

# 4 Les leviers d'action

## pour restaurer et préserver les sols

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



Sandrine Héricher

### Plan du chapitre

- Observer et caractériser les sols
- Réaliser un diagnostic des sols
- Préserver les sols
- Restaurer les sols

### Rédacteurs



Laurence Chedmail (DREAL), Emmanuel Goujon (DREAL), Sandrine Héricher (DREAL), Patrick Le Gouée (Université de Caen Normandie), Eloi Larchevêque (DREAL), Florence Leblond-Viennot (DREAL), Théophile Legoupil (DREAL), Sophie Raous (AFES), Simon Roussigné (DREAL)

## Pour en savoir +

### Nouvelle stratégie de l'Union européenne

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 équitable 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](http://www.eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699)

Les sols ont été fortement altérés depuis le XIX<sup>e</sup> siècle.

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 leur gestion durable ;
- améliorer les situations dans lesquelles leur contamination 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...

#### Couvert végétal d'intercultures (avoine, phacélie et sarrazin)



Chambre régionale d'agriculture de Normandie





# 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 ;
- choisir une 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 et, par conséquent, de son épaisseur et de ses horizons. Les différentes couches du sol jouent en effet un rôle majeur dans les transferts et sur la rétention de l'eau ainsi que sur la prospection racinaire.

Les éléments présentés ci-après permettent de recenser les outils et méthodes clés pour observer un sol :

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

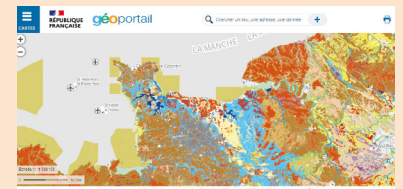
## *Les outils cartographiques*

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 leur localisation 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.

### Références

- Carte nationale des sols à l'échelle du 1/ 250 000° : site du Géoportail : <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>

Les travaux du Gis Sol sont conduits autour de quatre grands programmes complémentaires :

- le programme 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).

### Références

#### Les programmes du Gis Sol

##### L'inventaire gestion et conservation des sols - IGCS

###### ► Nature des sols et distribution spatiale

- **Objectif :** identifier, définir et localiser les principaux types de sols d'une région ou d'un territoire et caractériser leurs propriétés présentant un intérêt pour l'agriculture et pour l'environnement.
- **Trois principales échelles spatiales :** les "secteurs de référence" sont des cartographies détaillées de territoires avec des échelles inférieures au 1/50 000<sup>e</sup>. Elles permettent de traiter des questions agricoles ou environnementales avec une bonne précision à l'échelle locale : irrigation, drainage, aptitudes à l'épandage, adaptation des cépages aux terroirs...

##### Le réseau de mesures de la qualité des sols - RMQS

###### ► Un outil de surveillance des sols à long terme

- **Objectif :** évaluation et de suivi à long terme de la qualité des sols.
- **Suivi de 2 240 sites** répartis uniformément sur le territoire français (métropole et outre-mer), selon une maille carrée de 16 km de côté. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les quinze ans au centre de chaque maille. Les sols font l'objet d'analyses des propriétés physiques, chimiques et biologiques de recherches des sources de contamination diffuse, de l'historique et des pratiques de gestion de chaque site.

##### La base de données d'analyses des terres – BDAT

- **Objectif :** connaître la variabilité des horizons de surface des sols cultivés
- **Suivi des évolutions** à la fois spatiales et temporelles des propriétés des sols.
- **Réalisation d'environ 250 000 analyses de terre chaque année** en France. Elles sont majoritairement demandées par les agriculteurs pour gérer au mieux la fertilisation. Les données statistiques agrégées par canton, sont disponibles pour 5 périodes : 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014.
- **31 paramètres** permettent d'évaluer les propriétés physico-chimiques (pH, carbone, capacité d'échange cationique, taux de saturation), la fertilité (azote, carbone organique, phosphore, potassium, magnésium, sodium), les teneurs en métaux et métalloïdes (bore, cuivre, fer, manganèse, zinc) et leur texture (argile, limon, sable).

##### La base de données éléments traces métalliques – BDETM

- **Des analyses des teneurs en éléments traces métalliques** réglementaires sur les terrains recevant des boues de station d'épuration urbaine  
Les teneurs en sept éléments traces métalliques (ETM) sont déterminées (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sur des échantillons de sols prélevés en surface (horizons labourés) des terrains agricoles susceptibles de recevoir des épandages de boues de station d'épuration urbaine.
- **Plus de 73 500 analyses regroupées dans une base de données**  
Etant donné l'origine des analyses (très majoritairement des plans d'épandages de boues d'épuration), le jeu de données comporte principalement des sols agricoles et des sols situés en positions planes.

Source : Gis Sol

Pour en savoir plus : [www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)



# 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)

**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**



DREAL Normandie

## Observation d'un sol sur le terrain



Sandrine Héricher

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 simple mais difficile à mettre en œuvre sur sol sec ou 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.

## 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 télescopique, 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 culturaux.

## Pour en savoir +

Agro-  
Transfert  
Ressources  
et  
Territoires.



**Guide méthodologique du mini-profil 3D, Diagnostiquer rapidement l'état structural de vos sols.** 12 pages. 2017.

## Suisse-Normande (Calvados)



Nadège Basset



## Repères

### Mise en œuvre

- 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



Source : Sophie Raous

## L'examen de la fertilité des sols

En agriculture, l'observation des sols permet de déterminer leur fertilité. Celle-ci s'évalue à trois niveaux : physique, biologique et chimique. Les méthodes détaillées précédemment informent sur les niveaux de fertilité physique et biologique. Concernant le compartiment chimique, une analyse en laboratoire est nécessaire.

### Cultures



Sandrine Hélicher

## 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



Cultures de colza



Sandrine Hélicher

## Caractériser un sol

La qualité d'un sol reflète sa capacité à fonctionner, c'est pourquoi les indicateurs choisis doivent permettre de mesurer ses grandes fonctions. Le choix des indicateurs de qualité se fait en fonction des types de sols et des questions posées par l'étude qui motive 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 sont 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 radicelles (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'infiltre dans le sol et quel est 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, de la perméabilité (test d'infiltration Beerkan...), 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 :

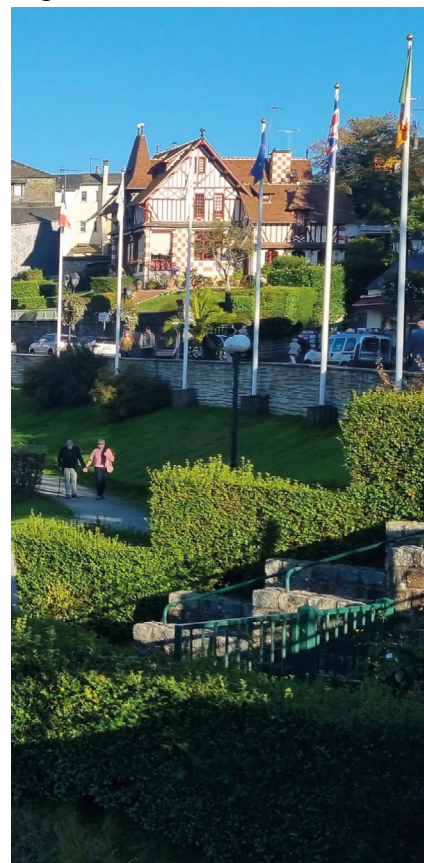
- en laboratoire ► appareil de Berlèse (examen de la mésofaune) ;
- analyses sur le terrain ► observation de la macro et mésofaune (ex : protocoles OPVT moutarde et test bêche pour dénombrer les vers de terre...), *Pit fall* (pièges à fosse pour échantillonner les arthropodes du sol, comme les insectes 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>

#### **Bagnoles de l'Orne (Orne)**



Sandrine Héricher



Sophie Raous



### Terres agricoles en plaine de Caen (Calvados)



Aude Leconte





# 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 pour l'aménagement d'un territoire nécessite la réalisation d'un diagnostic précis et documenté dont la première étape consiste à mobiliser les études 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 décrites ;
- la disponibilité d'une annexe détaillée avec profils et analyses géoréférencés.

Terre agricole dans le secteur de Falaise (Calvados)



Aude Leconte

## Références

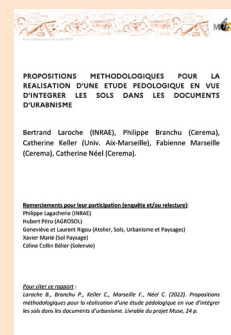
### La méthode MUSE, développée par le Cerema Intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme

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](http://www.cerema.fr)



Une étude pédologique ancienne peut être mobilisée dès lors que l'ensemble des unités typologiques de sol présentes 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 et qualitatif 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

Briouze (Orne)



Cyrille Bicorné et Fabrice Parais / Equipe drone / DREAL Normandie



## Evaluer les fonctions et services associés aux sols du territoire

L'identification des différents types de sols permet 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. Leur artificialisation ou leur drainage retirent d'incalculables services à la collectivité et aux citoyens (épuration, stockage de l'eau...).

L'évaluation de ces fonctions et des services permet 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<sup>e</sup>. Cette approche fournit un outil 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).

### Rouen (Seine-Maritime)



Nadège Basset

## Références

**La métropole Rouen Normandie** a 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>



## Définition

La **trame brune** est le réseau formé par l'ensemble des réservoirs et corridors présents dans les sols qui leur permet d'exercer leurs fonctions écologiques, notamment celle d'habitat et de continuité pour le cycle de vie des espèces.

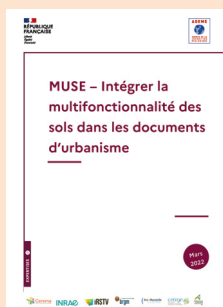
## Pour en savoir +

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](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.



## Caractériser et représenter la trame brune

La trame brune est un réseau formé des continuités écologiques du sol contribuant à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et au bon état écologique des masses d'eau (cf. encadré). Indissociable de la trame verte et bleue, elle constitue un élément majeur du fonctionnement d'ensemble des écosystèmes terrestres.

La notion de trame brune permet une compréhension globale et fonctionnelle de la biodiversité sur les territoires depuis l'amont des décisions (schémas directeurs, SCoT), jusqu'à leur aval (PLUi, PLU, OAP, ZAC...).

La caractérisation de la trame brune s'appuie notamment sur :

- une description cartographique des sols pouvant constituer soit des corridors écologiques, soit des réservoirs de biodiversité ;
- l'évaluation de leur niveau de fonctionnalité ;
- des observations de terrain pour évaluer la diversité des sols à l'échelle pertinente.

## Evaluer 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 de sols 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, pollutions chimiques ou physiques...) ;
- 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

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.

## 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 débats 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 biologique, par exemple.

Coquelicots (*Papaver rhoeas*)



Aude Lecomte

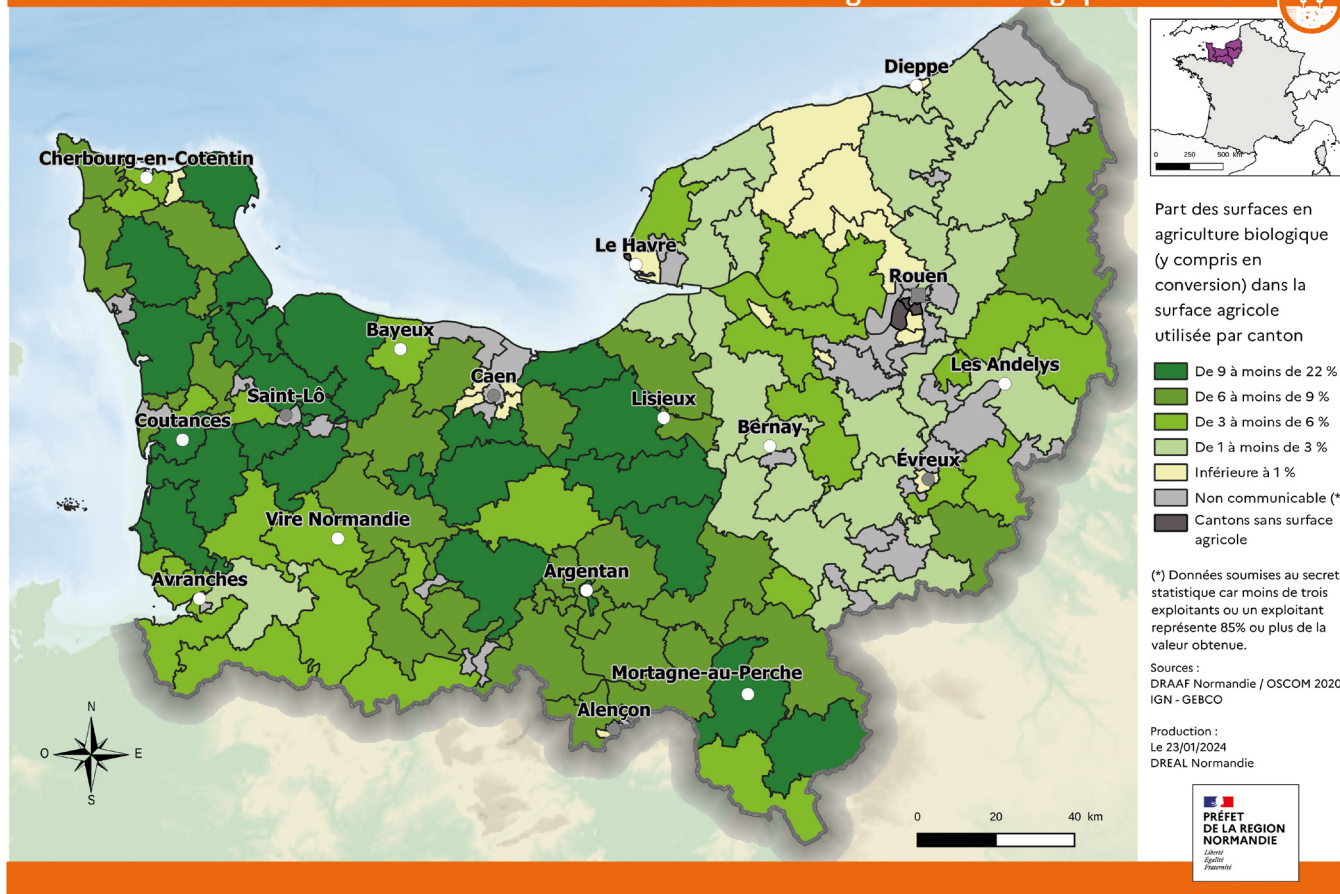
### Repères

#### L'agriculture biologique

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

Elle repose sur une gestion agricole durable qui vise à préserver 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.

## Profil environnemental de Normandie - Part des surfaces en agriculture biologique en 2020



Fin 2023, la surface agricole normande consacrée à l'agriculture biologique est de 6,7 % (contre 6,9 % fin 2022), ce qui place la Normandie à la 11<sup>e</sup> position sur 13 régions métropolitaines.

### La captation de carbone dans les sols

Certaines pratiques agricoles permettent d'augmenter le stock de carbone présent dans les sols. Ainsi, le label "bas carbone" soutient ces pratiques de séquestration du carbone, en élevage et pour les grandes cultures, dans le cadre d'une certification volontaire qui permet un financement du carbone non émis (dans l'atmosphère) ou séquestré (dans les sols).

## Référents

Dans le secteur de l'agriculture, depuis 2019, le **label bas-carbone** accompagne tous les exploitants souhaitant mettre en place des méthodes pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre ou séquestrer du carbone. Il s'agit du premier cadre de certification climatique volontaire en France, il s'insère dans la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC).

Le label bas-carbone garantit que les projets de réduction ou séquestration du carbone réalisés contribuent correctement et de manière transparente à atteindre les objectifs grâce à des méthodes crédibles et vérifiées. Les projets doivent être additionnels aux réglementations en vigueur concernant les émissions de gaz à effet de serre c'est-à-dire que le projet doit générer des réductions d'émissions de gaz à effet de serre ou des séquestrations de carbone qui n'auraient pas eu lieu sans la labellisation et sans le financement perçu grâce à la labellisation.



Plusieurs démarches favorables à la séquestration du carbone dans les sols peuvent ainsi être citées :

- l'épandage d'effluents d'élevage ;
- le développement de couverts végétaux en interculture ;
- la restitution au sol des pailles des cultures ;
- la réduction du travail du sol.

## L'azote

La prévention de la pollution aux nitrates nécessite de faire évoluer les 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 la pollution 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 (PAN), socle commun à toutes les zones vulnérables ;
- les programmes d'actions régionaux (PAR) qui complètent et renforcent le PAN.

Ce programme est révisé tous les quatre ans au vu des résultats d'une évaluation de 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 ;
- 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).

## 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.

## Pour en savoir +

DREAL Normandie.  
*Les mesures du programme d'actions nitrates applicables dans les zones vulnérables de Normandie.* Juillet 2025.



**Pour en savoir plus :**



<https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/communication-autour-de-la-directive-nitrate-en-a2446.html>



<https://draaf.normandie.agriculture.gouv.fr/directive-nitrates-et-zones-vulnérables-r74.html>

## Profil environnemental de Normandie - Les zones vulnérables aux nitrates



### Le phosphore

Compte tenu de la raréfaction à long terme de la ressource minérale en phosphore, l'enjeu passe par une meilleure gestion de celle-ci 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.

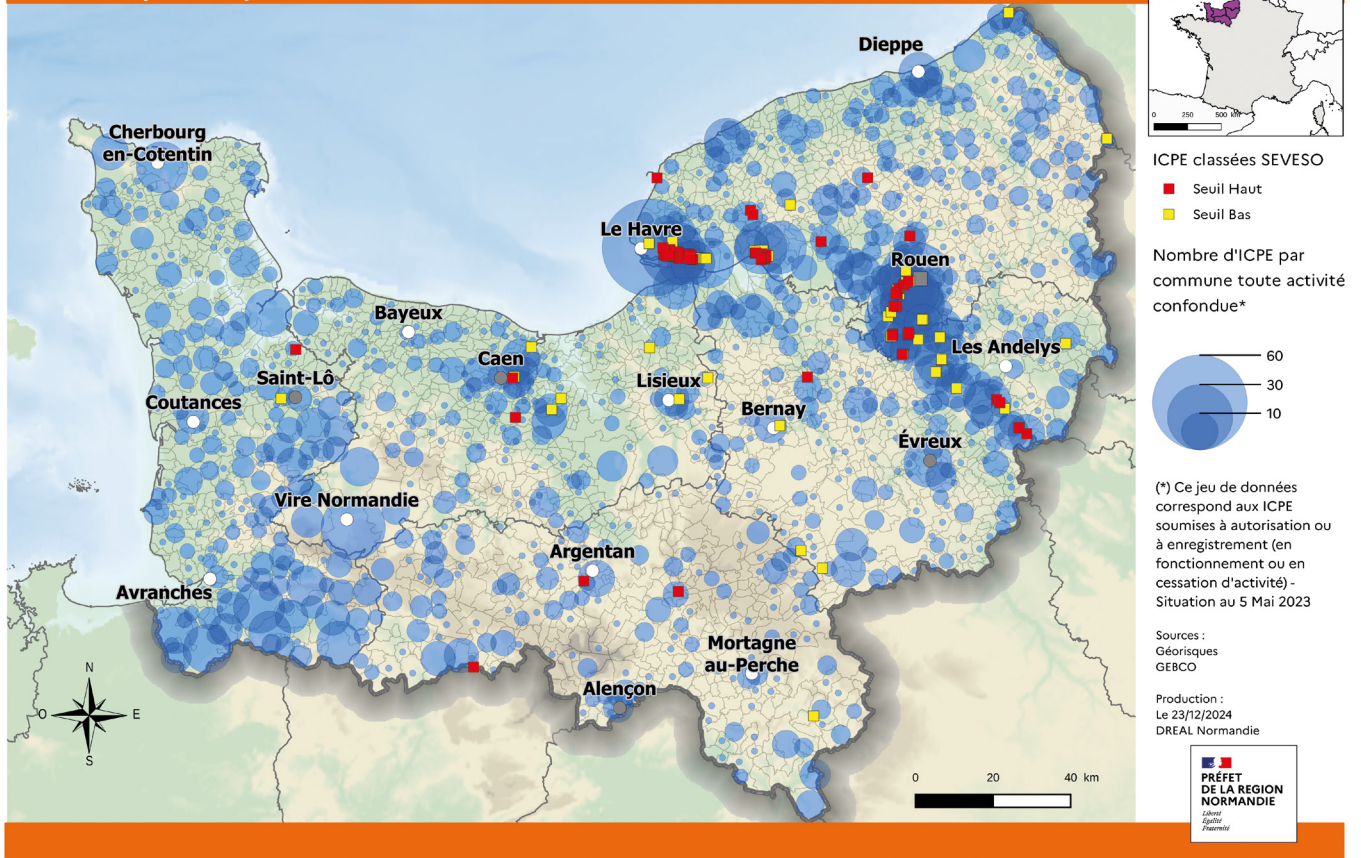
### *Les pollutions industrielles*

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 ;



## Profil environnemental de Normandie - Les établissements soumis au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)



- 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.

#### 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 installations à risques de pollution radioactive sont soumises à des réglementations spécifiques qui encadrent leurs rejets et les modalités de leur exploitation. L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection assure le contrôle et le suivi de ces installations. La gestion des sites historiques pollués a pour objectif de réduire 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.

## Les 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 en Normandie 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).

**Les servitudes d'utilité publique (SUP)** 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.

### Pour en savoir +

Le site internet **Géorisques** recense au niveau national les sites pollués ou potentiellement pollués.



Sur ce site, les informations sur les sites et sols pollués sont réparties selon trois catégories :

- **CASIAS** : inventaire des anciennes activités de service ou industrielles ;
- **BASOL** : informations de l'administration sur une pollution suspectée ou avérée > études, diagnostics, travaux de réhabilitation suivis par les services de l'Etat, sur des terrains pollués ou susceptibles d'être pollués ;
- **Classifications "système d'information sur les sols" (SIS) et "servitudes d'utilité publique" (SUP)** : actes réglementaires pris par le préfet aux fins de réhabilitation d'un site au regard de ses pollutions résiduelles.



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.

### La démarche "Établissements sensibles"

Afin de préserver la santé des enfants et adolescents, l'Etat a prévu la possibilité de réaliser une démarche de diagnostic de la qualité du sol des établissements qui les accueillent, lorsqu'ils sont construits sur ou à proximité immédiate d'anciens sites industriels et activités de services.

Une phase exploratoire de cette démarche, pilotée par le ministère de la Transition écologique, a été déployée entre 2010 et 2021. En 2025, une deuxième vague de diagnostics a été lancée. Elle est menée à l'initiative des établissements (source : BRGM).

Les établissements concernés par cette démarche sont :

- les établissements accueillant des enfants et adolescents ainsi que les aires de jeux et espaces verts attenants ;
- situés sur ou à proximité immédiate d'un site recensé dans la CASIAS.

Cette démarche a pour objectif d'identifier d'éventuelles situations à risque sur le plan sanitaire et d'offrir la possibilité aux propriétaires de ces établissements de gérer ces situations en prenant les mesures adaptées.

Pour en savoir +

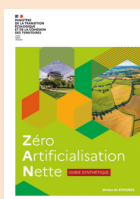
#### La démarche établissements sensibles



<https://ssp-infoterre.brgm.fr/demarche-ets>

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'artificialisation des sols

a des impacts sur toutes les composantes de l'environnement :

- c'est une cause majeure de l'érosion de la biodiversité ;
- elle freine notre possibilité d'atténuation du changement climatique
  - 1 ha d'étalement urbain entraîne l'émission de 190 à 290 tonnes de CO<sub>2</sub> ;
- elle prive les territoires de leviers d'adaptation au changement climatique (mise en œuvre de solutions fondées sur la nature...).

## Privilégier la sobriété dans l'usage des sols

### L'objectif "zéro artificialisation nette"

L'objectif « zéro artificialisation nette » a été formulé pour la première fois dans le plan national Biodiversité de 2018. Il a été ensuite repris par la Convention citoyenne pour le climat et formalisé dans la loi du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique.

Sa mise en œuvre est prévue en deux temps :

- maîtriser l'étalement urbain en réduisant de moitié la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF) ;
- 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 (cf. encadré ci-dessous).

Cet objectif s'appuie sur une trajectoire nationale déclinée à toutes les échelles territoriales par :

- le schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) ;
- les schémas de cohérence territoriale (voir ci-après) ;
- les plans locaux d'urbanisme communaux et 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 car la définition du terme « *artificialisation* »

Pour en savoir +

### Surfaces artificialisées et non artificialisées

Au sein des documents de planification et d'urbanisme, lorsque la loi ou le règlement prévoit des objectifs de réduction de l'artificialisation des sols ou de son rythme, ces objectifs sont fixés et évalués en considérant comme :

- « *artificialisée* » ► une surface dont les sols sont soit imperméables en raison du bâti ou d'un revêtement, soit stabilisés et compactés, soit constitués de matériaux composites ;
- « *non artificialisée* » ► une surface soit naturelle, nue ou couverte d'eau, soit végétalisée, constituant un habitat naturel ou utilisée à usage de cultures.

Le décret n° 2023-1096 du 27 novembre 2023 établit notamment une nomenclature des sols artificialisés ainsi que l'échelle à laquelle l'artificialisation des sols doit être appréciée dans les documents de planification et d'urbanisme.



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.

## La démarche "zéro artificialisation nette" en Normandie

En Normandie, l'objectif « zéro artificialisation nette » s'est traduit par la modification du document de cadrage régional que constitue le SRADDET. Elle a été adoptée par le conseil régional le 25 mars 2024 et approuvée par le préfet de région par arrêté du 28 mai 2024.

La réduction de la consommation d'espace est inscrite dans l'**objectif 4bis** qui porte les ambitions suivantes :

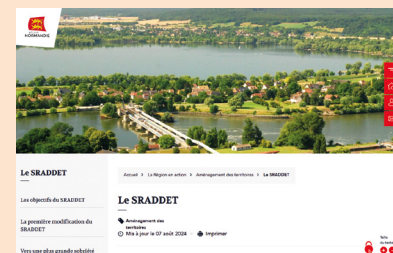
- territorialiser les objectifs de réduction de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers et de l'artificialisation des sols ;
- s'inscrire dans une logique globale et coordonnée d'aménagement durable ;
- faire évoluer les modes d'occupation de l'espace ;
- optimiser l'utilisation du foncier déjà artificialisé ;
- réserver des disponibilités foncières pour anticiper l'avenir et la faisabilité des projets d'envergure régionale, nationale et européenne.

La **règle 21 du SRADDET** contribue à cet objectif et précise les périmètres et les taux de réduction de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers pour la période 2021-2030. Une cartographie de la consommation foncière a été établie par l'établissement public foncier de Normandie.

### Pour en savoir +

#### Le SRADDET Normandie Vers une plus grande sobriété foncière

Le SRADDET modifié vise à accompagner un développement équilibré du territoire au regard de la qualité de vie de ses habitants et des enjeux à venir.



[www.normandie.fr/le-sraddet](http://www.normandie.fr/le-sraddet)

### Pour en savoir +

#### Cartographie des périmètres et des taux de réduction d'espace attendus pour la période 2021-2030

Pour accéder à cet outil :

<https://normandie.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a734e40e-b2734ec3bfff89cc95af8f91>

### 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

## Mieux appliquer la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » (ERC)

### Références

La **séquence « Éviter 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). Elle s'applique à toutes les composantes de l'environnement et doit viser l'absence de perte nette, voire tendre vers un gain de biodiversité.

Ministère de la Transition écologique.  
*Guide pour la mise en œuvre de l'évitement. Concilier environnement et aménagement des territoires.*  
80 pages. Mai 2021.



Dans l'élaboration et la mise en œuvre des projets, plans ou programmes, l'application de la séquence "ERC" consiste à éviter toute atteinte notable à l'environnement, à réduire les impacts notables qui n'ont pu être évités, et à compenser toute atteinte notable qui n'aurait pas pu être évitée ou réduite (cf. encadré).

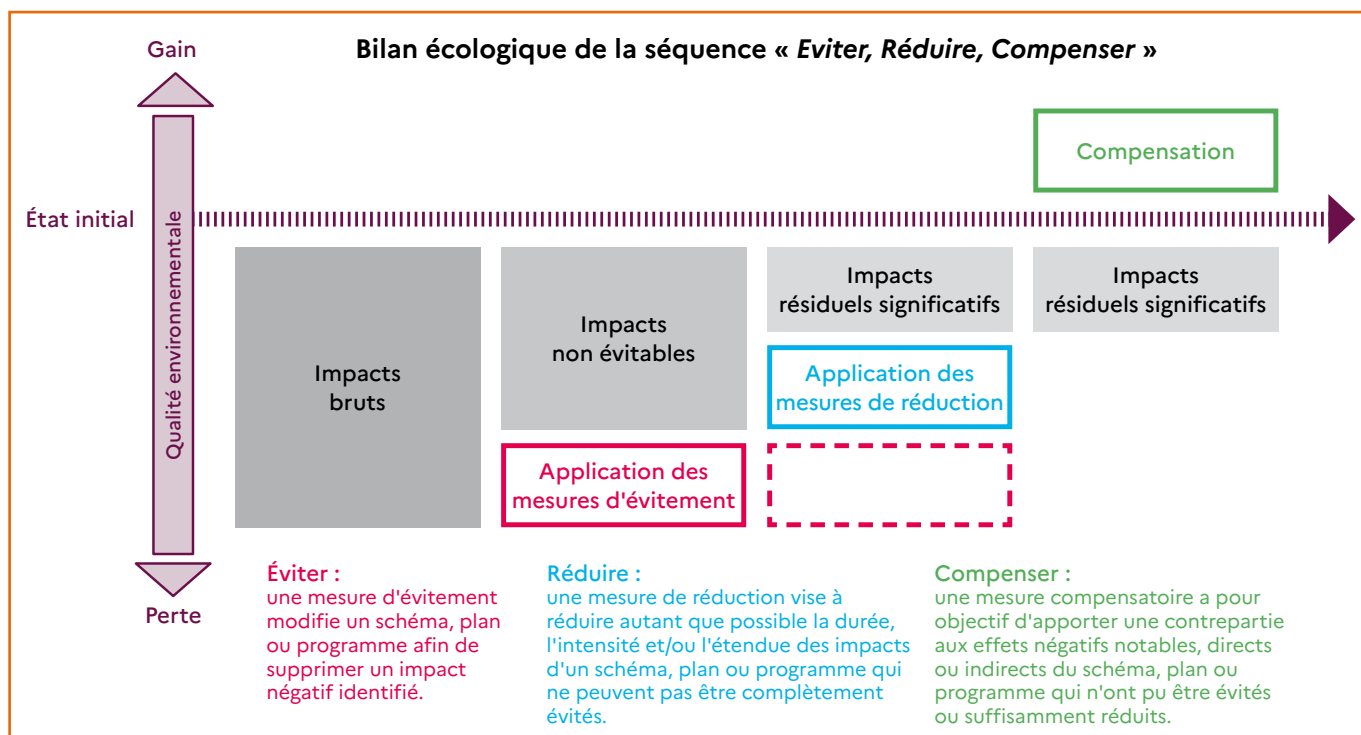
### La nécessité d'une application plus rigoureuse de la démarche d'évitement

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 notable 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 « Éviter, 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 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.

## 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 notable, qui n'a pu, dans une démarche d'itérations 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 sont équivalents aux pertes. Les gains générés par les mesures compensatoires sont 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 viennent 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 sont 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 sont 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 permettent d'obtenir le gain écologique prévu au moment de leur définition.
- **L'effectivité** : Le maître d'ouvrage met en œuvre les mesures de compensation dans les conditions prévues et peut être tenu de constituer à cette fin des garanties financières.

### Référents

#### La méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides



<https://www.zones-humides.org/methode-nationale-d-evaluation-des-fonctions-des-zones-humides>

### 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/>

## Référents

### La loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014

a mis en place le principe de la compensation collective agricole (code rural et de la pêche maritime : articles L.112-1-3, D.112-1-18 et suivants). Ces mesures sont distinctes de la compensation individuelle que reçoit chaque exploitant impacté par un projet d'aménagement, ainsi que de la compensation 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.

- **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).

## Le principe de compensation collective : limiter la perte de terres agricoles

Le principe de compensation collective agricole s'applique aux « projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation, sont susceptibles d'avoir des conséquences négatives importantes sur l'économie agricole ». Il nécessite l'élaboration d'une étude préalable. La réglementation (cf. encadré) précise les conditions applicables.

L'ambition est d'impliquer les maîtres d'ouvrage dans un développement durable et économe en foncier. Les objectifs prioritaires du dispositif sont en premier lieu d'éviter la consommation de terres agricoles, en cas d'impossibilité, de la réduire et, en dernier recours, de la compenser.

- **L'application du principe d'évitement de la consommation de terres agricoles** vise à privilégier l'artificialisation d'espaces qui n'ont pas ou plus de vocation agricole (reconversion de friches, renouvellement urbain...).
- **La mise en œuvre du principe de réduction de la consommation de terres agricoles** permet d'appliquer différentes mesures comme la limitation de l'emprise du projet d'aménagement (densification, mutualisation des espaces à urbaniser...), l'implantation du projet sur les terres de moindre valeur agronomique ou la limitation de la fragmentation des espaces de production.
- En dernier recours, **le mécanisme de compensation** permet de compenser la perte définitive du potentiel de production par des projets de développement économique des exploitations et des filières.

## Pour en savoir +

### Le service Cartofriches du Cerema



<https://cartofriches.cerema.fr/cartofriches/>





# Restaurer les sols

La restauration écologique est un processus d'aide à la régénération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.

## ■ Développer des cultures respectueuses de l'équilibre des sols

*Source : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*

Plus de 68 % du territoire de la Normandie est en zone agricole : l'évolution de l'agriculture constitue, pour la région, un levier majeur d'amélioration de la qualité des sols.

### *L'intensification récente de l'agriculture*

L'évolution de l'agriculture depuis 50 ans a conduit à une forte augmentation de la productivité, permettant à la région d'exporter de grandes quantités de produits issus des cultures.

Ces performances résultent d'un modèle de développement agricole fondé sur :

- l'utilisation croissante d'intrants (semences, engrais et produits phytosanitaires) pour augmenter les rendements ;
- l'intensification des méthodes de production ;
- la spécialisation des productions à l'échelle des exploitations agricoles et des territoires.

**Cette évolution a montré ses limites** avec :

- le plafonnement des rendements ;
- l'épuisement des ressources nécessaires à la production agricole (phosphore, énergie, sols, biodiversité...) ;
- l'effondrement de la biodiversité ;
- la forte dégradation des milieux (eau, air...) ;
- la prise de conscience des impacts de la qualité des milieux et de l'alimentation sur la santé humaine ;
- le changement climatique.

Grandes cultures



Cyrille Bicorne et Fabrice Parais / Equipe drone / DREAL Normandie

## Référents

La **FAO, Food and Agriculture Organisation**, est un organisme international issu des Nations Unies. Elle a été créée en 1945, pour l'alimentation, dans son sens le plus large, qui inclut notamment l'agriculture, les forêts, les pêches et les industries se rattachant directement à l'alimentation.

## Pour en savoir +

**L'agriculture de conservation**  
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). *L'agriculture de conservation*. 2 pages. 2022.



**L'agriculture biologique**  
[www.agencebio.org](http://www.agencebio.org)



## Une évolution vers de nouvelles pratiques culturelles et alimentaires ?

**L'agriculture durable** a pour objectif de « favoriser des écosystèmes sains et une gestion durable de la terre, de l'eau et des ressources naturelles, tout en garantissant une sécurité alimentaire mondiale » (source : FAO, cf. encadré). Le développement de ce type de culture passe par « d'importantes améliorations en ce qui concerne l'efficacité de l'usage des ressources, la protection de l'environnement et la résilience des systèmes. »

Le souhait de mieux prendre en compte les enjeux environnementaux et de santé humaine dans l'évolution de l'agriculture a conduit à des évolutions réglementaires plus strictes dans certains domaines (cf. partie "Éviter et réduire à la source les pollutions liées aux activités humaines") et à la valorisation de modes de cultures moins polluants.

Le **développement de l'agriculture de conservation** a pour objectif de répondre aux enjeux de la restauration des sols. Ce système cultural s'appuie sur trois piliers :

- une perturbation minimale du sol (c'est-à-dire sans travail du sol) par le placement direct des semences et/ou des engrais ;
- le maintien d'une couverture permanente du sol (au moins 30 % par des résidus de culture et/ou des cultures de couverture ;
- la diversification des espèces végétales par des séquences de cultures variées et des associations impliquant au moins trois cultures différentes.

L'agriculture de conservation renforce les processus biologiques naturels au-dessus et au-dessous de la surface du sol, ce qui contribue à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments et à améliorer durablement la production végétale (source : FAO).

Le **développement de l'agriculture biologique** présente aussi de nombreux avantages pour les sols et la santé humaine :

- fortes restrictions sur l'utilisation de pesticides et d'azote ;
- préservation de bandes enherbées et de caractéristiques topographiques des milieux ;
- teneur en matière organique généralement plus élevée.

**L'agroécologie** est une méthode culturale qui s'appuie sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes. Elle les amplifie avec pour objectif de diminuer les pressions sur l'environnement et de préserver les ressources naturelles.

Elle réintroduit de la diversité dans les systèmes de production agricole et restaure une mosaïque paysagère diversifiée (diversification des cultures et allongement des rotations, implantation d'infrastructures agroécologiques...). L'agronomie est au centre des systèmes de production agroécologiques.



L'agriculteur adapte les techniques à ses parcelles, en particulier à travers une série d'expérimentations dans ses propres champs. Ces démarches d'expérimentations peuvent être conduites individuellement ou collectivement, en s'appuyant sur l'expertise des acteurs locaux.

L'agroécologie s'applique à deux niveaux d'organisation : la parcelle agricole et le territoire, qui doivent être intégrés de façon cohérente.

La **permaculture** est un système de culture intégré et évolutif s'inspirant des écosystèmes naturels.

Ce système valorise une agriculture pérenne, n'épuisant pas les sols et non polluante, en limitant la production de déchets. Pour arriver à ces objectifs, les cultures sont diversifiées et adaptées aux conditions locales (température, hygrométrie, caractéristiques pédologiques...). L'utilisation et la valorisation de la biodiversité environnante font partie de ses éléments fondateurs. Elle cherche également à être autonome et auto-suffisante, ce qui se traduit par une sobriété énergétique. Certains systèmes permacoles sont justement très productifs et innovent avec les technologies actuelles.

Permaculture sous serre non chauffée



Sandrine Héricher

Permaculture à la ferme du Bec Hellouin (Eure)



Ferme du Bec Hellouin



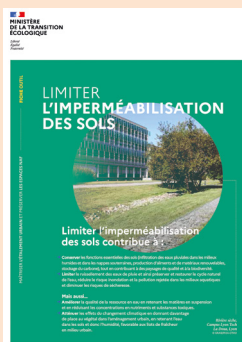
## Définitions

### Désimpermeabiliser les sols

Un sol est **impermeabilisé** 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.

## 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 lié 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 éléments 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 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."* (cf. encadrés).

### Zone d'expansion de crue à Rots (Calvados)



Sandrine Hélicher

## 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.

## 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 cette politique (note du 19 avril 2017) sont basés sur une méthodologie nationale 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 propose des outils d'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).

Cette méthodologie 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 ;

### 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](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>



- 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 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 : quelques exemples vous sont présentés ci-après.

### ► 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.

### ► 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.

### 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

### ► 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.

► **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 biodisponible des polluants leur est accessible (sources : ADEME et BRGM).

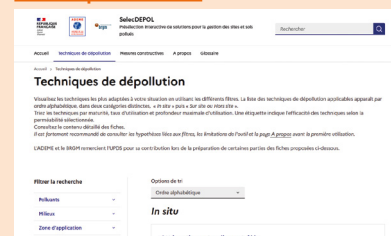
► **La phytoextraction** consiste à extraire certains polluants du sol, principalement des métaux, à l'aide d'espèces végétales qui les absorbent *via* leurs racines. Elles transfèrent et accumulent les polluants dans leurs parties aériennes récoltables (tiges, feuilles), ce qui permet de réduire les 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).

Pour en savoir +

**SelecDEPOL**

Techniques de dépollution

[www.selecdepoll.fr/techniques-de-depollution](http://www.selecdepoll.fr/techniques-de-depollution)



Tente de confinement pour traitement



DREAL / SRI



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 : pages 84 et suivantes et pages 140 et suivantes) 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 (système d'information sur les sols, servitudes d'utilité publique).

L'information des acquéreurs et locataires 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 +**

La création d'un état des risques est réalisable en ligne sur le site internet Géorisques <https://errial.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 servitudes d'utilité publique reprises par ailleurs dans les documents d'urbanisme (cf. Géoportail de l'urbanisme).

**Campus EffiScience à Colombelles (Calvados) : reconversion de l'ancien site de la Société Métallurgique de Normandie (SMN)**



Valérie Guyot / DREAL Normandie



## 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 pour :

- 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 à 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 national 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<sup>e</sup> rang national, la moyenne nationale étant 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) inférieures aux moyennes régionale et nationale. Les densités de l'Orne (62 m/ha) et du Calvados (64 m/ha) sont au-dessus de la moyenne régionale (53 m/ha).

### Pour en savoir +

#### Publications

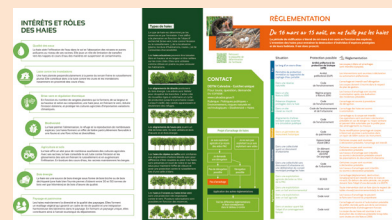
Préfet de la Manche. *La haie protège, protégeons-la*. 53 pages. Juin 2020.



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](http://www.trameverteetbleue.fr)



Estuaire de l'Orne (Calvados)



Conservatoire du littoral

## 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 peuvent être mises en œuvre dans des contextes très variés : milieux urbains, humides, aquatiques, littoraux, forestiers, agricoles... Elles 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.

Par exemple, en milieu forestier, la préservation d'espaces naturels en libre évolution ou d'ilôts de sénescence constituent aussi un moyen très intéressant de restaurer la biodiversité. Les trames de vieux bois, de mares et de zones humides en secteurs forestiers sont des milieux riches en termes de biodiversité. Ces actions sont à développer avec la mise en place de techniques de gestion sylvicole adaptée permettant d'améliorer la résilience de la forêt dans le contexte du changement climatique. 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 nombreux acteurs s'engagent ainsi dans des programmes de plantation de haies et cherchent à préserver le bocage existant.

Ainsi, la chambre d'agriculture de Normandie anime des opérations collectives de plantation de haies. Elle accompagne les agriculteurs dans leur gestion durable.

## Les solutions fondées sur la nature

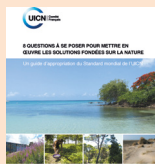
Outil d'accompagnement pour la mise en œuvre des Solutions fondées sur la Nature :

<https://outil-sfn.solutions-fondees-sur-la-nature.fr>

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.*



*Entreprises et Solutions fondées sur la Nature : s'emparer du concept pour passer à l'action. 41 pages. 2022.*



*Les Solutions fondées sur la Nature pour la sécurité alimentaire en France. 75 pages. 2025.*

<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.





Pour en savoir +

**L'outil « Aldo » proposé par l'Ademe**

Les sols et les forêts stockent du carbone sous forme de biomasse. Pour aider les territoires à intégrer la séquestration carbone dans leur diagnostic, l'Ademe propose un tableur excel « Aldo » qui propose des valeurs par défaut pour :

- l'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement du territoire ;
- la dynamique actuelle de stockage ou de déstockage liée aux changements d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse ;
- les potentiels de séquestration nette de CO<sub>2</sub> liés à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place.

Précision : cet outil ne constitue pas une estimation exhaustive de la séquestration du carbone par les milieux.

<https://aldo.territoiresentransitions.fr/>

Pour en savoir +

CIHEAM. *Initiative « 4 pour 1 000 » 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.

## 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 accumulé 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), ce qui est considérable.

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 corrélérer 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> atmosphérique.

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.

De plus en plus d'agriculteurs s'engagent dans l'évolution de leurs pratiques culturales en réduisant le travail du sol et en maximisant les retours de matières organiques aux sols notamment grâce aux couverts végétaux. Ces pratiques qui convergent avec les propositions du 4 pour 1 000 sont dénommées « *agriculture de conservation régénérative* ». Elles ne correspondent pas à un label défini par avec un cahier des charges strictes (source : chambre régionale d'agriculture).

