

① Les sols de Normandie :

des milieux vivants et diversifiés

Domfront (Orne)



Cyrille Bicornet et Fabrice Parais / Equipe drone / 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 extrait 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".

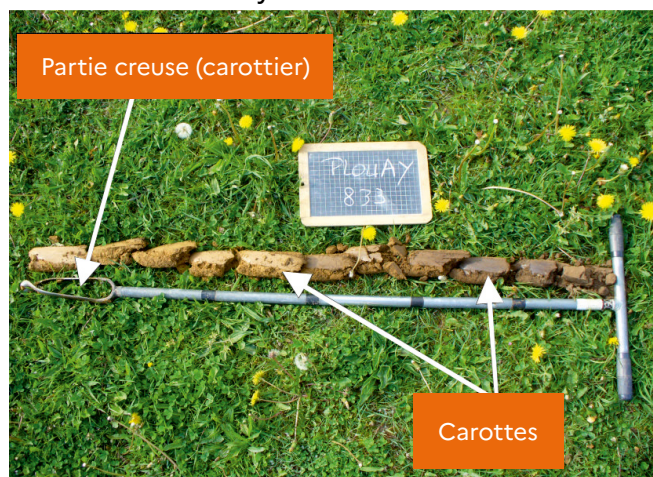
Le sol : définition

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 à d'autres paramètres.

Définitions

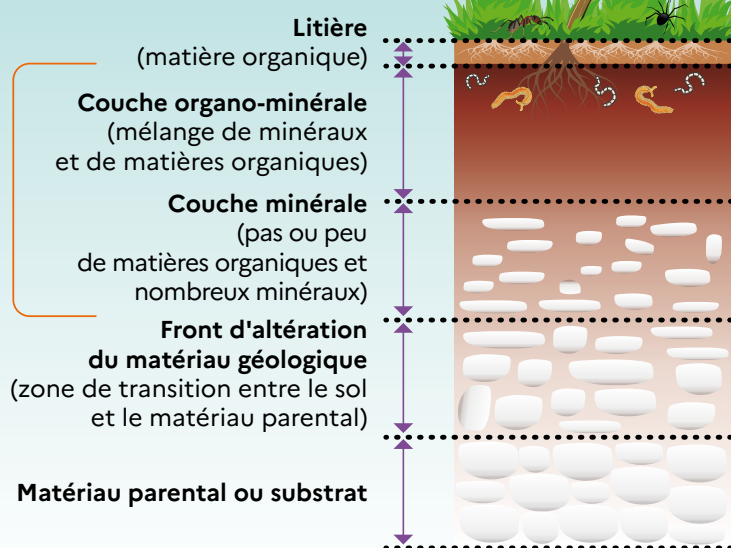
Litière d'un sol :

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

Les horizons d'un sol

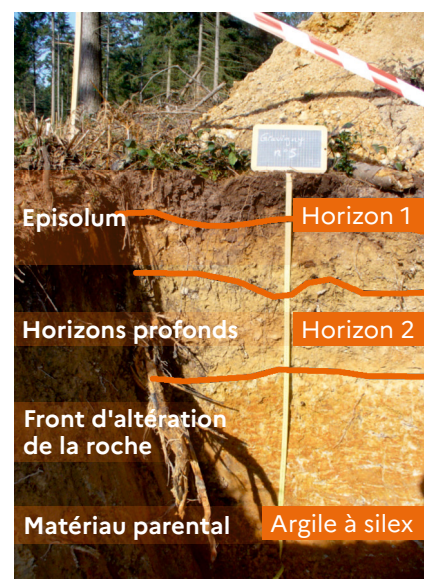
Réalisation : DREAL Normandie et Agence Bingo

**Le
sol**



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)



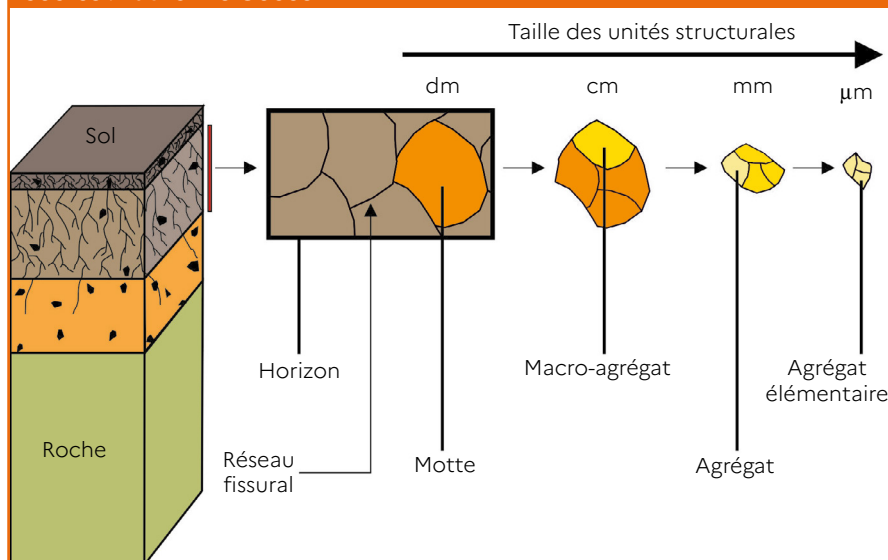
Séverine Bernard / DREAL Normandie

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.

Organisation d'un sol : une juxtaposition d'éléments

Source : Patrick Le Gouée



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 complexe de fissures.

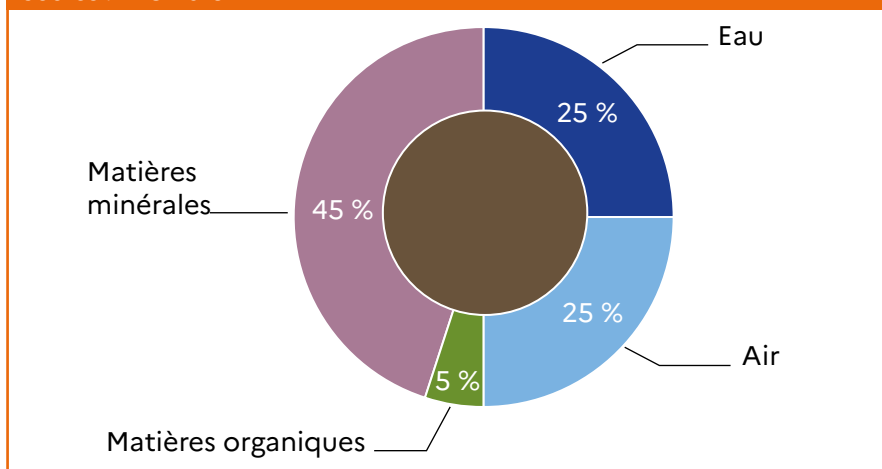
Les constituants d'un sol

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 ;
- 25 % d'air (plus ou moins riche en CO₂).

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

Source : FAO 2015



Ces moyennes varient énormément en fonction notamment :

- des conditions climatiques ;
- du matériau parental (roche mère) ;
- de la topographie ;
- de la biodiversité ;
- des activités humaines (labour, tassement, piétinement lié à l'élevage...).

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.

Sol calcaire moyennement épais : calcosol

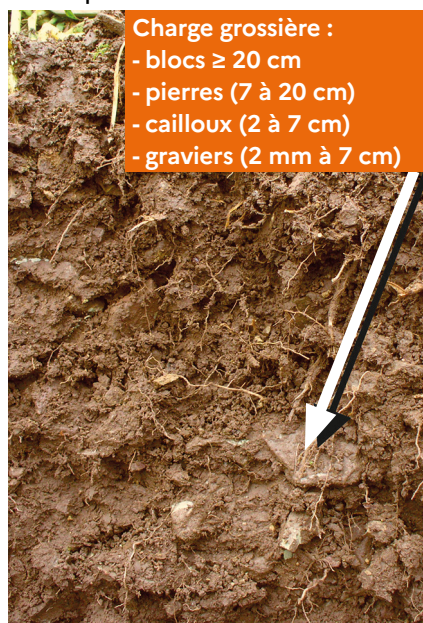


Clément-Blaise Duhaut / CEN Normandie

Définitions

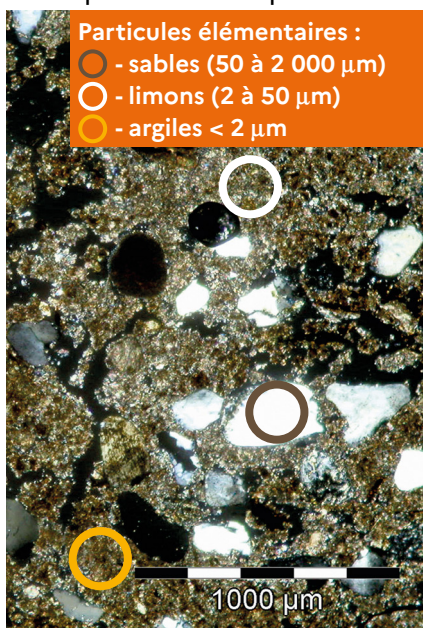
Les **matières minérales** sont constituées d'une part des argiles, des limons, des sables et des éléments grossiers issus de l'altération et de la désagrégation des roches du sous-sol et, d'autre part, dans une moindre mesure, de la minéralisation des matières organiques issues des restes d'êtres vivants.

Cliché pris sur le terrain



Patrick Le Gouée

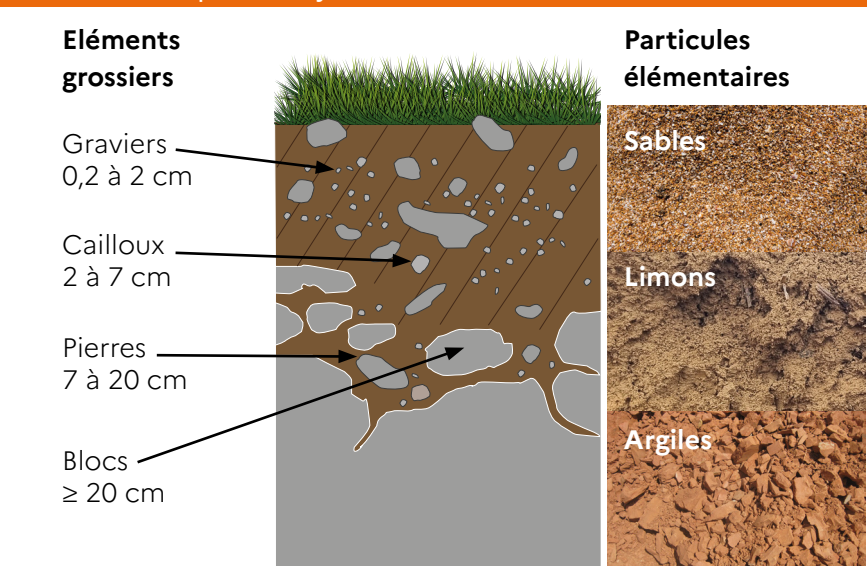
Cliché pris au microscope



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 particules élémentaires 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

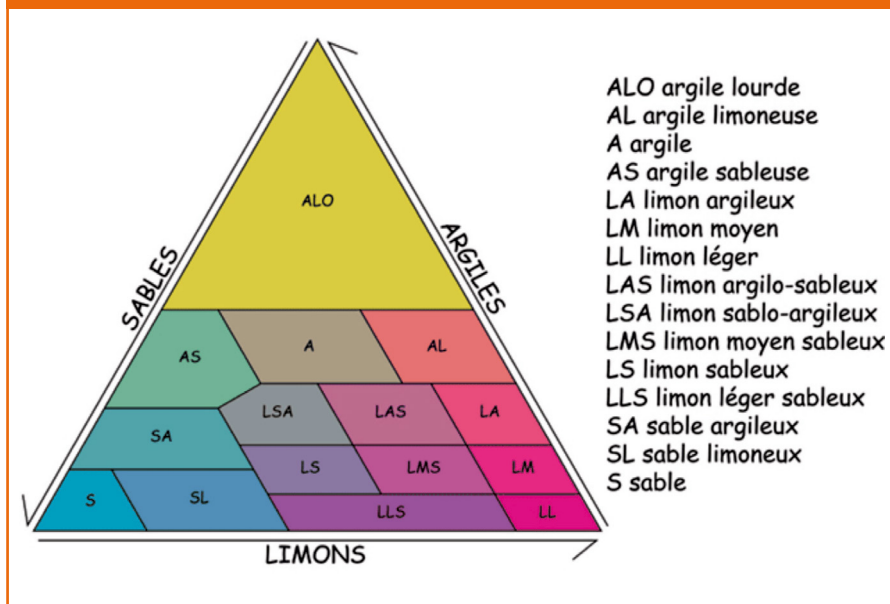
Il existe plusieurs représentations possibles de la texture d'un sol, elles sont dénommées "triangles de texture". Ces figures permettent de caractériser les horizons d'un sol et d'apprécier leurs propriétés.

La texture du sol fait référence à la proportion des particules élémentaires. 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).

Triangle de texture des sols

Diagramme textural de l'Aisne



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. 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 du sol. Elles sont constituées d'éléments morts et vivants. Les matières mortes représentent 95 % des matières organiques du sol. Elles 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. Les matières vivantes sont constituées de l'ensemble des organismes qui vivent dans le sol (micro-organismes, faune et racines).

Sol brun acide : brunisol



Nathalie Moreira / CEN Normandie

Définitions

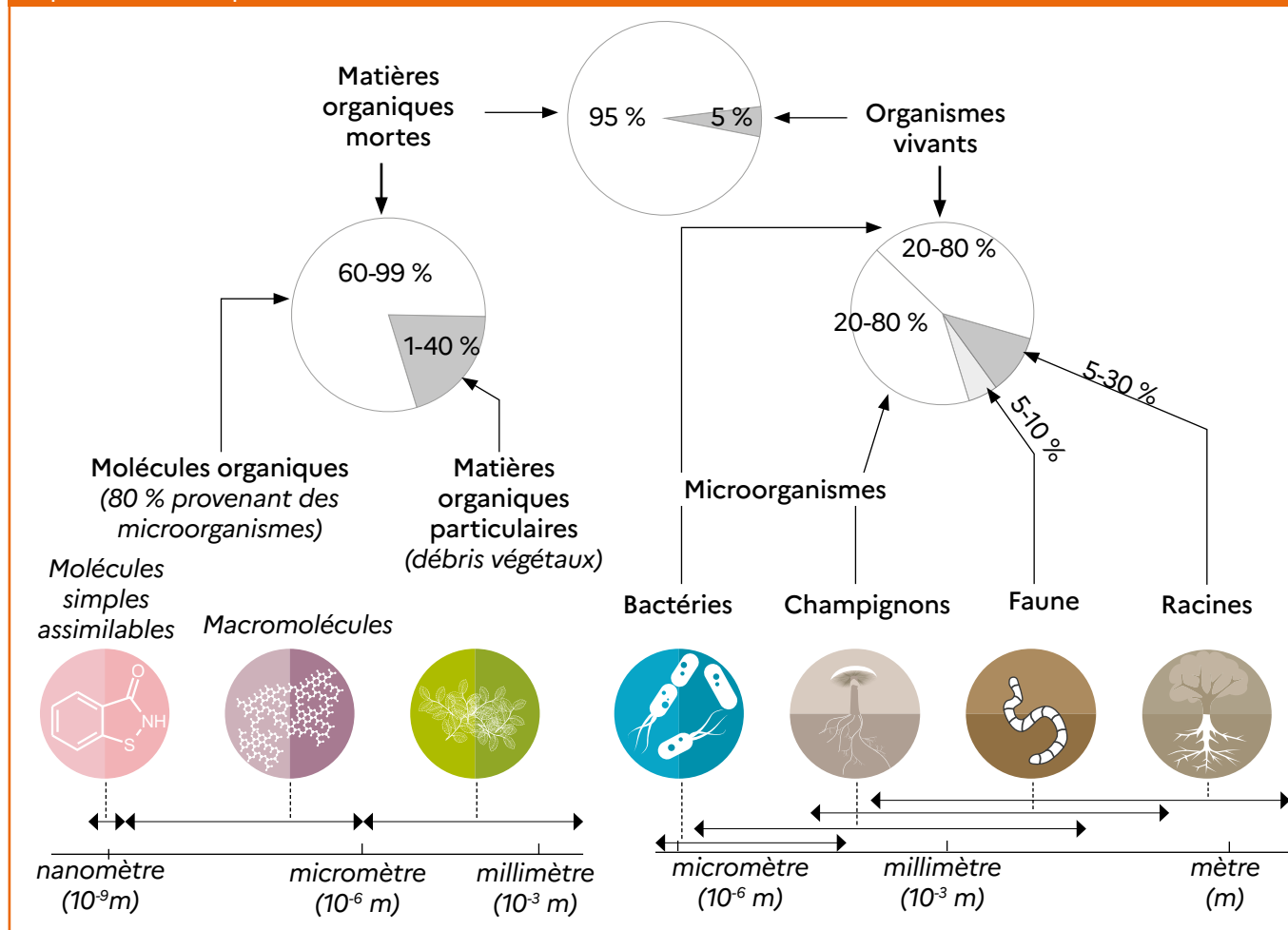
Les **matières organiques du sol** sont issues de la transformation des résidus végétaux du sol, des résidus animaux et des corps microbiens. Elles sont principalement constituées de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote et d'autres composés. Elles déterminent les propriétés physiques et chimiques 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 séparables 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 des sols

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



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 CO_2 dans l'atmosphère.

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 structuraux 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 sur 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 constituée de l'ensemble des volumes de sol situés au voisinage ou en contact direct avec les racines et soumis à leur influence. Il s'y manifeste une intense activité biologique (exsudats racinaires, micro-organismes, champignons symbiotiques...). C'est une interface majeure pour tous les phénomènes d'altération des minéraux, de nutrition et d'absorption racinaire.

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

Pour en savoir +

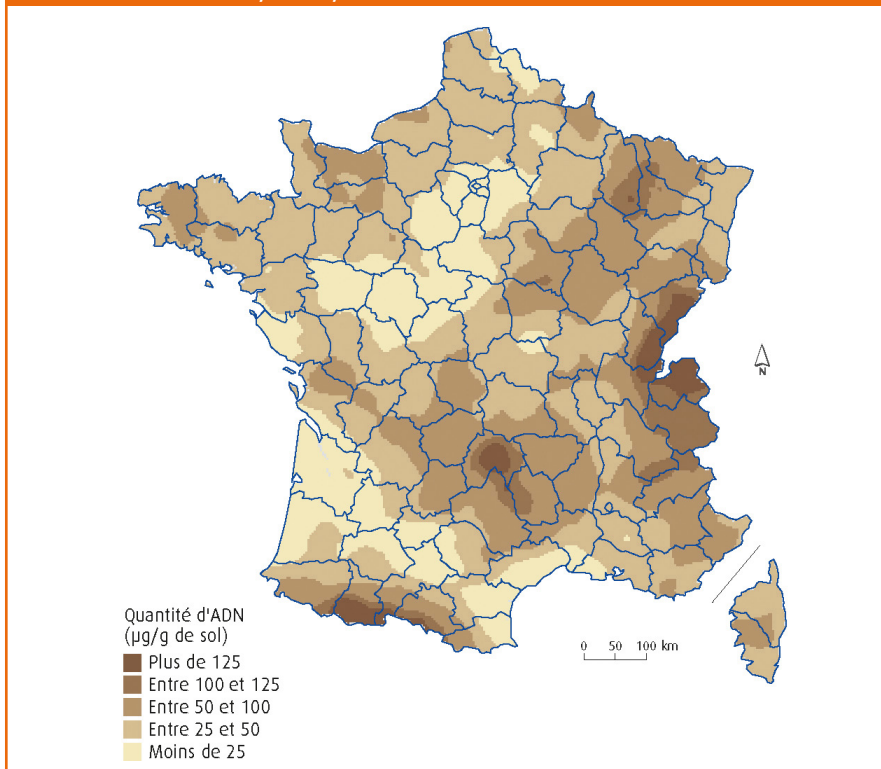


Battle Karimi, Nicolas Chemidlin-Prévost Bouré, Samuel Dequiedt, Sébastien Terrat Lionel Ranjard. *Atlas français des bactéries du sol*. Biotope. 2018. 192 pages.

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

Biomasse microbienne des sols

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



Microflore et champignons présents dans les sols : 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		< 0,001 mm	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, et les protistes

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 généralement regroupées en trois classes :

- la microfaune (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.

A l'échelle microscopique, les nématodes et les protistes sont d'importants décomposeurs de la matière organique du sol.

Collembole



Florence Magliocca et Fabrice Parais / DREAL

Acariens



Florence Magliocca et Fabrice Parais / DREAL

Faune et micro-organismes présents dans les sols : ordres de grandeur par famille (schéma simplifié et non exhaustif)

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

		Nombre d'espèces	Taille	Abondance	Biomasse (g/m ²)	Régime alimentaire
Protistes	Protozoaires	68	0,2 mm	10 ³ à 10 ¹¹ /m ²	6 à >30 g/m ²	Champignons, bactéries, débris organiques, algues (action de prédation stimulant le renouvellement de la microflore)
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	
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 dans 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.

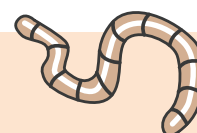
Les sols sont notamment perturbés par :

- 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).

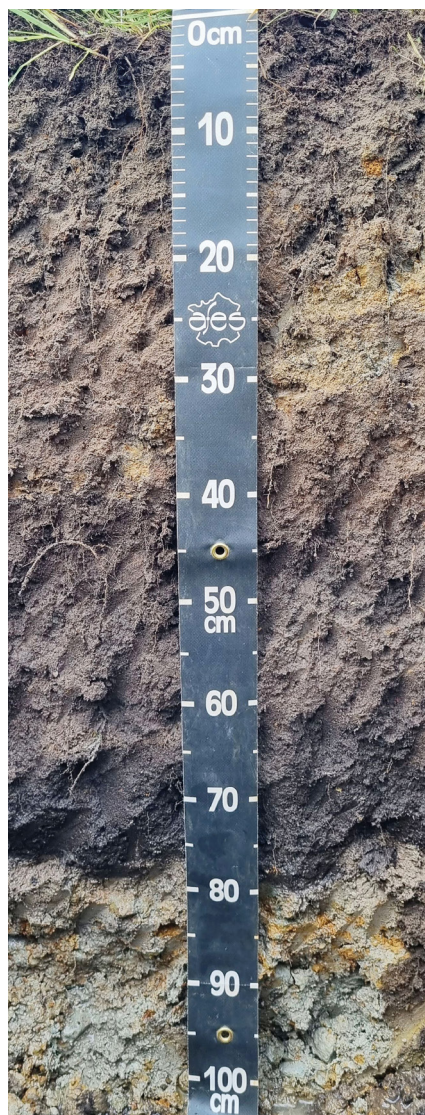
“
*Les sols sont non
renouvelables à
l'échelle humaine*
”

Néoluvisol, Noyer-Bocage (Calvados)



Patrick Le Gouée

Luvisol - Rédoxisol bathyhistique,
Baupte (Manche)

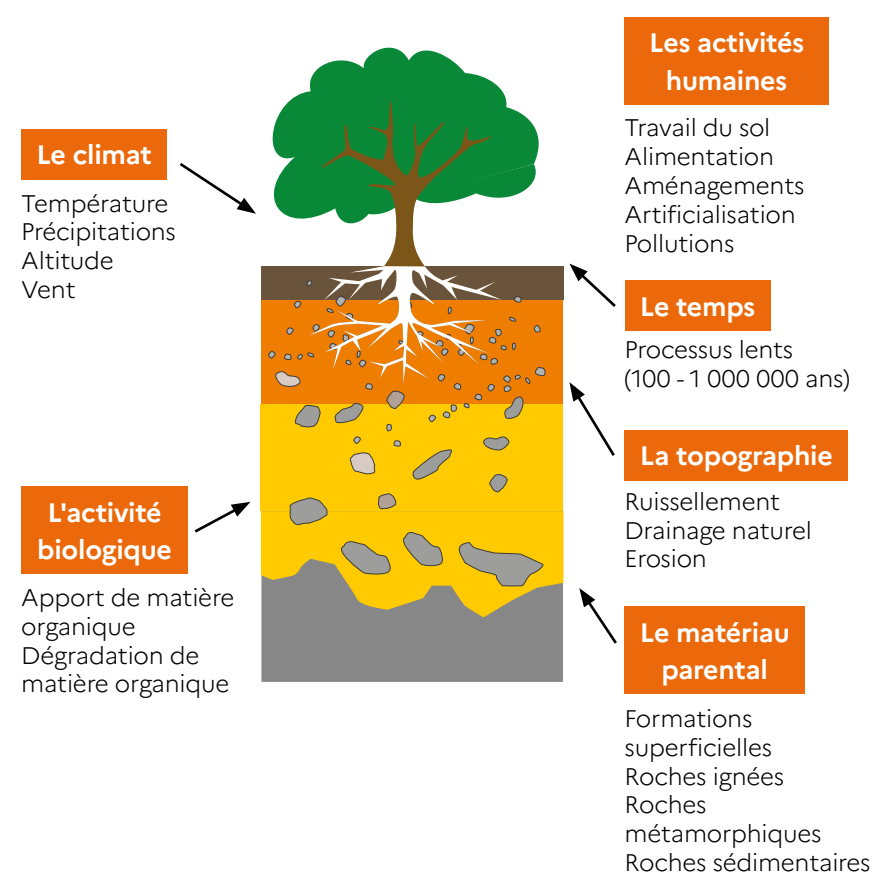


Patrick Le Gouée

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 :

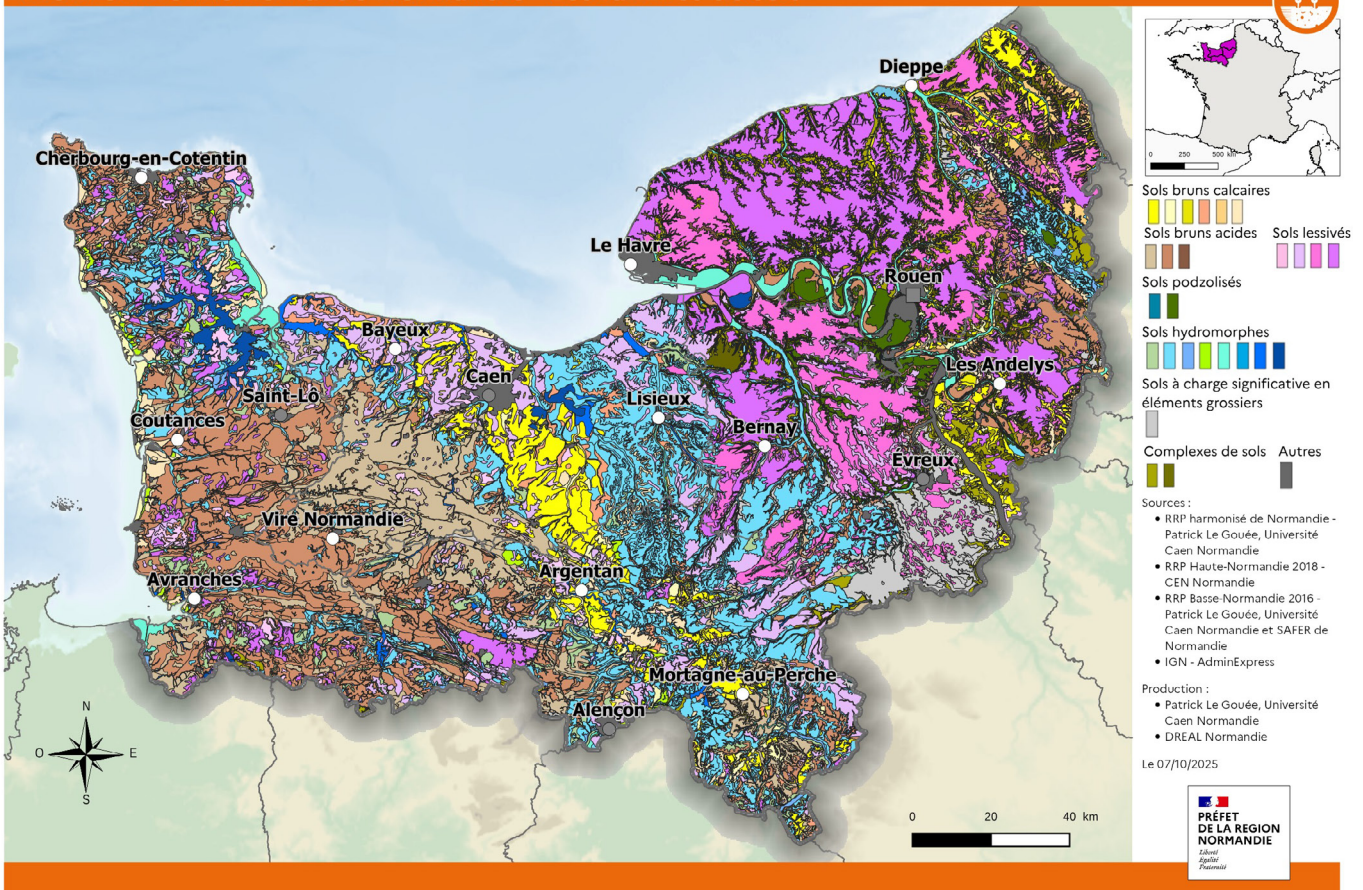
- sols hydromorphes ;
- sols bruns acides ;
- sols bruns calcaires ;
- sols lessivés ;
- sols podzolisés ;
- sols à charge significative en éléments grossiers ;
- complexes de sols.

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.

Profil environnemental de Normandie - Les familles de sols



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 VigiSol, 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.

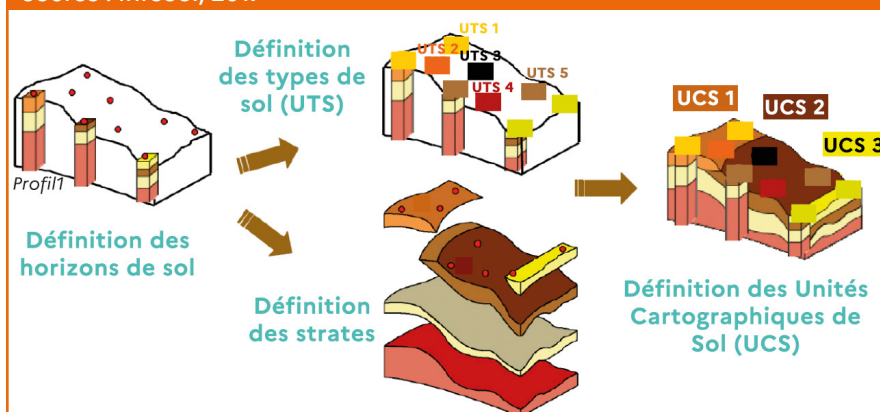
Pour accéder aux données du GISSOL et notamment aux référentiels pédologiques régionaux : www.gissol.fr

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 (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 :

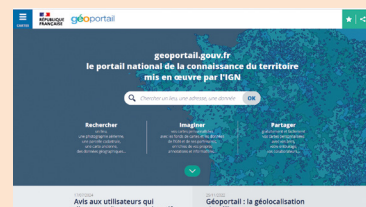
- modalités de constitution (pédogenèse) ;
- caractéristiques écologiques ;
- activités humaines prépondérantes ;
- pressions et vulnérabilités.

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

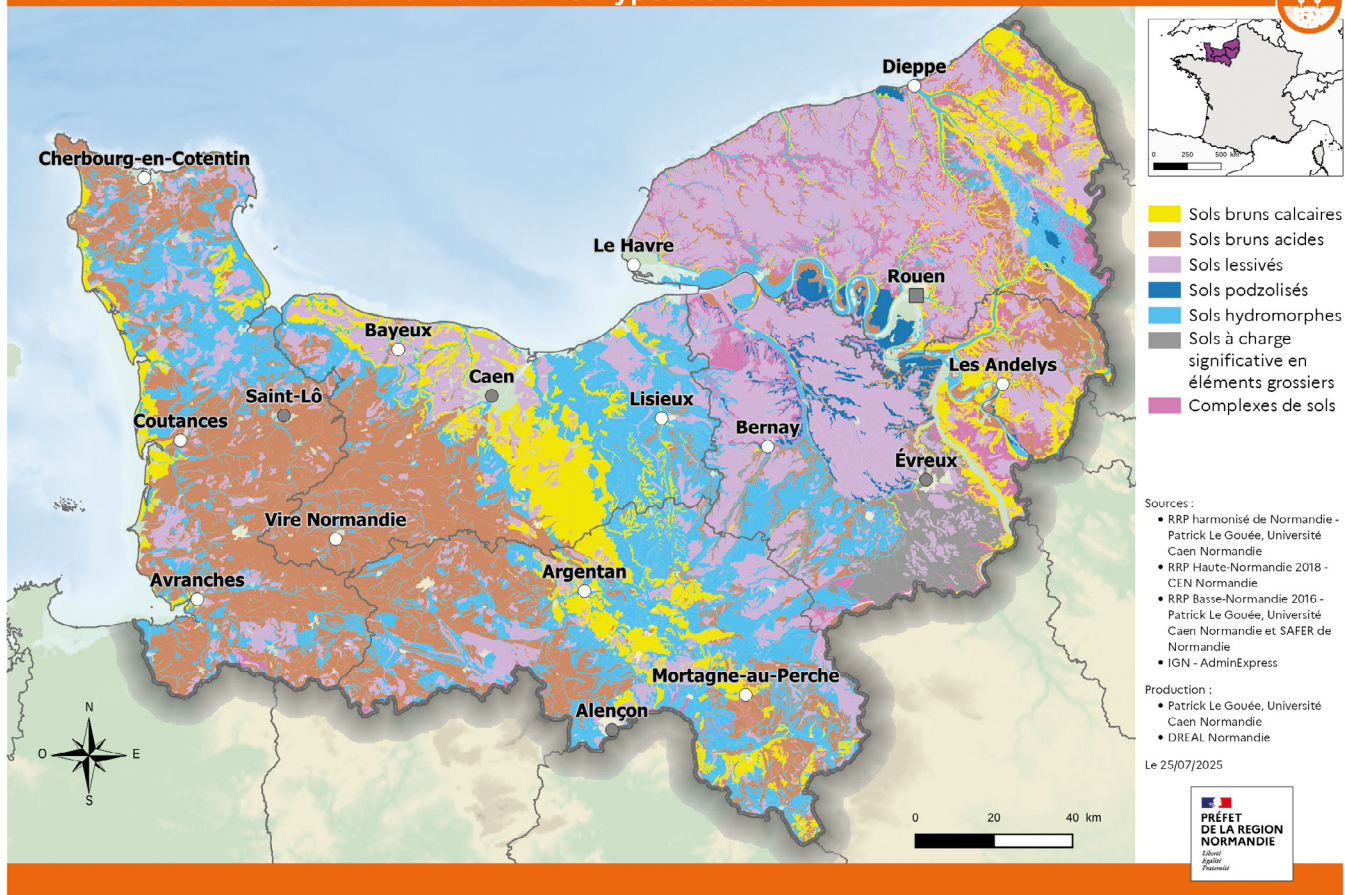
Pour en savoir +

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>



Profil environnemental de Normandie - Les types de sols



Les sols bruns calcaires

Sol brun calcaire moyennement épais



Florent Lelu / CEN Normandie

Les sols bruns calcaires sont issus matériaux parentaux calcaires.

Pédogenèse

Sous l'effet du processus d'humification, l'altération des roches calcaires conduit à l'incorporation des carbonates de calcium dans la couverture pédologique.

Ce mécanisme 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.

Sous le climat normand, une décarbonatation (dissolution) partielle intervient dans la partie supérieure des sols calcaires, générant un gradient de taux de carbonate de calcium (CaCO_3) croissant avec la profondeur.

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 (CO_3) 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...

Bieville-Beuville (Calvados)



Cyrille Bicorne et Fabrice Parais / Equipe drone / DREAL Normandie

Caractéristiques écologiques

Selon la nature des roches calcaires (craie, marnes, limons carbonatés), les caractéristiques topographiques (pentes et positions sur le versant), les processus géomorphologiques (colluvionnement, gélifraction) et l'intensité de la décarbonatation, les sols calcaires de Normandie témoignent de profils très variés. A titre d'exemples, ils peuvent s'apparenter à des sols pelliculaires et riches en matières organiques sur les versants crayeux et pentus de la Vallée de la Seine et à des sols épais et pauvres en matières organiques dans les vallons secs des plateaux calcaires, dans lesquels les colluvions carbonatées se sont accumulées.

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...).

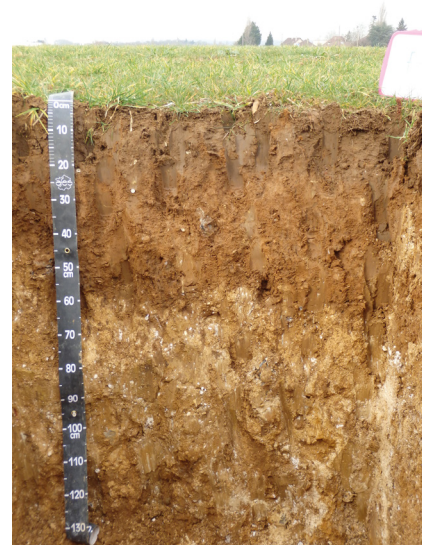
Dans certains cas, des sols très calcaires, secs et peu épais, accueillent des pelouses rases très spécifiques. Ces pelouses calcaires ou calcicoles sont naturelles ou associées à des pratiques agropastorales. Elles sont entretenues par la présence d'herbivores sauvages ou domestiqués.

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.

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.

Sol brun calcaire épais



Nathalie Moreira / CEN Normandie

Repères

Sol basique ou sol acide ?

Un sol est basique (ou alcalin) lorsque son pH varie entre 7,5 et 8,7. Plus un sol contient de calcaire, plus il est basique. Dans les sols de France, en principe, le pH n'excède jamais 8,7 et n'est jamais inférieur à 3,5.

Le pH d'un sol acide varie entre 3,5 et 6,0.

Entre 6 et 7,5 le sol est considéré comme présentant un pH neutre.

Sol calcaire peu épais sous 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.

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. Lorsqu'un milieu arboré se développe, leur fermeture modifie progressivement 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.

Camp Romain à Revières (Calvados)



François Nimal / CEN Normandie

Localisation en Normandie

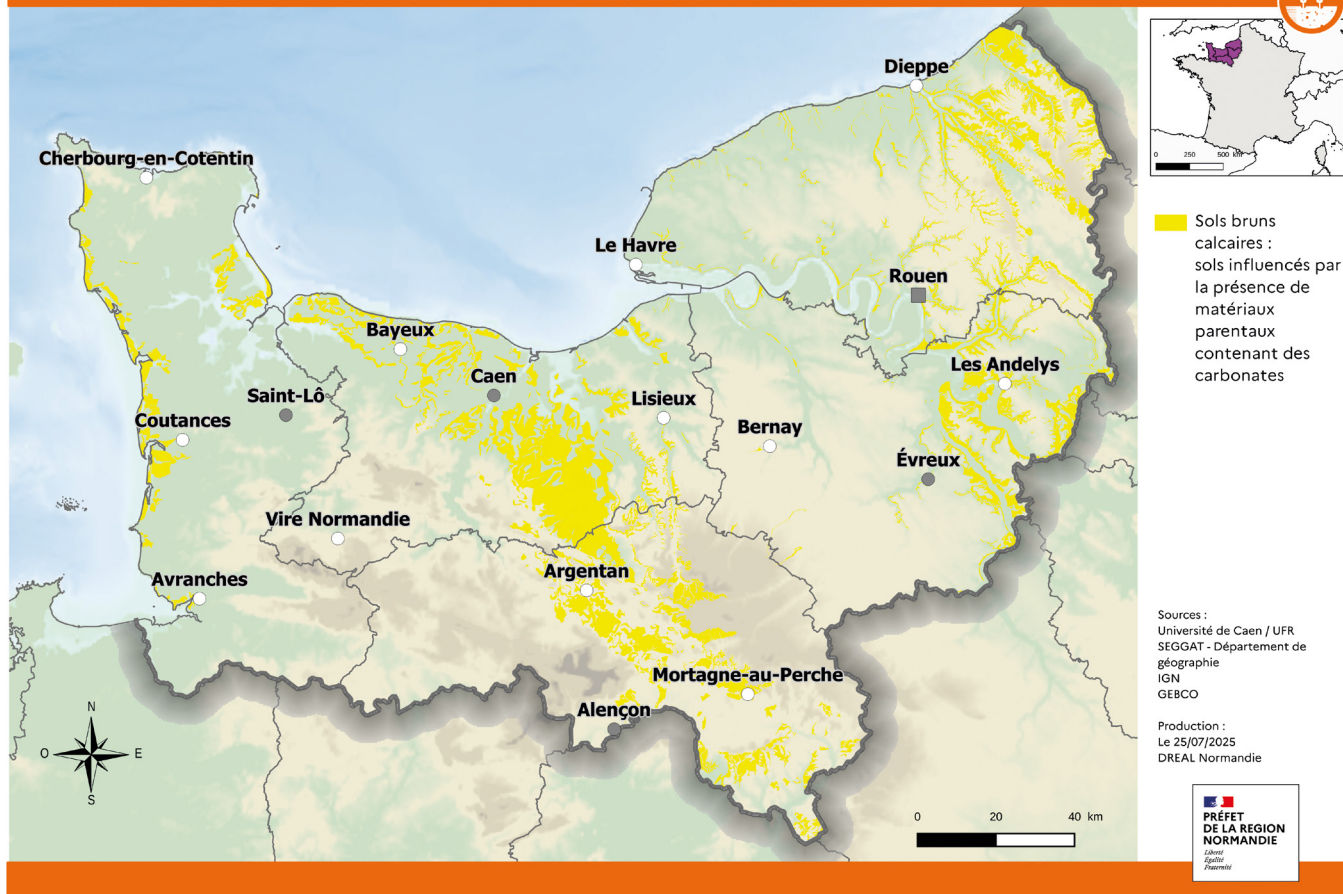
Les sols bruns carbonatés se sont développés sur les plateaux et leurs bordures : plaines de Caen, de Falaise, d'Argentan, d'Alençon, Perche ornais, plateau de Madrie, Petit Caux...

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.

Profil environnemental de Normandie - Les sols bruns calcaires



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 pédogénèse.

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.

Pédogénèse

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 (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 : 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 intensives tendent à l'uniformisation de leurs caractéristiques et à la destruction de leur biodiversité.

A contrario, certaines pratiques favorisent le maintien ou la restauration de prairies permanentes et de bocages, ce qui permet préserver les 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 ornaïs, bocage virois), ils sont présents dans les cinq départements. A l'est de la région, on les retrouve sur les argiles à silex du Mésocénozoïque, sur les rebords du Plateau de Madrie et surtout dans le Vexin normand.

Sol brun acide



Clément-Blaise Duhaut / CEN Normandie

Profil environnemental de Normandie - Les sols bruns acides



Les sols issus du lessivage

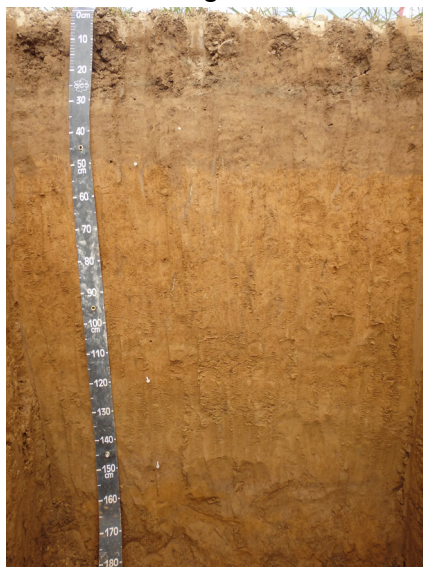
Définitions

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.

Sol issu du lessivage



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 perturbe la circulation de l'eau. En période pluvieuse, ces sols se saturent d'eau et mènent à des phénomènes d'hydromorphie. Ils peuvent ainsi être associés à des milieux humides temporaires.

Activités humaines

Les sols lessivés présentent une très bonne aptitude à l'agriculture et notamment aux grandes cultures : ils sont relativement fertiles, riches en matières organiques 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. 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.

Depuis une dizaine d'années une partie des agriculteurs a pris pleinement conscience de la nécessité d'améliorer les pratiques vis à vis des sols. Les itinéraires techniques que l'on trouve dans les pratiques nommées "agriculture de conservation des sols" ou "agriculture régénérative" sont guidés par trois grands principes :

- diminution voire suppression du travail du sol ;
- diminution voire suppression des rotations longues et cohérentes ;
- couverture permanente des sols.

Ces pratiques visent en particulier à améliorer le stockage du carbone dans les sols grâce à la matière organique des sols.

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 le nord de la plaine de Caen et le Bessin mais, ailleurs, ils donnent l'illusion de confettis (dépôts loessiques).

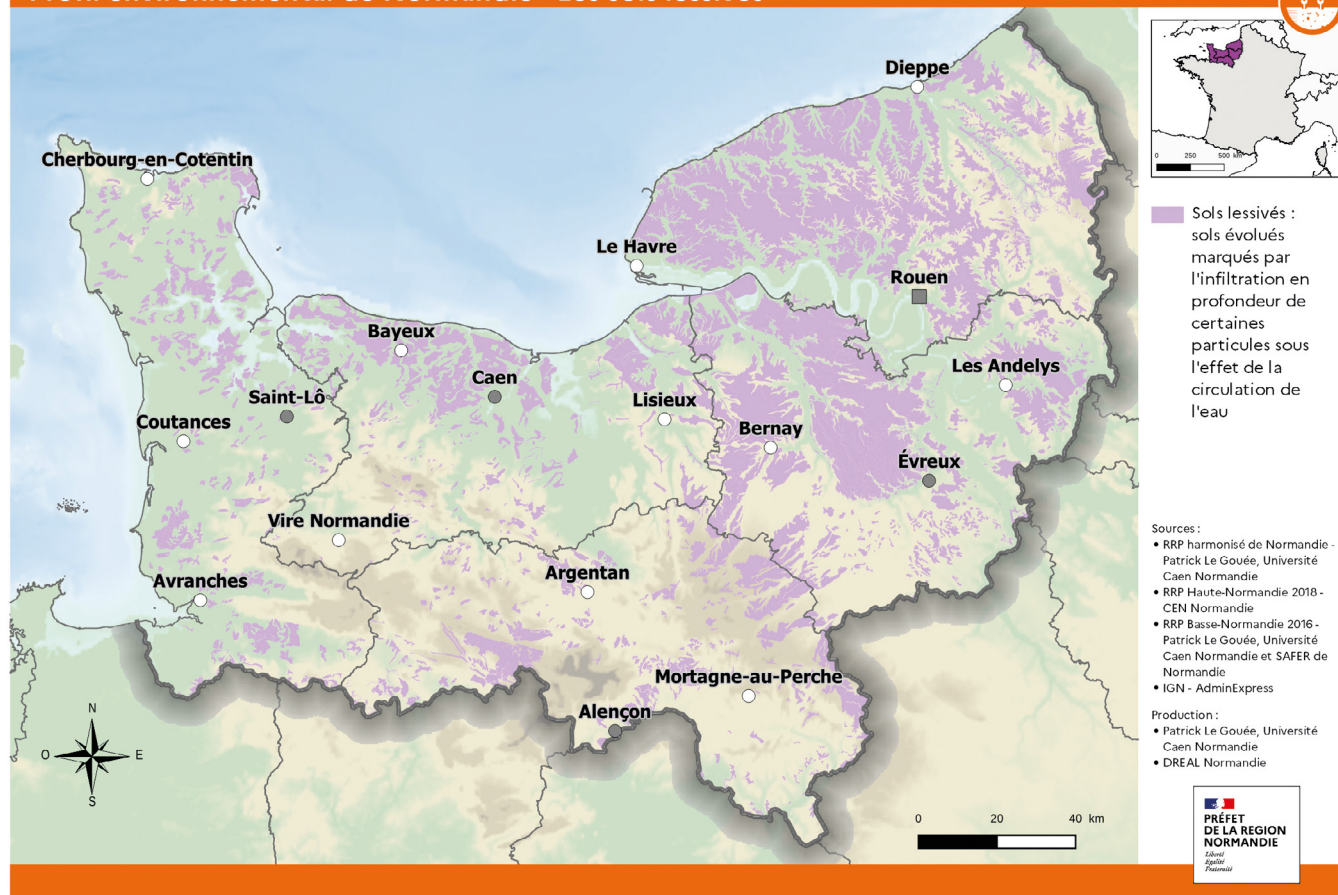
L'hydromorphie observée dans ces sols tient à la fois à des variantes climatiques attestant de précipitations abondantes, supérieures à 900 mm par an, et de substrats imperméables proches de la surface.

Illustration du phénomène d'érosion



Patrick Le Gouée

Profil environnemental de Normandie - Les sols lessivés



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



Clément Blaise-Duhaut / CEN Normandie

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 organométalliques de fer ou d'aluminium migrent et s'accumulent dans un horizon sous-jacent. Le lessivage peut accélérer 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. En zone tempérée, des podzosols peuvent se développer, notamment dans des espaces forestiers exploités par les activités humaines. La podzolisation est favorisée par la présence d'un matériau parental quartzueux (sableux) très pauvre.

La forme superficielle d'humus est un « humus brut » les matières organiques ne se décomposent que très lentement car l'activité biologique y est très faible. Cet humus brut est généré par des végétations de landes. Des monocultures de résineux renforcent et accélèrent la formation d'humus brut, donc la podzolisation.

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 (qui sont peu abondantes) et de la plupart des minéraux primaires. Ce processus permet la migration en profondeur des matières organiques et du fer sous la forme de complexes organométalliques qui forment un horizon noir.

Les termes "podzolisation" et "podzsol" 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 horizon poudreux de silice pouvant rappeler la cendre.

Coupe typique d'un podzsol 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 organométalliques 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...) ;
- 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 et 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 rendre les milieux plus résilients aux sécheresses.

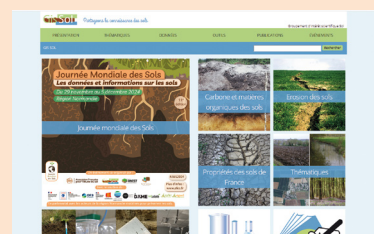
La présence de l'eau, même temporaire, modifie la vie du sol. Elle mène au développement d'un milieu sans oxygène (anaérobie) et à la

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 aussi 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/>



Sol hydromorphe alluvial



Nathalie Moreira / CEN Normandie

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 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 particulière. 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. 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.

Honfleur (Calvados)



Cyrille Bicorné et Fabrice Parais / Equipe drone / DREAL Normandie

Pressions et vulnérabilités

Entre 1960 et 1990 en France, la moitié des zones humides a été détruite (source : ministère de la Transition écologique). Les villes se sont notamment 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 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 on les trouve à la fois dans les espaces soumis aux influences maritimes (Cotentin, Bocages de Coutances et de Valognes) et dans des secteurs 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



Zone humide



Sandrine Héricher

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 nécessite dans certains cas de les regrouper par catégorie.

Les sols à charge significative en éléments grossiers

Les sols peuvent être marqués par la présence d'une charge significative en éléments grossiers. En Normandie, il arrive qu'elle représente plus de 60 % du volume total du sol. Dans ce cas, on parle de "Peyrosol". Les éléments grossiers mesurent entre quelques millimètres et plusieurs dizaines de centimètres. Il s'agit de graviers, cailloux ou pierres. Ces éléments proviennent de la fragmentation et de la désagrégation des matériaux parentaux. Il arrive qu'ils soient déplacés puis déposés à des dizaines de kilomètres de leur lieu d'origine en lien avec des dynamiques colluviales et alluviales.

Une charge significative en éléments grossiers impacte fortement les propriétés des sols. Elle accentue sa perméabilité, sa portance, son ressuyage. Parallèlement, elle réduit le réservoir utile en eau, génère

Définition

Certains sols sont composés d'une part majoritaire d'éléments grossiers (graviers, cailloux, pierres), de la désagrégation ou des caractéristiques granulométriques du matériau parental. Ils sont référencés en tant que **"sols à charge significative en éléments grossiers"**.

En Normandie, les couvertures pédologiques dotées d'une charge significative en éléments grossiers sont associées à des sols de type rankosol, lithosol, régosol et peyrosol.

Sol à charge significative en élément grossier : peyrosol dans le Perche (Orne)



Patrick Le Gouée

Sol à charge significative en éléments grossiers



Nathalie Moreira / CEN Normandie

des obstacles au développement racinaire et limite sa capacité à fournir des éléments nutritifs pour les végétaux. Les autres facteurs de pédogénèse et les caractéristiques de la matière organique entrent également en compte. Ces variables influent sur ses caractéristiques (structure, texture...), ainsi que sur 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. 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.

Profil environnemental de Normandie - Les sols à forte charge en éléments grossiers



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. 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

Dans certains territoires on observe **des complexes de sols**, c'est-à-dire des associations de types de sols différents que l'on ne peut pas distinguer séparément étant donnée l'échelle graphique de la carte. 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



