles anxio-dépressifs, certains cancers (leucémies, système nerveux central, vessie, rein, sarcomes des tissus mous), l'asthme et les sifflements respiratoires, et les pathologies thyroïdiennes. Les études épidémiologiques sur les cancers de l'enfant permettent de conclure à une présomption forte de lien entre l'exposition aux pesticides de la mère pendant la grossesse (exposition professionnelle ou par utilisation domestique) ou chez l'enfant et le risque de certains cancers, en particulier les leucémies et les tumeurs du système nerveux central.

Les études de cohortes mères-enfants ont permis de caractériser les liens entre l'exposition professionnelle ou environnementale (c'est-à-dire en population générale) des mères pendant la grossesse et les troubles du développement neuropsychologique et moteur de l'enfant.

Les populations riveraines des zones agricoles peuvent être affectées par la dérive des produits épanchés sur les cultures. En effet, des études suggèrent une influence de la proximité aux zones agricoles sur la contamination par les pesticides du lieu de vie, variable selon les substances, leur mode d'application et la manière d'estimer l'exposition (source : INSERM, cf. encadré).

Enfin, la question des effets indirects des produits phytosanitaires (par le biais des effets sur les écosystèmes notamment) reste complexe et préoccupante.

Pour en savoir +

L'Union européenne réglemente la commercialisation et l'utilisation des pesticides

ainsi que les niveaux maximums autorisés de leurs résidus dans les produits de consommation.

Pour pouvoir arriver sur le marché, la substance doit obtenir l'approbation de la Commission européenne. Celle-ci se base sur l'avis scientifique d'une agence de l'Union : l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA). Les Etats membres expriment également leur opinion sur le sujet dans le cadre d'un comité composé de représentants des Vingt-Sept. Une fois l'autorisation européenne accordée, celle-ci n'est que temporaire (au maximum 15 ans) et doit être renouvelée périodiquement.

Les excès de matières nutritives

Si l'azote et le phosphore sont deux éléments nutritifs indispensables au développement des cultures, leur apport en excès peut fortement perturber les écosystèmes et leurs fonctionnalités.

En France, l'apport excessif d'azote provient principalement de l'activité agricole. Concernant le phosphore, il résulte principalement des eaux résiduaires urbaines.

Les surplus sont calculés à une échelle régionale sans tenir compte des traitements et des exportations vers d'autres régions éventuelles réalisées notamment dans les régions d'élevage.

L'excès d'azote

Impacts environnementaux

Source : ministère de la Transition écologique

Une fertilisation excessive des sols transforme son équilibre naturel et conduit à un transfert de l'azote nitrique vers les masses d'eau superficielles et souterraines, ce qui provoque plusieurs perturbations biologiques et, en particulier :

- une surcharge des sols en éléments azotés impactant l'écosystème et sol et les végétaux ;
- un dysfonctionnement des milieux aquatiques qui se mettent à surproduire certains organismes (algues notamment) ;
- une concentration excessive en nitrates des eaux potables.

Lorsque le seuil de 50 mg de nitrate par litre d'eau est dépassé, la ressource en eau n'est plus considérée comme potable. En Normandie, ce seuil est régulièrement dépassé et a conduit à la mise en place d'une réglementation européenne pour accompagner les agriculteurs vers des pratiques prenant en compte l'environnement et les besoins des plantes. L'excès de nutriments entraîne l'eutrophisation et le développement important d'algues sur le littoral métropolitain, appelé bloom algal (algues vertes). Deux types d'algues sont concernés : les macroalgues (ulves), qui produisent des marées vertes, et les algues microscopiques (phytoplancton), qui provoquent des eaux colorées, avec un éventuel risque de toxicité pour les organismes marins et l'alimentation. Les algues vertes sont surtout présentes sur les côtes bretonnes et s'étendent en Centre-Atlantique et en Normandie.

Impacts sanitaires

Source : Anses, 2022

Les nitrates se retrouvent dans l'eau notamment en raison de leur utilisation en production primaire. Ils sont naturellement présents dans certaines denrées alimentaires, en particulier dans les légumes-feuilles comme les épinards ou la laitue. Chez l'humain, une partie des

nitrate consommés peut être convertie en nitrite par les bactéries présentes dans la cavité buccale.

L'Anses (cf. encadré), dans son rapport d'expertise de juin 2022, a mis en évidence une association positive entre l'exposition aux nitrates via l'eau de boisson et le risque de cancer colorectal. Elle a aussi noté une association positive suspectée avec le risque de cancers des ovaires et des reins ou de cancer du pancréas, du foie et des voies biliaires.

Des risques de toxicité directs sont aussi identifiés avec la prolifération des algues (algues vertes...).

L'excès de phosphore

Le phosphore est un nutriment indispensable à la croissance des végétaux. Déversé en excès dans les écosystèmes, il provoque des pollutions et des dérèglements pouvant conduire à des impacts sanitaires.

Origine

Concentré dans la partie superficielle du sol, il provient de l'altération des roches (forme minérale) ou de la dégradation des végétaux par la faune et la flore du sol (forme organique). Il peut cependant être déversé en excès dans le cadre d'activités humaines, avec l'utilisation de phosphates pour l'agriculture, notamment.

Impacts environnementaux

Source : ministère de la Transition écologique

Les agriculteurs recourent à des apports de fertilisants phosphatés minéraux ou organiques (fumiers, lisiers...) dans les sols. Associé aux nitrates en excès, le phosphore contribue à l'eutrophisation des eaux de surface et à une prolifération d'algues sur le littoral, dans les fleuves, les lacs et les estuaires. Il participe aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux.

Les phosphates sont aussi sources de «métaux lourds», éventuellement radioactifs, car le phosphore d'origine minérale est souvent, dans les engrais, associé à des métaux toxiques. Ainsi, certains engrais minéraux phosphatés peuvent introduire du cadmium dans l'environnement. Les boues de traitement des eaux usées recyclées en agriculture peuvent ajouter des surplus en phosphore et des micropolluants organiques, des micro-organismes pathogènes et des métaux.

Impacts sanitaires

Source : INRS, 2023

Les effets toxiques du phosphore sont connus et décrits depuis longtemps. Ils sont particulièrement sévères lors d'intoxications aiguës qui peuvent être mortelles. Les intoxications chroniques

Pour en savoir +

Anses.
Evaluation des risques liés à la consommation de nitrates et nitrites.
Rapport d'expertise collective. Juillet 2022.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2020SA0106Ra.pdf>



Pour en savoir +



Pour en savoir +

Les sources de phosphates : des gisements limités

Les engrais phosphatés proviennent de processus industriels sous forme d'engrais simples ou en association avec l'azote seul ou l'azote et le potassium. À la différence des engrais azotés qui peuvent être synthétisés à partir de l'azote de l'air, les ressources de phosphates sont limitées. Les ressources minérales mondiales sont estimées à plus de 300 milliards de tonnes en 2018. Les plus grands gisements sédimentaires se trouvent en Afrique du Nord (Maroc), en Chine, au Moyen-Orient et aux États-Unis. Les gisements de phosphore exploités proviennent essentiellement de dépôts sédimentaires ou marins, de dépôts magmatiques ou de guano issus d'excréments d'oiseaux marins.

sont caractérisées principalement par une atteinte osseuse et des anomalies hépatiques et rénales. Il existe des différences de toxicité selon le type de phosphore considéré.

L'intoxication chronique par le phosphore blanc (forme la plus répandue et commercialisée du phosphore) est la conséquence d'absorption de petites quantités de toxique par voies pulmonaire et gastro-intestinale. Elle se manifeste par des signes généraux d'allure banale : anorexie, asthénie, douleurs gastro-intestinales, pâleur, toux rebelle, anémie, odeur alliacée de l'haleine, et par des troubles du métabolisme osseux dont la manifestation la plus caractéristique est la nécrose du maxillaire inférieur.

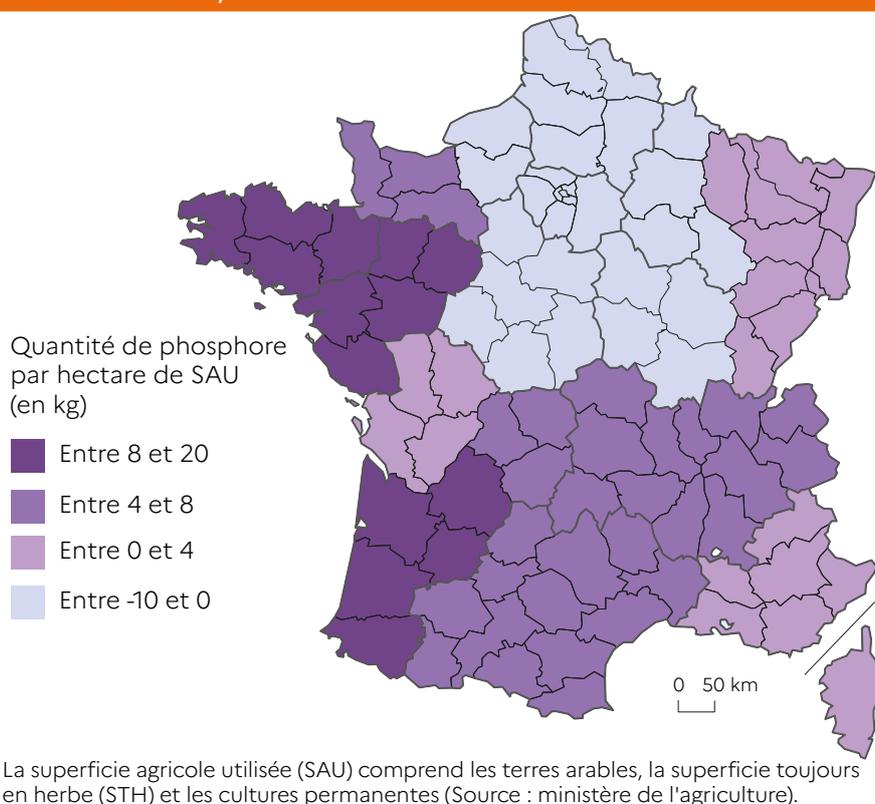
Il est bien constaté également une atteinte hépatique ou rénale en cas d'atteinte osseuse ou en cas d'inhalation de phosphore blanc.

Evaluation en Normandie

La moyenne du surplus agricole de phosphore est inférieure au seuil limite de 4 à 7,5 kg/ha/an (Source : ministère de la transition écologique). Ce seuil est cependant dépassé en Normandie.

Bilan régional du phosphore en 2015

Source : Source : Agreste, Citepa, Unifa, Comifer, 2015
Traitement : SDES, 2018



Les pollutions industrielles

Les pollutions industrielles sont soumises à la réglementation du code de l'environnement (cf. encadré).

Les sites et sols pollués

Un site ou sol pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets, d'infiltration de substances polluantes, de déversements de produits, d'abandon de déchets et de produits toxiques, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

Origine

Les pollutions industrielles des sols peuvent être issues d'activités d'élimination des déchets (licite ou non), de fuites ou d'épandage de produits chimiques (accidentels ou non), de remblayage ou bien de retombées de rejets atmosphériques accumulés.

Cette pollution peut impacter le site et son environnement. Divers polluants sont mis en évidence. Les éléments métalliques sont fréquemment retrouvés : plomb, zinc, arsenic, chrome, cadmium... Leur présence peut néanmoins aussi être liée à l'évolution naturelle de la roche du sol.

Pour en savoir +

La réglementation des sites et sols pollués s'appuie principalement sur la législation des installations classées et notamment sur le Livre V du code de l'environnement « Prévention des pollutions, des risques et des nuisances ». Des informations complètes sont disponibles sur le site du ministère de la Transition Ecologique <https://www.ecologie.gouv.fr/sites-et-sols-pollues> et le site du BRGM <http://ssp-infoterre.brgm.fr/>

Profil environnemental de Normandie - Les sites et sols pollués



Repères

La **carte des anciens sites industriels et activités de services (CASIAS)** a pour objectif d'aider, dans les limites des informations dont l'Etat a connaissance, les notaires et les détenteurs des sites, actuels ou futurs, pour toutes transactions immobilières. Il faut souligner que l'inscription d'un établissement dans la CASIAS ne préjuge pas d'une éventuelle pollution à son endroit.

En 2024, la CASIAS contient environ 12 824 anciens sites industriels et activités de service recensés sur le territoire normand, repris de l'ancienne base de données BASIAS. Cet inventaire a vocation à être enrichi progressivement par des informations sur des établissements ayant cessé leur activité industrielle ou de service, sélectionnés depuis d'autres bases de données de l'Etat.

Pour en savoir plus :

<https://www.georisques.gouv.fr>

Des hydrocarbures sont détectés dans 40 % des sites diagnostiqués dans l'ancienne base de données Basol : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), solvants halogénés comme le trichloréthylène, composés organiques volatiles (COV)... Des pollutions radiologiques liées à l'utilisation de radioéléments ou en lien avec certains process industriels peuvent aussi être constatées.

Evaluation sur le territoire

Le territoire est concerné par différents types d'inventaires dont l'objectif est de gérer les pollutions majeures identifiées.

Les principaux objectifs des inventaires de sols pollués sont de :

- recenser, de façon large et systématique, tous les sites industriels abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement ;
- conserver la mémoire de ces sites ;
- fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement, ainsi qu'aux usagers et au grand public..

Ainsi, le site internet Géorisques (<https://www.georisques.gouv.fr/risques/>) compile au niveau national les sites pollués ou potentiellement pollués.

La carte des anciens sites industriels et activités de services (CASIAS, cf. encadré) recense les anciennes activités susceptibles d'être à l'origine d'une pollution des sols. Il peut s'agir d'activités industrielles ou de services potentiellement polluantes (par exemple les blanchisseries, les stations-services et les garages...).

La base de données "**Information de l'administration concernant des pollutions suspectées ou avérées**" (ex-BASOL) constitue l'information de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée. En 2024, environ 701 sites sont répertoriés en Normandie.

Zone industrielle à Rouen (Seine-Maritime)



DREAL Normandie

Les informations sont généralement associées à des diagnostics de sols réalisés dans le cadre :

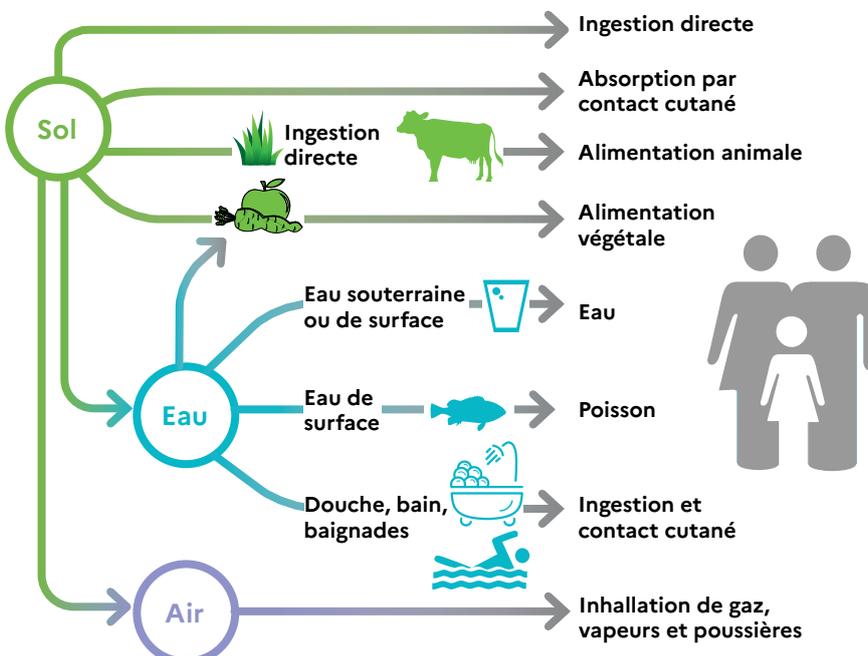
- d'une cessation d'activité d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ;
- de recherches historiques documentaires ;
- de travaux ;
- de transactions ou changements d'usage du site ou projet d'aménagement ;
- d'analyses de la qualité des eaux (captages d'alimentation en eau potable, puits, eaux superficielles) sur demande des pouvoirs publics ;
- d'actions engagées lors de pollutions accidentelles.

Impacts sanitaires

Les possibilités d'exposition aux pollutions des sols sont multiples, que ce soit par ingestion ou par inhalation :

- ingestion de terre par les jeunes enfants, particulièrement exposés en raison de leur comportement ;
- ingestion de produits végétaux alimentaires cultivés sur des terres polluées ;
- ingestion d'eau, conséquence d'un transfert d'un produit présent dans le sol vers la nappe phréatique ;
- inhalation de poussières émises par les sols pollués ;
- inhalation, conséquence de la volatilisation éventuelle du polluant à partir du sol.

Les populations présentes sur les sites ou sols pollués ou à proximité sont les plus exposées aux effets de la pollution des sols. De nombreuses substances chimiques mesurées dans des sols pollués sont connues pour générer des effets multiples sur la santé. Le diagramme ci-dessous liste les polluants les plus couramment rencontrés dans les sols français et présente quelques effets sanitaires de chaque contaminant déterminés dans la littérature épidémiologique et toxicologique.



Pour en savoir +

Le réseau national de mesure de la radioactivité :

- centralise l'ensemble des données de surveillance de la radioactivité en France ;
- s'assure de leur qualité et de leur harmonisation par une procédure d'agrément.

Les mesures proviennent des services de l'Etat et de ses établissements publics, des exploitants d'installations nucléaires ou d'autres acteurs publics, privés ou associatifs.

Le site www.mesure-radioactivite.fr rend accessible les 300 000 mesures réalisées annuellement en France dans les différents milieux (l'air, l'eau, le sol, la faune et la flore) et dans les produits alimentaires.

L'intérêt majeur de ce réseau est le pluralisme des sources d'information.

Ce service permet à chacun d'appréhender la surveillance de la radioactivité réalisée autour de son lieu de vie.

IRSN. *Constat radiologique Normandie et Hauts de France.* Rapport d'expertise et de synthèse. 132 pages. 2021.



HC ex : benzène	Effets cancérigènes connus ou présumés
Plomb	Effets sur le système nerveux, l'appareil digestif. Lésions rénales irréversibles, anémies
HAP ex : benzo(A)pyrène	Effets cancérigènes connus ou présumés
Solvants halogénés	Irritations des yeux et des muqueuses, effets sur le système nerveux
Chrome	Atteintes rénales et hépatiques, altération du matériel génétique, cancer du poumon
Arsenic	Atteintes hépatiques, cardiopathies, neuropathies
Cadmium	Atteintes rénales, articulaires et osseuses, cancer du poumon

Ces effets sont à adapter au contexte étudié (voies d'exposition, population d'étude, qualité des milieux, temps d'exposition des populations, concentration du polluant...).

Les pollutions liées à la radioactivité

Origine

La radioactivité est un phénomène qui peut être d'origine naturelle ou artificielle. Les sols héritent des radionucléides provenant de la roche dont ils sont dérivés. Ils sont également susceptibles de subir une contamination radioactive d'origine extérieure transportée par l'eau ou l'air.

Les radionucléides présents dans les roches proviennent notamment de différents isotopes naturels de l'uranium et du thorium, ainsi que leurs descendants. A ceux-ci s'ajoutent, dans une moindre mesure, le potassium 40 ainsi que les radionucléides créés par les rayonnements cosmiques et intégrés aux cycles biologiques. C'est le cas du carbone 14 et du tritium. Le sol et le sous-sol contiennent également du radon, gaz radioactif d'origine naturelle, et dont les enjeux, qui peuvent être importants, sont traités dans la publication « Air » du Profil environnemental.

Les sols peuvent également contenir des éléments radioactifs artificiels dont la présence est essentiellement la conséquence :

- soit des retombées atmosphériques directes ou indirectes liées à des essais nucléaires militaires ou à l'accident de Tchernobyl ;
- soit de pollutions historiques liées à des activités industrielles (industrie nucléaire, industrie du radium, production d'engrais ou extraction de terres rares)...

Les rejets chroniques sous forme d'aérosols provenant des installations nucléaires de base (INB) ou d'activités industrielles ou médicales peuvent également conduire à des dépôts sur les sols. Les autorisations qui fixent les modalités de rejets tendent à ce que ces impacts soient le plus bas possible et ne nécessitent aucune mesure particulière de gestion pour les sols environnant les installations.

Définitions

Isotope : atome qui possèdent le même nombre d'électrons (et donc de protons, pour rester neutre) mais un nombre différent de neutrons.

Si l'isotope d'un élément est radioactif, on l'appelle "radionucléide" ou "radio isotope" (par exemple l'uranium 238, l'iode 131...).

Radionucléide : forme instable d'un élément chimique qui libère des radiations lorsqu'il se décompose et qui devient ainsi plus stable. Les radionucléides peuvent être présents dans la nature ou fabriqués en laboratoire. En médecine, ils sont utilisés dans les tests d'imagerie et dans les traitements. Les radionucléides sont aussi appelés "radio isotopes".

Rayonnement cosmique : ensemble de radiations produites par les étoiles, y compris par le soleil. Le rayonnement ultraviolet (UV) est une autre forme de rayonnement provenant du soleil qui n'est pas considérée comme un rayonnement cosmique. Contrairement au rayonnement cosmique, le rayonnement UV a une énergie plus faible. Il est considéré comme non ionisant.

Évaluation sur le territoire

En Normandie, on peut noter l'existence de plusieurs sites contenant des pollutions radioactives historiques, au niveau du sol et du sous-sol, et qui ne sont pas liées à des activités industrielles encore en cours. Ces sites font tous l'objet d'une surveillance et certains d'entre eux font l'objet de mesures de gestion afin de maîtriser les pollutions.

On peut citer notamment :

- l'ancienne usine des réveils Bayard à Saint-Nicolas d'Aliermont (76) ;
- l'ancienne usine d'engrais Grande Paroisse à Grand-Couronne (76) ;
- l'ancienne usine de traitement de terres rares à Serquigny (27) ;
- une partie du site de la Hague (50).

De nombreuses installations rejettent des radionucléides dans l'environnement. En Normandie, l'Autorité de sûreté nucléaire analyse l'état de la sûreté nucléaire et de la radio-protection de ces installations.

▪ **Installations nucléaires de base :**

- centrales nucléaires exploitées par EDF de Flamanville (2 réacteurs de 1 300 MWe), Paluel (4 réacteurs de 1 300 MWe) et Penly (2 réacteurs de 1 300 MWe) ;
- chantier de construction du réacteur EPR Flamanville 3 ;
- établissement de retraitement de combustibles nucléaires usés d'Orano Cycle de La Hague ;
- centre de stockage de la Manche de l'Andra ;
- Ganil (grand accélérateur national d'ions lourds) à Caen ;

- **Activités nucléaires de proximité du domaine médical** : services de radiothérapie externe (27 appareils), protonthérapie, curiethérapie, médecine nucléaire, établissements mettant en œuvre des pratiques interventionnelles, scanners, appareils de radiologie médicale et dentaire

Centrale nucléaire de Paluel
(Seine-Maritime)



DREAL Normandie

Repères

Le Mégawattheure est une unité de mesure de l'énergie. Sa forme abrégée est MWh.

Il ne faut pas confondre Mégawatt (MWe) et Mégawattheure (MWh).

En effet, un Mégawatt (MWe) indique une puissance énergétique à un instant t. L'unité Mégawattheure (MWh) sert, quant à elle, à évaluer une quantité d'énergie produite ou consommée durant une heure.

Les unités MWe et MWh

Mégawatt électrique (MWe) : Un million de watts de capacité électrique.
Mégawattheure (MWh) : Mille kilowattheures ou 1 million de wattheures

Référents

Le **Centre international de recherche sur le cancer (CIRC)**, est un organisme de recherche sur le cancer, basé à Lyon, qui dépend de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Il a défini 3 groupes (de 1 à 3) correspondant à des degrés d'évaluation de cancérogénicité des substances pour l'être humain.

Groupe 1 ▶ agent cancérogène (parfois appelé cancérogène avéré ou cancérogène certain) pour l'humain ;

Groupe 2A ▶ agent probablement cancérogène pour l'humain ;

Groupe 2B ▶ agent peut-être cancérogène (parfois appelé cancérogène possible) pour l'humain ;

Groupe 3 ▶ agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'humain.

- **Activités nucléaires de proximité du domaine vétérinaire, industriel et de la recherche** : établissements industriels et de recherche, accélérateurs de particules et cyclotron, laboratoires, principalement implantés dans les universités de la région, entreprises utilisant des gammadensimètres, cabinets ou cliniques vétérinaires
- **Activités liées au transport de substances radioactives**
- **Laboratoires et organismes agréés.**

Impacts sanitaires

Source : Portail Cancer environnement – Institut Léon Bérard

La radioactivité, naturelle ou artificielle, est dangereuse pour les organismes vivants si la quantité d'énergie transmise est trop élevée. Les rayonnements ionisants sont classés cancérogènes avérés pour l'humain (groupe 1 du CIRC). Les effets induits par les rayonnements ionisants dépendent de la source d'irradiation (nature, énergie...), du mode d'exposition (temps, débit, distance) et des tissus ou organes touchés. Ces effets peuvent être de différentes sortes.

Les effets dits « déterministes » apparaissent systématiquement à partir d'une certaine dose, variable selon l'organe ou le tissu touché. Ils sont d'autant plus sévères que la dose est élevée. Ce type d'effet s'observe lors des accidents nucléaires, comme par exemple aux abords de la centrale de Tchernobyl. Le délai d'apparition de ces effets après l'exposition varie de quelques heures à quelques mois.

Les effets « aléatoires » sont plutôt liés à la transformation des cellules, et, dans ce cas, la probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose reçue. Le délai d'apparition de ces effets, lorsqu'ils existent, est de plusieurs années après l'exposition.

Sur le long terme, du fait d'altérations subies au niveau de la cellule, l'exposition à des rayonnements ionisants peut conduire à l'apparition de cancers secondaires chez les personnes irradiées. Ces effets, peuvent se révéler plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années après l'irradiation. Toutes les personnes touchées ne développent pas de cancer. La fréquence dépend en partie de la dose reçue (plus la dose est importante, plus le risque de développer un cancer est fort).

Une pathologie radio-induite n'a pas de signature particulière : il n'existe pas de marqueur biologique permettant de différencier, par exemple, un cancer pulmonaire dû au tabac, d'un cancer pulmonaire radio-induit.

Concernant l'impact des sources de radioactivité naturelle, celui-ci est très variable selon les lieux : la dose liée au radon et aux rayonnements telluriques dépend de la richesse du sol en uranium et en thorium, et plus particulièrement de la porosité du sol pour le radon. L'impact de la présence de radioactivité dans les sols sur la santé humaine est en effet très majoritairement lié à l'effet du radon et, dans une moindre mesure, au transfert de potassium 40 vers l'alimentation humaine (Source : ASN).

Illustration du phénomène de radioactivité et de ses unités de mesure

Réalisation : DREAL Normandie et Agence Bingo

Gray (Gy) :
unité de mesure de l'énergie cédée par les rayonnements ionisants à la matière traversée. Elle correspond à la dose absorbée.



Sievert (Sv) :
unité utilisée pour donner une évaluation de l'impact des rayonnements sur les humains. Elle est employée le plus souvent avec sous-multiples microsievert (μSv) et millisievert (mSv).

Becquerel (Bq) : unité légale de mesure internationale utilisée en radioactivité. Le becquerel mesure l'activité d'une source radioactive naturelle ou artificielle, c'est-à-dire le nombre de désintégrations d'atomes qui s'y produit en une seconde. Cette unité se décompte au niveau de l'atome. On emploie habituellement ses multiples (kilo, méga, giga ou téra becquerels). Par exemple, un adulte moyen a une activité voisine de 8 kBq (due principalement au carbone 14 et au potassium 40).

L'exposition moyenne globale de la population française, en 2015, était estimée à 4,5 millisieverts (mSv) par an. Au niveau mondial, l'exposition moyenne des populations est évaluée à 3 mSv par an.

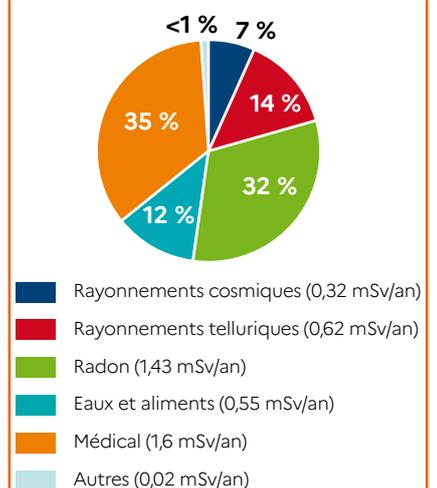
Les sources naturelles sont à l'origine d'une exposition moyenne de 2,4 mSv. L'exposition d'origine médicale représente plus de 35 %, en moyenne, de l'exposition totale. L'impact des rejets industriels et des essais militaires est estimé à 0,02 mSv par an. C'est pour cette raison que l'impact de ces activités est considéré par l'Autorité de sûreté nucléaire comme extrêmement faible en France actuellement.

Définitions

Un **cancer secondaire** est un nouveau cancer qui survient chez une personne qui a déjà eu un cancer. Il s'agit d'un type de cancer complètement nouveau et différent du premier. On parle aussi de second cancer primitif (SCP).

Bilan IRSN 2015 (Total = 4,5 mSv/an)

Source : ASN



Références

Afin de lutter contre la pollution plastique à l'échelle internationale, la cinquième Assemblée des Nations unies pour l'Environnement (ANUE-5) avait adopté en mars 2022 une résolution historique en vue de négocier, d'ici fin 2024, un traité mondial de lutte contre la pollution plastique. Ce dernier devait être juridiquement contraignant et fondé sur une approche globale couvrant l'ensemble du cycle de vie des plastiques. Cependant, un groupe de pays producteurs de pétrole dont la Russie, l'Arabie saoudite et l'Iran ne souhaitaient pas la mise en place de réductions contraignantes. Les négociations n'ont pas abouti. Elles doivent néanmoins se poursuivre.

Source : ministère de la Transition écologique

Les pollutions plastiques et micro-plastiques

Chaque année, plus de 400 millions de tonnes de déchets plastiques sont générés dans le monde. Ils polluent l'ensemble des milieux, en premier lieu terrestres (Source : ministère de la Transition écologique). Le faible coût du plastique et ses multiples capacités ont favorisé l'augmentation constante de sa production et de son utilisation, partout sur terre. La hausse de l'utilisation de plastique à usage unique a été telle que les systèmes de gestion de ces déchets se sont vite retrouvés dépassés.

Définition

Les plastiques sont des matières dont la forme et la composition tendent à varier fréquemment. De façon générale, ils sont constitués d'une base formée de matériaux polymères, de charges (minérales, organiques, métalliques...), de plastifiants et d'additifs. La diversité de leur nature chimique façonne leurs propriétés et complexifie l'étude de leur fonctionnement et de leurs impacts (OFB, 2019). Abandonnés dans l'environnement, ces composants et les additifs chimiques qu'ils contiennent agissent comme des contaminants. La taille des particules est comprise entre 5 millimètres et quelques centaines de nanomètres, soit 70 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu. Leur taille est déterminée par les processus d'altération qu'ils ont subis. Ces processus conduisent à des particules de tailles différentes :

- supérieure à 5 mm > macroplastique ;
- inférieure à 5 mm > microplastique ;
- comprise entre 1 nanomètre et 1 micromètre > nanoplastique.

Ainsi, cette pollution n'est pas toujours visible à nu. La faible taille des particules permet au plastique de contaminer de très nombreux écosystèmes.

Origine

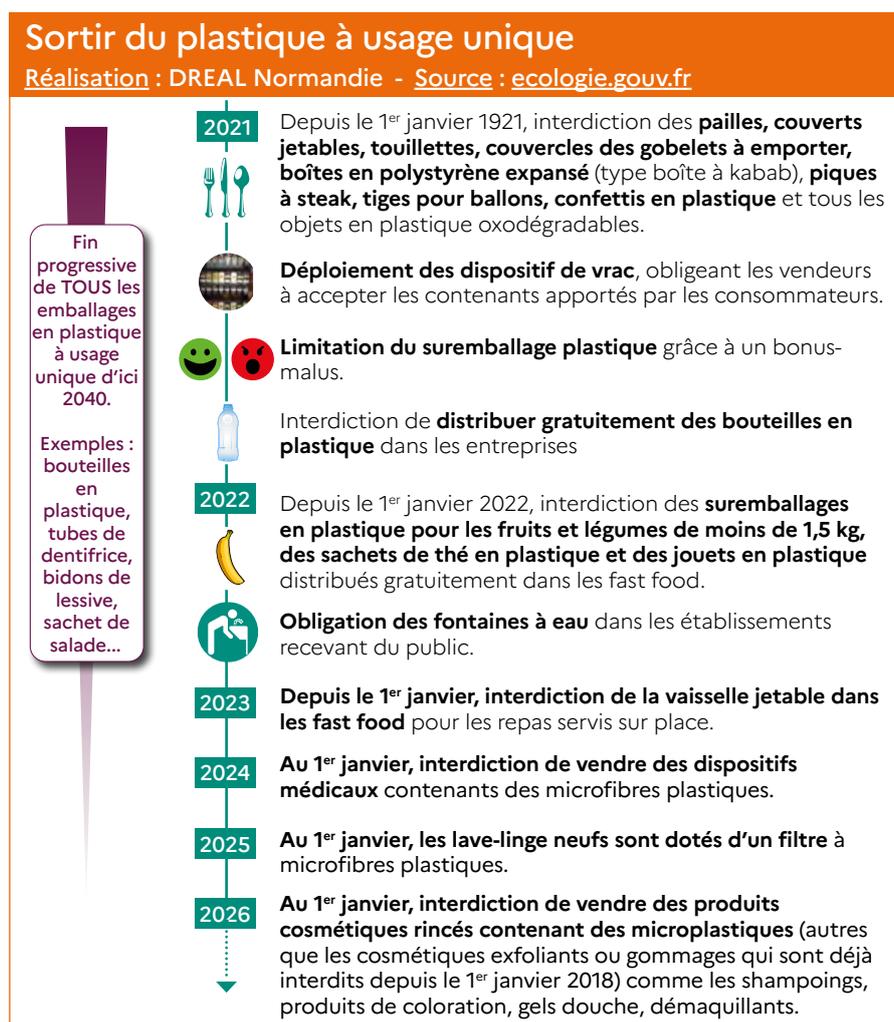
Dans un rapport de 2020, l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) a identifié trois étapes distinctes dans le processus de pollution macro, micro et nanoplastique :

- **les moments de pertes ou fuites de matière**
 - Lorsqu'un individu jette un déchet dans la rue ou qu'il fait tourner une lessive d'habits synthétiques, lorsque les pneus et les freins d'une voiture s'usent ou que la fumée des usines d'incinération est libérée...
- **les moments de dispersion** par l'activité de divers éléments comme les réseaux d'eaux usées ou pluviales, l'air et le vent, les retombées atmosphériques, les fleuves et rivières ou encore les courants marins ;
- **les moments d'accumulation.**

Suite à l'action de facteurs multiples, la structure des plastiques est modifiée et ils subissent ensuite d'autres processus de transformation

en fonction de l'environnement dans lequel ils se trouvent. Leur diversité au sein des sols est donc particulièrement importante et leur durée de vie peut être très longue. Le milieu agricole se trouve fortement touché par ce type de pollution, notamment avec l'utilisation de bioplastiques pour le paillage par exemple ou encore de boues résiduelles des stations d'épuration. Ces boues proviennent de la chaîne de traitement des eaux usées et peuvent être réutilisées en agriculture pour leur richesse organique et minérale. Elles concentrent entre 1 000 et 100 000 particules de plastiques par kg de matière sèche, ce qui équivaldrait pour la France au rejet dans les sols de 100 000 tonnes de microplastiques par an (OPECST, 2020).

Modalités spécifiques d'action de prévention



Références

Décret n° 2021-517 du 29 avril 2021 relatif aux objectifs de réduction, de réutilisation et de réemploi, et de recyclage des emballages en plastique à usage unique pour la période 2021-2025

Trois objectifs sont fixés par ce premier décret « 3R » pour la période 2021-2025 :

- 20 % de réduction des emballages plastiques à usage unique d'ici fin 2025, dont au minimum la moitié obtenue par recours au réemploi et à la réutilisation ;
- tendre vers une **réduction de 100 % des emballages en plastique à usage unique inutiles**, tels que les blisters plastiques autour des piles et des ampoules, d'ici fin 2025 ;
- tendre vers **100 % de recyclage des emballages en plastique à usage unique d'ici le 1^{er} janvier 2025** et pour y parvenir un objectif que les emballages en plastique à usage unique mis sur le marché soient recyclables, ne perturbent pas les chaînes de tri ou de recyclage, ne comportent pas de substances ou éléments susceptibles de limiter l'utilisation du matériau recyclé.

Références

La loi anti gaspillage pour une économie circulaire vise à réduire l'utilisation du plastique jetable et à favoriser la substitution du plastique par d'autres matériaux ou le développement d'emballages réutilisables ou recyclables et recyclés.

Plusieurs mesures ont été prises par le Gouvernement pour réduire drastiquement les quantités de plastique produites et consommées. La loi fixe comme objectif d'atteindre la fin de la mise sur le marché d'emballages en plastique à usage unique d'ici à 2040. Cette ambition nécessite une adaptation de l'ensemble de nos activités. Par ailleurs, certains produits en plastique à usage unique sont d'ores et déjà interdits et d'autres le seront dans les années suivantes, de manière progressive.

Pour en savoir plus : <https://www.ecologie.gouv.fr/lutte-contre-pollution-plastique>

Repères

En 2019, l'ADEME a lancé un travail de recherche sur la contamination des sols en microplastiques. Ainsi, l'Institut de recherche Dupuy de Lôme a perfectionné une méthode d'extraction et de comptage des MP issus de 33 sols français en lien avec l'INRAE. Une difficulté analytique réside dans la concentration élevée de matières organiques dans les sols qui perturbe la caractérisation des plastiques. Les microplastiques (MP) appartenant à la fraction granulométrique [315 µm ; 5 µm] ont été analysés et retrouvés en moyenne à 15 MP/kg de sols agricoles, prairiaux ou forestiers.

Pour en savoir +

- Office Français de la Biodiversité (OFB). *La pollution plastique : de nouvelles connaissances et des pistes pour l'action publique*. Synthèse. Les Rencontres. 116 pages. Juin 2019.
https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/RS_2020_Pollution_Plastique.pdf
- Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (OPECST). *Pollution plastique : une bombe à retardement ?* Rapport Assemblée Nationale n°3654 et Sénat n°217. 326 pages. Décembre 2020.
<http://www.senat.fr/rap/r20-217/r20-2171.pdf>
- Programmes des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). *Planète plastique : de minuscules particules de plastique polluent notre sol*. 2018.
<https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/planete-plastique-de-minuscules-particules-de-plastique-polluent-notre>

L'évaluation en Normandie

Les conséquences des pollutions microplastiques sont difficiles à évaluer. Les études sont encore peu nombreuses et récentes, elles doivent s'intéresser à l'ensemble des écosystèmes au sein desquels les micro et nano-plastiques se diffusent. De plus, les composants des plastiques varient grandement selon les matières et, ensuite, selon les environnements avec lesquels ils entrent en contact.

Ces pollutions exposent les populations à des risques de nature environnementale ou sanitaire dans la mesure où ils s'accumulent dans l'écosystème et dans l'alimentation. L'exposition permanente, la taille microscopique que peuvent atteindre certaines des particules et leur multiplication favorisent leur circulation dans l'intégralité des écosystèmes et des organismes vivants.

Parmi ces impacts, il est possible de citer par exemple les intoxications liées à l'exposition aux micro-plastiques contenant des substances chimiques comme les perturbateurs endocriniens. Ces derniers favorisent le développement de pathologies telles que l'obésité, le diabète, certaines formes de cancers... L'exposition aux contaminants des plastiques altère aussi fortement l'état de la biodiversité et ainsi le fonctionnement des écosystèmes (OPECST, 2020).

Zoom sur l'aménagement de la « Colline aux Oiseaux »

Le parc de la Colline aux oiseaux à Caen (Calvados)



DREAL Normandie

Le parc paysager de la Colline aux Oiseaux, situé au nord ouest de la ville de Caen, a été aménagé sur un terrain qui était auparavant une décharge. De 1923 à 1972, cet espace servait à entreposer les déchets ménagers des habitants de la commune, jusqu'à l'arrivée de l'usine d'incinération de Colombelles.

Les montagnes de détritiques s'épalaient alors sur 9 hectares avec un point culminant à 20 mètres de haut et provoquaient des « nuisances visuelles et olfactives » pour les populations locales. Il s'agit aujourd'hui d'un endroit fortement visité et apprécié, où la faune et la flore peuvent se développer. On y pratique certaines techniques écologiques, comme le compostage par exemple qui joue un rôle important dans le processus de régénération des sols.



L'effondrement de la biodiversité

Un effondrement généralisé

La perte de biodiversité, appelée aussi érosion de la biodiversité, est une crise écologique liée à l'extinction d'espèces végétales et animales dans le monde entier, ainsi que la réduction ou la perte locale d'espèces dans un habitat donné, et la disparition d'écosystèmes. Cette évolution, massive et généralisée, est qualifiée par les experts internationaux (IPBES) comme "sans précédent".

En Normandie, l'ensemble des dispositifs d'observation de la biodiversité confirme cette tendance générale. Les données sont suivies par l'observatoire de la biodiversité de régionale (de l'ANBDD, cf. encadré), avec la participation d'un grand nombre d'acteurs, notamment les associations naturalistes.

Ainsi, un état des lieux régional des connaissances a pu être dressé grâce à l'expertise de plusieurs structures naturalistes régionales de référence :

- pour plusieurs groupes d'espèces de vertébrés (oiseaux, mammifères, amphibiens, reptiles, poissons d'eau douce...);
- pour certains groupes d'invertébrés (papillons de jour, criquets sauterelles, libellules...);
- ainsi que pour la flore.

Pour en savoir +

L'état des lieux régional des connaissances de la biodiversité en Normandie



<https://www.anbdd.fr>

Violette de Rouen (*Viola hispida* Lam)



Christophe BLONDEL/CBNBL

Pour en savoir +



Rapport de l'IPBES, 2019 : *Evaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques.*

www.ipbes.net/global-assessment

Site de l'Agence normande de la biodiversité et du développement durable (ANBDD)

<https://www.anbdd.fr/biodiversite/connaissance/listes-despeces-et-listes-rouges/>



La biodiversité de Normandie : quelques publications récentes de l'ANBDD



Les indicateurs normands de la biodiversité :

<https://www.anbdd.fr/biodiversite/connaissance/les-indicateurs-normands-de-la-biodiversite/>



Références

L'IPBES, organisation internationale scientifique de référence sur la biodiversité, identifie cinq grandes causes d'érosion de la biodiversité :

- les changements d'usage des terres et de la mer ;
- la surexploitation des plantes et des animaux ;
- le changement climatique ;
- la pollution ;
- les espèces exotiques envahissantes.

Pour en savoir plus :

Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). *Le rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques. Résumé à l'attention des décideurs.* 60 pages. 2019. https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_fr.pdf



Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*)



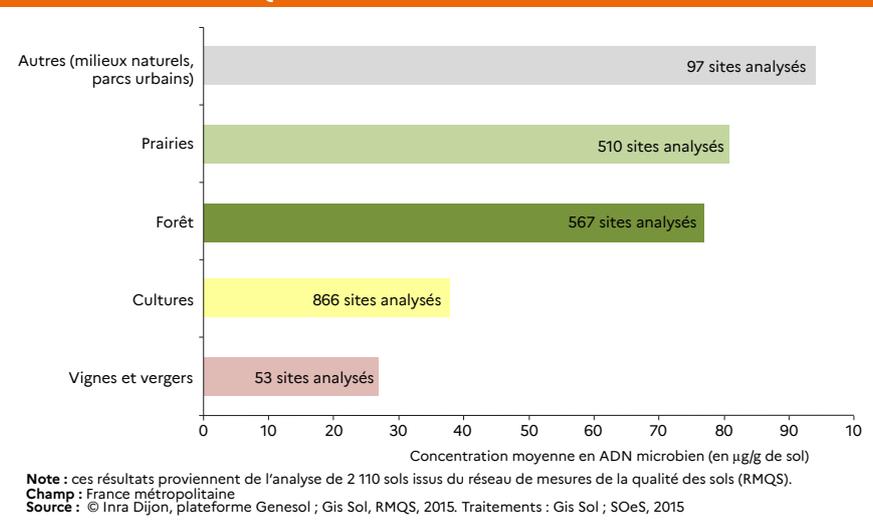
Sandrine Héricher

Il n'existe pas en Normandie de dispositif global de suivi et d'observation spécifique de la biodiversité des sols. Les tendances observées lors d'études territoriales spécifiques sont généralement conformes aux orientations générales.

L'analyse de l'occupation des sols permet d'approcher son contexte de biodiversité. Les sols qui ont la biomasse microbienne importante sont notamment les prairies (81 µg/g de sol) et les forêts (76 µg/g de sol). Les sols qui disposent d'une biomasse moins importante sont les sols cultivés en monoculture (38 µg/g de sol) ou les sols de vignobles ou vergers (26 µg/g de sol).

Biomasse microbienne moyenne par type d'usage du sol

Sources : INRA et RMQS



Un sol de prairie contient :

- plusieurs milliers d'espèces animales ;
- de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'espèces de micro-organismes (bactéries, champignons...).

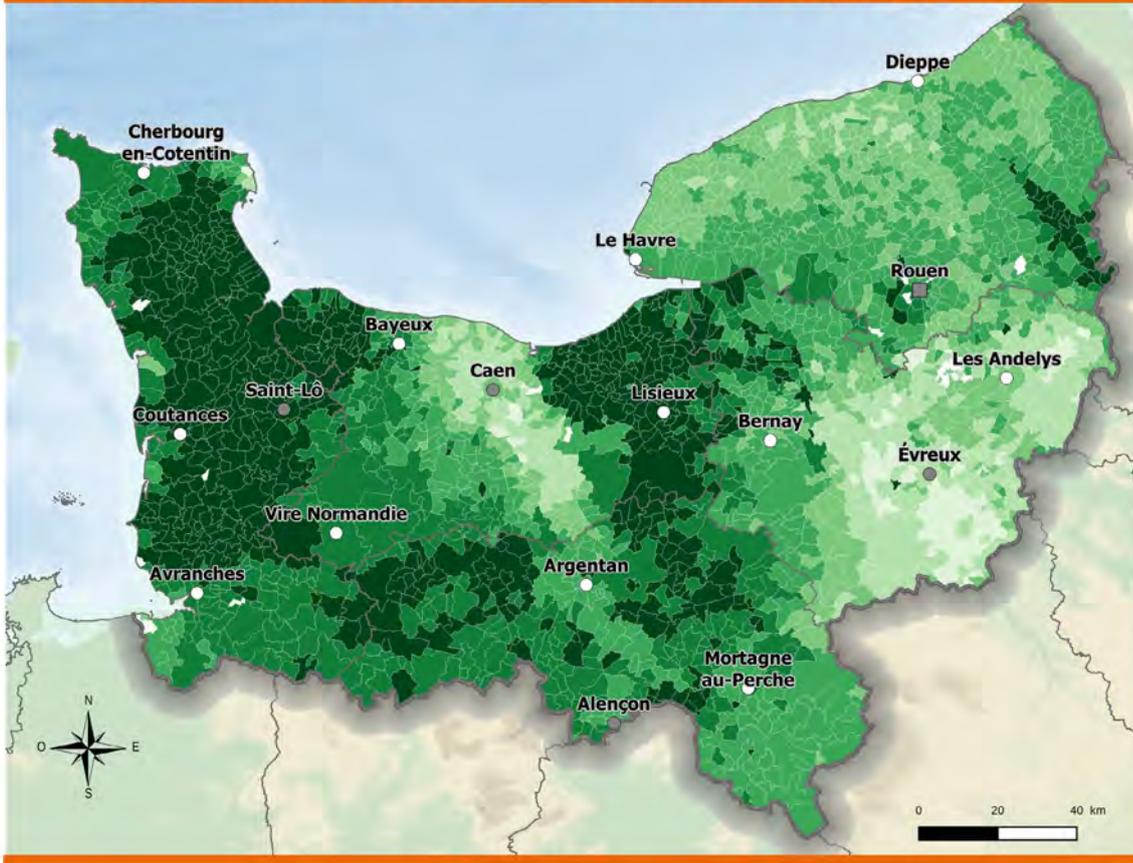
En termes de biomasse (quantité), cela peut représenter plus de 7,5 t/ha d'organismes :

- 1,5 t/ha de faune ;
- 2,5 t/ha de bactéries ;
- 3,5 t/ha de champignons vivants.

En termes d'abondance (nombre d'individus), les bactéries peuvent constituer jusqu'à 1 milliard d'individus par gramme de sol.

Ainsi, l'évolution de la biodiversité des sols sur le territoire régional dépend très fortement des choix d'aménagement et des activités humaines. L'effondrement des prairies ces dernières décennies et le développement du recours aux pesticides dans le cadre de grandes cultures (maïs, blé...) ont, selon toute probabilité, entraîné un déclin très fort de la biodiversité dans les secteurs considérés.

Profil environnemental de Normandie - Part des surfaces de prairies en 1970



Part des surfaces de prairies* par commune dans la surface agricole utilisée (SAU).

- Supérieure ou égale à 90%
- De 80 à 90%
- De 60 à 80%
- De 40 à 60%
- De 20 à 40%
- Inférieure à 20%
- Absence de prairies

(*) Une prairie est définie comme une surface agricole permanente couverte principalement de graminées ou d'autres plantes fourragères herbacées, qui n'a pas été labourée ou réensemencée pendant une période prolongée (généralement au moins cinq ans).
Source : Politique Agricole Commune (PAC)

Sources :
AGRESTE/Recensement agricole 1970
IGN - GEBCO

Production :
Le 23/12/2024 - DREAL Normandie



Profil environnemental de Normandie - Part des surfaces de prairies en 2020



Part des surfaces de prairies* par commune dans la surface agricole utilisée (SAU).

- Supérieure ou égale à 90%
- De 80 à 90%
- De 60 à 80%
- De 40 à 60%
- De 20 à 40%
- Inférieure à 20%
- Absence de prairies

(*) Une prairie est définie comme une surface agricole permanente couverte principalement de graminées ou d'autres plantes fourragères herbacées, qui n'a pas été labourée ou réensemencée pendant une période prolongée (généralement au moins cinq ans).
Source : Politique Agricole Commune (PAC)

Sources :
AGRESTE/Recensement agricole 1920
IGN - GEBCO

Production :
Le 23/12/2024 - DREAL Normandie



Origine

Les principales causes de la perte de biodiversité identifiées en Normandie sont :

- la pollution des eaux, des sols et de l'air par contamination directe du milieu. Les apports agricoles (pesticides et engrais utilisés à grande échelle) jouent un rôle majeur, ainsi que les rejets des collectivités ou des sites industriels ;
- les pertes et fragmentations d'habitats (dégradation des terres, routes, urbanisation, exploitations...);
- la surexploitation de la biodiversité (braconnage, surpêche) ;
- les espèces exotiques envahissantes ;
- le changement climatique.

De plus, les grands remembrements de parcelles agricoles ont achevé de détruire une grande partie du réseau bocager, entraînant la disparition de la faune et de la flore typique du milieu bocager.

Travaux pour la déviation d'Evreux (Eure)



DREAL Normandie

Les impacts environnementaux et sanitaires

Les conséquences sur les écosystèmes

La biodiversité, dans toutes ses dimensions (diversité génétique, diversité des espèces, des écosystèmes, des fonctions), est un facteur de stabilité pour les écosystèmes : plus un écosystème dispose d'une biodiversité variée, plus il est en capacité de résister aux aléas et sera apte à retrouver rapidement un état d'équilibre suite à une perturbation. Lorsque la biodiversité diminue, les milieux sont moins résilients et plus vulnérables, d'autant plus s'ils ne sont pas connectés entre eux (routes, constructions...).

La biodiversité des sols est soumise à cette même évolution, ce qui a pour conséquence d'affecter la fonctionnalité des écosystèmes et les services rendus. Par exemple, un arbre installé dans un sol non fonctionnel pauvre en biodiversité, comme peuvent l'être les plantations des arbres en ville, aura du mal à se développer correctement et à apporter tous les services attendus (ombrage, humidité de l'air, biodiversité en ville...). De même, un enracinement précaire le rendra plus fragile face à l'aléa tempête.

Les conséquences sur la santé humaine

La biodiversité favorise notamment les conditions d'une meilleure santé, en premier lieu par l'alimentation. Les pollinisateurs jouent notamment un rôle incontournable pour un grand nombre de produits végétaux que nous consommons. Grâce à la diversité alimentaire, les sources de nutriments sont beaucoup plus variées. La biodiversité animale, végétale, microbienne et fongique favorise parallèlement la qualité de l'air et la qualité de l'eau. Vivre à proximité d'un espace de nature et de biodiversité participe aussi au bien-être humain, à diminuer la prévalence de nombreuses maladies (troubles de l'anxiété, migraines, AVC...) et favorise les liens sociaux (opérations de plantations d'arbres avec les citoyens, jardins partagés...). La biodiversité affecte également les risques sanitaires. Plus la biodiversité est riche, moins la diffusion des virus ou bactéries pathogènes est facile et moins les risques sanitaires sont importants. Ainsi, en ville, des initiatives qui visent à favoriser l'installation d'espèces prédatrices d'autres espèces peuvent affecter la santé des habitants (nichoirs à mésanges et à chauve-souris pour lutter contre les chenilles processionnaires ou les moustiques, par exemple).

Pour en savoir +

L'impact majeur des pesticides sur la biodiversité

De nombreuses études récentes ont montré l'ampleur des effets des pesticides sur la biodiversité.

En quarante ans, le nombre d'oiseaux des champs s'est effondré de 60 %. Publiés le 15 mai 2023 dans *Proceedings of the National Academy of Sciences* (revue éditée par l'Académie des sciences américaines), une étude établit, pour la première fois, une hiérarchie générale des causes du déclin des populations d'oiseaux en Europe. Les usages de pesticides et d'engrais de synthèse sont identifiés comme facteur majeur d'effondrement de ces espèces, avant le changement climatique.

Les pesticides réduisent l'abondance et la diversité des communautés de la faune du sol, même s'ils sont utilisés à des doses réglementaires (Source : CNRS, Université de Toulouse III Paul-Sabatier). La méta-analyse du CNRS, publiée le 7 juin 2023 dans la revue britannique *Journal of Applied Ecology*, complète le diagnostic en montrant que les conséquences délétères des pesticides sur la faune présente dans les sols sont généralisées.

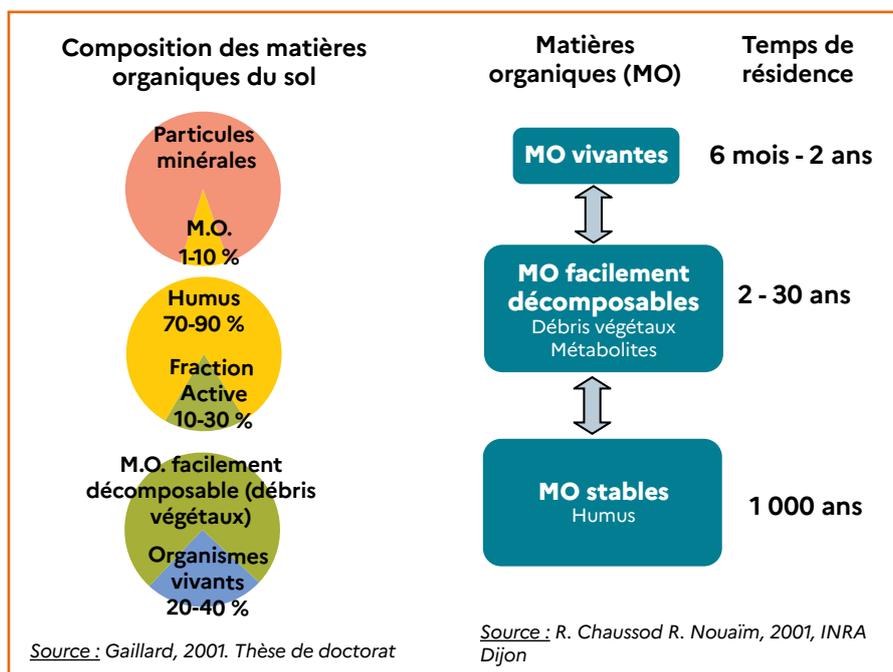


La baisse des matières organiques

Les matières organiques ne représentent qu'une petite fraction du sol mais elles en sont un constituant essentiel.

Le terme « matières organiques du sol » regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol (cf. partie 1). Les matières organiques des sols représentent en général 1 à 10 % de la masse des sols. Elles se répartissent en trois groupes :

- les matières organiques vivantes (animales, végétales, fongiques et microbiennes) qui englobent la totalité de la biomasse en activité (racines, vers de terres, microflore du sol...);
- les matières organiques fraîches qui représentent les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres), fongique et microbienne (cadavres, exsudats) ;
- les composés organiques stabilisés qui correspondent aux matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes. La partie humus représente 70 à 90 % du total.



Les sols stockent du carbone sous la forme de matières organiques et le rejettent à l'état gazeux notamment sous la forme de CO₂, dans l'atmosphère. Quand ils en piègent plus qu'ils n'en émettent, on parle de « puits de carbone ».

Stocks de carbone par mode d'occupation du sol pour l'horizon 0-30 cm

Données : INRA et RMQS - GIS Sol

	Stock de C Horizon 0-30 cm (tC/ha)	Surface (Mha)	Stock total Horizon 0-30 cm (MtC)
Prairie permanente	84,6 ±35	9,3	790 ±325
Terres arables (grandes cultures et prairies temporaires)	51,6 ±16,2	18,4	950 ±300
Forêts	81 ±35,4	16,9	1 370 ±600
Autres	79	6	475
Total		50,6	3 585

Les écosystèmes prairiaux de longue durée (prairies permanentes) sont caractérisés par des stocks élevés (84,6 t/ha en moyenne, source : INRAE) et par une tendance à un léger stockage.

Les écosystèmes forestiers sont également caractérisés par des stocks actuellement élevés (81 tC/ha en moyenne, source : INRAE) et par une tendance à la hausse des stocks, en partie explicable par le fait qu'une partie non négligeable des surfaces forestières résulte d'afforestations récentes et n'a pas encore atteint un état d'équilibre.

Les écosystèmes de grandes cultures (y compris prairies temporaires) et de cultures pérennes sont caractérisés par des stocks plus faibles (51,6 tC/ha en grandes cultures en moyenne, source : INRAE), et par une **tendance à la baisse**.

Les matières organiques des sols, majoritairement composées de carbone, participent à quatre grands services écosystémiques :

- la résistance des sols à l'érosion ;
- leur rétention en eau ;
- leur fertilité pour les plantes ;
- et leur biodiversité.

Elles assurent la cohésion des constituants du sol ainsi que de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales :

- stockage et mise à disposition des éléments nutritifs pour la plante (par minéralisation) ;
- développement de l'activité biologique (source d'énergie) ;
- structuration et stabilité du sol vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique ;
- réchauffement (coloration plus sombre des matières organiques) ;
- contribution à la perméabilité, l'aération et à la capacité de rétention en eau ;
- participation au maintien de la qualité de l'eau par rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques). En excès, les matières organiques peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates ;
- participation au cycle du carbone en tant que puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO₂).

Pour en savoir +

INRAE. *Stocker du carbone dans les sols français*. 12 pages. juillet 2019.





Les glissements de terrain et chutes de bloc

Les glissements de terrain

Description du phénomène

Les glissements de terrain font partie des mouvements dits lents, qui entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par les humains. Ils se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau et peuvent mobiliser des volumes considérables de terre, qui se déplacent le long d'une pente.

Origine

Les conditions d'apparition du phénomène sont liées à la nature et à la structure des terrains, à la morphologie du site, à la pente topographique et à la présence d'eau.

Les facteurs à même de déclencher un glissement de terrain peuvent être d'origine naturelle ou liés aux activités humaines. Parmi les facteurs d'origine naturelle, on identifie :

- les fortes pluies ;
- l'affouillement de berges ;
- l'effondrement de cavités.

Les facteurs d'origine humaine sont généralement les suites de travaux d'aménagement :

- surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable ;
- affouillement en pied de versant supprimant une butée stabilisatrice ;
- rejets d'eau (fuite de réseau par exemple) ;
- pratiques culturelles favorisant l'érosion des sols ;
- déboisement...

Impacts environnementaux et sanitaires

Les glissements de terrain peuvent entraîner des dégâts importants sur les constructions et, dans certains cas, provoquer leur ruine complète. Ces glissements s'accompagnent d'indices caractéristiques (niches d'arrachement, fissures, bourrelets, contre-pentes, arbres basculés, zone de rétention d'eau...) qui cicatrisent.

En quelques années, voire en quelques mois, un ancien glissement de pente se végétalise, se modère par érosion et sa trace n'apparaît plus qu'au travers d'indices de plus en plus difficiles à interpréter.

Etat des lieux en Normandie

Le risque de glissement de terrain se concentre sur une ligne nord-sud, à l'est du Calvados et de l'Orne, dans le pays d'Auge, le pays d'Ouche, le secteur d'Argentan et le Perche. Les falaises du Bessin sont aussi particulièrement concernées. Le risque en Seine-Maritime et dans l'Eure n'a pas été cartographié à ce jour.

Glissement de terrain à Port-en-Bessin (Calvados)



DDTM 14

Pour en savoir +

Glissements de terrain
(14-50-61) - Normandie



<https://carto2.geo-ide.din.developpement-durable.gouv.fr/frontoffice/?map=99b55982-57d7-4175-bca7-410f9f23144e>

Pour en savoir +

Prédispositions aux risques naturels en Normandie - Mouvements de terrains
https://carmen.application.developpement-durable.gouv.fr/8/risques_naturels_mvt.map#

Chute de blocs à Les Andelys (Eure)



DDTM 27

Les chutes de bloc

Description du phénomène

Les chutes de blocs font partie des mouvements de terrain dits « mouvements rapides », du fait de leur propagation brutale et soudaine. Les éboulements et chutes de blocs se produisent à partir de falaises, d'escarpements rocheux, ou de blocs provisoirement immobilisés sur une pente.

L'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres (volume inférieur à 1 dm³), des chutes de blocs (volume supérieur à 1 dm³), des éboulements (volume supérieur à 100 m³), ou des écroulements en masse (volume de centaines de m³ et pouvant atteindre des millions de m³). Les blocs isolés rebondissent ou roulent sur le versant, tandis que dans le cas d'écroulements en masse, les matériaux «s'écoulent» à grande vitesse sur une très grande distance (exemple de l'écroulement du Mont Granier en Savoie dont les matériaux calcaires ont parcouru une distance horizontale de 7 km et se sont étalés sur une surface de 20 km² environ).

La complexité du phénomène réside dans la diversité des paramètres conditionnant sa survenance : pente, climat, lithologie, état d'altération et de fissuration des terrains, circulation des eaux de surface, présence ou non d'une nappe souterraine... Il reste cependant possible d'identifier les terrains prédisposés en analysant leur pente.

Origine

Les principaux facteurs naturels susceptibles de déclencher éboulements et chutes de blocs sont :

- les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte de la neige ;
- l'alternance gel / dégel ;
- la croissance de la végétation ;
- les secousses sismiques ;
- l'affouillement ou le sapement de la falaise.

Impacts environnementaux et sanitaires

La chute de blocs et la propagation de ces derniers présentent un risque de dommages significatifs pour les maisons d'habitation construites en pied de versants rocheux ainsi que pour les voies de communication.

Le changement climatique, notamment la hausse des températures et la modification du régime des précipitations, peut avoir des conséquences sur la stabilité de certains versants rocheux tels que les falaises de craie sur le littoral de Seine-Maritime et les falaises fluviales en rives de l'Eure et de la Seine.

Evaluation du phénomène en Normandie

En Seine-Maritime, les nombreux cours d'eau qui ont entaillé le plateau crayeux ont créé une géomorphologie du territoire propice au phénomène de chutes de blocs et d'éboulements.

Les chutes de blocs au niveau des éperons rocheux sont rares mais plusieurs évènements ont été constatés ces dernières années dans les vallées de l'Orne et de la Seine, ainsi que dans la vallée de l'Iton dans l'Eure.

Une étude, menée par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) sur les secteurs de falaise sensibles dans l'Eure, a permis d'identifier plus de 300 bâtiments et près de 30 tronçons routiers en zone d'aléa fort. Une étude similaire en cours en Seine-Maritime a déjà mis en évidence près de 1 700 bâtiments et 60 tronçons routiers en zone d'aléa fort au niveau des falaises de Seine.

Chute de blocs survenue le 12 janvier 2024 sur la commune de La Roquette (27)



Patrick Gendre et Jérôme Millet (DDTM 27)



Les tassements

Références

Article 68 de la loi ELAN du 23 novembre 2018 et décrets d'application dont le décret n° 2019-495 du 22 mai 2019. Depuis le 1^{er} octobre 2020, des études géotechniques avant la vente d'un terrain constructible et avant toute construction doivent obligatoirement être réalisées.

Pour en savoir plus :

<https://www.ecologie.gouv.fr/sols-argileux-secheresse-et-construction>

Deux phénomènes de tassements peuvent être distingués :

- le tassement des sols directement lié aux activités humaines ;
- les tassements différentiels liés au retrait et gonflement d'argiles.

Les tassements liés aux activités humaines

Description du phénomène

Le tassement résulte d'une pression qui a pour conséquence la diminution de la porosité du sol. Or, le volume d'un sol bien structuré est formé à 50 % environ de pores, occupés par de l'air ou de l'eau.

Origine

Le tassement est principalement dû au passage d'engins lourds tels que les tracteurs, les gros véhicules forestiers ou les engins de chantiers. Il peut aussi s'opérer suite au piétinement du bétail. Son intensité dépend de la force de la contrainte appliquée, des caractéristiques du sol et des conditions climatiques.

Ainsi, lorsqu'une machine circule, le sol est soumis à une pression mécanique. Si celle-ci est trop forte, il se réorganise, se « tasse », pour mieux y résister.

Les impacts environnementaux et sanitaires

Le tassement entraîne une perte de porosité du sol, créant ainsi des horizons peu perméables. Les nombreuses petites cavités du sol sont détruites, avec pour impact l'asphyxie du milieu et l'effondrement de sa biodiversité.

Cette asphyxie conduit à la destruction des nombreuses fonctions et services rendus par le sol : réservoir d'eau et de nutriments, régulation des écoulements aquatiques et des gaz à effet de serre, décomposition de matière organique, dégradation des polluants, épuration de l'eau, filtration et structuration (cf. partie 2)...

La destruction des organismes vivants déstabilise l'équilibre des écosystèmes et les services associés : alimentation, atténuation du changement climatique et adaptation à celui-ci, prévention des

risques d'inondation... Les tassements des sols aboutissent ainsi à une importante dégradation de leur fertilité :

- limitation de l'enracinement des cultures ;
- réduction de la vitesse d'infiltration de l'eau ;
- moindre stockage de l'eau ;
- forte perturbation voire destruction de l'activité biologique.

Evaluation du phénomène en Normandie

Le phénomène est difficile à évaluer à l'échelle régionale. Il est lié aux pratiques culturales agricoles et forestières et à l'expansion urbaine (développement des constructions et zones d'activité...). Les professionnels des filières organisent des sensibilisations et formations à ces enjeux, en diffusant des guides de bonnes pratiques.

Les tassements différentiels

Description du phénomène

Certains sols peuvent subir des mouvements différentiels liés à leur assèchement en été et à leur réhumectation en hiver. Ce sont les argiles dites gonflantes qui, retenant ou libérant l'eau, sont à l'origine de ce phénomène. Certains facteurs peuvent l'aggraver, comme la présence de végétation ou le mauvais captage des eaux (pluviales ou d'assainissement).

Les impacts environnementaux et sanitaires

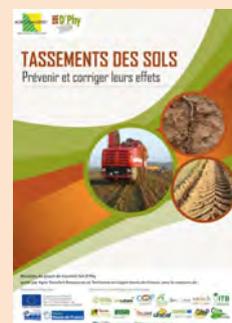
Le processus de retrait et de gonflement des sols argileux occasionne des dégâts considérables sur les bâtiments. Il est à l'origine de déformations différentielles des terrains d'assise des constructions qui provoquent des désordres parfois très importants. Le risque affecte principalement le bâti individuel. Ces mouvements de terrain successifs peuvent :

- perturber l'équilibre des ouvrages ;
- affecter les fondations ;
- et créer des désordres sur les fondations et en surface (fissures, tassements...), pouvant, dans les cas les plus graves, rendre la maison inhabitable.

Ce phénomène s'amplifie avec le changement climatique. Les successions de périodes de sécheresse et d'épisodes de pluies intenses

Pour en savoir +

Agro-Transfert Ressources et Territoires. *Tassements des sols. Prévenir et corriger leurs effets.* 21 pages. Décembre 2018.



accroissent l'ampleur des mouvements de terrain. Au niveau national, ce phénomène représente 42 % des coûts d'indemnisation du dispositif "Cat Nat" (catastrophes naturelles). Il se situe en deuxième position après les dégâts liés aux inondations (49 %). Les épisodes de sécheresse des années 1990-1991 et 2003-2004 ont coûté en cumul près de 10 milliards d'euros, sachant qu'une part importante des sinistres aurait pu être évitée par la mise en place d'une politique de prévention effective.

Ainsi, la sécheresse de 2022 est l'événement le plus coûteux de l'histoire du régime "Cat Nat" : les dommages sur les biens assurés sont estimés entre 3 et 3,5 milliards d'euros. ils concernent 6 801 communes (source : <https://www.ccr.fr>, 2024). C'est, de plus, le premier poste d'indemnisation au titre de l'assurance dommage-ouvrage, pour les sinistres touchant les maisons individuelles.

Evaluation du phénomène en Normandie

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a cartographié cet aléa. La présence d'un aléa n'interdit pas la construction mais des précautions doivent être prises dès la conception de la maison. La prise en compte de la sensibilité du sol au phénomène de retrait-gonflement est essentielle pour maîtriser le risque.

Modalités d'action

Avec la tendance à l'accentuation du phénomène compte tenu du changement climatique, il est essentiel de réduire le nombre de sinistres. Réaliser des fondations adaptées au moment de la conception du bâtiment est moins coûteux qu'une reprise en sous-oeuvre une fois le bâtiment construit.

La cartographie des risques est mise à disposition du public, des collectivités et de la profession dans le but de mieux les prendre en compte et de les réduire. Elle s'accompagne de documents techniques qui permettent d'appréhender les règles élémentaires de construction en présence d'un tel aléa par :

- des fondations adaptées ;
- la gestion de l'eau et la réduction des plantations autour du bâti (arbres...).

Pour en savoir +

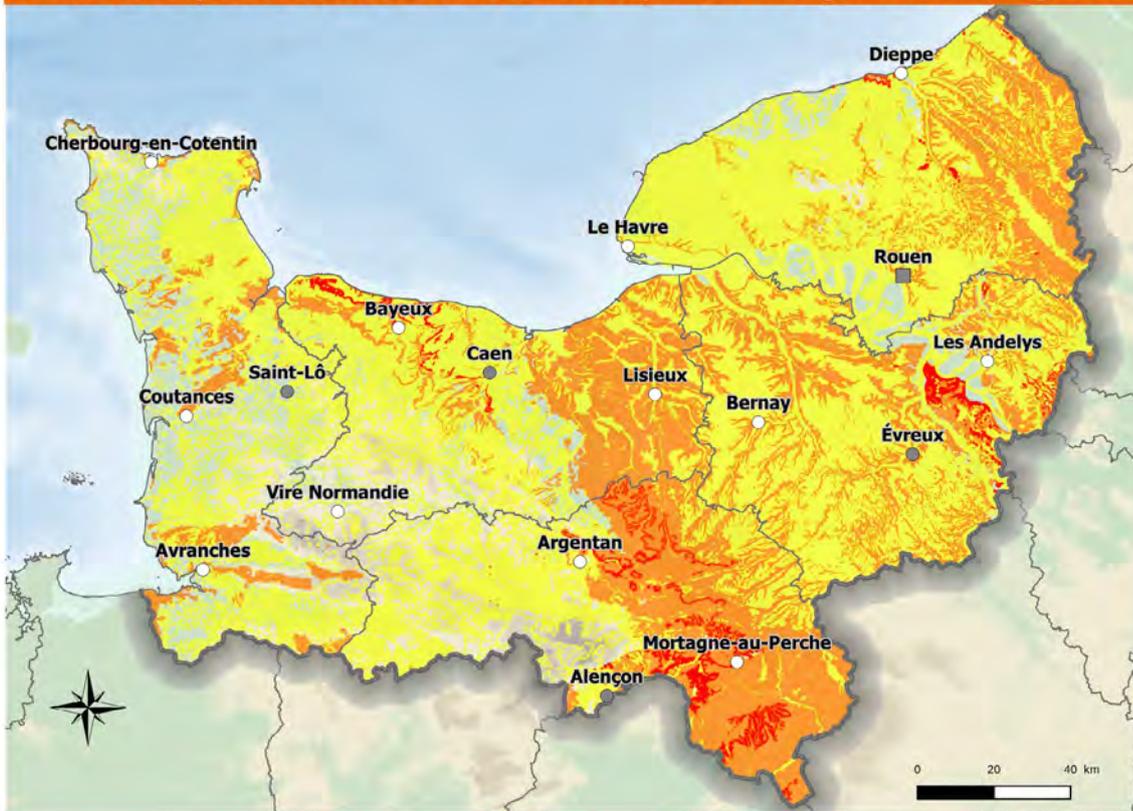
Ministère de la Transition écologique. Construire en terrain argileux. Réglementation et bonnes pratiques. 16 pages. Novembre 2021.



<https://www.ecologie.gouv.fr/>

Profil environnemental de Normandie

Les zones exposées au mouvement de terrain par retrait et gonflement d'argiles



Les zones exposées au mouvement de terrain par retrait et gonflement d'argiles

- Fort
- Moyen
- Faible

Sources :
DREAL
GEBCO

Production :
Le 28/11/2023
DREAL Normandie



La carte nationale est disponible sur le site [Géorisques](https://www.géorisques.fr).

4 Les leviers d'action

pour restaurer et préserver les sols

Culture du lin à Rots, dans la Plaine de Caen (14)



Sandrine Héricher

Plan du chapitre

- ▶ Observer et caractériser les sols
- ▶ Formaliser un diagnostic des sols
- ▶ Préserver les sols
- ▶ Restaurer les sols

Rédacteurs



Patrick Le Gouée (Université de Caen-Normandie),
Sophie Raous (Association française de l'étude des sols)

Pour en savoir +

Nouvelle stratégie de l'UE pour la protection des sols à l'horizon 2030, adoptée le 17 novembre 2021

"Récolter les fruits de sols en bonne santé pour les êtres humains, l'alimentation, la nature et le climat"

Cette stratégie vise à établir un cadre et des mesures pour la protection, la restauration et l'utilisation durable des sols, en cohérence avec les autres politiques du Pacte vert pour l'Europe, en particulier le plan d'action « Vers une pollution zéro dans l'air, l'eau et les sols ».

L'objectif est de définir une vision et des objectifs pour parvenir à des sols sains dans l'ensemble des Etats membres à l'horizon 2050, en s'appuyant sur des actions concrètes d'ici à 2030.

Pour ce faire, la stratégie de l'UE prévoit la présentation d'une nouvelle législation sur la santé des sols afin de garantir des conditions de concurrence équitables et un niveau élevé de protection de l'environnement et de la santé humaine. Cette législation doit aussi permettre de compléter la proposition de règlement relatif à la restauration de la nature.

Sur le web :

www.eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699

Les sols ont été fortement altérés à partir du XIX^e siècle.

Consciente de l'enjeu humain et écologique lié à leur préservation et à leur restauration, l'Union européenne s'est intéressée depuis des décennies à la mise en place de référents communs pour l'ensemble de ses Etats membres.

Elle a notamment défini une nouvelle stratégie de protection des sols en Europe pour 2030. Ambitieuse, celle-ci prévoit la construction d'un répertoire des sols pollués et contaminés en Europe.

Cette nouvelle stratégie constitue l'un des éléments annoncés dans le programme cadre "Zéro pollution 2050 (eau, air, sols)".

Une directive européenne est aussi en préparation. Elle vise à ;

- rendre obligatoire la surveillance de la santé des sols ;
- fournir des principes directeurs pour une gestion durable des sols ;
- améliorer les situations dans lesquelles la contamination des sols pose des risques inacceptables pour la santé et l'environnement.

Aux niveaux national et régional, la prise en compte de l'impact sanitaire et environnemental de la gestion des sols nécessite une forte mobilisation de tous les acteurs dans ce domaine :

- experts ;
- collectivités dans l'élaboration de leur schéma, plans et programmes ;
- professionnels (urbanistes, bureaux d'études...) ;
- associations de préservation de l'environnement ;
- citoyens...



Observer et caractériser les sols

Les sols sont soumis à différents phénomènes de dégradation qui affectent leur fonctionnement (cf. partie 3). Les solutions mises en œuvre pour les préserver ou les restaurer doivent s'adapter à leur nature et leur situation.

L'observation et la caractérisation d'un sol peuvent servir à :

- réaliser un document d'urbanisme ;
- comprendre un dysfonctionnement de culture ou forestier ;
- changer de méthode culturale en agriculture ;
- optimiser une plantation (vigne, arboriculture) ;
- gérer un site pollué.

Observer un sol

Pour comprendre et connaître un sol, notamment en agronomie, on s'attache souvent à observer et analyser la couche de surface qui bénéficie ou subit des interactions mécaniques, chimiques et biologiques. Cette approche classique ne doit pas faire oublier que l'offre globale du sol en termes de services écosystémiques dépend de son fonctionnement qui repose lui-même sur son épaisseur et des propriétés des couches qui le constituent. Les horizons du sol jouent en effet un rôle majeur dans les transferts et rétention de l'eau ainsi que sur la prospection racinaire.

Ce chapitre permet de recenser les outils et méthodes clés pour observer un sol :

- en préparation d'une session sur le terrain ;
- directement sur le terrain.

Les outils cartographiques

Les outils permettant une première approche des sols sont d'abord cartographiques. Le travail du Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols (GIS SOL) permet d'accéder à de nombreux outils cartographiques pour :

- connaître la localisation des sols dans l'espace ;
- mesurer leurs propriétés ;
- étudier leur évolution dans le temps ;
- mesurer l'impact des activités humaines sur cette évolution ;
- estimer les conséquences des modifications de leurs propriétés sur l'environnement.

Les travaux du Gis Sol sont conduits autour de quatre grands

Références

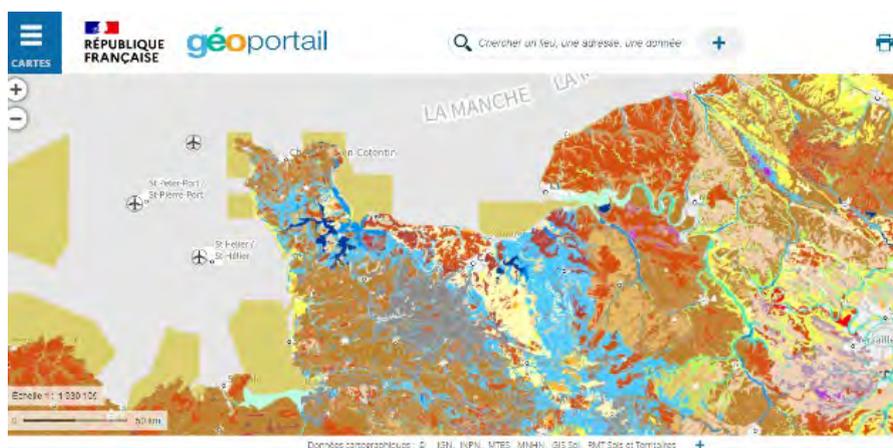
- Carte nationale des sols à l'échelle du 1/ 250 000^e : site du GEOPORTAIL : <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>
- Visualiseur INFOTERRE du BRGM : <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>
- Les cartes thématiques du GIS Sol : <https://www.gissol.fr/donnees/cartes>
- A l'échelle de la Normandie, la carte des sols a été conçue à partir des données recueillies et analysées pour les deux référentiels régionaux pédologiques de Haute-Normandie et de Basse-Normandie grâce au travail de VIGISOL et de la DREAL : <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-sols-a6051.html>

Références

Le **Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS)** est un programme national d'évaluation et de suivi à long terme de la qualité des sols français. Il s'appuie sur le suivi de 2240 sites représentatifs des sols et de leurs occupations, répartis sur l'ensemble du territoire (métropole et outre-mer) selon une grille systématique de 16 km de côté. Les sites recouvrent diverses occupations (grandes cultures, prairies permanentes, forêts, vignes et vergers, milieux peu anthropisés, parcs urbains). Des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols sont mesurées sur chaque site, par campagne. Ces analyses sont associées à la recherche des facteurs explicatifs de la variabilité spatiale et temporelle des propriétés des sols (variables biophysiques, sources de contamination, historique de l'occupation et des pratiques de gestion de chaque site).

programmes complémentaires :

- l'inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS) ;
- le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) ;
- la base de données des analyses de terre (BDAT) ;
- et la collecte nationale d'analyse des éléments traces métalliques (BDETM).



Sur le terrain, comment observer les sols ?

L'observation des sols peut être faite de différentes manières en fonction des objectifs que l'on se fixe.

Le sondage à la tarière

La tarière est un instrument métallique qui, enfoncé verticalement dans le sol, permet d'opérer des prélèvements et de faire des observations sur de petites carottes. Un bon usage de cet outil est requis pour éviter la contamination des échantillons de profondeur par la terre de surface. Les sondages à la tarière sont fréquemment utilisés pour la réalisation de cartographies, l'étude de zones humides, la réalisation de plans d'épandages... Mais dans de nombreux cas, le sondage à la tarière n'est pas suffisant.

Les échantillons extraits sont modérément perturbés verticalement, mais déformés et mélangés horizontalement, ce qui se traduit par quelques artefacts, notamment l'écrasement des agrégats naturels. Certaines données ne peuvent jamais être décrites par ce type de sondage : structure, forme des limites d'horizons, enracinement, abondance et nature des vides, état de la roche sous-jacente... D'autres éléments ne peuvent être décrits qu'imparfaitement : abondance d'éléments grossiers, tâches, profondeurs des limites entre horizons.

Pour certains éléments, ce type de sondage peut cependant très bien convenir : texture, couleur, humidité, effervescence. L'utilisation de la tarière permet de découvrir, par sensation directe, certaines caractéristiques mécaniques du sol (compacité). La limitation la plus nette à l'utilisation de la tarière est l'abondance en éléments grossiers.

Le profil pédologique

La réalisation d'une fosse pédologique permet de prélever, d'observer et de décrire finement un sol en un point donné. C'est également un outil pédagogique. Une fosse doit être de profondeur suffisante pour pouvoir recouper tous les horizons, y compris la partie supérieure du matériau parental (roche sous-jacente). Le profil pédologique est l'ensemble des informations recueillies relatives au sol, synthétisées et interprétées horizon par horizon.

Les dimensions horizontales d'une fosse sont décimétriques et la profondeur varie en fonction du positionnement du matériau parental (de quelques centimètres pour un lithosol à plusieurs mètres pour les vieilles couvertures pédologiques ferrallitiques).

La réalisation d'une fosse pédologique est un outil pédagogique, cela permet de prendre le temps de la description fine du sol. L'élaboration d'un profil pédologique peut être longue et fastidieuse. Un profil est souvent réalisé par des pédologues dans un but descriptif (ex : RMQS) indispensable pour réaliser des diagnostics en viticulture, arboriculture ou en forêt.

Les profils culturaux

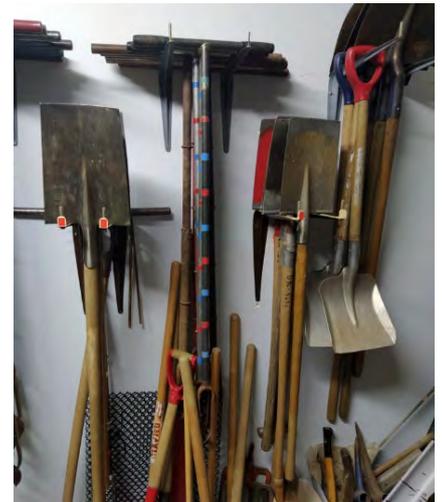
Les profils culturaux sont des descriptions détaillées des horizons superficiels du sol individualisés par l'intervention des instruments de culture et par les racines des végétaux cultivés. L'objectif est de réaliser un diagnostic agronomique portant sur l'état physique et structural de la partie supérieure d'un sol cultivé, en vue d'apprécier les effets des pratiques culturales.

La réalisation de profils culturaux donne une première vision de la qualité du sol mais **n'est pas suffisante pour appréhender la qualité du sol dans la mesure où les horizons profonds jouent un rôle non négligeable vis-à-vis du ressuyage, du stockage d'eau, de l'enracinement, de l'alimentation minérale...**

La méthode de la bêche

La méthode de la bêche constitue une évaluation à partir de l'apparence d'un bloc de sol dégagé à la bêche et des caractéristiques de ce bloc (20*20*30 cm). C'est une méthode rapide, facile à mettre en œuvre, simple en termes de description mais qui devient compliquée à mettre en œuvre sur sol sec, très humide voire quasi impossible au stade cultural. Elle est idéale pour l'observation et la caractérisation de l'activité lombricienne et en système prairial.

Matériel de terrain d'observation des sols : bêche, tarière, pelle et gouttière en bas à droite pour observer les échantillons prélevés à la tarière.



Unité INFOSOLS Orléans

Fosse pédologique



???

??????



???

Repères

La trousse à outils idéale sur le terrain

- Tarière
- Bêche
- Pelle pour rafraîchir / nettoyer une fosse
- Mètre – ruban pour mesurer l'épaisseur des différents horizons
- Gouttière pour positionner et observer plus facilement les échantillons prélevés à la tarière
- Appareil photo : quelles que soient les observations (humus, sondage tarière, description de fosses...), il est important de prendre un maximum de photos de qualité. Elles permettent d'illustrer l'analyse mais aussi parfois d'identifier *a posteriori* des caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic.
- Pipette d'HCl (*hydrophobic interaction chromatography*) pour détecter la présence de carbonates
- Sachets pour réaliser des prélèvements
- Couteau – truelle pour rafraîchir un profil, tester la compacité d'un horizon
- Loupe : pour identifier certains paramètres de petite taille
- Code Munsell (méthode internationale garantissant la spécification précise des couleurs) : pour identifier les couleurs des horizons et pouvoir déterminer le nom du sol

La méthode du profil 3D

L'observation du sol en utilisant un tracteur équipé de chargeur frontal avec transpalette ou d'un engin de type manuscopique, permet l'extraction d'une motte de terre d'une centaine de kg. Rapide et peu destructrice, elle nécessite peu de préparation manuelle. Elle permet un diagnostic pragmatique sur la couche humifère de surface et le sommet de la suivante tout en offrant une bonne lisibilité des discontinuités du sol qui apparaissent au moment de l'extraction.

En dehors de sols très superficiels, la méthode du profil 3D est utilisable dans la plupart des systèmes agricoles. Elle permet de faciliter la compréhension du comportement du sol dans une même parcelle en lien avec le climat, ou encore vérifier la qualité de travail d'un outil. Facile et pédagogique, cette méthode peut être transmise à l'ensemble des professionnels et appliquée aux profils de culturaux.

Repères

Mise en oeuvre

- Ecarter les pales entre 15 et 35 cm selon la texture et/ou la cohésion du sol
- Enfoncez les pales pratiquement jusqu'à la garde selon un angle de 45° avec la surface du sol
- Extraire lentement, sans à-coup, en relevant légèrement les pales (on observe le comportement de la motte lors de l'extraction), et placer la motte à peu près à hauteur
- Replacer la motte « à sa place » après observation en opérant si nécessaire un léger réglage



Caractériser un sol

A partir de l'observation du sol, il est possible de déduire un diagnostic de qualité. La qualité d'un sol reflète sa capacité à fonctionner, c'est pourquoi les indicateurs choisis doivent permettre de mesurer les grandes fonctions des sols. Un grand nombre d'indicateurs permettent, en laboratoire ou sur le terrain, de qualifier l'état des sols et des fonctions qu'ils assurent. Le choix doit se faire en fonction des types de sols et des questions posées dans le cadre de l'étude qui justifie le diagnostic.

Les exemples ci-dessous sont des indicateurs, non exhaustifs, disponibles et réalisables par des bureaux d'études ou, pour certains, par des amateurs dans le cadre de projets de sciences participatives. Certains indicateurs peuvent permettre d'évaluer deux, voire trois fonctions des sols. L'objectif est de choisir un set d'indicateurs permettant d'avoir une vision globale de leur fonctionnement.

► Les indicateurs de l'état du cycle de la matière organique

permettent d'appréhender la manière dont la matière organique qui arrive au sol (feuilles et organismes morts) est « digérée » dans le sol. Ils aident à évaluer les différents processus de dégradation de la matière organique.

Exemples d'indicateurs :

- en laboratoire : carbone actif, respiration du sol, activité bactérienne, fractions granulométriques des matières organiques et carbone organique (NF ISO 10694 ou 14235 ou équivalent) ;
- analyses/observations sur le terrain : observation des formes d'humus (litières forestières), de l'épaisseur des horizons de surface.

► Les indicateurs de l'activité de recyclage et de transfert des nutriments

permettent de comprendre la manière dont les éléments nutritifs essentiels aux organismes vivants (azote, phosphore, oligoéléments...) sont présents et circulent dans les sols.

Exemples d'indicateurs :

- analyses en laboratoire ► teneurs en calcaire actif, en azote total...
- observations sur le terrain et analyses : test carbonates de calcium.

► Les indicateurs du maintien de la structure du sol

permettent de comprendre la manière dont les agrégats du sol sont agencés les uns par rapport aux autres et d'évaluer leur stabilité. Ces indicateurs vont être très importants dans des études de susceptibilité à l'érosion, par exemple.

Exemples d'indicateurs :

- en laboratoire ► *slake test* (stabilité des agrégats du sol), stabilité structurale méthode Le Bissonnais ;
- observations sur le terrain et analyses ► observation de la forme des agrégats et de leur cohésion par test bêche, test pénétrométrique, profil de sol et/ou profil cultural.

- **Les indicateurs d'enracinement d'une culture en place** visent à comprendre comment les racelles (fines ramifications des racines) de la plante vont puiser les éléments nutritifs (eau, nutriments...) dans le sol.

Exemples d'indicateurs :

- observations sur le terrain et analyses ► cheminement des racelles à travers les agrégats du sol...

- **Les indicateurs d'accès et de transfert de l'eau** permettent de comprendre comment l'eau ruisselle ou s'infiltré dans le sol et son rôle dans la formation ou la destruction des agrégats et dans les transports solides.

Exemples d'indicateurs :

- en laboratoire ► mesure de la réserve utile ;
- observations sur le terrain et analyses : mesure des niveaux de nappes superficielles, de la conductivité hydraulique, mesure de la perméabilité (test d'infiltration Beerkan...), mesure de l'humidité volumique (TDR 150).

- **Les indicateurs de régulation des populations** évaluent la diversité et l'abondance des organismes du sol ainsi que leur développement.

Exemples d'indicateurs :

- en laboratoire ► appareil de Berlese (examen de la mésofaune) ;
- analyses sur le terrain > observation de la macro et mésofaune, Pit fall (pièges à fosse pour échantillonner les arthropodes du sol, comme les insectes et les arachnides) ;
- ces dernières années, plusieurs applications se sont développées et permettent d'analyser différentes caractéristiques des sols.

Les applications utilisables sur le terrain :

- Biofunctool est issue du programme du même nom. Ce set est à ce jour le seul qui permette une approche globale de la qualité des sols.
- L'appli « Sol Eau » est fonctionnelle avec les tutoriels détaillés des protocoles <https://media.eiwa.fr/pecnotlab/>
- Jardibiodiv est issue du programme de recherche participative du même nom, cette application permet d'évaluer et caractériser les invertébrés du sol ► <https://play.google.com/store/search?q=jardibiodiv&c=apps&hl=fr&gl=US>
- La charte Munsell permet d'identifier directement sur le terrain les couleurs des échantillons de terre prélevés ► <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.co.kozo.munsellcolorchart&hl=fr&gl=US>
- « For – Eval » permet d'évaluer la sensibilité des sols forestiers français à l'aide d'indicateurs écologiques. For-Eval a pour objectif de promouvoir une gestion durable des forêts à l'aide de diagnostics simples réalisables sur le terrain ► <https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.inrae.foreval&hl=fr&gl=US>
- InfoGeol permet d'accéder en tout point du territoire aux informations de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 et au 1/50 000 ainsi qu'aux coupes stratigraphiques de la banque de donnée du sous-sol du BRGM ► <https://play.google.com/store/apps/details?id=brgm.fr.infogeol&hl=fr&gl=US>





Réaliser un diagnostic des sols

L'observation et la caractérisation des sols sert de fondement à la formalisation d'un diagnostic approfondi et qualitatif.

Définir les différents types de sols sur le territoire

La prise en compte des sols sur un territoire nécessite la réalisation d'un diagnostic précis et documenté dont la première étape consiste à mobiliser les études pédologiques déjà réalisées.

Les études pédologiques permettent de définir, de caractériser et de délimiter des unités typologiques de sols homogènes quant à leurs fonctionnements hydrique et agronomique. Elles peuvent être ainsi utilisées comme zonage pédologique des plans locaux d'urbanisme (PLU/PLUi). Une méthodologie intitulée « MUSE » a été développée par le CEREMA. Elle fait actuellement référence dans le domaine (cf. encadré).

Selon, cette approche, pour ce qui concerne les plans d'urbanisme, il est important de considérer :

- une précision requise minimale (1 observation pour 5 ha, correspondant à une échelle minimale de 1/25 000) ;
- la disponibilité d'une notice suffisamment claire et détaillée pour pouvoir identifier sur le terrain les différentes unités typologiques de sol décrites ;
- la disponibilité d'une annexe détaillée avec profils et analyses géoréférencés.

Références

La méthode MUSE, développée par le CEREMA Intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme

Une méthode a été définie dans le cadre du projet de recherche MUSE piloté par le Cerema. L'objectif est d'accompagner les collectivités et professionnels dans les phases de diagnostic de territoire, de construction de projets d'aménagement, d'intégration des enjeux environnementaux, en s'appuyant en partie sur la démarche d'évaluation environnementale du projet.

Pour en savoir plus :

Laroche B., Branchu P., Keller C., Marseille F., Néel C. *Propositions méthodologiques pour la réalisation d'une étude pédologique en vue d'intégrer les sols dans les documents d'urbanisme*. Livrable du projet Muse. 24 pages. 2022.

www.cerema.fr



Une étude pédologique ancienne est représentative du territoire étudié et peut donc être mobilisée dès lors que l'ensemble des unités typologiques de sol présentes dans cette étude couvrent le territoire. Dans le cas contraire, les parties de territoire non couvertes nécessitent l'acquisition de données complémentaires.

La phase de saisie et de numérisation de l'information consiste en la vectorisation des contours des Unités Cartographiques de Sols (UCS), et en la saisie des profils. Il est notamment recommandé par le CEREMA de suivre le format national de base de données pédologique DONESOL.

Lors de la phase de numérisation, le chargé d'étude s'approprie la typologie et l'organisation des sols de la zone d'étude dans le paysage.

Des nouvelles acquisitions sont recommandées dans les cas suivants :

- pour une première appropriation (même légère) du territoire ;
- lorsque les études pédologiques sont insuffisantes sur le plan quantitatif ou en termes de couverture géographique ;
- s'il y a nécessité d'une précision plus importante dans la caractérisation des sols, selon les projets ou sur les zones à enjeux spécifiques (biodiversité...);
- afin de vérifier ou d'évaluer la qualité de données anciennes disponibles.

L'identification des types de sol doit se faire à partir d'observations *in situ* par des sondages à la tarière manuelle (différents et complémentaires des sondages géotechniques). La densité des sondages est fonction de l'échelle de restitution des données cartographiques. Elle est définie dans la norme NF X31-560 (AFNOR, 3017).

Niveau 1 de résolution et d'analyse (Norme NF X31-560-AFNOR, 2007)			
Echelle de restitution		Sondages	Fosses pédologiques
Petite échelle	1 : 250 000	1 pour 200 à 600 ha	1 pour 2 000 à 6 000 ha
Moyenne échelle	1 : 100 000	1 pour 30 à 60 ha	1 pour 500 à 1 000 ha
	1 : 50 000	1 pour 10 à 30 ha	1 pour 200 à 300 ha
	1 : 25 000	1 pour 5 à 10 ha	1 pour 50 à 100 ha
Grande échelle	1 : 10 000	1 pour 2 à 3 ha	1 pour 10 à 50 ha

Références

La métropole Rouen Normandie a ainsi réalisé une étude de la fonctionnalité de ses sols.



Vigisol, Patrick Le Gouée. Les sols de la Métropole Rouen Normandie. De l'élaboration du Référentiel pédologique à l'évaluation et l'analyse territorialisée de leurs fonctions écologiques. 217 pages. Juin 2024.

Ce document montre l'importance stratégique pour une collectivité territoriale de disposer de connaissances sur les sols pour apporter des éclairages nouveaux en matière de planification durable des territoires.

Pour en savoir plus : <https://www.metropole-rouen-normandie.fr/etude-des-sols>

Pour en savoir +

Institut de recherche pour le développement. Lola Richelle et Alain Brauman, UMR Eco&Sol, Montpellier.

La santé des sols : une approche holistique et transdisciplinaire. 2 pages.

https://www.ird.fr/sites/ird_fr/files/2023-02/Fiche_SciDur_72%20Brauman.pdf



Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L., Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Moulin J. Néel C., Sheriff R. (2022). MUSE. **Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme.** 184 pages. Mars 2022.



Evaluer les fonctions et les services associés à leurs caractéristiques

L'identification des différents types de sols doit permettre de définir les fonctions et services associés à leurs caractéristiques naturelles qui méritent d'être préservés et valorisés. Ainsi, un sol hydromorphe présente un fort intérêt écologique : il favorise naturellement une bonne gestion de l'eau. Les eaux stockées dans ces sols peuvent alimenter les cours d'eau et la végétation lors de périodes de sécheresse. L'artificialisation ou le drainage de ce type de sol retire d'inestimables services à la collectivité et aux citoyens (épuration, stockage de l'eau...).

L'évaluation des fonctions et des services associés aux sols peut permettre aux acteurs :

- de mieux les intégrer dans leurs projets d'aménagement ;
- d'observer leur niveau de dégradation ;
- de les intégrer dans les diagnostics de qualité environnementale ;
- d'adapter les documents de planification territoriale agricole ou urbaine.

Certains indicateurs spécifiques évaluent notamment :

- l'état du cycle de la matière organique (carbone actif, respiration du sol, activité bactérienne...);
- l'activité de recyclage et de transfert des nutriments (membrane échangeuse d'ions...);
- le maintien de la structure du sol (susceptibilité à l'érosion : stabilité des agrégats...);
- l'accès et le transfert de l'eau (mesure des niveaux de nappes superficielles, de la conductivité hydraulique, de la réserve utile, test d'infiltration de l'eau...);
- la biodiversité.

La méthodologie "MUSE" (cf. partie précédente) permet ainsi d'estimer et de cartographier 4 fonctionnalités exercées par les sols et un indicateur de multifonctionnalité. Ces éléments sont basés sur les données issues des Référentiels Régionaux Pédologiques à l'échelle du 1/250 000^e. Cette approche fournit un porter à connaissance qui permet aux collectivités de questionner leur projet aux différentes étapes d'élaboration d'un document d'urbanisme (PLUi). La méthode a été testée sur plusieurs types de territoires (cf. encadré).

Évaluer les altérations subies et leurs conséquences environnementales et sanitaires

Les choix d'implantation des projets doivent aussi prendre en compte des pollutions présentes ou passées. Les diagnostics pédologiques sont à compléter :

- en fonction des données « sols pollués » identifiées par les services de référence (cf. partie 3) ;
- selon des sources de pollutions avérées liées à des activités anciennes, présentes ou proches (épandages de pesticides, d'engrais, émanations de fumées, présence de radio-nucléides...);
- ainsi qu'en fonction d'autres sources de référence dont ils ont connaissance.

Les impacts environnementaux et sanitaires associés permettent de décider de l'opportunité de tel ou tel choix d'implantation ou de la mise en œuvre de mesures de dépollution (cf. partie "Restaurer les sols").



Préserver les sols

Coquelicots (*Papaver rhoeas*)



Aude Lecomte

Repères

L'agriculture biologique

L'agriculture biologique (AB) est un système global de production agricole qui allie les meilleures pratiques environnementales, le respect de la biodiversité, la préservation des ressources naturelles et l'application de normes élevées en matière de bien-être animal.

L'agriculture biologique repose sur une gestion agricole durable qui préserve la qualité des sols, de l'air et de l'eau et des écosystèmes naturels. Elle a recours à des pratiques de culture et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels et ayant un impact limité sur l'environnement. Elle exclut notamment l'usage des OGM, restreint strictement l'utilisation des produits chimiques de synthèse et limite le recours aux intrants.

La protection des sols est nécessaire en raison des enjeux liés à la santé publique et à la gestion durable des ressources environnementales.

Or, contrairement à certaines composantes comme l'air et l'eau, les sols ne font pas l'objet d'un régime juridique spécifique dans le code de l'environnement. Les dispositions les concernant sont dispersées et essentiellement reprises dans le Livre V relatif à la prévention des pollutions, des risques et des nuisances pour les sites et sols pollués. Les sols sont aussi pris en compte à des titres divers par le code civil, le code de l'urbanisme, le code de la santé publique, ou encore le code forestier. Il en résulte un cadre juridique complexe et diffus, rendant plus difficile la protection globale de cette composante de l'écosystème, qui ne fait pas l'objet de mesures de suivi spécifiques.

Eviter et réduire à la source les pollutions des activités humaines

Les pollutions présentes dans les sols circulent dans l'écosystème et sont intégrées au circuit alimentaire (eau potable, cultures...), ce qui a des incidences, parfois très graves, sur la santé des habitants et riverains (cf. partie 3).

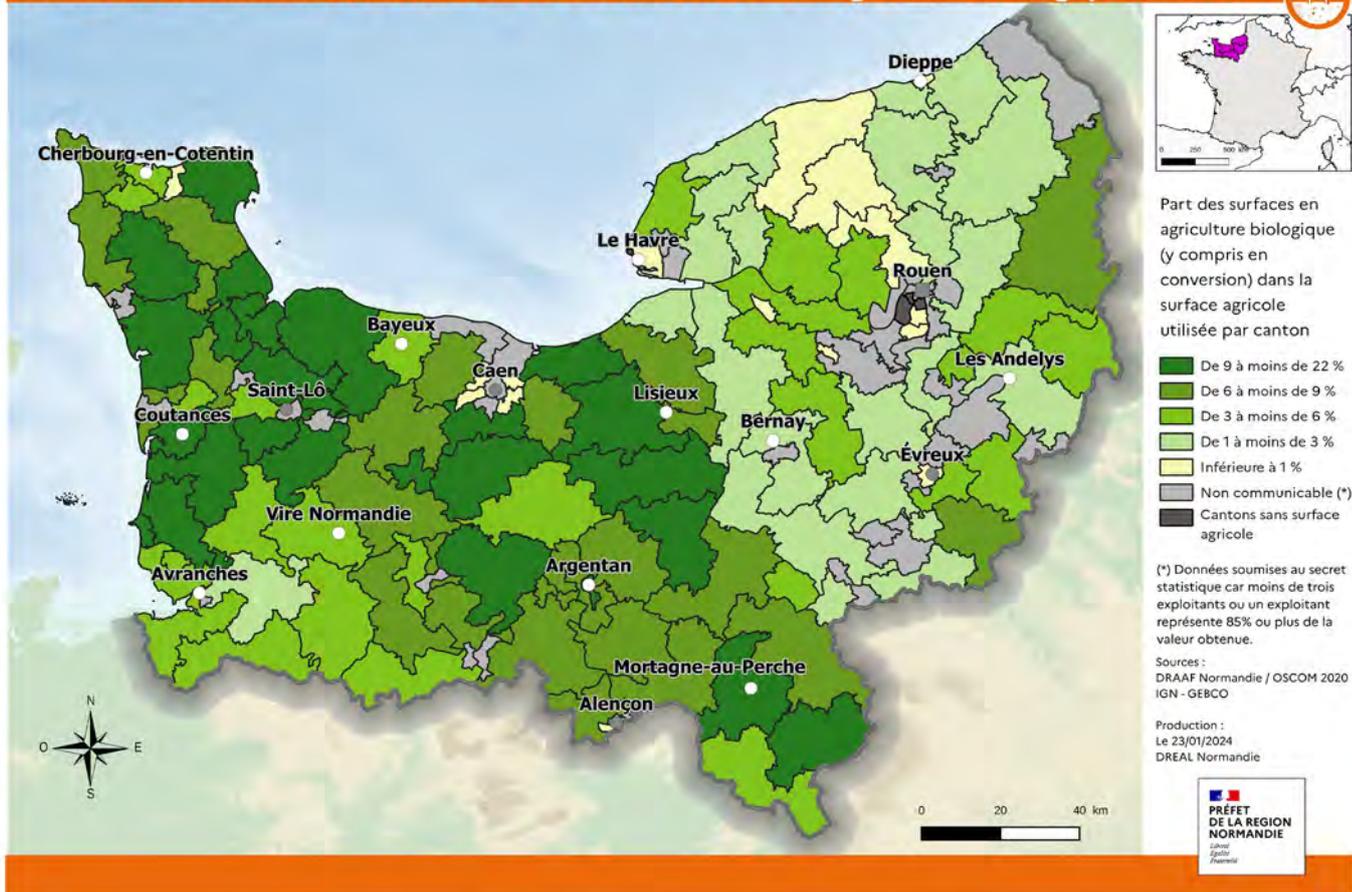
Les pollutions agricoles

Les pollutions issues d'activités agricoles font l'objet de réglementations spécifiques mais elles sont encore très présentes dans l'environnement.

Les pesticides

L'interdiction de certains pesticides fait régulièrement l'objet de débat et de crispations au regard de l'importance de leur utilisation sur les territoires, d'une part, et des enjeux de santé publique, d'autre part. La législation de l'Union européenne en matière de substances chimiques et de pesticides vise à protéger la santé humaine et l'environnement et, parallèlement, à prévenir les obstacles au commerce. Dans le cadre du pacte vert pour l'Europe, la législation européenne est actuellement en cours de révision.

Des mesures récentes visant à réduire certaines sources ont été prises en France avec l'interdiction de l'utilisation des pesticides de synthèse pour l'entretien des espaces publics en 2017 (parcs, espaces verts...), et par les particuliers en 2019 (loi Labbé). Les cultures beaucoup moins utilisatrices de pesticides sont à développer pour la préservation de



la santé humaine et des écosystèmes. Des financements spécifiques sont proposés pour l'agriculture en mode biologique, par exemple.

L'azote

La prévention de la pollution aux nitrates nécessite une meilleure préservation des écosystèmes et la transformation des pratiques agricoles. Dans le cadre de la **directive « nitrates »**, des programmes d'actions réglementent l'utilisation des fertilisants azotés avec un encadrement de la gestion des terres agricoles dans les zones dites « vulnérables aux pollutions par les nitrates d'origine agricole ». En dehors des zones vulnérables, les exploitants doivent se référer à un code de bonnes pratiques agricoles, qui prévoit des recommandations pour limiter l'excès de fertilisations et limiter les pollutions des eaux. La Normandie est fortement concernée par l'application de ces mesures.

D'application obligatoire en zone vulnérable, le programme d'actions est composé de deux parties :

- le programme d'actions national, socle national commun à toutes les zones vulnérables (PAN) ;
- les programmes d'actions régionaux (PAR) qui complètent et renforcent le PAN.

Ce programme est révisé tous les quatre ans au vu des résultats

Références

La directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite « directive nitrates » a pour ambition de lutter contre la pollution diffuse des eaux par les nitrates d'origine agricole. Elle concerne l'azote toutes origines confondues (engrais chimiques, effluents d'élevage, effluents agroalimentaires, boues, etc.) et toutes les eaux quels que soient leur origine et leur usage.

Une zone vulnérable aux nitrates est une partie du territoire où la pollution des eaux par le rejet direct ou indirect de nitrates d'origine agricole, menace à court terme la qualité des milieux aquatiques et plus particulièrement l'alimentation en eau potable.

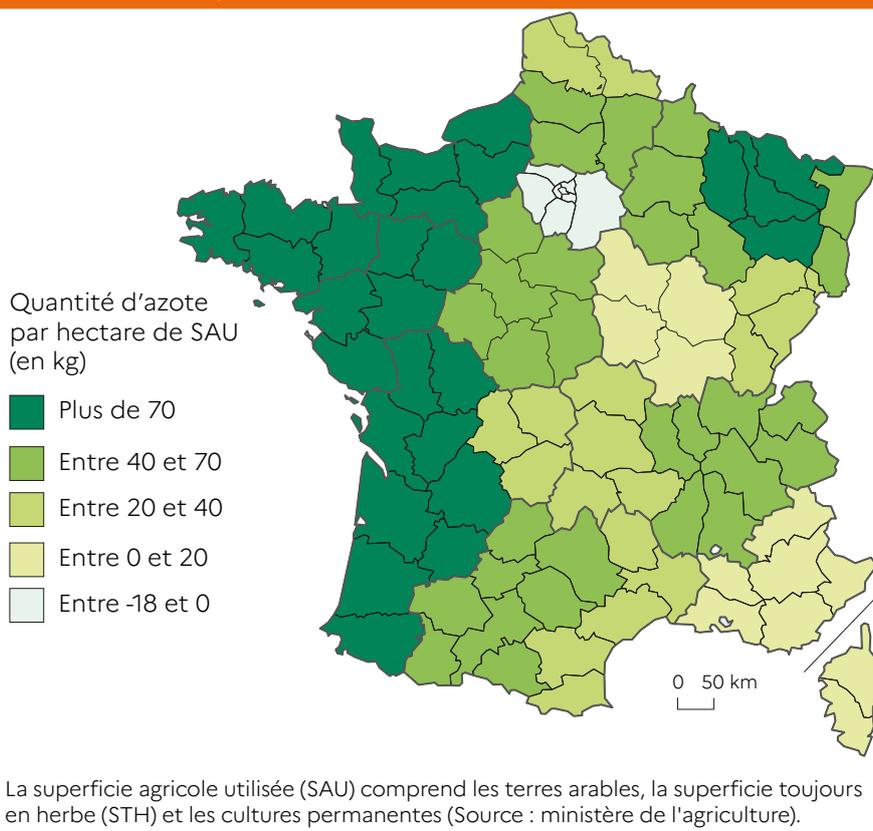
Sont considérées comme zones vulnérables, les zones :

- en lien avec l'eau potable, les eaux souterraines et les eaux douces superficielles, notamment celles servant ou destinées aux captages d'eau pour la consommation humaine, dont la teneur en nitrate est supérieure à 50 mg/l et dont la teneur en nitrate dépasse 40 mg/l sans démontrer de tendance à la baisse des concentrations ;
- en lien avec les risques d'eutrophisation des eaux, tant marines que continentales, à laquelle l'enrichissement de l'eau en composés azotés provenant de sources agricoles contribue et dont la teneur en nitrate dépasse 18 mg/l en eaux superficielles.

Bilan régional d'azote par région en 2015

Source : Source : Agreste, Citepa, Unifa, Comifer, 2015

Traitement : SDES, 2018



d'une surveillance évaluant son efficacité à travers l'observation de la qualité de l'eau. Il est construit en concertation avec tous les acteurs concernés, sur la base d'un diagnostic local.

Les principales mesures portent sur :

- le plafonnement à 170 kg/ha/an d'azote issu des effluents des animaux ;
- l'interdiction des fertilisants pendant les périodes à risque pour la qualité de l'eau ;
- la tenue obligatoire d'un plan prévisionnel de fumure et d'un cahier d'enregistrement ;
- la limitation de l'épandage des fertilisants fondée sur un équilibre entre les besoins des cultures et les apports par le sol ;
- la contenance des ouvrages de stockage des effluents d'élevage ;
- les exigences relatives au maintien d'une quantité minimale de couverture végétale au cours des périodes pluvieuses ;
- la mise en place et le maintien d'une couverture végétale permanente le long de certains cours d'eau, sections de cours d'eau et plans d'eau de plus de dix hectares (bandes enherbées).



Le phosphore

Compte tenu de la raréfaction à long terme de la ressource minérale en phosphore, l'enjeu passe par une meilleure gestion du phosphore et par un recyclage des sources organiques.

En France, les livraisons d'engrais phosphorés ont chuté globalement de 75 % en quarante ans, passant progressivement de 31 à 7 kg/ha fertilisables entre 1972 et 2016. Une pratique plus raisonnée de la fertilisation et la diversification des apports (usage accru des boues de traitement des eaux usées...) semble être à l'origine de cette tendance à la baisse des teneurs et de la disponibilité du phosphore des sols.

Par la fertilisation raisonnée, l'activité agricole intègre la dynamique de transfert du phosphore du sol vers les plantes en tenant mieux compte de leur exigence vis-à-vis des phosphates et de la fréquence des apports.

Repères

Lorsque les activités d'un établissement sont en dessous d'un certain seuil de la nomenclature, celui-ci n'est pas considéré comme une « installation classée » et relève de la police du maire.

Repères

Les régimes relatifs aux installations classées pour la protection de l'environnement :

- déclaration (activités les moins polluantes) ;
- enregistrement (mesures techniques bien connues et standardisées pour prévenir les inconvénients) ;
- autorisation (risques ou pollutions les plus importants).

La législation des installations classées confère à l'Etat des pouvoirs :

- d'autorisation ou de refus de fonctionnement ;
- de réglementation (respect de certaines dispositions techniques) ;
- de contrôle ;
- de sanction.

Sous l'autorité du préfet de département, ces opérations sont confiées aux inspecteurs de l'environnement qui sont des agents assermentés de l'Etat.

Les pollutions industrielles

Les démarches de gestion mises en place pour les sols pollués s'appuient sur les principes suivants :

- prévenir les pollutions futures ;
- mettre en sécurité les sites nouvellement découverts ;
- connaître, surveiller et maîtriser les impacts ;
- traiter et réhabiliter en fonction de l'usage puis pérenniser cet usage ;
- garder la mémoire ;
- impliquer l'ensemble des acteurs.

La réglementation des « installations classées »

Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) sont des installations qui peuvent avoir des impacts (pollution de l'eau, de l'air, des sols...) et présenter des dangers (incendie, explosion...) sur l'environnement. Pour ces raisons, elles sont soumises à des réglementations spécifiques. Les activités relevant de la législation des installations classées sont énumérées dans une nomenclature qui les soumet à un régime particulier. En fonction notamment de ces risques est définie l'obligation de réaliser des études d'impact sur l'environnement.

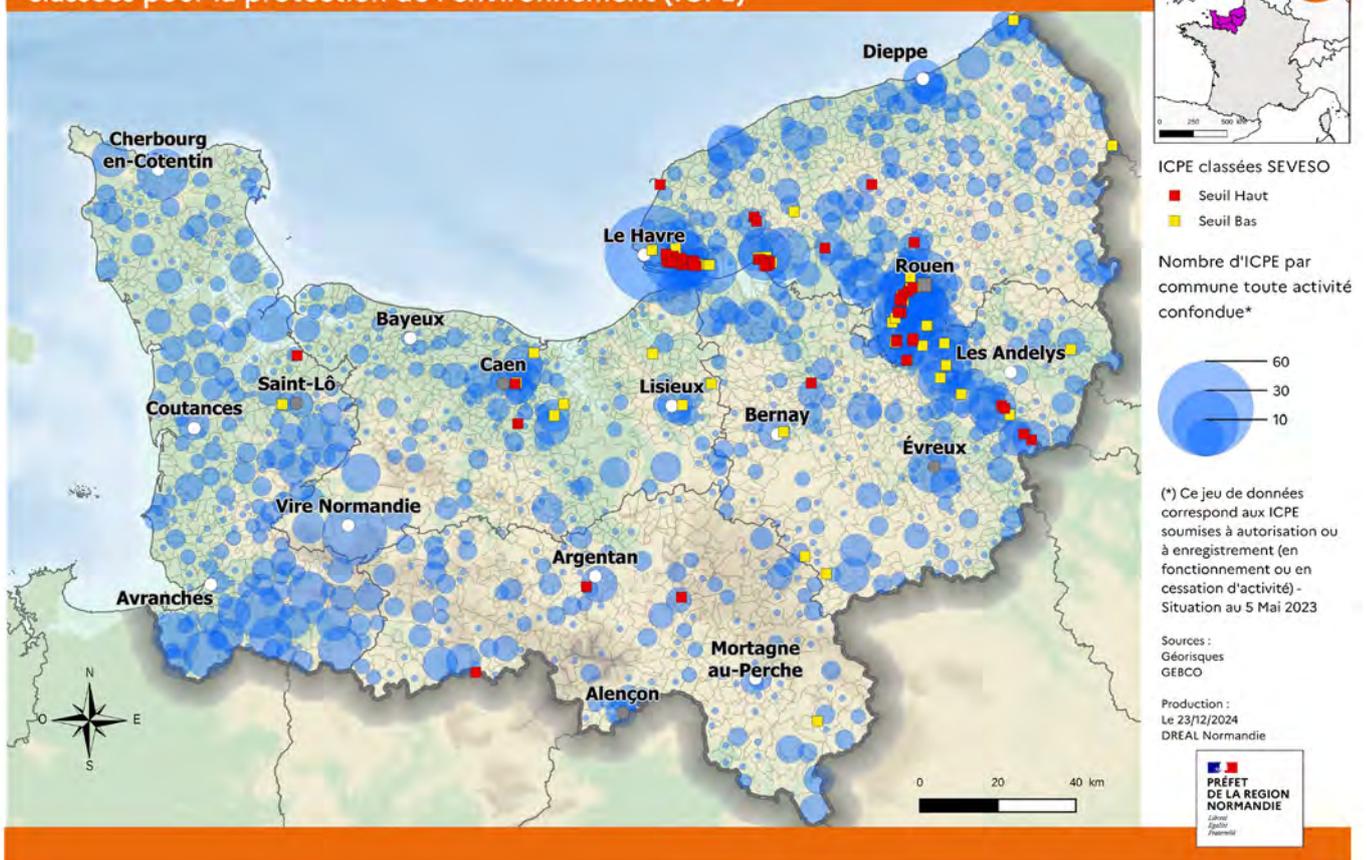
► Obligations réglementaires liées à des pollutions identifiées

Fondée sur l'examen et la gestion du risque, plus que sur le niveau de pollution, la politique de gestion des sites et sols pollués nécessite de garder la mémoire des pollutions et des actions de réhabilitation mises en œuvre. Elle requiert aussi de fixer des usages des sols compatibles avec les pollutions résiduelles après traitement du site.

Les Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) concernent des terrains identifiés où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et, éventuellement, la mise en place de mesures de gestion pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publique et l'environnement (Article L.125-6 du code de l'environnement).

Leur identification est portée à la connaissance du public après consultation des mairies et information des propriétaires. 336 sites sont classés en secteurs d'information sur les sols début 2024. Des mises à jour régulières sont réalisées. Ces secteurs sont publiés sur le site internet "géorisques". Ils permettent d'améliorer l'information du public sur les sites et sols pollués et de garantir l'absence de risque sanitaire et environnemental par l'encadrement des constructions sur de tels sites. En effet, sur un terrain répertorié qui concerne un SIS, le maître d'ouvrage fournit dans le dossier de demande de permis de construire ou d'aménager une attestation, réalisée par un bureau d'études certifié dans le domaine des sites et sols pollués ou équivalent, garantissant la réalisation d'une étude des sols et la prise en compte des mesures de gestion dans la conception du projet de construction ou de lotissement (cf. L.556-2 du code de l'environnement).

Profil environnemental de Normandie - Les établissements soumis au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)



Les servitudes d'utilité publique constituent une restriction d'usage. En matière de sols pollués, elles sont arrêtées par le préfet, et constituent une limitation du droit de disposer de la propriété d'un terrain. Elles sont publiées sur les sites internet géorisques et sur le géoportail de l'urbanisme.

Cette limitation attachée à une parcelle consiste en un ensemble de recommandations, de précautions, voire d'interdictions sur la manière d'utiliser, d'entretenir, de construire ou d'aménager, compte tenu de la présence de substances polluantes dans les sols.

La servitude comporte en tant que de besoin la limitation des usages du sol, du sous-sol ou des nappes phréatiques, la subordination des modifications de ces usages à la mise en œuvre de prescriptions particulières, ainsi que des dispositions permettant d'assurer la mise en œuvre des prescriptions relatives à la surveillance du site.

Pour informer durablement les propriétaires successifs d'un terrain pollué, ces règles sont transcrites dans les documents habituellement consultés au moment de l'acquisition ou de l'aménagement des terrains : la conservation des hypothèques et les documents d'urbanisme.

Références

- **Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021** portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (article 194 notamment)
- **Loi n° 2023-630 du 20 juillet 2023** visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de lutte contre l'artificialisation des sols et à renforcer l'accompagnement des élus locaux
- **Décret n° 2023-1096 du 27 novembre 2023** relatif à l'évaluation et au suivi de l'artificialisation des sols
- **Décret n° 2023-1097 du 27 novembre 2023** relatif à la mise en œuvre de la territorialisation des objectifs de gestion économe de l'espace et de lutte contre l'artificialisation des sols

Les pollutions radioactives

Les installations à risques sont soumises à des réglementations spécifiques qui encadrent leurs rejets et les modalités de leur exploitation. L'Autorité de sûreté nucléaire assure le contrôle et le suivi de ces installations.

La gestion des sites historiques pollués permet de limiter l'impact de ces pollutions sur la santé, notamment en limitant les contacts possibles entre les personnes et les zones contaminées.

Il est primordial de conserver la mémoire de la présence de ces pollutions historiques afin d'éviter toute activité qui pourrait conduire à exposer des personnes ou à disséminer les polluants radioactifs.

Privilégier la sobriété dans l'usage des sols

L'objectif "zéro artificialisation nette"

L'objectif « zéro artificialisation nette » consiste notamment à :

- maîtriser l'étalement urbain en réduisant de moitié la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF) sur la période 2021-2030 par rapport à 2011-2020 ;
- protéger les sols, y compris dans les espaces déjà urbanisés, en atteignant zéro artificialisation nette des sols en 2050, soit un solde nul entre les espaces artificialisés et les espaces désartificialisés (voir nomenclature en annexe du décret 2023-1096).

C'est un changement important dans la politique de sobriété foncière menée en France. Cet objectif s'appuie sur une trajectoire nationale à décliner à toutes les échelles territoriales, dans les grands documents d'aménagement et d'urbanisme :

- le schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), ce qui a été fait en Normandie ;
- les schémas de cohérence territoriale ;
- les plans locaux d'urbanisme et plans locaux d'urbanisme intercommunaux ainsi que les cartes communales.

Avec l'objectif de « zéro artificialisation nette » à l'horizon 2050, l'application de la loi "Climat et résilience" prévoit de procéder par étapes, par tranches de 10 ans.

La première décennie fait porter l'effort de réduction à 50 % par rapport à la consommation réellement observée au cours de la décennie précédente. La référence est la transformation d'espaces naturels, agricoles ou forestiers (NAF) car la définition du terme « artificialisation » est trop récente pour disposer des chiffres de l'artificialisation sur la décennie 2011 - 2020.

Pour chacune des décennies suivantes, une trajectoire de réduction de l'artificialisation doit être adoptée afin de respecter l'objectif en 2050.

Pour en savoir +

Le ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires a publié un guide synthétique sur le ZAN en 2023. Ce document présente en 16 pages les points essentiels de la réforme.



<https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/guide-synthetique-zan>

L'Observatoire des Sols à l'échelle COMMUNALE (OSCOM) permet de mesurer l'évolution de l'occupation des sols par commune, avec notamment la perte du foncier agricole et l'artificialisation des sols. Pour chaque année, entre 2008 et 2023, il répartit l'occupation des sols entre 4 catégories :

- territoires artificialisés ;
- territoires agricoles ;
- forêts et milieux semi-naturels ;
- surfaces en eau.

Il s'appuie sur une nomenclature spécifique : https://draaf.normandie.agriculture.gouv.fr/IMG/xls/oscom_2023_nomenclature.xls.

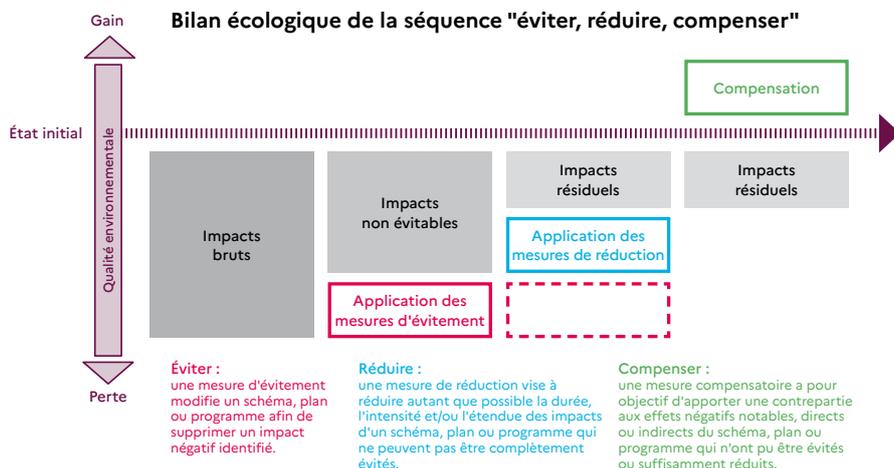
Part des surfaces artificialisées et agricoles en Normandie en 2008 et 2023

Source : OSCOM

Territoires	Part surfaces artificialisées 2008	Part surfaces artificialisées 2023	Part surfaces agricoles 2008	Part surfaces agricoles 2023	Evolution surfaces artificialisées 2008-2023	Evolution surfaces agricoles 2008-2023
Normandie	8,2 %	9,2 %	69,0 %	68,1 %	+11,8 % (+29 288 ha)	-1,3 % (-26 984 ha)
Calvados	8,9 %	10,2 %	71,4 %	70,1 %	+14,8 % (+7 384 ha)	-1,9 % (-7 462 ha)
Eure	8,3 %	9,2 %	64,9 %	64,3 %	+10,7 % (+5 403 ha)	-1,0 % (-3 705 ha)
Manche	8,1 %	9,0 %	73,7 %	72,6 %	+11,8 % (+5 708 ha)	-1,6 % (-7 103 ha)
Orne	5,4 %	5,9 %	67,9 %	67,6 %	+ 8,6 % (+2 844 ha)	-0,5 % (-2 025 ha)
Seine-Maritime	10,4 %	11,7 %	67,4 %	66,4 %	+12,1 % (+7 947 ha)	-1,6 % (-6 689 ha)

Mieux appliquer la séquence "Eviter, Réduire, Compenser" (ERC)

Le principe de la séquence "ERC" est simple : dans chaque projet d'aménagement, schéma, plan, ou programme, il s'agit d'éviter toute atteinte à l'environnement, de réduire les impacts qui n'ont pu être évités, et, de compenser toute atteinte qui n'aurait pas pu être évitée ou réduite (cf. encadré).



La nécessité d'une application plus rigoureuse de la démarche d'évitement

Trop souvent, les études se concentrent sur les mécanismes de réduction ou de compensation, avant de prévoir une démarche d'évitement des impacts négatifs. Or, il est essentiel de bien conduire la démarche d'évitement qui garantit l'absence d'atteinte à l'environnement (cf. encadré : Guide pour la mise en œuvre de l'évitement).

Ainsi, éviter, c'est :

- "ne pas faire" ;
- "faire moins" ;
- "faire ailleurs" ;
- "faire autrement".

L'application rigoureuse de la séquence « Eviter, Réduire, Compenser » constitue une méthode de préservation des sols dans le cadre de projets d'aménagement ou de conception de schémas, plans ou programmes pour une collectivité (cf. encadré). Or, les sols sont très peu pris en compte dans l'application de cette séquence (cf. encadré). Une étude menée publiée par l'Association française de l'étude des sols (AFES) réalisée à partir d'un échantillon représentatif montre ainsi, d'une manière générale, que les sols ne sont pas suffisamment intégrés dans les études d'impact. Lors de la phase d'établissement de l'état initial de l'environnement, leurs nombreuses caractéristiques et fonctionnalités ne sont pas mises en évidence, ce qui conduit à des analyses d'impacts incomplètes. Dès lors, les mesures d'évitement et de réduction sont insuffisamment identifiées et le mécanisme éventuel de compensation reste très limité. Au final, la préservation des sols n'est pas assurée.

Références

La **séquence « Eviter Réduire, Compenser » (ERC)** a été introduite en droit français par la loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 afin de limiter l'impact écologique des projets de travaux, d'ouvrages, d'aménagements et des documents de planification (plans, schémas, programmes). Cette séquence est mise en œuvre au travers d'actions visant en premier lieu à éviter, et, en cas d'impossibilité, à réduire voire à compenser les pertes écologiques en apportant des gains équivalents voire supérieurs (additionnalité écologique).

Ministère de la Transition écologique.
Guide pour la mise en œuvre de l'évitement. Concilier environnement et aménagement des territoires.
 80 pages. Mai 2021.



Repères

Méthodologie de transposition des dispositions

La loi exige de quantifier les espaces consommés (dix premières années) et les sols artificialisés (décennies suivantes) et construit le mode de calcul qui fera référence (bases de données, outils...). Pour la première décennie, la loi ne demande pas une baisse uniforme de 50 % sur tout le territoire national, mais invite au contraire les SRADDET à territorialiser l'effort de réduction, qui peut donc être plus exigeant sur certaines parties du territoire régional et moins sur d'autres, à somme nulle.

Pour en savoir +

Ministère de la Transition écologique. *Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique. Guide de mise en œuvre.* 149 pages. Mai 2021.



Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. *Guide pour l'élaboration d'un site naturel de compensation.* 74 pages. Février 2023.



Cortet J., Paquet S., Billet P., Bougon N., Calvet C., Charnet F., Chenu C., Gascuel, Odoux C., Damas O., Desrousseaux M., Monod K., Poinçot F., Raous S., Rigou L., Sarrazin F. et Schwartz C. *Mieux intégrer les sols dans la séquence « Éviter - Réduire – Compenser »*. 18 pages. 2023.



<https://www.afes.fr/ressources/egs-mieux-integrer-les-sols-dans-la-sequence-eviter-reduire-compenser/>

Les mesures de compensation de l'altération des sols

Une compensation écologique ou "mesure compensatoire" vise à compenser les effets menant à une « perte nette de biodiversité » d'un aménagement ou d'un projet créateur de nuisances. La compensation doit intervenir à partir de l'identification d'un impact, qui n'a pu, dans une démarche d'itérations successives et d'évolution du projet, du plan ou du programme, ni être évité, ni être suffisamment réduit. Le dimensionnement de la compensation doit alors viser un gain écologique. Différents principes sont associés à l'application de cette ultime étape de la séquence (article L. 163-1 du code de l'environnement).

- ▶ **L'équivalence écologique** : les gains écologiques doivent être équivalents aux pertes. Les gains générés par les mesures compensatoires doivent être de même nature, qualitativement (mêmes espèces, mêmes habitats, même fonctionnement) et quantitativement, que les pertes nettes engendrées par le projet (Bezombes et al., 2017).
- ▶ **L'additionnalité écologique** : les gains générés par la compensation doivent venir s'ajouter aux actions publiques existantes ou prévues en matière de protection de l'environnement. La compensation est additionnelle si elle permet de générer des gains qui n'auraient pas pu être atteints strictement en son absence.
- ▶ **La proximité fonctionnelle** : les mesures de compensation doivent être mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci, afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Le principe de proximité fonctionnelle impose de tenir compte du fonctionnement des milieux naturels affectés (Andreadakis et al., 2021).
- ▶ **La pérennité** : les mesures compensatoires doivent être effectives pendant toute la durée des impacts. Les sécurisations foncière et financière de ces mesures doivent, par conséquent, être intégrées lors de la conception des projets, plans ou programmes.
- ▶ **L'efficacité** : les mesures compensatoires sont soumises à une obligation de résultat. Elles doivent permettre d'obtenir le gain écologique prévu au moment de leur définition.
- ▶ **L'effectivité** : Le maître d'ouvrage doit mettre en œuvre les mesures de compensation dans les conditions prévues et peut être tenu de constituer à cette fin des garanties financières.
- ▶ **La responsabilité personnelle** : le maître d'ouvrage reste seul responsable vis-à-vis de l'autorité administrative de la bonne exécution des mesures de compensation, même s'il les a confiées à un tiers.

En termes d'indicateurs, très peu de méthodes ont été diffusées pour permettre une meilleure intégration des sols dans les études d'impact. La méthode ECOVAL, inclut des critères relatifs à l'équivalence écologique fournie par les mesures de compensation et retient, pour le sol, des indicateurs sur la faune du sol, l'état de dégradation du sol et le nombre de couches organiques (Bezombes et al., 2018).



Restaurer les sols

La restauration écologique est un processus d'aide à la régénération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.

Désimpermeabiliser les sols

Les sols considérés comme imperméabilisés sont recouverts par un matériau qui réduit fortement voire supprime totalement la capacité d'infiltration de l'eau. Plus les surfaces imperméabilisées sont grandes, plus les perturbations du cycle de l'eau sont importantes. La qualité de vie urbaine peut aussi en être affectée en raison du développement d'îlot de chaleur liées à la perte du rôle « tampon » que peut jouer un sol naturel.

La désimpermeabilisation permet de faciliter la circulation des eaux de pluie à travers les sols. Elle consiste ainsi à :

- remplacer les surfaces en question par des surfaces plus perméables ;
- limiter le renvoi des eaux de pluie dans les réseaux.

La désimpermeabilisation permet ainsi :

- de réduire le risque inondation en limitant le ruissellement sur les surfaces imperméabilisées ;
- de limiter l'accumulation de contaminants dans les eaux et les milieux récepteurs ;
- de réintroduire la nature en ville (création d'espaces verts, d'îlots de verdure et de fraîcheur...).
- d'améliorer le cadre de vie et le bien-être des habitants.

Pour aller vers une meilleure fonctionnalité des sols et garantir les services rendus, notamment en termes de biodiversité et d'adaptation au changement climatique, la désimpermeabilisation doit s'accompagner de renaturation. *"La renaturation des sols appelle de nouveaux modes d'aménagement qui donnent plus de place à l'eau, à la pleine terre et à la biodiversité pour en faire des moteurs des stratégies d'adaptation climatique des territoires. La renaturation des sols est une des composantes de l'objectif ZAN"* (cf. encadré pour en savoir plus).

Pour en savoir +

Le concept de "réensauvagement" s'est développé dans les années 1990. Il désigne le processus de reconstruction d'un écosystème naturel après arrêt des perturbations humaines, afin qu'il redevienne autonome et résilient et intégrant une biodiversité qui aurait été présente si la perturbation ne s'était pas produite.

Définitions

Désimpermeabiliser les sols

Un sol est **impermeabilisé** dès lorsqu'il n'y a plus d'échanges biophysiques entre ses couches souterraines et aériennes.

L'imperméabilisation est souvent induite par des aménagements mais elle peut aussi survenir à la suite de pratiques sur le sol conduisant à son tassement. C'est le cas de certaines pratiques agricoles qui réduisent très fortement la perméabilité du sol.

La renaturation d'un sol, ou désartificialisation,

consiste en des actions ou des opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé.



Ministère de la Transition écologique. *Limiter l'imperméabilisation des sols*. 7 pages.

Pour en savoir +

Damas O., Branchu P., Douay F., Schwartz C., Grand C., Marot F. *Présomption de pollution d'un sol – Des clés pour comprendre et agir*. Plante & Cité, Angers. 36 pages. 2018. Ce guide a été élaboré par Plante & Cité avec la collaboration du Cerema, de l'ISA, de l'ADEME et de l'Université de Lorraine et le soutien financier de l'ADEME et Val'hor. A vocation pédagogique et méthodologique, il s'adresse à un large public d'élus, maîtres d'ouvrages publics et privés, bureaux d'étude techniques et de conseil, entreprises, établissements de formation, étudiants, jardiniers...



https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/03/mise_en_page_presomption_de_pollution_10_dec.pdf

Pour en savoir +

OFB et CDC biodiversité. *Renaturer les sols. Des solutions pour des territoires durables*. Dossiers de la MEB, N°42. Novembre 2020. 60 p.



<https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Plaquettes%20et%20rapports%20institut/renaturer-les-sols.pdf>

Dépolluer les sols

Certaines activités humaines (industrielles, agricoles, urbaines...) sont à l'origine de nombreuses pollutions des sols qui ont des impacts sur la santé des populations (cf. partie 3).

Or, dans les centres-villes, afin de limiter la consommation d'espaces, les politiques dites de densification sont à privilégier. Elles incitent à réutiliser les terrains délaissés.

Ces choix d'aménagement doivent toutefois tenir compte de l'enjeu de dépollution des sols. Des méthodes et techniques de dépollutions sont régulièrement mises en œuvre. Elles doivent tenir compte des aspects techniques et des enjeux sanitaires attachés notamment aux usages.

La méthodologie nationale de référence

La politique nationale de gestion des sites et sols pollués repose sur la gestion des risques sanitaires et environnementaux suivant l'usage des milieux.

Les fondements de la politique de gestion des sites et sols pollués en France (note du 19 avril 2017) sont basés sur une méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués qui concerne tous les sites présentant potentiellement des problématiques de pollution de leurs sols et/ou de leurs eaux souterraines, qu'ils relèvent ou non de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Cette méthodologie nationale propose des outils de gestion des sites et sols pollués pour l'aide à la décision dans le cadre de la réglementation applicable :

- schéma conceptuel ;
- démarche d'interprétation de l'état des milieux ;
- plan de gestion ;
- bilan coûts-avantages ;
- analyse des risques résiduels ;
- évaluation quantitative des risques sanitaires ;
- plan de conception des travaux ;
- ingénierie de dépollution (notamment dans le cadre de la norme NF X 31-620).

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués conforte les référentiels précédemment établis, aujourd'hui reconnus par les acteurs du domaine. Elle reprend les principes qui ont conduit à leur élaboration :

- la disjonction entre les pollutions actuelles et futures (appelées à être gérées selon un principe de prévention et de réparation) et

les pollutions historiques pour lesquelles s'applique le principe de gestion du risque suivant l'usage ;

- l'évaluation du risque fondée sur la réalité des usages, la connaissance des milieux d'exposition et l'emploi des valeurs de gestion transcrivant les objectifs nationaux de santé publique ;
- le principe de spécificité impliquant une appréciation au cas par cas, au plus près des réalités effectives de terrain ;
- enfin, le rôle central donné à l'analyse de la faisabilité technique et aux démonstrations financières argumentées.

(source : site internet INFOTERRE)

Des méthodes et techniques de dépollution différenciées

Lorsqu'un sol fait l'objet d'une nouvelle affectation, il est nécessaire d'évaluer son état et, en cas de pollution, de le restaurer. Différentes techniques de dépollution peuvent être mobilisées. Un mémoire de réhabilitation (plan de gestion) du site est indispensable pour définir la meilleure technique de dépollution à retenir en fonction du contexte :

- nature du terrain (perméable ou non, granuleux, présence d'eau, pH...);
- polluants présents (hydrocarbures, métaux lourds, produits chimiques divers...).

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués repose sur le principe de la gestion des risques selon les usages, que le site soit pollué, qu'il ait accueilli une ICPE ou qu'il soit classé en secteur d'information sur le sol. Il appartient donc aux maîtres d'ouvrage de s'assurer de la compatibilité de l'usage futur du site qui accueille leur projet avec l'état des sols (cf. encadré). Ainsi, au moment de la cessation d'activité des installations classées pour l'environnement (ICPE), les objectifs de réhabilitation des sites sont définis en fonction de l'usage déterminé pour le site.

Une fois que la méthodologie de gestion des sites et sols pollués a été appliquée et que le changement d'usage est précisé, le plan de gestion et le bilan coûts-avantages établissent les mesures de gestion adaptées et les techniques de traitement associées.

De nombreuses techniques existent et sont définies en fonction du contexte. C'est un domaine en constante évolution.

► L'excavation

Ce procédé consiste en l'extraction des parties polluées, une fois la source de pollution délimitée. C'est la méthode la plus simple, la plus radicale et la plus rapide pour supprimer une pollution. Cependant, les sols pollués excavés doivent aussi faire l'objet d'un traitement et d'un confinement sur site ou en dehors.

Repères

La notion d'usage dans la gestion des sites et sols pollués

a été précisée par le décret n° 2022-1588 du 19 décembre 2022 relatif à la définition des types d'usages dans la gestion des sites et sols pollués. Les types d'usage définis par ce décret sont les suivants : industriel, tertiaire, résidentiel, récréatif de plein air, agricole, accueil des populations sensibles, renaturation ou autre usage (au cas par cas).

Le décret définit également la notion de changement d'usage,

introduite à l'article L. 556-1 du code de l'environnement, et associée à l'obligation, pour le porteur de projet, de présenter dans sa demande de permis de construire ou d'aménager une attestation (ATTES-ALUR), délivrée par un bureau d'études certifié dans le domaine des sites et sols pollués ou équivalent, garantissant la prise en compte de mesures de gestion permettant d'assurer la compatibilité de l'état du site avec l'usage futur, et notamment pour un usage d'accueil de populations sensibles.

(Source : site internet INFOTERRE)

Pour en savoir +

SelecDEPOL

Techniques de dépollution

www.selecdepoll.fr/techniques-de-depollution



► Le confinement par couverture et étanchéification

Les confinements physiques empêchent l'écoulement des pollutions en eaux souterraines. De telles mesures doivent être pérennes et adaptées aux usages du site.

► Le lavage du sol

Il est possible de laver le sol à haute pression avec de l'eau, pour séparer les particules fines dans lesquelles est concentrée la majorité des polluants. Dans ce cas, la terre doit être excavée, et les déchets sont récupérés et stockés sous forme de galettes.

La capture des polluants est une autre technique de lavage, qui consiste à injecter une solution liquide (de l'eau ou de l'acide) directement dans le sol sans l'extraire. La solution récupérée doit être décantée, filtrée et centrifugée pour séparer les éléments restants.

► Le venting

Ce procédé consiste à faire s'évaporer les composés volatils déversés dans les sols jusqu'à saturation des pores. La mise en dépression, au niveau de chaque point d'extraction, induit des circulations d'air et provoque un renouvellement de l'air pollué dans les pores. Au cours de son passage à travers la zone polluée, l'air se "charge" en polluants. Les vapeurs sont récupérées via les points d'extraction puis traitées en surface.

► Le biotertre

Ce procédé consiste en une "mise en tas" du sol puis en son traitement biologique par bio-augmentation ou biostimulation. Cette technique peut-être réalisée sur site ou hors site.

Les méthodes de phytoremédiation englobent différentes techniques.

Elles sont actuellement peu répandues car le temps de dépollution est assez long. Le traitement des friches industrielles en vue de leur reconversion fait rarement appel à ces méthodes.

Pour en savoir +

La création d'un état des risques est réalisable en ligne sur le site internet Géorisques via ERRIAL (HYPERLINK

"<https://erial.georisques.gouv.fr/#/>" **Évaluez simplement et rapidement les risques de votre bien - errial.georisques.gouv.fr**).

Ce document reprend les éléments de pollution des sols disponibles dans un rayon de 500 m autour de la parcelle concernée, à l'exception des SUP reprises par ailleurs dans les documents d'urbanisme (cf. Géoportail de l'urbanisme).

► **La phytostabilisation** consiste à immobiliser des polluants inorganiques à l'aide d'espèces végétales, avec ou sans ajout d'amendements. Les plantes réduisent les transferts horizontaux et verticaux de polluants, en diminuant leur mobilité dans le sol, l'eau et l'air. Ce mode de gestion est destiné à limiter les risques sur le plan environnemental et sanitaire et à répondre à un usage de renaturation d'un site. Ce n'est pas une technique de dépollution au sens strict car les polluants restent en place.

► **La phytodégradation** est une technique de dépollution qui consiste à dégrader des polluants organiques en composés plus simples et moins toxiques, à l'aide d'espèces végétales et de micro-organismes. C'est une technique de dépollution partielle car seule la fraction dite « biodisponible » des polluants leur est accessible (sources : ADEME et BRGM).

► **La phytoextraction** consiste à extraire certains polluants du sol, principalement des métaux, à l'aide d'espèces végétales qui les absorbent via leurs racines. Elles transfèrent et accumulent les

polluants dans leurs parties aériennes récoltables (tiges, feuilles), ce qui permet de réduire les concentrations de pollutions dans le sol. C'est aussi une technique de dépollution partielle car la plante n'a accès qu'à la fraction biodisponible des polluants (sources : ADEME et BRGM).

L'ensemble de ces interventions nécessitent un entretien du couvert végétal sur le long court en formant les intervenants, en garantissant la conservation de la mémoire et, dans la cas de la phytoextraction, en organisant l'élimination des végétaux contaminés vers une filière de déchets autorisée compte tenu de leur composition.

La conservation de la mémoire

Fondée sur l'examen et la gestion du risque, plus que sur le niveau de pollution intrinsèque, la dépollution des sites nécessite d'abord de retrouver la mémoire des pollutions et des actions de réhabilitation mises en œuvre pour fixer des usages des sols compatibles avec les pollutions résiduelles après traitement du site. Cette conservation de la mémoire (cf. partie pollutions industrielles) se traduit :

- par la constitution d'inventaires (CASIAS, base de données d'Information de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée [ex-BASOL]) ;
- par des obligations réglementaires liées aux parcelles cadastrales (SIS, SUP).

L'information des acquéreurs et locataires (IAL) participe à la conservation et la transmission de cette mémoire. Depuis 2003, les propriétaires immobiliers doivent fournir à leurs acheteurs et locataires un bilan des principaux phénomènes dangereux (pollution, inondation, séisme...) auxquels leurs biens sont exposés. Un état des risques doit figurer dans le dossier de diagnostic technique (DDT) annexé à la promesse et à l'acte de vente ou au bail de location.

Pour en savoir +

Publications

Préfet de la Manche. *La haie protège, protégeons-la*. 53 pages. Juin 2020.



GIEC normand. *Haies et bocages face au changement climatique*. 50 pages. 2024.



Accéder aux financements relatifs à la restauration ou la plantation de haies
<https://www.anbdd.fr/focus-comment-financer-la-restauration-ou-la-plantation-de-haies/>



Références

Le Dispositif national de suivi des bocages a pour objectif d'évaluer l'évolution quantitative et qualitative des milieux bocagers en France. Pour en savoir plus :

www.trameverteetbleue.fr



Restaurer la biodiversité des sols

Les activités humaines provoquent un effondrement massif de la biodiversité terrestre et marine. Les sols sont particulièrement concernés par cette évolution. La préservation et la restauration de leur biodiversité suppose une implication des acteurs du territoire faveurs de :

- la réduction de toutes les sources de pollutions industrielles, agricoles et urbaines ;
- la diminution massive des usages de pesticides et d'intrants agricoles ;
- l'évolution des activités humaines par une intégration beaucoup plus grande de l'enjeu de la biodiversité à tous les stades de la conception des projets jusqu'à leur mise en œuvre concrète ;
- la reconquête de milieux naturels avec notamment la restauration des zones humides, des linéaires de cours d'eau...

De nombreuses activités humaines sont en capacité d'évoluer afin de favoriser la biodiversité. A titre d'exemple, la présence des haies en Normandie est un facteur de préservation de la biodiversité des sols, elles favorisent :

- le maintien d'habitats diversifiés pour les espèces (zones de nourriture, d'abris et de refuge) ;
- les corridors écologiques ;
- la régulation du climat ;
- la régulation de l'eau ;
- le maintien des sols (lutte contre l'érosion, limitation du ruissellement...);
- la filtration, l'épuration et la rétention de certains polluants ;
- l'effet brise vent...

La très forte régression des haies, avec les remembrements successifs et l'agrandissement des parcelles agricoles, a inquiété les pouvoirs publics et les acteurs régionaux qui se sont mobilisés pour leur restauration. Les moyens alloués sont la fois contraignants et incitatifs :

- interdiction de l'arrachage de certaines haies lorsque des enjeux écologiques, patrimoniaux ou de santé publique sont identifiés ;
- financements spécifiques pour la restauration de haies.

Selon le Dispositif de suivi des bocages (données 2004 – 2022, cf. encadré), la densité de haies en Normandie est de 53 mètres par hectare, ce qui la hisse au 3^e rang national, qui est de 27 m/ha. La région présente de fortes disparités entre le Nord-Ouest et l'Est de la région.

La Manche est le département normand le plus dense en haies avec 96 m/ha, tandis que l'Eure et la Seine-Maritime présentent des densités (respectivement 19 et 25 m/ha) nettement inférieures aux moyennes régionale et nationale. Les densités de l'Orne (62 m/ha) et du Calvados (64 m/ha) se rapprochent de la moyenne régionale (53 m/h).

Développer les solutions fondées sur la nature dans les choix d'aménagements

Les milieux naturels offrent de nombreux services aux activités humaines. Leur restauration permet, par conséquent, de retrouver des fonctionnalités détruites ou altérées. Ainsi, l'Union internationale pour la conservation de la nature a mis en avant la notion de « solutions fondées sur la nature » (cf. encadré). Ces mesures sont définies comme « des actions visant à protéger, à gérer de manière durable et à restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative ». L'objectif est de s'appuyer sur des écosystèmes sains, résilients, fonctionnels, diversifiés et connectés afin de contribuer à l'adaptation des territoires en réduisant les risques et en apportant de nombreux bénéfices en termes de santé, de préservation de la ressource en eau, de sécurité alimentaire...

Les solutions fondées sur la nature se déclinent en trois types d'actions, qui peuvent se combiner :

- la préservation d'écosystèmes fonctionnels et en bon état écologique ;
- l'amélioration de la gestion d'écosystèmes pour une utilisation durable par les activités humaines ;
- la restauration d'écosystèmes dégradés ou la création d'écosystèmes.

La préservation d'espaces naturels en libre évolution ou d'ilôts de sénescence en milieux forestiers constituent aussi un moyen très intéressant de restaurer la biodiversité dans certains territoires. Les trames de vieux bois, de mares et de zones humides en secteurs forestiers sont des milieux riches en terme de biodiversité. Ces actions sont à développer avec la mise en place de techniques de gestion sylvicole adaptée. En milieu agricole, les haies, avec les nombreux services qu'elles rendent sont considérées comme des solutions fondées sur la nature pour répondre en partie aux enjeux du changement climatique. Un bocage résilient et fonctionnel permet notamment de lutter contre les phénomènes d'érosion et de ruissellement. Il joue aussi un rôle important dans la régulation de la ressource en eau et sert de corridor écologique pour les espèces. De nombreuses collectivités s'engagent ainsi dans des programmes de plantation de haies et cherchent à préserver le bocage existant.

Estuaire de l'Orne (Calvados)



Conservatoire du littoral

Pour en savoir +

Les solutions fondées sur la nature

Union internationale pour la conservation de la nature France (UICN)



Les solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France. Paris. 48 pages. 2018.



8 questions à se poser pour mettre en œuvre les solutions fondées sur la nature. Un guide d'appropriation du Standard mondial de l'UICN. 11 pages. Mai 2021.



Standard mondial de l'UICN pour les solutions fondées sur la nature. Cadre accessible pour la vérification, la conception et la mise à l'échelle des SfN. 30 pages. 2020.



Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques liés à l'eau en France. 35 pages. Décembre 2019.



Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques littoraux en France. 25 pages. Juillet 2022.



Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques gravitaires et incendie en France. 33 pages. décembre 2022.

<https://uicn.fr>

Life intégré « ARTISAN »

"Accroître la résilience des territoires au changement climatique par l'incitation aux solutions d'adaptation fondées sur la nature".

Ce programme est piloté par l'OFB avec 28 bénéficiaires associés. 40 actions sont portées à différentes échelles, nationale, régionale et locale, pour un budget de 16,7 millions d'euros. La Normandie a un site pilote sur son territoire et bénéficie d'une animation régionale.



Restaurer les milieux naturellement riches en matières organiques

La restauration et la préservation des zones humides et des milieux forestiers constituent un moyen important de maintenir le patrimoine précieux en matières organiques accumulés par les sols.

Le choix des modalités de culture impacte également les stocks de matières organiques présents dans les sols. Dans le cadre de grandes cultures, une compilation réalisée à l'échelle européenne, rassemblant des données de suivis de longue durée et des modélisations, indique un déstockage moyen de -170 kgC/ha/an pour la période 1967-2007 (source : INRAE, 2019).

La quantité de carbone organique stockée dans la couche superficielle du sol est estimée à 700 gigatonnes (Gt) au niveau mondial. En France métropolitaine elle est évaluée à 3,75 Gt (plus ou moins 1,27 Gt), soit un stock moyen de 74 t/ha.

Les taux de matière organique des sols dépendent de leurs caractéristiques et de leurs usages. En cas d'usage agricole, les systèmes de cultures sont déterminants. Comme, dans un passé plus ou moins proche, la plupart des terres labourables ont été sous végétation pérenne, il y a eu un phénomène global de baisse des teneurs organiques qui n'a pas forcément été évalué. Les changements les plus impactants sont notamment les suivants :

- déforestation ;
- retournement de prairies ;
- drainage de tourbières et de zones humides ;
- artificialisation.

Pour la Normandie, il ne semble pas exister, à notre connaissance, d'évaluation précise à ce jour, mais le phénomène est à corréliser avec :

- l'importance de l'artificialisation des sols ;
- l'étendue des pratiques agricoles intensives ;
- la forte régression des zones humides observées sur le territoire (développement des drainages agricoles, industriels et urbains...).

L'initiative 4 pour 1 000, lancée par la France lors de la COP21 en 2015, fédère les acteurs volontaires pour lancer des actions concrètes sur le stockage du carbone dans les sols et pour développer les pratiques en ce sens. L'ambition est d'engager les agriculteurs vers une agriculture productive et fondée sur une gestion adaptée des terres et des sols. L'objectif est d'augmenter chaque année le stock de carbone des sols de 4 pour 1 000 dans les 40 premiers centimètres afin de stopper l'augmentation actuelle de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère (cf. partie précédente). Appliquée à l'horizon de surface des sols mondiaux, soit à un stock d'environ 860 milliards de tonnes de carbone, la cible 4 ‰ se traduirait par un stockage annuel de 3,4 milliards de tonnes de carbone dans le sol qui permettrait de compenser une partie de l'augmentation du CO₂ atmosphérique.

Pour en savoir +

CIHEAM. Initiative « 4 pour 1000 » Des sols riches en carbone pour la sécurité alimentaire et le climat. Murielle Trouillet (ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt) et Hervé Saint-Macary (chercheur en agronomie au CIRAD). Watch Letter n°37 - Septembre 2016. 4 pages.

Cette mesure pourrait être étendue à la plupart des sols et usages, y compris aux forêts. L'accumulation de carbone dans les sols pourrait se poursuivre vingt à trente ans après la mise en place des bonnes pratiques, en supposant qu'elles soient maintenues durant toute cette période. D'autres effets positifs sont attendus, tels que l'amélioration des rendements agricoles et de la fertilité, une baisse de l'érosion des sols et une amélioration de leur biodiversité.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

LE 4 POUR 1000

LA SÉQUESTRATION DU CARBONE DANS LES SOLS POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LE CLIMAT

La quantité de carbone contenue dans l'**atmosphère** augmente chaque année de **4,3 milliards de tonnes**

+4,3 Mdt. carbone /an

↑↑
émissions de CO₂

Forêts ⊖ ⊖

Océans ⊖ ⊖

Activités humaines ⊕ ⊕ ⊕ ⊕

Déforestation ⊕

⊕ absorption ⊖ émission

Les **sols** du monde contiennent sous forme de matières organiques **1 500 milliards de tonnes** de carbone

absorption de CO₂ par les végétaux

stockage de carbone organique dans les sols

1 500 Mdt. carbone

Si on augmente de 4‰ (0,4 %) par an la quantité de carbone contenue dans les sols, **on stoppe l'augmentation annuelle de CO₂ dans l'atmosphère**, en grande partie responsable de l'effet de serre et du changement climatique

augmentation de l'absorption de CO₂ par les végétaux :

sols cultivés, prairies, forêts...

↓ ↓

stockage de **+4‰** de carbone dans les sols mondiaux

= des sols + fertiles
= des sols + adaptés aux effets du changement climatique

COMMENT STOCKER PLUS DE CARBONE DANS LES SOLS ?

Plus on couvre les sols, plus les sols sont riches en matière organique, et donc en carbone. Jusqu'à présent, la lutte contre le réchauffement climatique s'est beaucoup focalisée sur la protection et la restauration des forêts. En dehors des forêts, il faut favoriser le couvert végétal sous toutes ses formes.

Ne pas laisser un sol nu et moins travailler le sol ; ex. : les techniques sans labour

Introduire davantage de cultures intermédiaires, intercalaires et de bandes enherbées

Développer les haies en bordure des parcelles agricoles et l'agroforesterie

Optimiser la gestion des prairies, par exemple allonger la durée de pâturage

Restaurer les terres dégradées, par ex. les zones arides et semi arides du globe

« Cette initiative internationale permet de concilier les objectifs de **sécurité alimentaire** et de **lutte contre le changement climatique**, et donc d'engager dans la COP21 l'ensemble des pays concernés »

Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

⑤ Synthèse, enjeux et orientations

Aigrette garzette (*Egretta garzetta*)



Thierry Degen / Terra



Synthèse : les grilles AFOM



Les grilles « Atouts Faiblesses Opportunités Menaces » permettent de faire le lien entre, d'une part, le diagnostic et, d'autre part, les enjeux et orientations. Les éléments présentés en haut des grilles (atouts et faiblesses) concernent les points spécifiques à la région et sur lesquels les acteurs régionaux disposent de leviers d'action. Les éléments situés en bas des grilles (opportunités et menaces) concernent les points qui ne sont pas spécifiques à la région. Les grilles ont été réalisées dans le cadre d'ateliers spécifiques menés avec les rédacteurs du diagnostic (cf. page 3).

Atouts

Qualité des sols

- Sols d'une grande richesse agronomique source de bons rendements agricoles.
- Conditions pédoclimatiques favorables à la qualité et à la diversité des sols.
- Grande diversité des sols de Normandie et des écosystèmes associés : coteaux calcaires, prairies, forêts, zones humides, tourbières...
- Sols résilients face au changement climatique.
- Présence de bocages et de forêts.

Facteurs humains

- Connaissance régionale des sols assez développée : université, Vigisols...
- Existence de démarches régionales d'intégration des sols en tant que thématique importante : SRADDET, GIEC normand...
- Développement d'activités plus respectueuses de l'environnement : permaculture, agroforesterie, réseaux CIVAM...
- Potentiel d'espaces disponibles avec les friches industrielles et les zones d'activité.

Faiblesses

Activités humaines

- Au regard de l'enjeu, la prise en compte des sols en tant qu'écosystème par l'ensemble des acteurs régionaux reste insuffisante.
- Présence de nombreuses pollutions liées aux activités humaines : industries, agriculture, radioactivité, déchets...
- Perception toujours négative des zones humides par une majorité de professionnels : agriculteurs, aménageurs...
- Forts impacts de l'agriculture intensive, très présente sur le territoire : pollutions chimiques, destruction des haies...
- Forts impacts de l'exploitation des granulats et de la tourbe (ex : Baupte).
- Forte consommation des sols pour le logement, les infrastructures et les zones d'activité au regard de la démographie.
- Nécessité de connaissances scientifiques plus approfondies et détaillées sur le territoire.
- Risques « naturels » importants : coulées boueuses, tassements différentiels, érosion...
- Manque de partage des enjeux avec les maîtres d'ouvrages et les collectivités.
- Difficulté de mettre en place un travail interdisciplinaire.

Opportunités

- Projet de directive « sols » au niveau de l'Union européenne.
- Politique du « zéro artificialisation nette ».
- Grandes orientations nationales liées à la loi « Climat et résilience » du 22 août 2021.
- Développement des contrats de relance et de transition écologique (CRTE).
- Mise en place des projets alimentaires territoriaux (PAT, avec l'alimentation en tant qu'axe structurant).
- Mise en œuvre des plans climat air énergie territoriaux (PCAET, avec la notion de changement climatique, comprenant l'atténuation et l'adaptation).

Menaces

- La notion de « service » a tendance à primer sur la notion de « fonction » : le fonctionnement des sols s'en trouve altéré pour des apports de court terme.
- Les sols ne sont encore perçus que comme des supports d'activité.
- Insuffisante prise en compte de l'importante des pollutions subies par les sols (pollutions chimiques, pesticides, pollutions plastiques...) et de leurs impacts sur la santé humaine et sur la santé des écosystèmes.



Enjeux et orientations

Les enjeux et orientations ont été définis en ateliers participatifs et suite aux consultations externes réalisées. Pour chaque enjeu, plusieurs orientations sont définies. Elles ont vocation à être déclinées par l'ensemble des acteurs du territoire : Etat, collectivités locales, entreprises, associations, citoyens...

Enjeu 1 - La connaissance des sols

- ▶ Développer la pédagogie sur les sols auprès du grand public
- ▶ Diffuser la connaissance relative aux fonctions des sols dans l'écosystème
- ▶ Améliorer la connaissance de l'enjeu de la qualité des sols pour la santé humaine
- ▶ Développer l'accès aux données sur les sols
- ▶ Soutenir l'acquisition de connaissances sur les sols à une échelle plus fine
- ▶ Améliorer la formation des acteurs dont l'activité ou les décisions ont un impact sur les sols (élus, collectivités, aménageurs, agriculteurs, industriels...)

Enjeu 2 - La protection des sols

- ▶ Privilégier la sobriété dans l'usage et la consommation des sols (réduction de l'étalement urbain...)
- ▶ Eviter et réduire à la source l'ensemble des pollutions subies par les sols, qu'elles soient d'origine urbaines, agricoles, industrielles, énergétiques...
- ▶ Privilégier et soutenir les activités agricoles peu utilisatrices de procédés polluants (intrants, pesticides...)
- ▶ Développer les activités industrielles les moins impactantes pour les sols
- ▶ Soutenir les procédés énergétiques qui n'altèrent pas les fonctions assurées par les sols

Enjeu 3 - La restauration des sols

- ▶ Développer les solutions fondées sur la nature dans l'ensemble des démarches d'aménagement
- ▶ Promouvoir les démarches de désimperméabilisation des sols
- ▶ Développer la mise en oeuvre de dépollutions des sols sur les territoires concernés par des pollutions (y compris anciennes)
- ▶ Soutenir les démarches de restauration des prairies, des zones humides, des méandres des cours d'eau, des haies et des tourbières
- ▶ Prévoir des espaces tampons dans les aménagements afin de renforcer la résilience des écosystèmes et les systèmes naturels de phytoépuration

Définitions

Un enjeu :

ce qui est « en jeu », « ce que l'on peut gagner ou perdre »

Une orientation :

« ce qui permet de donner du sens »

⑥ Acteurs régionaux



Loin d'être exhaustive, cette partie a pour objectif d'aider à la compréhension du rôle spécifique de différents acteurs dans le domaine de l'évolution des sols en Normandie.

► Agences de l'Eau

Etablissements publics

www.eau-seine-normandie.fr

agence.eau-loire-bretagne.fr

- Conseil technique
- Prélèvement de redevances sur les usages de l'eau
- Aides financières à la lutte contre les pollutions, à une meilleure gestion de la ressource en eau et à la restauration des milieux aquatiques
- Production et gestion de données publiques.



► Agence de la transition écologique (ADEME)

Etablissement public

www.ADEME.fr

- Aide financière et technique sur les démarches de réduction de GES et d'amélioration de la qualité de l'air tels que les plans climat énergie territoriaux, les plans déplacements entreprises et les bilans carbone®
- Aide méthodologique et technique aux porteurs de projets
- Conseil et sensibilisation aux problématiques liées au climat et à l'énergie...



► Agence normande de la biodiversité et du développement durable (ANBDD)

Groupement d'intérêt public

www.anbdd.fr

- Diffusion des bonnes pratiques environnementales sur les thématiques de la biodiversité, de la transition énergétique, de la mobilité durable et du développement durable auprès de tous les publics
- Conseil et accompagnement des collectivités locales, des professionnels et acteurs associatifs dans leurs politiques environnementales (formations, visites de terrain, ateliers techniques...)
- information et sensibilisation des réseaux d'acteurs.



► Agence régionale de santé (ARS)

Etablissement public

► www.normandie.ars.sante.fr

- Pilotage et mise en œuvre de la politique régionale de santé
- Régulation de l'offre sanitaire et médico-sociale en réponse aux besoins de la population et dans le cadre de la politique nationale de santé
- Prévention des risques et promotion de la santé (environnement, maladies, risques liés aux comportements...)
- Missions de veille et de sécurité sanitaires (population, produits de santé, établissements collectifs, qualité de l'eau..).
- Copilotage, avec la Région et le préfet, du plan régional santé-environnement.



► **Associations de connaissance et de protection de la nature**

- Association faune et flore de l'Orne : www.affo-nature.org
- Centres permanents d'initiatives pour l'environnement (reptiles et amphibiens ; mousses et lichens) : cpievdo.fr
- Comité régional d'étude, de protection et d'aménagement de la nature en Normandie (CREPAN) : crepan.free.fr
- Groupe d'étude des invertébrés armoricains (GRETIA) : www.gretia.org
- Groupe ornithologique normand : www.gonm.org
- Groupe mammalogique normand : www.gmn.asso.fr
- Manche nature : manche.nature.free.fr

et de très nombreuses autres associations locales et collectifs informels :

- le Collectif d'études régional pour la cartographie et l'inventaire des Odonates de Normandie (CERCION) pour les libellules
- le groupe d'études et de recherche sur les Mollusques – Atlas et inventaire normands (GERMAIN) pour les Gastéropodes
- et CO-Normandie pour l'inventaire des Orthoptères.

► **Association française pour l'étude du sol (AFES)**

Association loi 1901

www.afes.fr

- Expertise
- Capitalisation et diffusion de ressources scientifiques sur les sols
- Animation des acteurs de la gestion des sols

► **Association de recherche sur le ruissellement, l'érosion et l'aménagement du sol (AREAS)**

Association loi 1901

<https://www.areas-asso.fr>

- Expertise scientifique
- Centre de ressources
- Formation, sensibilisation et communication auprès des acteurs du territoire.

► **Centre régional de la propriété forestière**

Etablissement public

<https://normandie.cnpf.fr>

- Conseil et formation des propriétaires fonciers ;
- Élaboration du schéma régional qui encadre les plans de gestion des forêts et agrément de ces plans
- Aide au regroupement des coupes et lutte contre le morcellement des forêts
- Développement des échanges entre les acteurs du territoire et les réseaux scientifiques.

► **Chambres d'agriculture régionales et départementales**

Etablissement public

<https://normandie.chambres-agriculture.fr>

- Observation, veille et prospective
- Avis et conseil sur les décisions et orientations concernant l'agriculture et le monde rural
- Formation, conseil et accompagnement auprès des agriculteurs, des acteurs régionaux et des filières professionnelles



- Développement de la recherche, de l'innovation et de la promotion des produits
- Coordination de l'activité des chambres départementales d'agriculture par l'animation de réseaux et en proposant des solutions innovantes et anticipatrices.

► **Chambres du commerce et de l'industrie**

Etablissement public

www.normandie.cci.fr

- Représentation des intérêts de l'industrie, du commerce et des services auprès des pouvoirs publics et des autorités étrangères
- Contribution au développement économique des territoires, des entreprises et de leurs associations par des missions d'intérêt général et des missions d'intérêt collectif
- Contribution à l'attractivité et à l'aménagement des territoires ainsi qu'au soutien des entreprises et de leurs associations.



► **Citoyens**

- Usage du sol.

► **Communes et regroupement de communes**

Collectivités territoriales

- Aménagement du territoire
- Réalisation des documents d'urbanisme (SCoT, PLU...) et des plans climat air énergie territoriaux.



► **Conseils d'architecture d'urbanisme et d'environnement normands**

Associations

- Conseil, formation et sensibilisation des particuliers, professionnels, élus, collectivités, enseignants, scolaires et amateurs
- Contribution à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'architecture, de l'urbanisme, de l'environnement et du paysage
- Promotion de la qualité architecturale, urbaine, paysagère et environnementale.
 - CAUE du Calvados - www.caue14.fr
 - CAUE de l'Eure - <https://caue27.fr>
 - CAUE de la Manche - www.caue50.fr
 - CAUE de l'Orne - www.caue61.fr
 - CAUE de la Seine-Maritime - www.caue76.fr



► **Conseils départementaux**

Collectivités territoriales

www.calvados.fr

www.eure-en-ligne.fr

www.manche.fr

www.orne.fr

www.seinemaritime.fr

- Gestion, modernisation et entretien du réseau routier départemental
- Soutien au développement des énergies renouvelables
- Politique de soutien aux actions visant à réduire nos déchets à la source.

► Conseil régional de Normandie

Collectivité territoriale

www.cr-normandie.fr

- Pilotage et mise en œuvre du schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
- Soutien des établissements publics et privés dans la réalisation d'actions de réduction des GES telles que les plans climats énergie territoriaux ou les bilans carbone®
- Organisation des transports ferroviaires régionaux et participation au développement de l'offre alternative de transport.



► Conservatoire du littoral

Etablissement public

www.conservatoire-du-littoral.fr

- Développement d'une politique foncière visant à la protection des espaces naturels et des paysages sur les rivages maritimes et lacustres par acquisition de terrains fragiles ou menacés
- Remise en état et transmission de la gestion des terrains.



► Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF)

Services déconcentrés de l'Etat

► draaf.normandie.agriculture.gouv.fr

- Réalisation d'études et d'enquêtes relatives au suivi des sols (TERUTI-LUCAS...)
- Suivi et inspection des installations classées agricoles soumises à autorisation.



► DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

Services déconcentrés de l'Etat

www.normandie.developpement-durable.gouv.fr

- Mise en œuvre de la politique du Gouvernement dans le domaine de l'environnement sous l'autorité du préfet de région
- Co-pilotage du plan régional santé environnement
- Service technique de l'autorité environnementale : évaluation des rapports environnementaux des plans et programmes et des études d'impact des projets



► Exploitants agricoles

- Cultures et gestion des sols

► GIEC Normand

- Traduire les prévisions du GIEC international pour la Normandie
- Faire la synthèse des travaux scientifiques normands sur ce sujet.

► Laboratoire agronomique de Normandie

- Réalisation d'analyses de terre par agrément du ministère de l'agriculture

► Météo-France

Etablissement public à caractère administratif

Depuis 1993, Météo-France est placé sous la tutelle du ministère de la Transition écologique

france.meteofrance.com

- Élaboration et diffusion de prévisions
- Suivi en temps réel et différé de la climatologie (radar météorologique, stations automatisées, postes climatologiques)
- Informations sur le climat et le changement climatique.

► Normandie Grands Migrateurs

Association

normandiegrandsmigrateurs.fr

- Contribution à la restauration et à la sauvegarde des populations de poissons migrateurs amphihalins
- Contribution à la restauration des milieux aquatiques et à la mise en continuité écologique et sédimentaire des rivières.



► Observatoire régional de la santé

www.or2s.fr

- Production et synthèse de connaissances.



► Office français de la biodiversité

Antenne de Normandie

Établissement public

<https://ofb.gouv.fr/normandie>

- Appui à la mise en œuvre des politiques de l'eau et de la biodiversité
- Gestion, restauration et appui à la gestion d'espaces naturels
- Police de l'environnement et police sanitaire
- Formation et mobilisation des citoyens et des parties prenantes
- Développement de la connaissance, de la recherche et de l'expertise sur les espèces et les milieux ainsi que sur la gestion adaptative.



► Parcs naturels régionaux (PNR)

Syndicats mixtes

- Protection du patrimoine naturel et culturel, notamment par une gestion adaptée des milieux naturels et des paysages
- Contribution à l'aménagement du territoire
- Contribution au développement économique, social, culturel et à la qualité de la vie
- Réalisation de l'accueil, de l'information et de l'éducation du public
- Réalisation des actions expérimentales ou exemplaires et contribution à des programmes de recherche.

- Parc naturel régional des boucles de la Seine normande

www.pnr-seine-normande.com

- Parc naturel régional Normandie-Maine

www.parc-naturel-normandie-maine.fr

- Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

<https://parc-cotentin-bessin.fr>

- Parc naturel régional du Perche

www.parc-naturel-perche.fr



► Préfecture de région

Service déconcentré de l'État

www.normandie.gouv.fr

- Mise en œuvre de la politique du Gouvernement dans le domaine de l'environnement.

► Préfectures de département

Services déconcentrés de l'État

www.calvados.gouv.fr

www.eure.gouv.fr

www.manche.gouv.fr

www.orne.gouv.fr

www.seine-maritime.gouv.fr

- Mise en œuvre départementale de la politique du Gouvernement dans le domaine de l'environnement.

► Réseau d'observation du littoral de Normandie et des Hauts-de-France

www.rolnp.fr/rolnp/

- Identifier, consolider et valoriser l'ensemble de la connaissance
- Assurer le lien entre les démarches sectorielles d'observation du littoral aux échelles locales comme régionales, dans un but d'harmonisation et de valorisation, notamment en terme d'argumentaire partagé et d'outil d'aide à la décision
- Constituer le siège d'une expertise partagée dans ses dimensions scientifiques, techniques et sociétales permettant d'éclairer la prise de décision des élus et des acteurs du littoral.

► Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural

(SAFER) : réseau de 26 sociétés anonymes de droit privé

www.saferdenormandie.fr/

- Aide à l'installation des jeunes agriculteurs par la restructuration des exploitations agricoles du territoire et le développement des projets innovants
- Développement de la vitalité des territoires (acquisition de bien ruraux, mise à disposition de terrains aux collectivités, par la revente d'emprises)
- Etudes sur l'occupation des sols
- Protection de la nature (mise en place des mesures compensatoires afin de préserver la biodiversité...)

► Terre de Liens

www.terredeliensnormandie.org

- Conseil aux collectivités pour une plus grande prise en compte du foncier agricole dans les politiques d'urbanisme
- Soutien au développement de projets « agri-ruraux »
- Sensibilisation du public

► Université de Normandie

Établissement public

www.normandie-univ.fr



- Recherche et enseignement supérieur en géographie physique
- Élaboration de cartes synthétiques et didactiques.

► Union régionale des CAUE normands

Association

www.fncaue.com/caue-et-urcaue-de-normandie

- Mise en place d'actions communes et échanges de pratiques entre CAUE
- Valorisation et renforcement du travail de chaque CAUE sur le territoire.



Normandie



Normandie Université



7 Webographie et bibliographie

Varenguebec (50)



DREAL / Equipe drone / Cyrille Bicorné et Fabrice Parais

A COMPLÉTER



Sites web

La liste des sites et ouvrages présentée est fournie à titre indicatif, elle ne vise pas l'exhaustivité.

<p>Agence de la transition écologique (ADEME) normandie.ADEME.fr</p> 	<p>Agence de l'eau Loire-Bretagne www.normandie.fr</p> 	<p>Agence de l'eau Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr</p> 
<p>Agence régionale de santé Normandie www.normandie.ars.sante.fr</p> 	<p>Association française pour l'étude du sol (AFES) www.afes.fr/</p> 	<p>Communauté normande des objectifs de développement durable (CNODD) www.cnodd.fr</p> 
<p>Conseil départemental du Calvados www.calvados.fr</p> 	<p>Conseil départemental de l'Eure www.eureennormandie.fr</p> 	<p>Conseil départemental de la Manche www.manche.fr</p> 
<p>Conseil départemental de l'Orne www.orne.fr</p> 	<p>Conseil départemental de la Seine-Maritime www.seinemaritime.fr</p> 	<p>Conseil régional de Normandie www.normandie.fr</p> 
<p>Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt de Normandie draaf.normandie.agriculture.gouv.fr</p> 	<p>Géolittoral www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr</p> 	<p>Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) www.ipcc.ch/français/</p> 

Ministère de la Transition écologique
(MTE)

www.ecologie.gouv.fr



La préfecture et les services de l'Etat
en Normandie

www.prefectures-regions.gouv.fr/normandie



La préfecture et les services de
l'Etat dans le Calvados

www.calvados.gouv.fr



La préfecture et les services de
l'Etat dans l'Eure

www.eure.gouv.fr



La préfecture et les services de l'Etat
dans la Manche

www.manche.gouv.fr



La préfecture et les services de l'Etat
dans l'Orne

www.orne.gouv.fr



La préfecture et les services de l'Etat
en Seine-Maritime

www.seine-maritime.gouv.fr



Réseau d'observation du littoral
de Normandie et des Hauts-de-France

www.rolnp.fr





Ouvrages

	<p>ADEME. <i>Actions d'adaptation au changement climatique</i>. 132 pages. Juin 2017.</p>				

Travaux de recherche

--	--	--

