

# Repères

## *Sols et environnement Chiffres clés*

*Édition 2015*

Novembre  
2015



Service de l'observation et des statistiques



## Contacts

### Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Commissariat général au développement durable

Service de l'observation et des statistiques

Sous-direction de l'information environnementale

Véronique Antoni

Cartographie : David Fretin (Sirs), Frédérique Janvier (SOeS)

Crédits photos :

Labour avec machine trisocs © Christian Slagmulder/Inra

Verger traditionnel en Provence © Laurent Mignaux/Medde-MLETR

Champignons et feuilles en sous-bois © Olivier Brosseau/Medde-MLETR

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>

# Sommaire

Avant-propos.....	3
-------------------	---

## Partie 1 : l'état des sols en France

### Diversité

La diversité des sols en France métropolitaine .....	4
Les sols des Antilles.....	6
Les sols forestiers et leurs humus .....	8

### Fertilité

Le carbone dans les sols .....	10
Le phosphore dans les sols .....	12
L'eau dans les sols.....	14
Le réservoir en eau des sols et les peuplements forestiers .....	16

### Biodiversité

La biomasse microbienne des sols .....	18
La diversité microbienne des sols .....	20
La macrofaune des sols .....	22

### Métaux et micropolluants

Les métaux dans les sols : le cas du zinc .....	24
Les métaux dans les sols : le cas du plomb.....	26
Les métaux dans les sols : le cas de cuivre .....	28
Les HAP dans les sols : le cas du fluoranthène .....	30
Les pesticides dans les sols : le cas du lindane .....	32
La contamination chronique par la chlordécone dans les Antilles .....	34

## Partie 2 : les pressions exercées sur les sols

### Pressions agricoles

L'usage des pesticides en agriculture.....	36
Les matières organiques dans les sols agricoles .....	38
La fertilisation phosphorée et azotée .....	40
Les surplus azotés.....	42
L'origine des métaux et métalloïdes dans les sols agricoles.....	44
Le recyclage des boues de traitement des eaux usées sur les sols agricoles .....	46
Les substances organiques dans les boues d'épuration des eaux .....	48
Les pratiques culturales .....	50

### Consommation de ressources

L'occupation des sols et son évolution.....	52
L'artificialisation des sols agricoles.....	54

L'extraction de granulats .....	56
L'extraction de sables et de graviers .....	58
L'extraction d'argiles .....	60
Les sols et la production agricole .....	62
Les sols et la production forestière .....	64
<b>Pressions industrielles</b>	
La gestion des sites et sols pollués ou potentiellement pollués (Basol) .....	66
Les polluants identifiés dans les sites et sols pollués.....	68
Les émissions de polluants dans les sols .....	70

## Partie 3 : les risques

### Pertes en terre

Les glissements de terrain en France .....	72
Les glissements de terrain en Europe.....	74
L'érosion hydrique des sols en France.....	76
L'érosion hydrique des sols en Europe.....	78
Les coulées d'eau boueuse.....	80
L'érosion éolienne des sols en France.....	82
L'érosion éolienne des sols en Europe.....	84
La compaction des sols en France.....	86

### Autres risques environnementaux

L'aléa retrait-gonflement des argiles .....	88
La radioactivité d'origine artificielle.....	90
La radioactivité d'origine naturelle : le radon.....	92
Les émissions de protoxyde d'azote par les grandes cultures.....	94

## Annexes : les programmes du Gis Sol

Programme inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS).....	96
La base de données des analyses de terre (BDAT) .....	97
La base de données des éléments traces métalliques (BDETM).....	98
Le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) .....	99

<b>Sigles et abréviations</b> .....	<b>100</b>
<b>Unités</b> .....	<b>101</b>
<b>Sigles et liens utiles</b> .....	<b>102</b>



## Avant-propos

Complexes et multifonctionnels, les sols se trouvent au cœur des grands enjeux environnementaux, comme la disponibilité en eau de qualité, la préservation de la biodiversité, la sécurité alimentaire, la lutte contre le changement climatique. En déclarant Année internationale des sols, l'année 2015, l'Assemblée générale de l'ONU vise à sensibiliser l'ensemble des acteurs de la société à l'importance des sols en tant que partie indissociable d'un écosystème dont les services sont indispensables à la vie humaine.

Dans ce même but, le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, en collaboration avec ses partenaires du Groupement d'intérêt scientifique sur les sols (Gis Sol), a entrepris de publier un panorama d'indicateurs et de chiffres clés sur les sols et l'environnement.

Compte tenu de l'état actuel des connaissances, ces indicateurs ont été sélectionnés en fonction de leur pertinence et de l'éclairage qu'ils peuvent apporter aux enjeux dont les sols sont porteurs. Ainsi, ils revêtent des formes variées selon la nature de l'information : cartes à l'échelle nationale ou territoriale, séries de données. En outre, ils ont été élaborés à partir de bases de données variées : administratives ou réglementaires, enquêtes de services statistiques ou d'unions professionnelles, programmes de recherche français ou européens.

Par leur organisation et mise en perspective, ces indicateurs mettent en lumière les risques associés aux changements subis par les sols. Fournisseurs de ressources naturelles, acteurs essentiels du bon équilibre des écosystèmes, les sols font pourtant l'objet de nombreuses pressions. Celles-ci contribuent à leur dégradation et à la survenue de risques, parmi lesquels figure notamment le déstockage de gaz à effet de serre.

### Le Gis Sol

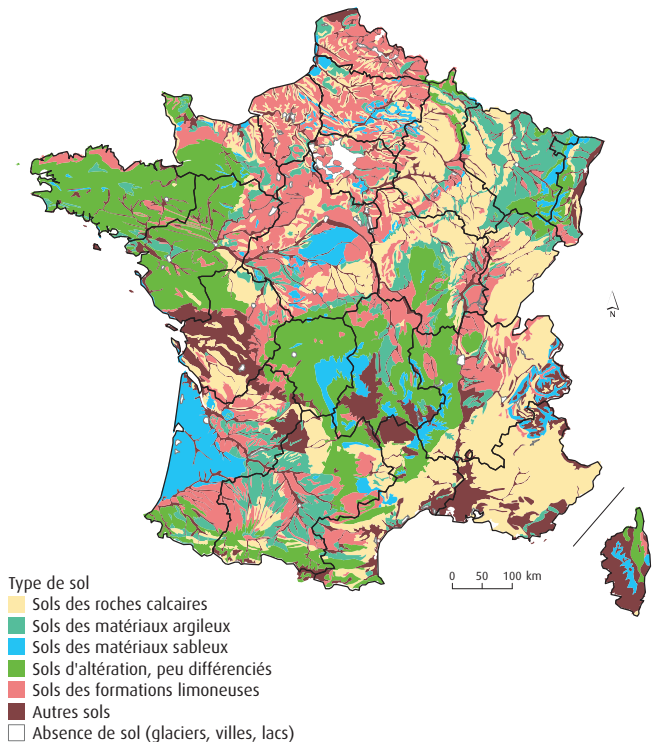
Une part importante des données utilisées provient des programmes du Gis Sol ou de ses membres.

Le Gis Sol a été créé en 2001 pour constituer et gérer un système d'information sur les sols de France et répondre aux demandes des pouvoirs publics et de la société au niveau local et national. Cet outil interministériel regroupe le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (Maaf), le ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (Medde), ainsi que l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

En complément, des informations plus détaillées sont disponibles sur le site internet du SOeS <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/> ou sur celui du Gis Sol <http://www.gissol.fr/>.

### La diversité des sols en France métropolitaine

Répartition des grands types de sols en France métropolitaine



Source : Inra, BDGSF à 1/1 000 000, 1998. Traitements : SOeS, 2014

Le sol résulte de l'altération des roches par l'action conjuguée des climats successifs et des activités biologiques et humaines. Ce processus, appelé pédogenèse, aboutit à une différenciation verticale et spatiale des sols.

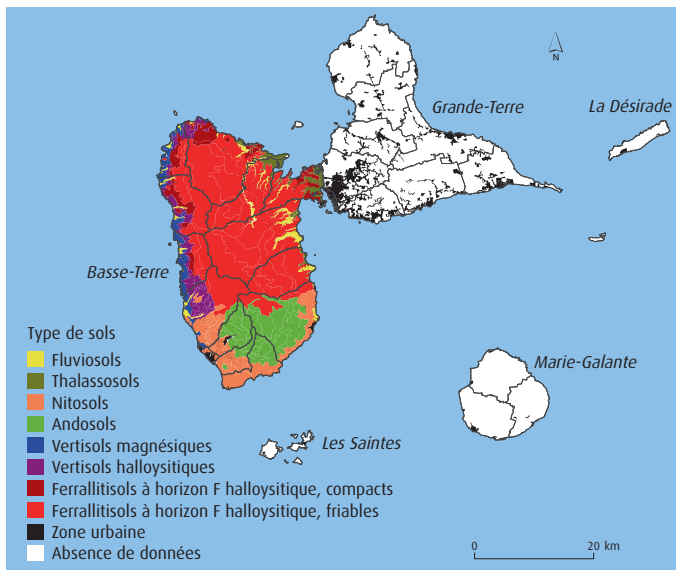
En métropole, les sols des roches calcaires (Bassin parisien, Midi) et les sols d'altération peu différenciés couvrent chacun environ 25 % du territoire. Les formations limoneuses fertiles (Beauce, Île-de-France, Picardie) représentent 20 % des sols de France et les sols sableux (Landes, Sologne), 7 %. Les sols des matériaux argileux (Sud-Ouest, Nord-Est) couvrent 11 % du territoire et les autres sols, 16 %.

Ces sols présentent des caractéristiques et des propriétés variées : profondeur, texture, pierrosité, perméabilité, teneur en eau, types de minéraux et teneurs en éléments majeurs (azote, phosphore, potassium).

La disparité des sols se traduit par une sensibilité différente aux pressions environnementales. La grande perméabilité d'un sol sableux par exemple, ne permet pas en général de piéger les polluants et de protéger la ressource en eau. Par contre, un sol limoneux, compte tenu de sa capacité de stockage en eau, présente le plus souvent un grand intérêt pour la production agricole, malgré sa plus grande sensibilité à l'érosion.

### Les sols des Antilles

#### Répartition des grands types de sols en Guadeloupe

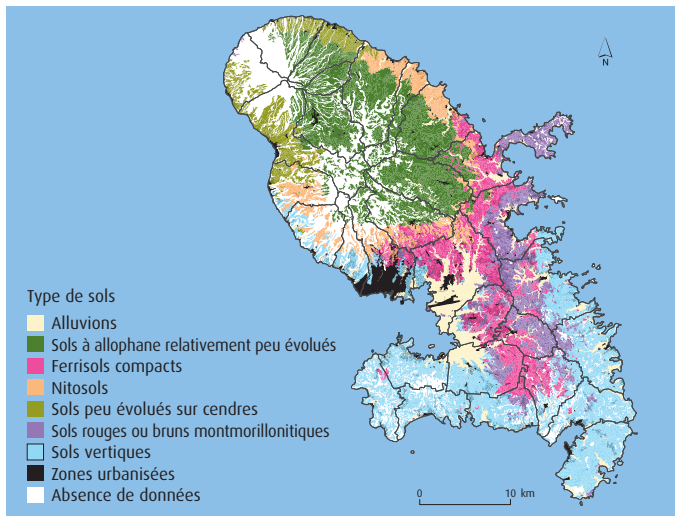


Sources : Gis Sol/Inra, 2014, d'après IRD, F. Colmet-Daage (1979) ; UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006 ; ©IGN, BD Carto®, 2009. Traitements : SOeS, 2014

D'origine volcanique, les sols des Antilles sont jeunes (1 000 à 100 000 ans) comparés aux sols de Guyane formés dans des roches cristallines de quelques millions d'années.

Les sols de Guadeloupe sont à dominante argileuse. Ceux développés sur le socle volcanique ancien au nord de la Basse-Terre (60 %), peuvent atteindre jusqu'à 15 mètres d'épaisseur. Pauvres en matière organique, ils sont riches en argile (kaolinite) et présentent une bonne rétention en eau. Les sols développés dans les

### Répartition des grands types de sols en Martinique



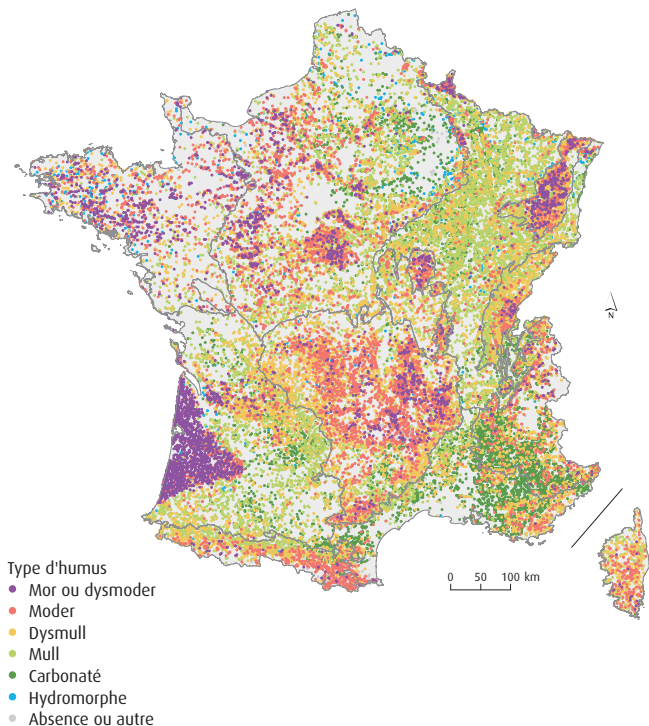
Sources : IRD, F. Colmet-Daage (1969) ; cellule SIG/PRAM ; ©IGN, BDTPO©2004 ; UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006 ; ©IGN, BD Carto®, 2009. Traitements : SOeS, 2014

Les sols développés sur les cendres volcaniques (13 %) et les sols argileux (11 %) sur le socle volcanique récent au sud de la Basse-Terre, ont une grande capacité de rétention en eau, sont fertiles et riches en matière organique. Les sols argileux le long de la côte ouest de la Basse-Terre (10 %) se sont développés sur du calcaire ou de l'halloysite (minéral argileux formé dans les cendres volcaniques). Fertiles mais peu perméables en raison de leur richesse en argiles gonflantes (smectite), ces sols se révèlent particulièrement sensibles au retrait-gonflement.

Les sols de Martinique développés dans les roches volcaniques de la montagne Pelée et des Carbet (17 %) sont peu évolués au nord de l'île. Les sols argileux sensibles au retrait-gonflement couvrent un cinquième de la surface au sud de l'île.

### Les sols forestiers et leurs humus

Types d'humus en forêt de production hors peupleraie



Source : IGN/Inventaire forestier national, 2015, résultats d'inventaire forestier, résultats standards (campagnes 2009 à 2013). Traitements : SOeS, 2015

Les sols forestiers couverts par des forêts de production occupent 15,5 millions d'hectares (Mha) en 2011, soit 28 % de la surface de la France métropolitaine. Dans les milieux forestiers, les humus, couches de fragments de végétaux morts plus ou moins transformés, sont fortement liés aux types de sols.

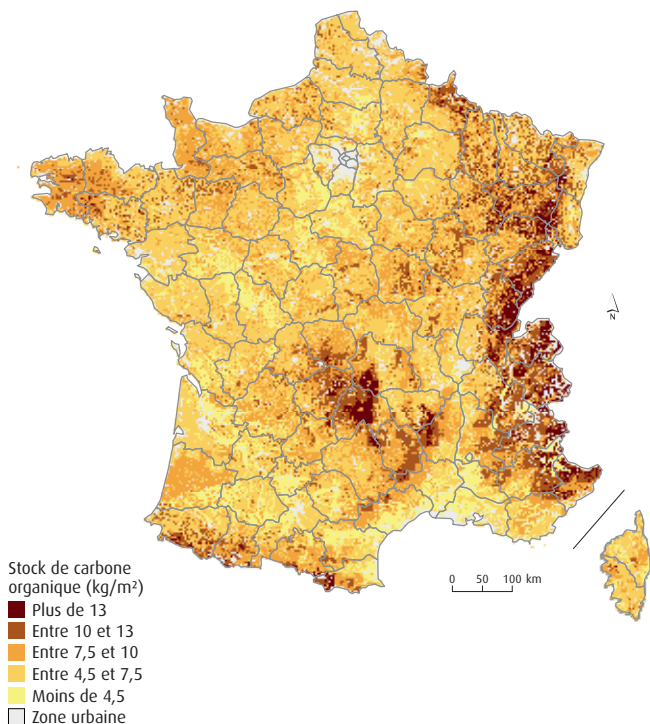
Près de la moitié des sols forestiers (7,3 Mha) se révèlent en général moyennement acides et très aérés en raison de la forte activité de la faune et des micro-organismes (Corse, Massif central, Pyrénées, Vosges). En revanche, l'excès d'eau dans les sols des vallées (2,5 Mha) ralentit l'activité biologique, contrarie l'enracinement des végétaux et contraint l'exploitation forestière. Les humus de ces deux types de sols se composent d'une litière de feuilles mortes lorsqu'ils sont évolués et très fertiles (mull et dysmull), ou plus rarement d'une couche brun-noir de matière organique fine et de litière des années précédentes (moder).

Les sols des roches calcaires associés aux humus carbonatés prédominent dans le Bassin parisien, les Alpes et en Méditerranée (2,3 Mha). Les contraintes nutritionnelles peuvent y entraver le développement de certaines essences, telles que les Pins sylvestre et maritime, le Douglas ou le Châtaigner.

Enfin, des sols très acides et pauvres (1,3 Mha) se sont développés sur les substrats sableux les plus acides (Landes de Gascogne, Sologne, Vosges gréseuses, etc.). Généralement, les couches organiques de leurs humus sont encore plus épaisses (dysmoder, mor).

### Le carbone dans les sols

Stocks de carbone organique dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, d'après Meersmans *et al.*, 2012. Traitements : SOeS, 2013



Les matières organiques du sol assurent un rôle tampon vis-à-vis des autres milieux en piégeant les contaminants, régulent les gaz à effet de serre, améliorent la fertilité et la stabilité des sols, favorisent leur aération, leur réserve en eau et leur biodiversité. Composées de 58 % de carbone organique en moyenne, les matières organiques proviennent principalement de la transformation des débris végétaux en voie de décomposition, essentiellement par les micro-organismes.

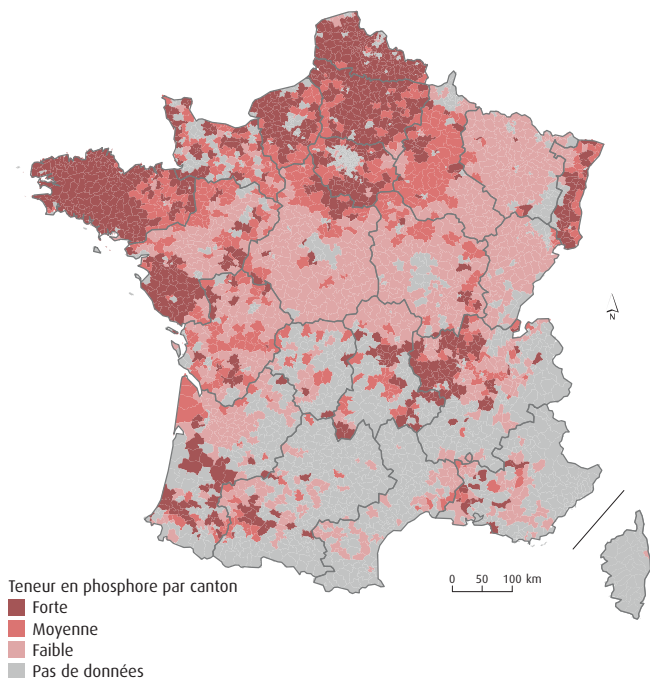
La quantité de carbone organique stockée dans la couche superficielle du sol est estimée à 3,75 gigatonnes (Gt) – (plus ou moins 1,27 Gt) en métropole, soit en moyenne 74 tonnes par hectare (t/ha).

Ces stocks dépendent principalement du type de sol et de son occupation : stocks les plus faibles dans les vignobles (34 t/ha) et cultures très intensives, moyens dans les grandes plaines cultivées (environ 60 t/ha), élevés (entre 80 et 90 t/ha) sous prairies, forêts, pelouses et pâturages naturels. Cependant, les sols de montagne (Alpes, Ardennes, Jura, Massif central, Pyrénées, Vosges) renferment les stocks les plus importants (plus de 130 t/ha), en raison des conditions climatiques défavorables à l'activité des micro-organismes.

Certains changements d'usage ou de pratiques agricoles favorisent le stockage, comme la conversion des cultures en prairies ou en forêts. Au contraire, la mise en culture au détriment des prairies ou des forêts entraîne une diminution du stock de carbone. Les vitesses d'évolution du carbone organique dans les sols ne sont toutefois pas symétriques. Ainsi, en 20 ans, le déstockage induit par la mise en culture (1 t C/ha/an) est deux fois plus rapide que le stockage résultant de l'abandon de la culture au profit de prairies ou de forêts.

### Le phosphore dans les sols

Teneurs médianes en phosphore dans les sols sur la période 2005-2009



Notes : les teneurs en phosphore des sols peuvent être interprétées selon les caractéristiques des sols et les besoins des plantes. Ces besoins varient : plantes très exigeantes (betterave, colza, etc.), moyennement exigeantes (maïs ensilage, pois, etc.) et peu exigeantes (avoine, maïs grain, etc.) ; les résultats par canton indiquent une tendance, mais peuvent néanmoins masquer une diversité intracantonale importante.

Source : Gis Sol, BDAT, 2013. Traitements : Gis Sol, 2013

Le phosphore est, avec l'azote et le potassium, l'un des trois nutriments indispensables à la croissance des végétaux. Concentré dans la partie superficielle du sol sous forme minérale (altération des roches) ou organique (dégradation des végétaux), il n'est pas immédiatement disponible pour les plantes. Seul le phosphore en solution dans l'eau du sol (soit moins de 0,5 %) peut être prélevé par les racines des plantes. Les cultures appauvrissent les sols puisque le phosphore contenu dans les plantes récoltées n'y retourne pas. Ces pertes peuvent être compensées par des apports de fertilisants phosphatés minéraux ou organiques (fumiers, lisiers).

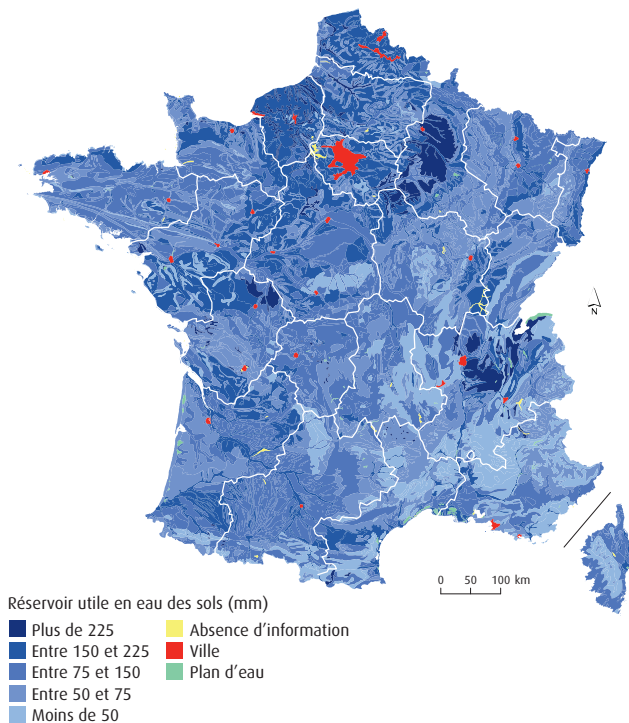
Plus de 35 % des cantons renseignés présentent, sur la période 2005-2009, de fortes teneurs en phosphore (voir *annexe BDAT*). La plupart des sols de ces cantons disposent de teneurs en phosphore suffisantes aux besoins des plantes cultivées pour plusieurs années. C'est particulièrement le cas en Bretagne (élevage intensif), dans le Nord - Pas-de-Calais et en Alsace (usage de scories issues de la métallurgie).

À l'inverse, les teneurs en phosphore sont faibles dans la majorité des cantons de nombreuses régions : Aquitaine, Bourgogne, Centre, Franche-Comté, Languedoc-Roussillon, Limousin, Lorraine et Midi-Pyrénées. La teneur en phosphore de nombreux sols cultivés de ces régions est insuffisante pour assurer des rendements convenables sans apport de fertilisant, quel que soit le type de culture.

Le phosphore en excès rejoint les milieux aquatiques par ruissellement, sous forme dissoute ou fixé sur des particules du sol. Associé aux nitrates en excès, le phosphore contribue à l'eutrophisation des eaux de surface. D'importantes proliférations végétales ou algales apparaissent alors, diminuant la qualité des eaux et la biodiversité aquatique.

### L'eau dans les sols

#### Réservoir utile en eau des sols (RU)



Source : Gis Sol, BDGSF, 2010. Traitements : Gis Sol, 2010

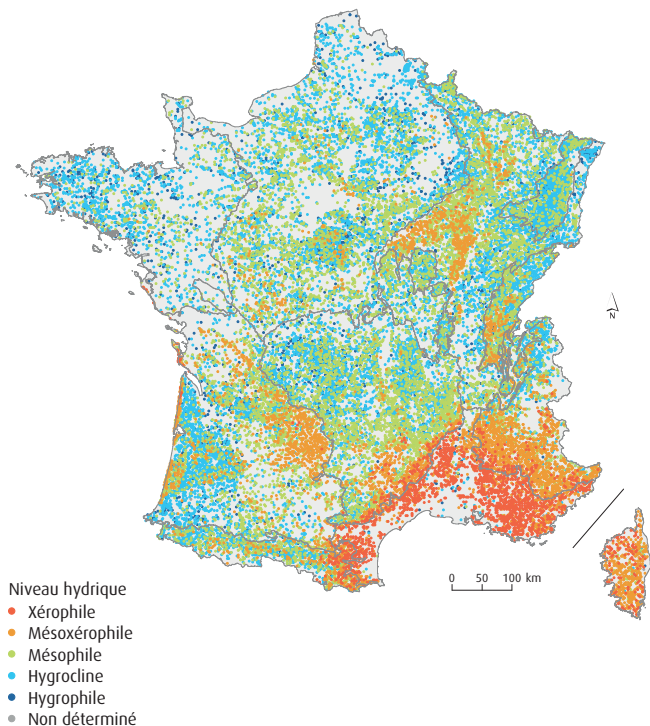
Lorsqu'il pleut, une partie de l'eau s'infiltré dans le sol, tandis que le reste s'écoule par ruissellement vers les cours d'eau. L'eau contenue dans les sols assure l'alimentation en eau des plantes et le transport des éléments nutritifs (azote, phosphore, etc.) nécessaires à leur croissance. La capacité d'un sol à retenir l'eau conditionne, en général, ses propriétés agronomiques. Cette capacité dépend principalement de la texture et de la profondeur du sol, mais aussi de la saison, de la pente et de l'aptitude des plantes à utiliser l'eau du sol.

La part facilement utilisable par les plantes est estimée par le RU, c'est-à-dire le maximum d'eau disponible pour les plantes qu'un sol peut contenir. En France, les RU s'échelonnent entre 7 et 480 millimètres (mm). 23 à 42 % du territoire des régions du Sud ou de montagne (Auvergne, Corse, Languedoc-Roussillon, Provence – Alpes – Côte d'Azur, Rhône-Alpes) présente un RU faible, inférieur à 50 mm. En Corse, Languedoc-Roussillon, Limousin et Paca, le RU est inférieur de 25 à 31 % à la moyenne nationale. En revanche, en Champagne-Ardenne, Haute-Normandie, Île-de-France, Nord – Pas-de-Calais et Picardie, il est supérieur de 25 à 48 % à la moyenne nationale.

Les sols limoneux du Bassin parisien renferment les réservoirs en eau les plus élevés, contrairement aux sols sableux (Landes, Vosges) ou peu épais (Causses, Provence, seuil du Poitou) où ils sont les plus faibles.

### Le réservoir en eau des sols et les peuplements forestiers

Niveau hydrique des espèces relevé par la flore des sols forestiers



Note : la flore rencontrée sur les placettes d'inventaire permet de déterminer le niveau hydrique des forêts de production.

Source : IGN/Inventaire forestier national, 2015, résultats d'inventaire forestier, résultats standards (campagnes 2009 à 2013). Traitements : SOeS, 2015

Les propriétés des sols conditionnent le développement et la croissance des peuplements forestiers en agissant sur leur enracinement, leur alimentation en éléments minéraux et en eau.

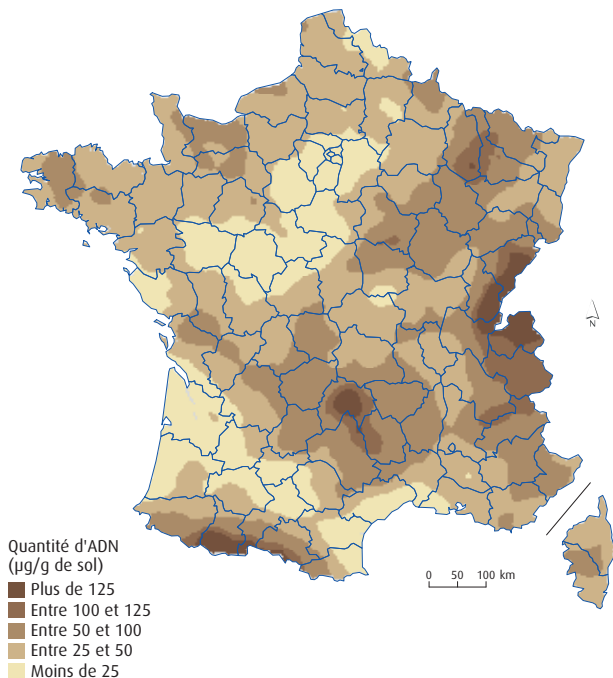
La pluie et l'eau stockée dans le sol assurent l'alimentation en eau des arbres. Lorsqu'en période de sécheresse, le réservoir utile en eau du sol tombe sous un seuil donné (40 % du réservoir maximum pour un Pin maritime adulte par exemple), l'arbre réduit son activité photosynthétique et donc sa croissance.

Un quart des peuplements forestiers français (3,9 millions d'hectares - Mha) présente un déficit en eau lié au climat (méditerranéen) ou au faible réservoir en eau du sol (milieux mésoxérophiles ou xérophiles). C'est le cas pour les trois quarts de la grande région écologique Méditerranée. Ses sols sont également particulièrement exposés à l'érosion, risque renforcé par les incendies en été et à l'automne. Les forêts des milieux secs se rencontrent également en Corse, le long de la côte atlantique (Sud-Ouest), dans les Causses, les Pyrénées orientales, le sud des Alpes et du Jura, et sur les plateaux bourguignons.

À l'opposé, les excès d'eau des sols en bord de rivière ou liés à des nappes d'eau perchées sur sol imperméable, sont favorables à des espèces adaptées aux milieux humides (hygrophiles). Les peuplements forestiers se développant dans ces conditions sont particulièrement productifs (6,4 m<sup>3</sup>/ha/an). Ils occupent 0,7 Mha, soit 5 % de la forêt française.

### La biomasse microbienne des sols

#### Biomasse microbienne des sols



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



Le sol est un milieu vivant comprenant des micro-organismes et de la faune. Ces micro-organismes fortement impliqués dans la décomposition de la matière organique, le recyclage du carbone, de l'azote, du phosphore ou du potassium, participent également à la dégradation des contaminants.

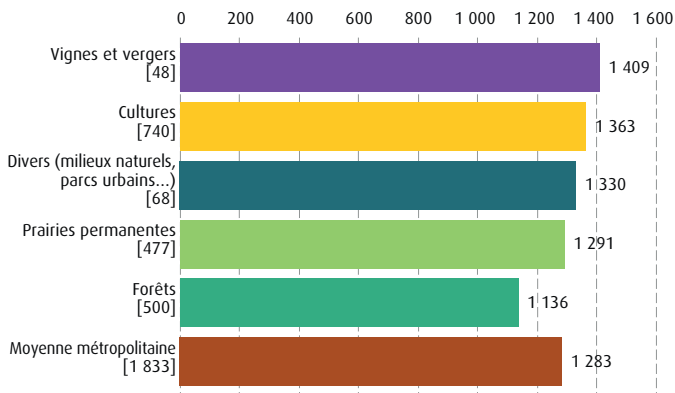
Un gramme de sol contient plusieurs centaines de milliers de champignons et plusieurs milliards de bactéries. La biomasse microbienne (quantité de carbone microbien vivant dans le sol) peut atteindre 2,5 tonnes par hectare (t/ha) pour les bactéries et 3,5 t/ha pour les champignons dans un sol de prairie. Ceci équivaut à la quantité de biomasse végétale et animale (bétail) présente au-dessus du sol.

En France métropolitaine, la biomasse microbienne des sols s'échelonne de 2 à 217 microgrammes ( $\mu\text{g}$ ) d'ADN par gramme de sol. Les sols les plus riches se situent en Lorraine, en Champagne-Ardenne et dans les massifs montagneux, tandis que les plus pauvres se trouvent dans les Landes, le Nord et le Nord-Ouest. En règle générale, les sols sous prairie (81  $\mu\text{g/g}$  de sol) ou sous forêt (76  $\mu\text{g/g}$  de sol) ont une densité microbienne bien plus importante que les sols cultivés en monoculture (38  $\mu\text{g/g}$  de sol) ou les sols de vignobles ou vergers (26  $\mu\text{g/g}$  de sol).

Parmi les pratiques agricoles, le labour altère l'abondance des champignons, mais affecte peu celle des bactéries, alors que les amendements organiques ou la présence d'interculture stimulent fortement l'abondance des bactéries et des champignons. Le mélange d'essences forestières en sylviculture améliore également l'abondance microbienne des sols.

### La diversité microbienne des sols

Nombre de taxons bactériens dans les unités pédo-écologiques françaises



Note : [] = nombre de sites.

Sources : Inra/UMR Agroécologie, plateforme Genosol ; Gis Sol, RMQS, 2015.

Traitements : Gis Sol, 2015

Les micro-organismes du sol (bactéries et champignons) sont parmi les organismes les plus importants en nombre, mais aussi les plus diversifiés. Un gramme de sol peut renfermer plusieurs millions d'espèces de bactéries et plusieurs centaines de milliers d'espèces de champignons.

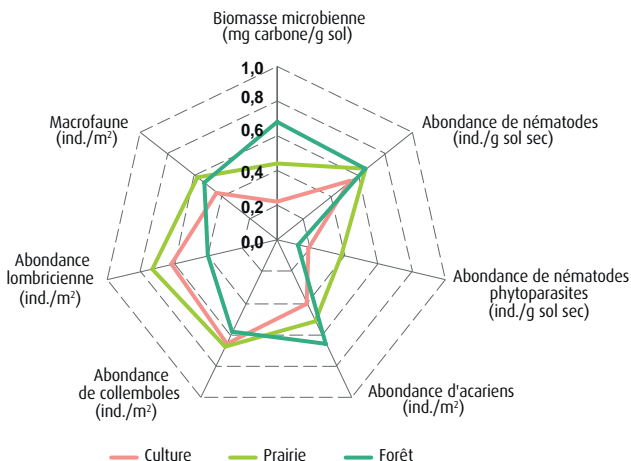
Les propriétés des sols (pH, argile, carbone) et leur usage (culture, forêt, etc.) influencent leur richesse en micro-organismes, à savoir leur diversité en espèces de champignons ou de bactéries.

Les forêts, milieux les moins perturbés, présentent les niveaux de richesse bactérienne les plus faibles. Les communautés bactériennes sont moins diversifiées, car composées de populations bien adaptées à l'écosystème forestier. En revanche, les systèmes agricoles, plus perturbés (cultures annuelles, multitude d'interventions), révèlent des richesses bactériennes plus élevées. Un sol labouré renferme ainsi plus d'espèces de bactéries qu'un sol non labouré, les bactéries s'adaptant facilement aux milieux perturbés stimulant leur diversité. À l'inverse, le labour affecte fortement la diversité des champignons.

La richesse bactérienne n'augure pas de la qualité de cette diversité, autrement dit de la présence d'espèces bénéfiques ou d'intérêt, ou au contraire de pathogènes. Malgré le plus grand nombre d'espèces bactériennes d'un sol labouré, cette diversité renferme plus d'organismes opportunistes peu bénéfiques aux fonctions agroenvironnementales du sol (fertilité, qualité sanitaire, etc.).

### La macrofaune des sols

Abondance et richesse de la macrofaune des sols bretons selon l'occupation du sol



Note : échelle de variation entre 0 et 1 (correspondant aux valeurs minimum et maximum de chaque paramètre mesuré) des paramètres biologiques analysés sur l'ensemble des 109 sites RMQS BioDiv bretons.

Note de lecture : les sites forestiers présentent les valeurs de biomasse microbienne et d'abondance d'acariens les plus élevées, alors que leurs abondances lombriciennes sont les plus faibles.

Source : OPVT, 2012

La faune du sol participe à la fragmentation et à l'enfouissement de la matière organique. Trois groupes se différencient selon leur taille : la microfaune (par exemple les nématodes qui se nourrissent aux dépens de la microflore, de racines ou de matière organique en décomposition), la mésofaune (dont les collemboles et acariens qui fragmentent les résidus végétaux) et la macrofaune (fourmis, vers de terre, etc.).

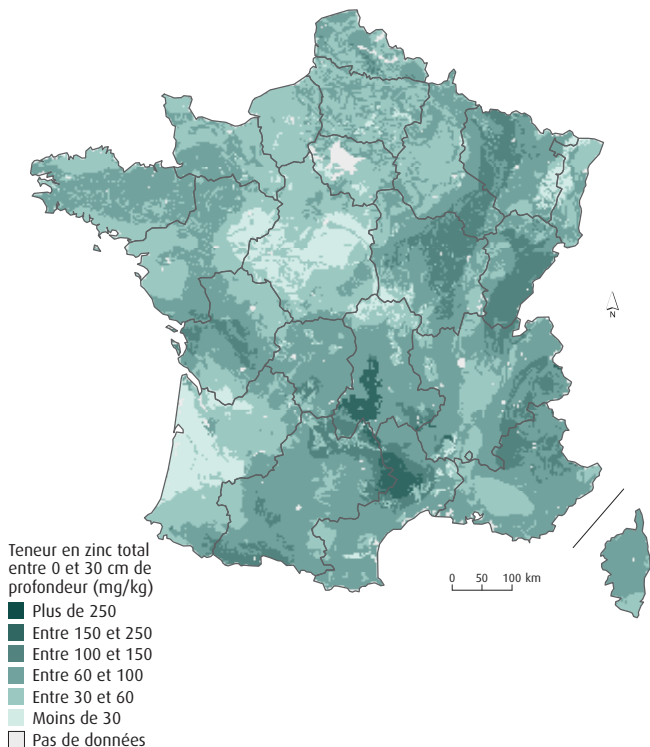
Dans une prairie permanente, la faune du sol représente plusieurs milliers d'espèces et jusqu'à 260 millions d'individus par m<sup>2</sup> (ind./m<sup>2</sup>). Cela correspond au minimum à 1,5 tonne par hectare, soit l'équivalent d'un tiers de la quantité de végétation récoltée dans une prairie. La faune du sol occupe essentiellement les 30 premiers centimètres du sol, même si les vers de terre peuvent creuser à plusieurs mètres de profondeur.

Les vers de terre constituent d'excellents indicateurs de l'état et des usages de l'écosystème du sol, de par leurs activités (recyclage de la matière organique, régulation de la circulation de l'eau, stimulation de l'activité microbienne, etc.). Les labours notamment réduisent leur nombre dans les sols cultivés, tandis que les amendements organiques au contraire les stimulent.

Assez importante dans les sols bretons, l'abondance lombricienne (en moyenne 260 vers de terre par m<sup>2</sup>) semble liée à l'occupation du sol. De fait, elle se trouve faible sous forêt (50 ind./m<sup>2</sup>), intermédiaire sous culture (215 ind./m<sup>2</sup>) et forte sous prairie (350 ind./m<sup>2</sup>). En revanche, la diversité des vers de terre (23 espèces) semble liée aux pratiques agricoles, les sols fertilisés ou soumis à des traitements phytosanitaires offrant une moindre diversité.

### Les métaux dans les sols : le cas du zinc

Teneurs en zinc dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2013. Traitements : SOeS, 2013

Les métaux (cadmium, plomb, etc.) et métalloïdes (bore, arsenic, etc.) sont naturellement présents dans les sols. Les rejets de l'industrie, des ménages, des transports, ou de l'agriculture contribuent à la contamination diffuse de métaux dans les sols. Toxiques à des doses variables pour l'homme, la faune et la flore, ils peuvent contaminer les écosystèmes *via* les chaînes alimentaires (élevage) et la ressource en eau.

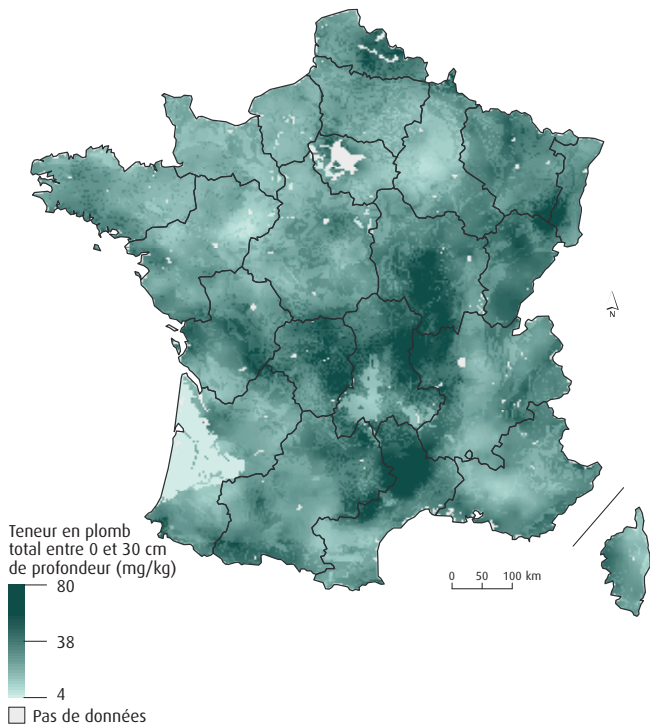
Le zinc, par exemple, est considéré comme assez mobile et aisément absorbé par la faune ou la flore, notamment dans les sols acides.

En métropole, les teneurs totales en zinc des sols s'étendent entre 5 et 1 230 milligrammes par kilogramme en surface. Les teneurs naturelles des sols en zinc se révèlent faibles, hormis dans les sols des roches cristallines (Massif central) ou jurassiques (Causses, Jura, etc.). Aussi, les fortes teneurs en Bretagne, Lorraine, Nord – Pas-de-Calais, résultent d'activités humaines (mines, industrie, épandages agricoles, trafic routier, toitures, etc.).

Les déjections animales, du fait des compléments alimentaires utilisés dans les élevages bovins, porcins ou de volailles, représentent près de 80 % des apports de zinc sur les sols, soit environ 15 200 tonnes par an en moyenne. Par ailleurs, les installations classées pour la protection de l'environnement ont rejeté 420 tonnes de zinc dans les sols en 2011.

### Les métaux dans les sols : le cas du plomb

Teneurs en plomb dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2015. Traitements : SOeS, 2015



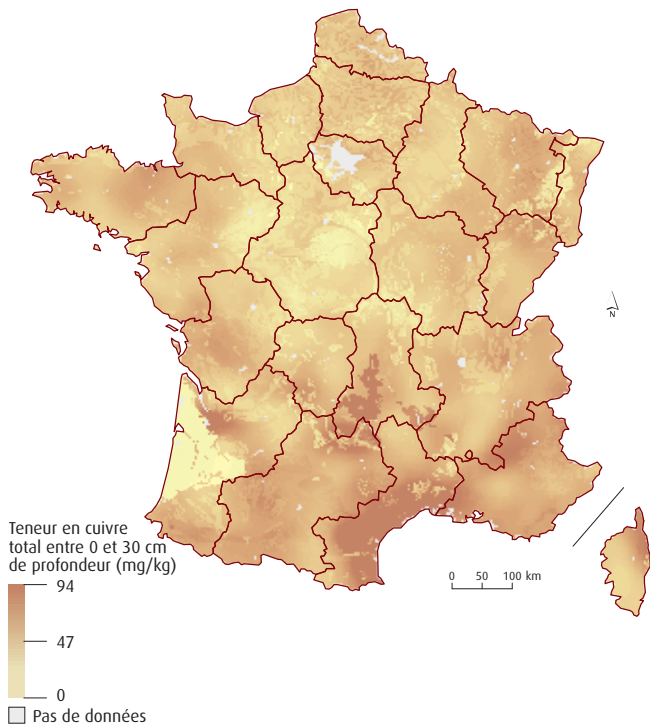
En raison de la forte affinité entre le plomb et la matière organique du sol, ce métal est peu disponible pour les plantes et migre très peu en profondeur. Les fortes teneurs en surface peuvent ainsi être attribuées aux activités humaines (transports, industrie, mines, boues urbaines, traitements phytosanitaires), tandis qu'en profondeur, elles relèvent plutôt de l'altération des roches.

En métropole, les teneurs totales en plomb dans les 30 premiers centimètres du sol s'étendent localement entre 3 et 624 milligrammes par kilogramme (mg/kg). 55 % d'entre elles sont inférieures à 30 mg/kg et 43,5 % comprises entre 30 et 100 mg/kg. En revanche, les teneurs supérieures à 100 mg/kg représentent seulement 1,5 % des mesures. Parmi elles, un tiers ont été mesurées à moins de 30 km d'une grande agglomération et un autre tiers dans un rayon de 30 km autour d'agglomérations plus modestes. En profondeur, les teneurs totales en plomb les plus fortes apparaissent dans les zones de contact entre les bassins sédimentaires et les massifs cristallins (Cévennes, Massif central, Morvan). Dans le Poitou, les teneurs élevées des sols ferrallitiques (« terres rouges ») correspondent à des anomalies naturelles.

Par ailleurs, les sols des Antilles développés dans des basaltes sont particulièrement pauvres en plomb, avec des teneurs entre 7 et 51 mg/kg en surface.

### Les métaux dans les sols : le cas du cuivre

Teneurs en cuivre dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2015. Traitements : SOeS, 2015

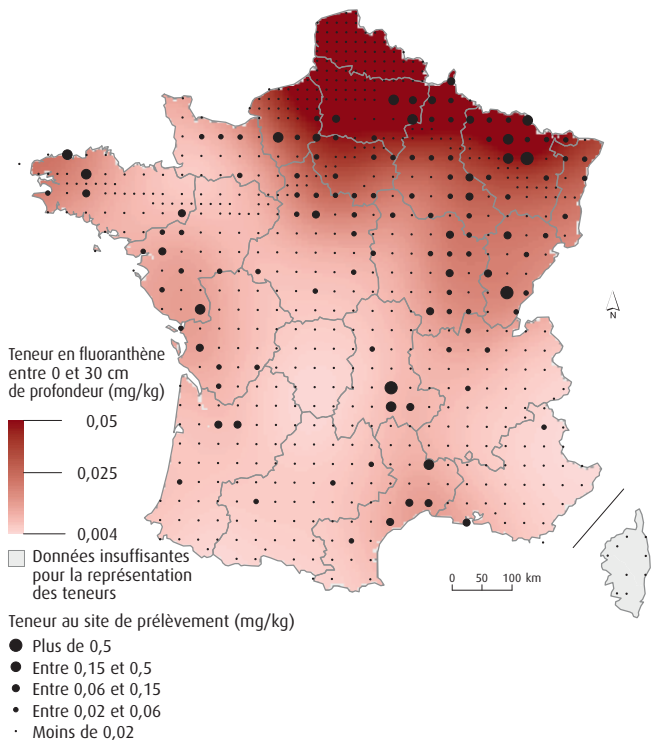
Tout comme le plomb, le cuivre est peu mobile dans les sols, hormis dans des milieux très acides ou en mauvaises conditions de drainage. Il s'agit également d'un oligo-élément indispensable à la vie en quantité très faible. Différentes activités humaines peuvent provoquer des contaminations cupriques : agriculture (traitements des vignes et vergers, épandage de lisiers de porcs), industrie (métallurgie) et réutilisation de déchets (boues de station de traitement des eaux usées, composts d'ordures ménagères).

Les teneurs totales en cuivre mesurées dans la partie superficielle des sols s'étendent localement de 1 à 508 milligrammes par kilogramme (mg/kg) en métropole et de 27 à 156 mg/kg dans les Antilles. Les teneurs relativement élevées des sols antillais résultent de l'altération des roches magmatiques basiques riches en cuivre.

En métropole, les sols des formations sableuses (Landes de Gascogne, Sologne) ou gréseuses (Vosges) renferment particulièrement peu de cuivre. 53 % des fortes teneurs en cuivre (plus de 100 mg/kg) se trouvent dans des zones occupées à plus de 20 % par des vignes et des vergers. Ces fortes teneurs résultent des traitements fongicides récurrents, à base de sulfates de cuivre (« bouillie bordelaise »). La Gironde et le Languedoc-Roussillon rassemblent ainsi 62 % des teneurs en cuivre de plus de 100 mg/kg. Dans les autres régions de vignobles (Alsace, Champagne, Pays de la Loire, vallée du Rhône), cet effet est moins visible.

### Les HAP dans les sols : le cas du fluoranthène

Teneurs en fluoranthène dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2013. Traitements : SOeS, 2015

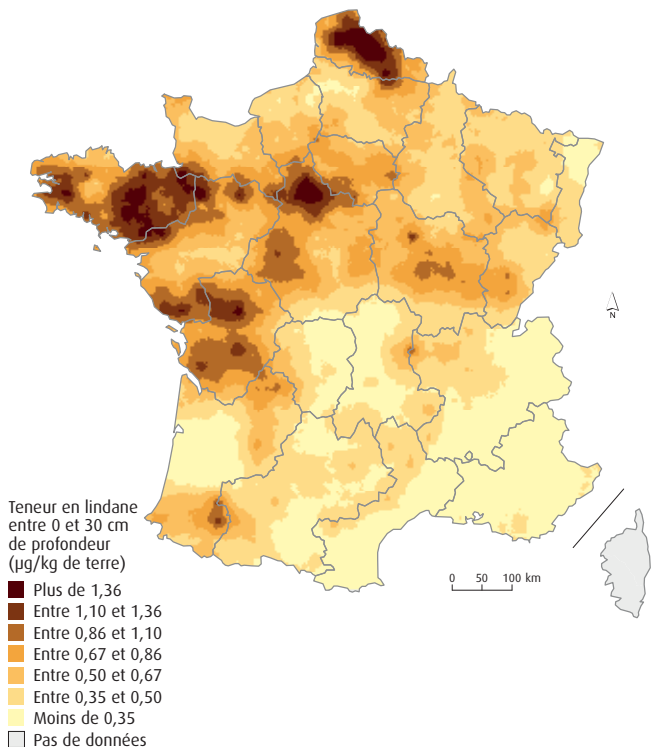
Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des polluants organiques persistants, produits principalement par combustion des matières organiques (feux de forêt, combustion d'énergies fossiles). Toxiques pour la santé humaine et l'environnement, ils s'avèrent en règle générale peu biodégradables. Outre leur aptitude au transport sur une longue distance, ils s'accumulent dans les tissus vivants du fait de leur forte solubilité dans les graisses (bioaccumulation). Enfin, ils se fixent aisément sur les matières organiques, les matières en suspension ou les sédiments des cours d'eau.

Parmi les 16 HAP analysés dans la partie superficielle des sols en France métropolitaine, seuls 5 d'entre eux (benzo(b)fluoranthène, fluoranthène, pyrène, indeno(1,2,3-cd)pyrène, phénanthrène) présentent des teneurs supérieures au seuil de quantification pour plus de la moitié des sites analysés.

Les teneurs en fluoranthène s'étendent localement entre 0 et 1,17 milligramme par kilogramme de terre fine. Le fluoranthène est fortement concentré dans le Nord et l'Est, vraisemblablement en raison des activités passées de ces régions (mines, industries). Des contaminations sans doute d'origine minière, pétrolière ou industrielle apparaissent également en région parisienne, en aval de la vallée de la Seine, sur le littoral méditerranéen, dans le couloir rhodanien et dans le Massif central. Plus incertaine, l'origine du gradient sur la façade atlantique pourrait résulter de dépôts atmosphériques de longue distance.

### Les pesticides dans les sols : le cas du lindane

Teneurs en lindane dans la partie superficielle des sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2013. Traitements : SOeS, 2013

L'utilisation prolongée de polluants organiques persistants est à l'origine de pollutions diffuses qui peuvent toucher une grande partie du territoire. C'est le cas des pesticides organochlorés comme le lindane, utilisé pendant plus de 50 ans, considéré toxique pour l'homme et dangereux pour l'environnement.

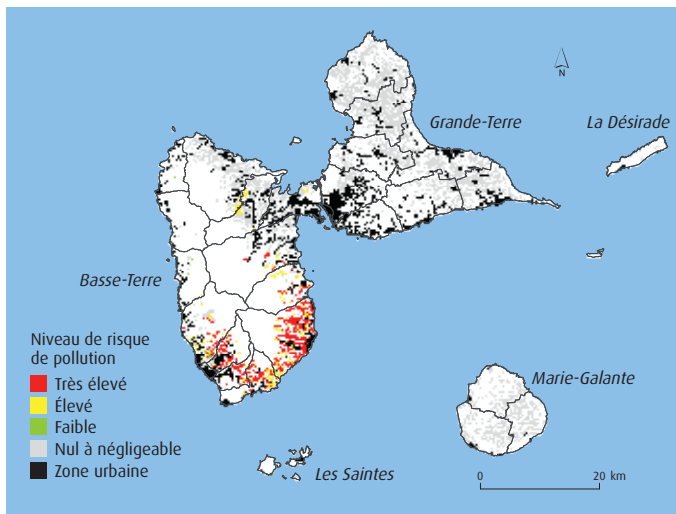
Très peu mobile dans les sols, le lindane peut être évaporé et transporté dans l'air sous l'influence de la nature et du degré d'humidité des sols, ainsi que de son mode d'application. La nature du sol, le climat et la profondeur d'enfouissement du lindane agissent, par ailleurs, sur la durée nécessaire à sa dégradation dans le sol (jusqu'à plus de 40 ans).

Bien que son interdiction en agriculture date de 1998 en France, des résidus subsistent dans les sols métropolitains. Les valeurs s'échelonnent entre 0,16 et 5 microgrammes par kilogramme ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) de sol. Les plus élevées (plus de 2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de sol) résultent d'un large usage du lindane comme insecticide dans les zones de culture intensive (Beauce, Nord - Pas-de-Calais), ou comme antiparasitaire dans les zones d'élevage intensif de volailles et de porcins (Bretagne). Les sols bretons, riches en matière organique, ont ainsi fortement retenu le lindane épandu *via* les effluents d'élevage.

À l'opposé, les valeurs les plus faibles s'observent dans les zones forestières (Auvergne, Limousin, Provence - Alpes - Côte d'Azur) et surtout dans les Landes de Gascogne où les sols sableux, acides et pauvres en matière organique retiennent peu le lindane.

### La contamination chronique par la chlordécone dans les Antilles

#### Sols potentiellement pollués par la chlordécone en Guadeloupe



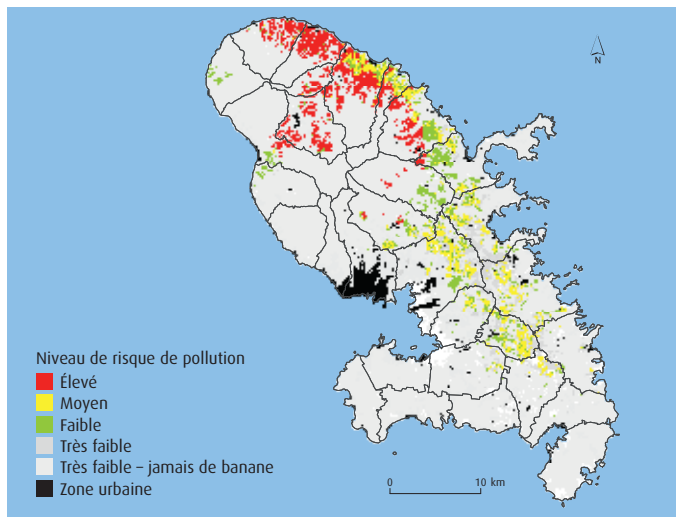
Sources : DAAF Guadeloupe, 2005 ; UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006 ; © IGN, BD Carto®, 2009. Traitements : SOeS, 2013

Aux Antilles françaises, la pollution agricole chronique des sols et la contamination des eaux et des écosystèmes par la chlordécone résulte de son utilisation jusqu'en 1993 pour lutter contre un insecte ravageur, le charançon des bananiers (*Cosmopolites sordidus*). La molécule de chlordécone est classée comme polluant organique persistant et reconnue comme perturbateur endocrinien et cancérigène potentiel. La population antillaise y est exposée via l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés.

Le risque de pollution par la chlordécone concerne près d'un cinquième de la surface agricole utilisée en Guadeloupe et deux cinquièmes en Martinique. Selon la simulation de l'évolution des teneurs en chlordécone, les sols argileux de la bande côtière ne



### Sols potentiellement pollués par la chlordécone en Martinique



Sources : SIG Diren Martinique, SIG 972 ; chambre d'agriculture, 2007 ; UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006 ; © IGN, BD Carto®, 2009. Traitements : SOeS, 2013

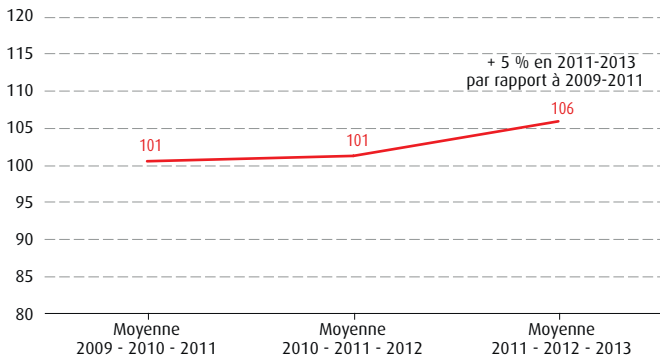
devraient plus en contenir d'ici deux siècles. La contamination par la chlordécone devrait perdurer au-delà (quatre siècles) dans les sols limoneux d'altitude.

Peu mobile, peu soluble, très peu volatile, la chlordécone se fixe durablement sur la matière organique du sol et se dégrade extrêmement lentement dans les sols aérés. Si la contamination des cultures par la chlordécone dépend de nombreux facteurs (espèce, organe de la plante cultivée, niveau de pollution, type de sol et d'argiles, pratiques culturales, etc.), elle touche surtout les racines et les tubercules. C'est pourquoi, l'encadrement des cultures figure parmi les mesures visant à limiter l'exposition des populations consommant régulièrement les légumes racines de leurs jardins. Les diagnostics du programme jardins familiaux ont ainsi permis de conseiller les populations en fonction des teneurs en chlordécone des sols.

### L'usage des pesticides en agriculture

#### Évolution du nombre de doses unités de produits phytosanitaires

Indice base 100 en 2009



Notes : nombre de doses unités (Nodu) en Mha, à usage agricole, hors traitements de semences et produits de la liste "biocontrôle vert" ; les moyennes triennales glissantes permettent de tenir compte des variations interannuelles, de la pression parasitaire et des conditions climatiques.

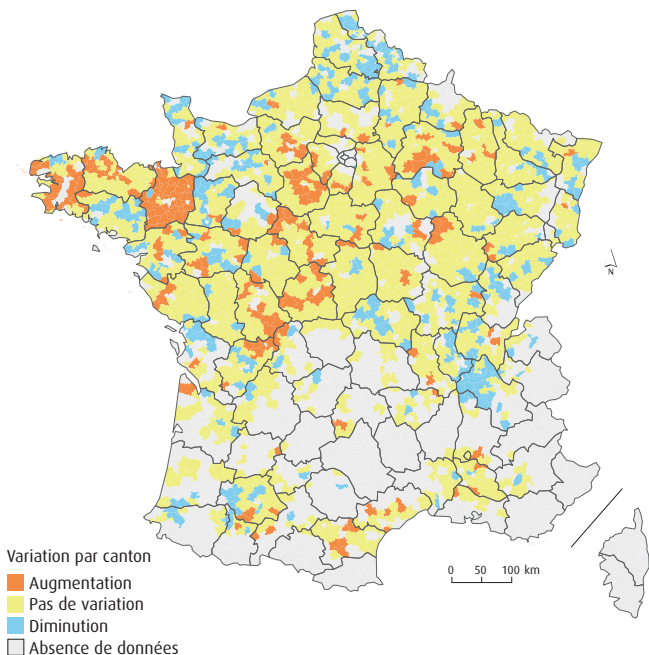
Source : Maaf/DGAL, d'après Banque nationale des ventes des distributeurs (BNV-D) au 30 juin 2014 et Maaf/SSP

Les pesticides sont utilisés pour lutter contre les organismes causant des dommages aux cultures. Le caractère polluant de ces substances chimiques dépend de leur toxicité, de leur persistance favorable aux transferts vers les eaux et de la capacité des sols à les retenir ou à les dégrader *via* leur microflore.

Parmi les pesticides, les phytosanitaires, utilisés pour protéger les plantes, sont majoritairement employés en agriculture (90 à 95 %). Ils caractérisent, avec les nitrates (engrais, effluents d'élevage), la principale source de pollution des eaux par le secteur agricole. Leurs ventes s'élèvent à 63 187 tonnes en France en 2012 (source : UIPP), dont : fongicides (45 %), herbicides (40 %), insecticides (2 %), autres (13 %). Le nombre de doses unités (Nodu) prend en compte ces quantités vendues, mais également l'efficacité des substances chimiques. Le Nodu croît de 5 % en 2011-2013 par rapport à la période de référence 2009-2011. Cette hausse du nombre de traitements « moyens » appliqués annuellement sur l'ensemble des cultures, implique une pression accrue sur les sols, l'eau, l'air et la biodiversité. Plus de 80 millions de doses sont ainsi appliquées chaque année sur les surfaces fertilisables françaises.

### Les matières organiques dans les sols agricoles

Variation de la teneur en carbone organique entre 1995-1999 et 2005-2009



Source : Gis Sol, BDAT, 2015. Traitements : SOeS, 2015

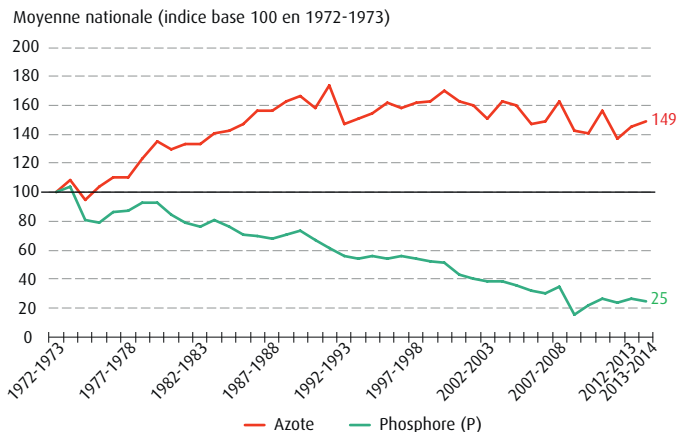
Les matières organiques, composées d'environ trois cinquièmes de carbone organique, améliorent la fertilité et la stabilité des sols. Leur maintien dans les sols contribue à la maîtrise des émissions de carbone dans l'air.

Entre les périodes 1995-1999 et 2005-2009, la teneur en carbone organique des sols agricoles diminue dans 9 % des cantons en France métropolitaine, notamment en Basse-Normandie et Pays de la Loire, au Nord et en Rhône-Alpes. Les raisons sont sans doute multiples : évolution globale des écosystèmes, conversion des prairies naturelles en terres arables, modification des pratiques agricoles. *A contrario*, la teneur en carbone organique des sols agricoles progresse dans 6 % des cantons. Les évolutions sont moins marquées qu'entre les périodes 1995-1999 et 2000-2004 où les teneurs en carbone organique diminuaient dans 21,4 % des cantons et augmentaient dans 10 % d'entre eux.

Le stockage du carbone dans les sols est favorisé par certains changements d'usage (conversion des cultures en prairies ou en forêts) ou de pratiques agricoles (apport de déchets organiques urbains, techniques culturales simplifiées, etc.).

### La fertilisation phosphorée et azotée

Évolution des livraisons d'azote et de phosphore entre 1972 et 2012



Note : les statistiques de livraisons de l'Unifa vont du 1<sup>er</sup> mai de l'année  $n$  au 30 avril de l'année  $n+1$ .

Champ : France métropolitaine.

Source : Unifa, 2014

L'azote, le phosphore et le potassium sont indispensables à la croissance des plantes. Lorsque leur teneur s'appauvrit dans les sols cultivés, l'apport de fertilisants minéraux ou organiques (fumiers, lisiers) est nécessaire.

Les livraisons d'engrais phosphorés ont chuté de 75 % en quarante ans, passant progressivement de 31 à 8 kilogrammes par hectare (kg/ha) fertilisable entre 1972 et 2013. Une pratique plus raisonnée de la fertilisation, les fortes augmentations du coût des engrais phosphatés et la diversification des apports (usage accru des boues d'épurations, etc.) sont les principales raisons de cette diminution. En revanche, les livraisons d'engrais azotés ont progressé d'environ 50 % sur la même période, passant de 57 à 85 kg/ha fertilisable. Elles ont d'abord crû de 75 % sur les vingt premières années pour atteindre 100 kg/ha fertilisable, avant de se stabiliser, puis d'amorcer une tendance à la baisse à partir de 2000. L'augmentation du coût des engrais azotés et le recours à des pratiques plus respectueuses de l'environnement (introduction de légumineuses, cultures intermédiaires piège à nitrates, etc.) expliquent cette diminution.

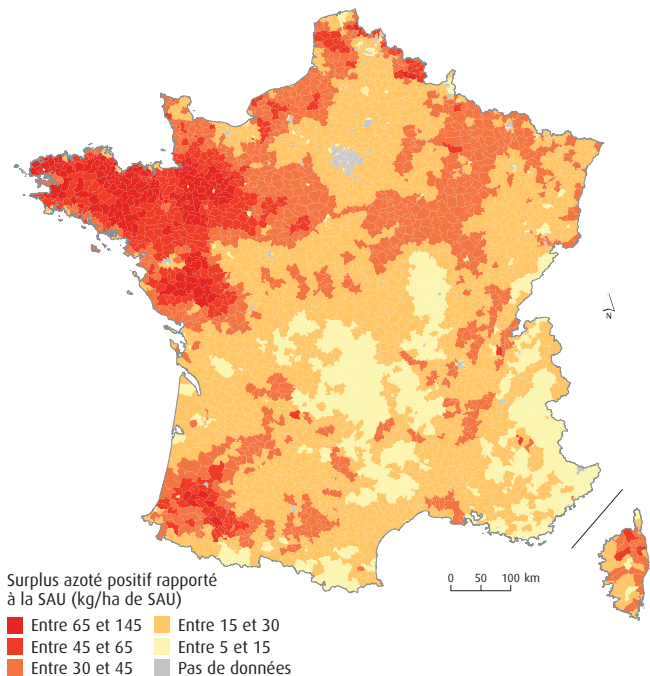
Dissous dans l'eau du sol ou fixé sur des particules transportées par le ruissellement et l'érosion, le phosphore, associé aux nitrates en excès, contribue à l'eutrophisation des milieux aquatiques. D'importantes proliférations végétales ou algales apparaissent alors, diminuant la qualité des eaux et leur biodiversité. Par ailleurs, certains engrais minéraux phosphatés contiennent du cadmium, toxique pour l'homme.

# Les pressions exercées sur les sols

## Pressions agricoles

### Les surplus azotés

Répartition du surplus azoté en 2010 par canton  
Moyenne France : 30,12 kg/ha de SAU



Note : le surplus correspond à la quantité apportée non consommée par les plantes qui risque d'être transférée vers le milieu aquatique.

Sources : © IGN, BD Carto®, 2011 ; SOeS, Nopolu-volet Agri V2 – scénario 2013.  
Traitements : SOeS, 2013



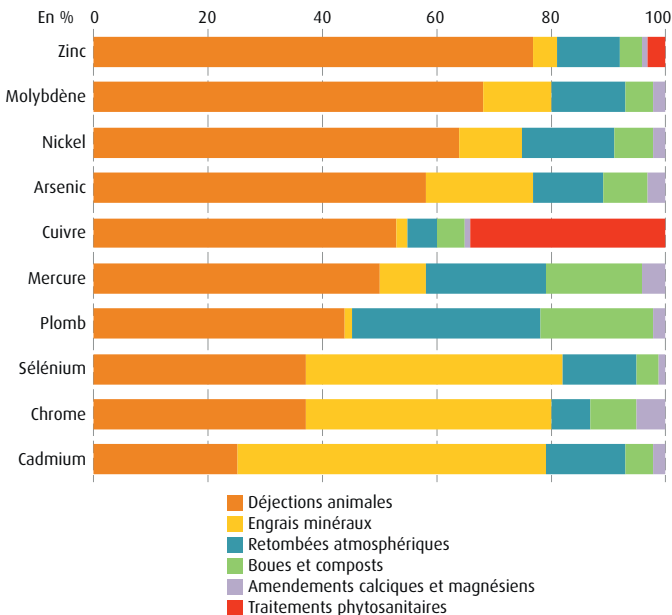
L'azote, indispensable à la croissance des plantes, présente cependant un risque pour l'environnement lorsqu'il est apporté en trop grande quantité aux cultures. La fraction excédentaire issue de la fertilisation minérale ou de la minéralisation des composés organiques (résidus de culture, amendements, effluents d'élevage, matière organique du sol) peut alors polluer les eaux superficielles ou souterraines. En effet, sous forme de nitrates, ce macropolluant très soluble se fixe peu dans le sol.

En 2010, le surplus azoté pour la France est estimé par le modèle Nopolu-Agri V2 à 902 000 tonnes (t), soit en moyenne 32 kilogrammes par hectare (kg/ha) de surface agricole utilisée (SAU). Il tient compte de l'apport d'azote résultant de la déposition atmosphérique (310 000 t). Ce surplus non utilisé par les plantes représente 28 % de la fertilisation azotée totale globale nette pour 2010.

Le surplus azoté diffère d'une région à l'autre, en fonction de leurs spécificités : de 15 kg/ha en Auvergne à 69 kg/ha en Bretagne. Il varie également selon les cultures : 13 kg/ha pour le tournesol, 24 kg/ha pour le blé tendre (culture dominante en métropole), tandis qu'il atteint 60 kg/ha pour le colza et 63 kg/ha pour le blé dur. Enfin, le surplus azoté dépend des années, les conditions climatiques influant sur les rendements des cultures et donc sur les quantités d'azote consommées.

### L'origine des métaux et métalloïdes dans les sols agricoles

Part des différents apports de métaux et métalloïdes aux sols agricoles



Sources : Ademe ; Sogreah, 2007, 2012

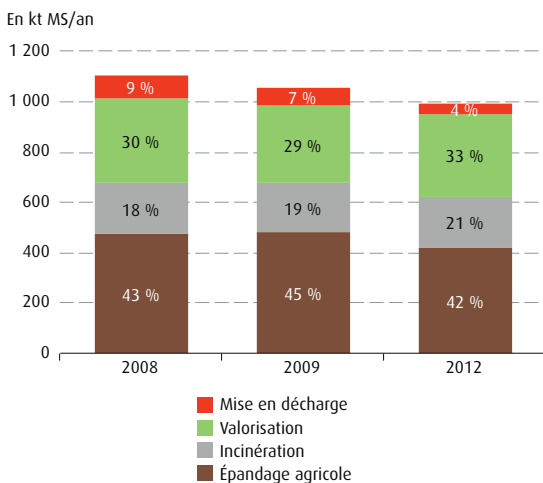
Environ 15 200 tonnes (t) de zinc et 4 900 t de cuivre sont apportées chaque année en moyenne sur les sols agricoles. Pour le chrome, le nickel et le plomb, ces apports se situent entre 500 et 1 000 t, tandis qu'ils sont bien plus faibles pour l'arsenic, le cadmium, le mercure, le molybdène ou le sélénium (moins de 150 t).

Les déjections animales sont la première cause d'apport de métaux aux sols, du fait des compléments alimentaires utilisés dans les élevages bovins, porcins ou de volailles. Pour le cadmium, la part la plus importante des apports (environ 55 %) provient d'impuretés présentes dans les engrais minéraux et, dans une moindre mesure, d'effluents d'élevages et de retombées atmosphériques.

Les apports varient fortement selon les régions en fonction des pratiques agricoles. Quel que soit le métal considéré, ils sont d'un niveau élevé dans l'ouest de la France (Bretagne, Normandie, Pays de la Loire) en raison de l'épandage d'effluents d'élevages. Quant au cadmium, les apports les plus élevés s'observent dans les régions céréalières (Alsace, nord et sud-ouest de la France).

### Le recyclage des boues de traitement des eaux usées sur les sols agricoles

Traitement des boues de STEU de 2008 à 2012



Note : la valorisation désigne le compostage (produit ou déchet) ou la valorisation industrielle.  
Source : agences de l'eau, base des eaux résiduaires urbaines (BDERU), 2012

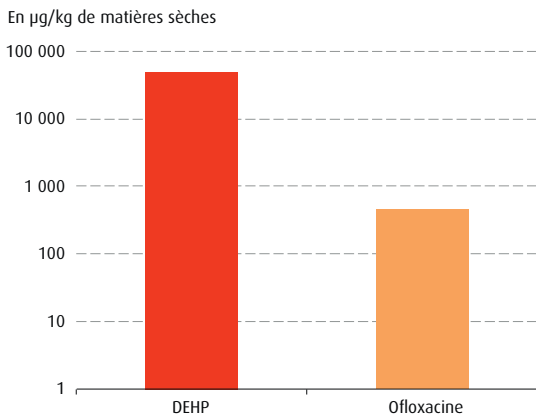
En 2012, environ 990 milliers de tonnes de matières sèches (kt MS) de boues de station de traitement des eaux usées (STEU) ont été produits en France. En légère et constante baisse depuis 2008, ce chiffre atteignait alors environ 1 100 kt MS. Cette production a baissé d'environ 10 points entre 2008 et 2012.

Ces boues résultent du traitement des eaux usées issues de l'assainissement collectif, des activités industrielles ou agricoles. Parmi les quatre grands types de traitement des boues de STEU, l'épandage sur les sols agricoles pour améliorer la fertilisation prédomine. En 2012, le recyclage agricole s'élevait ainsi à plus de deux cinquièmes des boues traitées (soit environ 415 kt MS), alors que les autres types de valorisation (compostage ou industrielle) représentaient un tiers, l'incinération un cinquième et enfin, la mise en décharge de classe II moins de 5 %. Ce dernier mode de traitement a fortement diminué depuis 2008.

L'épandage des boues de STEU concerne 2 à 3 % de la surface agricole utilisée, avec un délai de 4 à 5 ans entre deux épandages consécutifs. Ceux-ci sont réglementés en raison des métaux, des micropolluants organiques, des micro-organismes pathogènes et des polluants émergents que les boues peuvent contenir.

### Les substances organiques dans les boues d'épuration des eaux

Concentrations médianes d'un phtalate (DEHP) et d'un antibiotique (ofloxacine) dans les boues de STEU



Note : échelle logarithmique.

Source : Ademe, d'après Dalvai *et al.*, 2014 et Besnault *et al.*, 2014

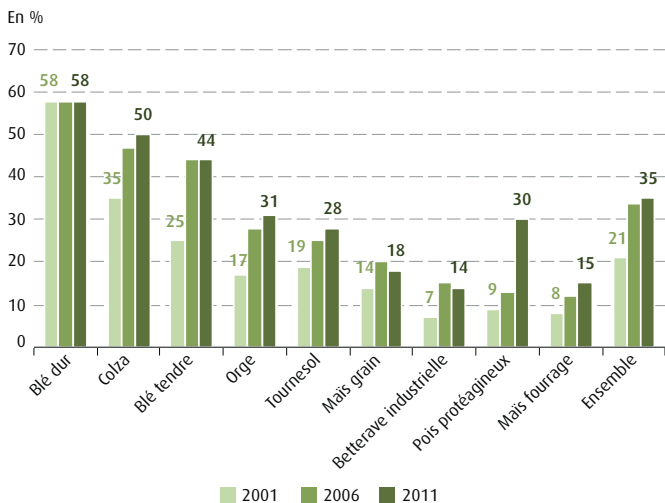
Outre les contaminants suivis réglementairement (HAP, métaux et PCB), de nombreuses autres substances organiques peuvent contaminer les boues et donc les sols sur lesquels elles peuvent être épandues.

Parmi toutes les substances émergentes analysées dans les boues et composts de boues de stations de traitement des eaux usées (STEU), deux substances d'origine anthropique sont retrouvées dans une majorité de boues (source : Ademe ; Ineris, 2014). Il s'agit d'une part d'un phtalate, le DEHP, et d'autre part d'un antibiotique, l'ofloxacin.

Les phtalates sont utilisés pour la fabrication de nombreux produits de consommation courante, dont des produits cosmétiques. Ceci explique la forte présence de DEHP dans les boues de STEU où il avoisine une concentration médiane de 50 000 microgrammes par kilogramme ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) de matières sèches. L'ofloxacin (antibiotique de la famille des fluoroquinolones prescrit pour des infections urinaires et digestives) se retrouve à une concentration beaucoup plus faible dans les boues, aux alentours de 450  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matières sèches.

### Les pratiques culturales

Part de la superficie de grandes cultures semées sans labour préalable



Note : sans pomme de terre et maïs grain.

Source : Agreste, enquêtes sur les pratiques culturales, 2001, 2006 et 2011

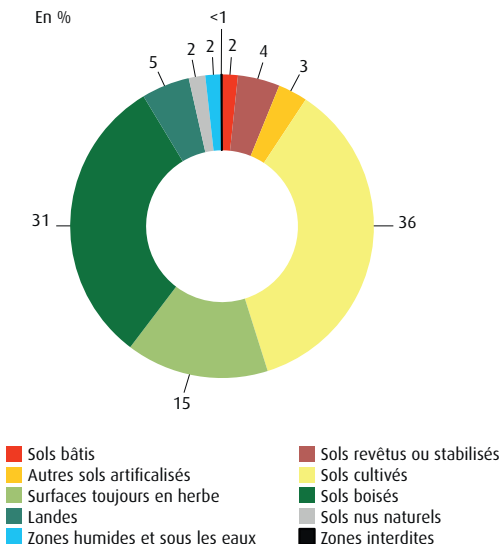


Les labours affectent fortement les sols : dégradation physique (semelle de labour, tassement, ruissellement et érosion), perturbation de la biodiversité, accélération du déstockage de carbone et du lessivage des nitrates. En revanche, les techniques culturales simplifiées, ou techniques sans labour préalable, associées à une gestion intégrée du désherbage limitent ces impacts. Ces techniques, parmi lesquelles figurent le semis direct et des interventions plus ou moins profondes, réduisent également l'usage d'intrants et les pollutions associées, et stimulent l'activité biologique des sols.

En 2011, près de 35 % des surfaces de grandes cultures sont conduites sans labour préalable en France, dont 2 % en semis direct. Ces surfaces ont augmenté de 14 points depuis 2001. Malgré une stagnation entre 2006 et 2011 notamment pour le blé, les techniques sans labour préalable poursuivent leur progression (colza, orge, pois protéagineux). Le labour reste plus présent sur les cultures de printemps que d'automne.

### L'occupation des sols et son évolution

Répartition de l'occupation physique des sols en 2014



Champ : France métropolitaine.

Source : SSP, Teruti-Lucas, 2006-2014

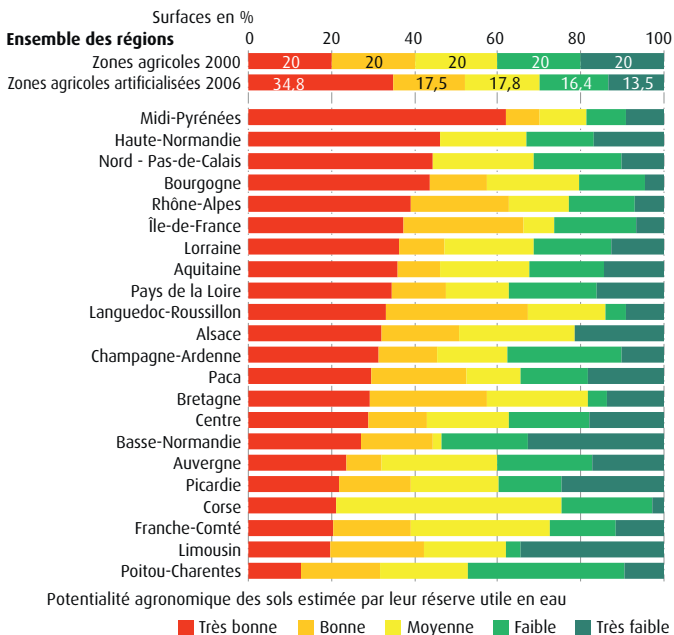
En 2014, les terres agricoles (sols cultivés ou surfaces toujours en herbe) occupent 51 % de la surface de la France métropolitaine, les espaces boisés, milieux semi-naturels ou surfaces en eau un peu moins de 40 % et les sols artificialisés 9,3 %. Ces derniers occupent ainsi 5,1 millions d'hectares en métropole en 2014. Deux tiers de ces sols artificialisés sont imperméabilisés (sols revêtus et stabilisés, sols bâtis), contre un tiers de sols non imperméabilisés (jardins, terrains de sport et sols nus).

Entre 1993 et 2000, l'artificialisation annuelle des sols portait en moyenne sur 61 000 hectares (ha), soit l'équivalent de la surface d'un département tous les dix ans. Entre 2006 et 2014, la dynamique se poursuit, puisqu'en moyenne 60 000 ha disparaissent chaque année. Elle ralentit cependant après 2008, notamment en raison de l'impact de la crise économique sur le secteur de la construction. Les politiques locales d'urbanisme (loi portant engagement national pour l'environnement et loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche, 2010) ont également permis de préserver les espaces agricoles, naturels et forestiers.

Entre 2006 et 2014, l'artificialisation des sols s'est faite pour deux tiers aux dépens des sols agricoles. Ces derniers ont ainsi perdu en moyenne 70 000 ha/an depuis 2006.

### L'artificialisation des sols agricoles

Surfaces agricoles artificialisées entre 2000 et 2006, en fonction du réservoir utile en eau des sols



Note : le réservoir utile en eau des sols représente la quantité d'eau retenue par le sol, qu'il peut restituer aux plantes en vue de leur alimentation ou du transport des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance (azote, phosphore, etc.). Il donne une bonne approximation de la qualité des sols.

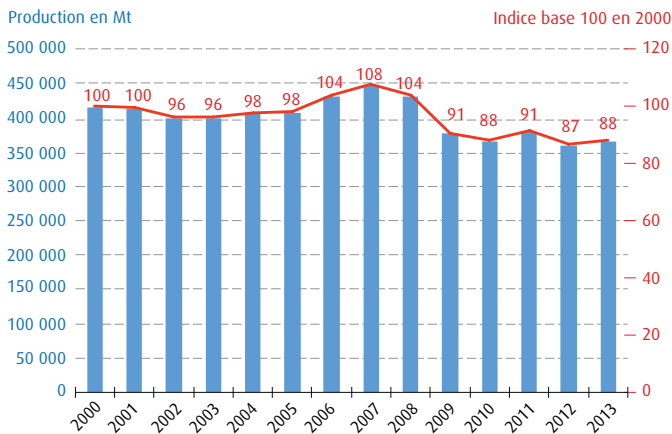
Sources : SOeS ; Gis Sol, 2010. Traitements : SOeS, 2010

L'artificialisation des sols de grande valeur agronomique est irréversible. À l'origine de l'imperméabilisation des sols, elle génère de nombreux impacts sur l'environnement : ruissellement et érosion (inondation, coulée d'eau boueuse, transfert de contaminants vers les cours d'eau), déstockage rapide de carbone lorsque le sol reste nu, fragmentation des habitats naturels.

En France métropolitaine, les sols de très bonne qualité agronomique représentent environ 35 % des surfaces agricoles artificialisées entre 2000 et 2006 (source CORINE Land Cover). Dix régions (Aquitaine, Bourgogne, Haute-Normandie, Île-de-France, Languedoc-Roussillon, Lorraine, Midi-Pyrénées, Nord – Pas-de-Calais, Pays de la Loire, Rhône-Alpes) sont particulièrement concernées. L'artificialisation de leurs sols agricoles porte entre un tiers et un peu moins de deux tiers des cas sur les sols ayant les meilleures potentialités agronomiques. En revanche, en Auvergne, Corse et Franche-Comté, les sols de qualité agronomique intermédiaire sont les plus touchés, puisqu'ils représentent entre un quart et un peu plus de la moitié des sols agricoles artificialisés entre 2000 et 2006. Enfin, en Limousin, Picardie et Poitou-Charentes, les sols de moindre qualité agronomique sont les plus concernés.

### L'extraction de granulats

Évolution de la production totale de granulats entre 2000 et 2013



Champ : France métropolitaine.

Sources : Unicem ; Insee, pôle statistiques industrielles, 2015

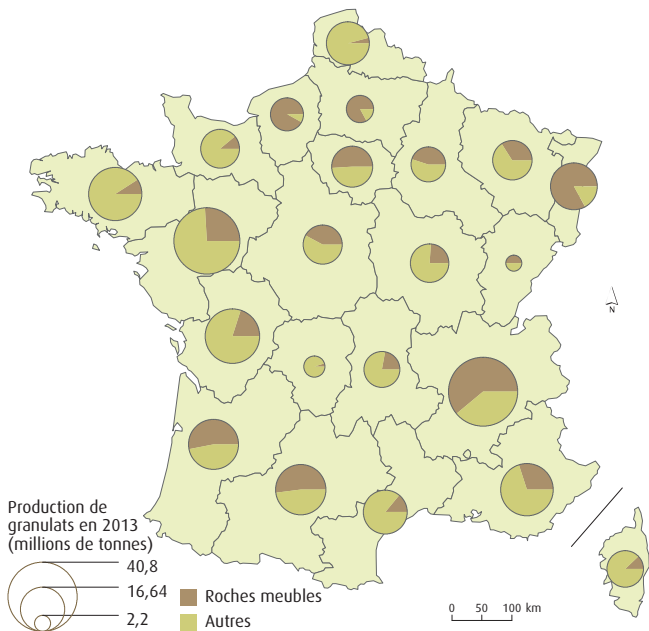
Les sols et le sous-sol fournissent les matières premières nécessaires aux travaux publics, au génie civil et au bâtiment. De granulométrie (argile, gravier, sable) et de nature (calcaire, grès, variétés d'argile, etc.) variées, les matériaux extraits peuvent être utilisés directement ou après traitement sous la forme de granulats.

L'extraction totale des matières minérales non métalliques représente 366 millions de tonnes (Mt) en France en 2013 (dont environ 25 Mt de granulats issus du recyclage), soit un peu moins de 6 tonnes par habitant (source : Unicem). Après une relative stabilité au début des années 2000, la production de granulats a augmenté entre 2006 et 2007 avant de chuter de 20 % entre 2007 et 2010. En 2013, elle est inférieure de 12 % à celle de 2000.

Fin 2013, l'exploitation d'un peu plus de 4 300 carrières est autorisée au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (source : BRGM). Ces carrières en activité occupent un peu plus de 0,2 % de la surface de la France (soit 1 166 km<sup>2</sup>), tandis que plus de 101 000 sont abandonnées. Outre la perte et la dégradation irréversible des sols et du sous-sol (décapage, extraction, abattage, terrassement, etc.), l'activité extractive rejette des poussières vers l'air ou des polluants vers les eaux, influe sur la biodiversité et modifie les paysages.

### L'extraction de sables et de graviers

Production de granulats et part de roches meubles (sables et graviers), par région en 2013



Notes : recyclage et granulats d'origine marine inclus ; données de production des roches meubles incomplètes pour cinq régions (Basse-Normandie, Languedoc-Roussillon, Limousin, Midi-Pyrénées, Rhône-Alpes) en raison du secret statistique pour certains départements.

Sources : Unicem ; Insee, pôle statistiques industrielles, 2015. Traitements : SOeS, 2015



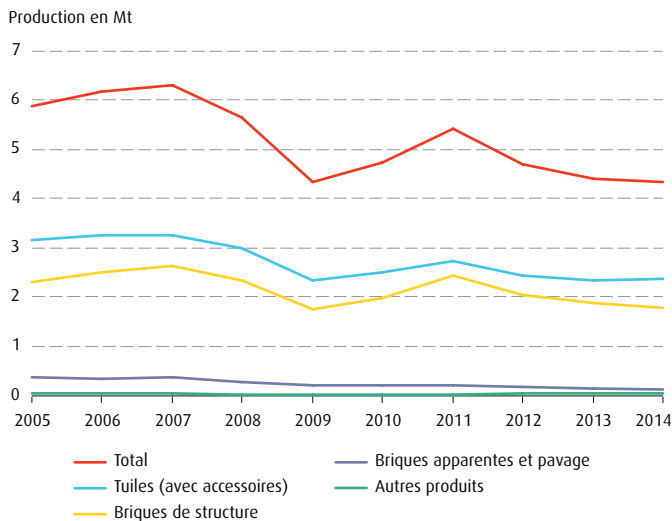
Les besoins en granulats sont particulièrement importants pour la construction des réseaux de transport : 20 000 à 30 000 tonnes (t) de granulats pour un kilomètre d'autoroute, contre 100 à 300 t pour une maison individuelle.

Sur les 366 millions de tonnes (Mt) de granulats produits en France en 2013, la part issue des roches meubles (sables et graviers) d'origine alluvionnaire, alluviale, marine ou d'autres dépôts représente 135,5 Mt (soit 37 %). Un peu moins de 30 % de la production nationale de sables et de graviers provient des régions Rhône-Alpes et Alsace. À l'opposé, cinq régions (Basse-Normandie, Corse, Franche-Comté, Limousin, Nord - Pas-de-Calais) fournissent ensemble moins de 4 % de la production nationale.

La part de sables et de graviers extraits a par ailleurs diminué de 6 points depuis 2000, au profit de celle des granulats issus des roches massives calcaires ou éruptives (+ 4 points) et de celle issue du recyclage (+ 3 points).

### L'extraction d'argiles

Évolution de l'extraction d'argiles pour la production de matériaux en terre cuite de 2005 à 2014



Note : la production d'une tonne de produits de terre cuite nécessite un peu plus d'une tonne d'argiles.

Source : FFTB, 2014

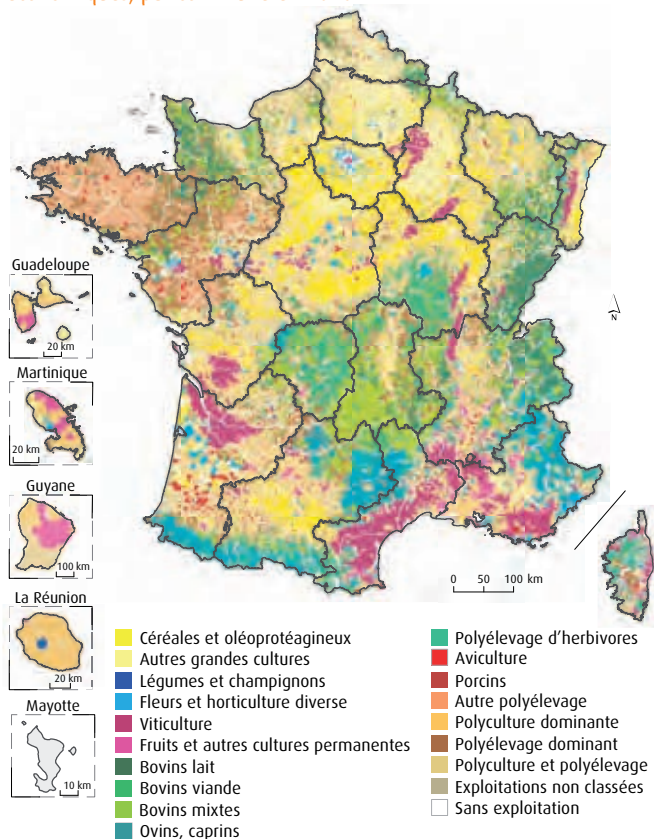
L'extraction d'argiles communes pour la production de matériaux en terre cuite représente un peu plus de 4,3 millions de tonnes (Mt) en 2014. La production de tuiles représente la plus grosse part (55 %), suivie par celle des briques de structures (41 %).

L'extraction d'argiles pour la production de matériaux en terre cuite a beaucoup fluctué sur la dernière décennie. Elle a baissé de plus de 25 % entre 2005 et 2014. Cette tendance à la baisse sur l'ensemble de la période présente cependant des fluctuations annuelles liées à la conjoncture. La diminution de l'extraction d'argiles tend toutefois à se stabiliser sur les deux dernières années.

En 2013, un peu moins de 195 carrières d'argiles communes (source : BRGM) sont exploitées en France, dont une en Martinique, exclusivement pour produire des matériaux en terre cuite. Les argiles entrent également plus récemment dans certains processus industriels : papetiers, pétroliers et chimiques (plastique, colle, solvant) ou cosmétiques.

### Les sols et la production agricole

Répartition des exploitations agricoles par orientations technico-économiques, par commune en 2010



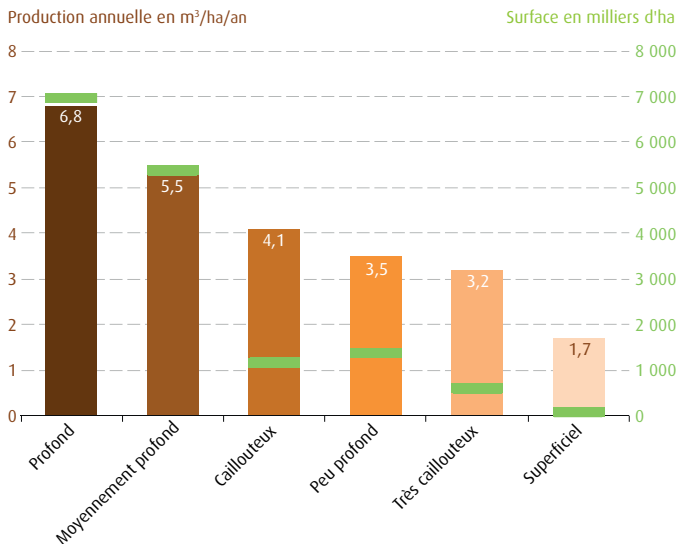
Source : Agreste, recensement agricole 2010. Traitements : SOeS, 2014

En 2014, la surface agricole utilisée représente 27 millions d'hectares (source : Agreste, 2014 semi-définitif), soit environ la moitié du territoire métropolitain. 68 % sont consacrés aux terres labourables, 4 % aux cultures permanentes et 28 % aux surfaces toujours en herbe.

Les propriétés des sols expliquent en grande partie leurs vocations agricoles. Les grandes cultures occupent surtout les sols limoneux profonds des bassins sédimentaires (aquitain, parisien, Limagne). Les élevages bovins lait, porcins ou de volailles (Ouest) et les élevages de bovins viande plus extensifs (Massif central, piémonts) se rencontrent plutôt sur des sols d'altération peu différenciée. La viticulture se développe essentiellement sur les sols graveleux des terrasses anciennes (Bordelais), sur les sols caillouteux (Rhône), sur les sols calcaires peu profonds (Champagne-Ardenne) et sur les sols des roches calcaires (pourtour méditerranéen). Enfin, les cultures fruitières sont bien implantées sur les sols alluvionnaires récents riches en matière organique en Provence – Alpes – Côte d'Azur.

### Les sols et la production forestière

Production forestière selon la profondeur des sols et la charge en cailloux



Notes : sol très caillouteux (plus de 75 % d'éléments grossiers), caillouteux (de 55 à 75 %) ; sol superficiel (moins de 15 cm de profondeur), peu profond (de 15 à 34 cm), moyennement profond (de 35 à 64 cm), profond (plus de 65 cm).

Champ : forêt de production hors peupleraie.

Source : IGN/Inventaire forestier national, 2015, résultats d'inventaire forestier, résultats standards (campagnes 2009 à 2013). Traitements : SOeS, 2015

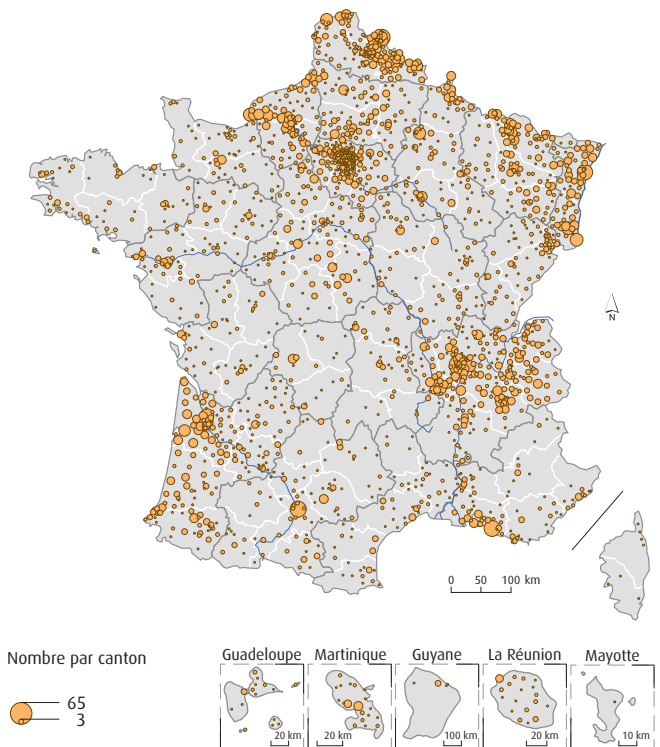
Sur la période 2009-2013, soit une année moyenne 2011, les forêts de production métropolitaines occupent 15,7 millions d'hectares, soit presque 30 % du territoire. La production forestière annuelle atteint 5,7 m<sup>3</sup>/ha. Elle dépend fortement des caractéristiques des sols.

La profondeur des sols et leur charge en cailloux sont particulièrement limitantes, puisqu'elles déterminent le volume de sol exploitable par les racines pour approvisionner l'arbre en eau et en éléments nutritifs. La production annuelle de bois par la forêt est ainsi quatre fois plus importante sur sols profonds que sur sols superficiels et deux fois plus importante que sur sols très caillouteux. Par ailleurs, les sols profonds représentent près de la moitié des surfaces forestières de production, quand les sols très caillouteux en représentent seulement 4 %.

De nombreuses autres caractéristiques des sols influent sur la production forestière, comme leur texture, leur teneur en éléments nutritifs ou l'excès d'eau.

### La gestion des sites et sols pollués ou potentiellement pollués (Basol)

Les sites et sols pollués recensés début 2015



Note : base de données Basol portant sur les sites faisant l'objet d'actions de surveillance ou de réhabilitation.

Source : Medde/DGPR, Basol au 5 mars 2015. Traitements : SOeS, 2015



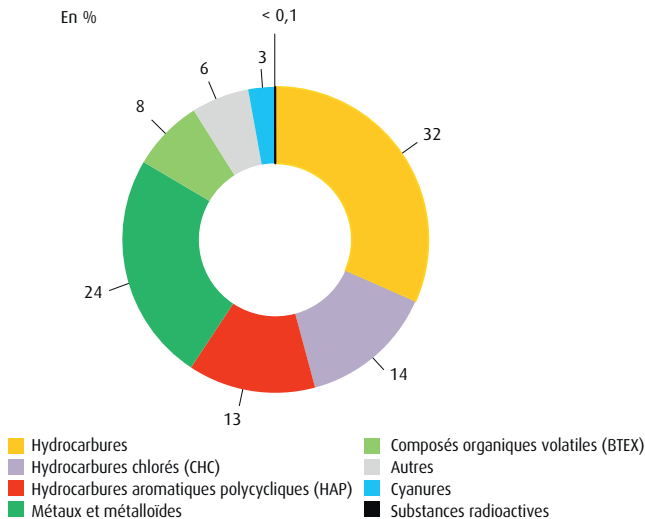
Les sites et sols pollués ou potentiellement pollués (SSP), qui appellent une action de l'administration à titre préventif ou curatif, sont inventoriés depuis le début des années 1990. En raison de son passé industriel, la France recense 5 991 SSP début 2015.

Les anciennes régions minières et les régions les plus urbanisées concentrent le plus de SSP : Rhône-Alpes (16,8 %), Nord – Pas-de-Calais (11,1 %), Aquitaine (9,7 %), Île-de-France (8,6 %). À l'opposé, six régions métropolitaines parmi les plus agricoles (Auvergne, Basse-Normandie, Bretagne, Languedoc-Roussillon, Limousin, Poitou-Charentes), ainsi que l'ensemble des régions d'outre-mer et la Corse, totalisent moins de 10 % de l'ensemble des SSP, soit moins de 2 % pour chacune de ces régions. De plus, les territoires ultra-marins (Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte, Saint-Martin, Réunion) totalisent ensemble moins de 2 % de l'ensemble des SSP recensés dans Basol.

Les sites et sols pollués par une activité actuelle ou ancienne présentent un risque réel ou potentiel pour l'environnement et la santé humaine en fonction des usages qui en sont faits. Ces pollutions ponctuelles concernent quelques dizaines d'hectares, mais peuvent s'étendre sous l'effet de la dispersion (air, eaux). Généralement d'origine industrielle, elles résultent de rejets dans l'air, d'accidents de manutention ou de transport, ou de mauvais confinements de produits toxiques.

### Les polluants identifiés dans les sites et sols pollués

Poids des familles de polluants identifiées dans les sols des sites pollués, début 2015



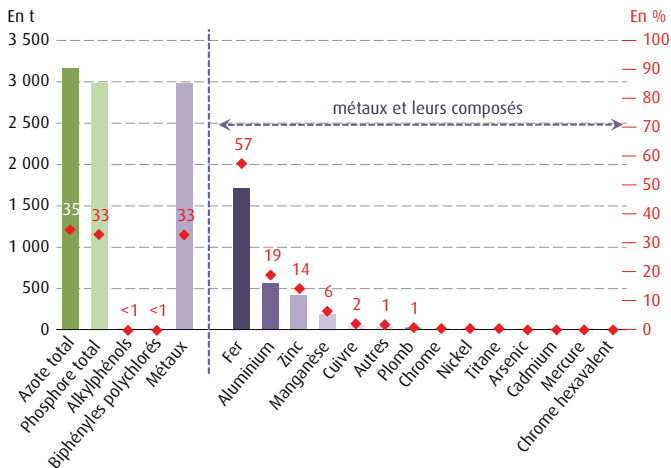
*Note de lecture : un tiers des pollutions des sols identifiées dans Basol implique des hydrocarbures.*  
Source : Medde/DGPR, Basol au 5 mars 2015. Traitements : SOeS, 2015

Les pollutions sont souvent multiples sur un même site. L'analyse de l'ensemble des substances présentes permet de dégager le poids global des grandes familles de polluants. Parmi elles, les hydrocarbures et les métaux et métalloïdes apparaissent comme les deux familles les plus fréquemment identifiées dans les sols des 5 991 sites et sols pollués (SSP) recensés début 2015. Les hydrocarbures sont en cause pour moins d'un tiers de l'ensemble des pollutions et les métaux et métalloïdes pour moins d'un quart. Les trois familles d'hydrocarbures (minérales, chlorés, HAP) représentent un peu moins de 60 % des pollutions multiples des sols. Les cyanures, les BTEX (somme de benzène, toluène, éthylbenzène et xylène) et aux autres contaminants (ammonium, chlorures, pesticides, solvants non halogénés, sulfates, substances radioactives) correspondent chacun à moins de 10 % des pollutions des sols.

Une pollution des eaux souterraines résulte couramment de la pollution des sols des SSP. La répartition des familles de polluants identifiées dans les nappes s'apparente alors fortement à celle des sols, les parts d'hydrocarbures (28 %) ou de métaux et métalloïdes (20 %) étant légèrement inférieures.

### Les émissions de polluants dans les sols

Émissions de polluants dans les sols en 2011, déclarées par les ICPE



Notes : le registre national des émissions polluantes recense les rejets des ICPE supérieurs aux seuils de déclaration réglementaires ; les émissions correspondent aux polluants avant traitement.

Source : Medde/DGPR ; Ineris, registre français des émissions polluantes (Irep).

Traitements : SOeS, 2013

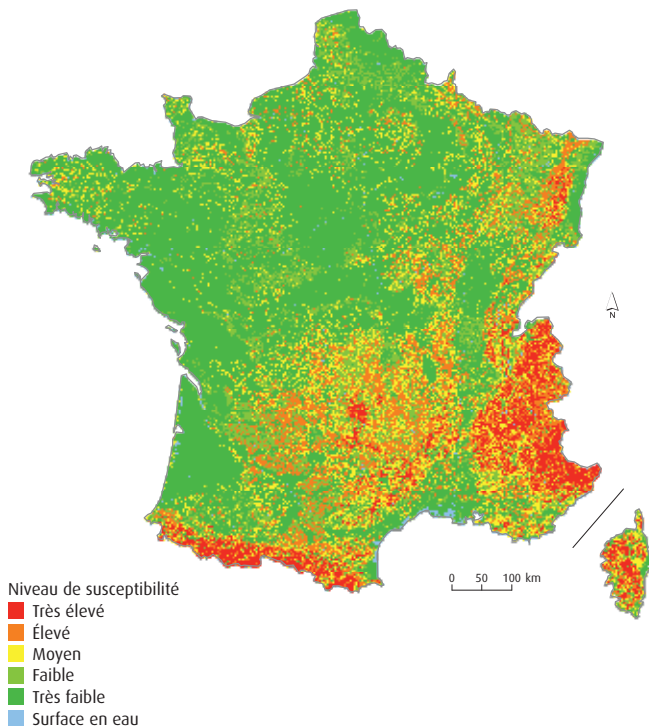
Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) doivent déclarer les quantités de polluants qu'elles émettent et rejettent dans les milieux chaque année. Pour les sols, cela concerne l'épandage de déchets liquides ou de boues. Ces produits proviennent des industries agroalimentaires, des stations d'épuration mixtes, mais également d'autres industries.

En 2011, 164 sites ont déclaré des émissions polluantes dans les sols. L'essentiel des tonnages émis dans le sol concerne l'azote, le phosphore et les métaux, avec environ un tiers chacun (soit environ 3 000 tonnes). Les émissions portent également, en quantités beaucoup plus faibles, sur des polluants organiques toxiques : polychlorobiphényles (17 kg) et alkylphénols (39 kg). Les émissions de métaux concernent essentiellement le fer pour plus de la moitié et l'aluminium pour un cinquième, tandis que l'arsenic, le cadmium et le mercure sont négligeables.

Au niveau territorial, les émissions de phosphore et d'azote les plus importantes proviennent du Nord - Pas-de-Calais (plus d'un tiers) et d'Île-de-France (un cinquième), suivis par les régions Pays de la Loire, Bretagne, Centre et Champagne-Ardenne. Environ la moitié des émissions de métaux dans les sols concerne l'Île-de-France.

### Les glissements de terrain en France

Susceptibilité des versants aux glissements de terrain et aux écoulements



*Note : cette carte prend en compte les facteurs favorables aux glissements de terrain et aux écoulements (géomorphologie, géologie, hydrogéologie, occupation du sol), ainsi que les événements passés, des observations de terrain et des photographies aériennes.*

Source : JRC ; BGR ; CNR-EOST ; CNR-IRPI, ELSUS1000\_v1, 2013 © Günther A., Reichenbach P., Malet J.-P., Van Den Eeckhaut M., Hervás J., Dashwood C., Guzzetti F. Traitements : SOeS, 2013

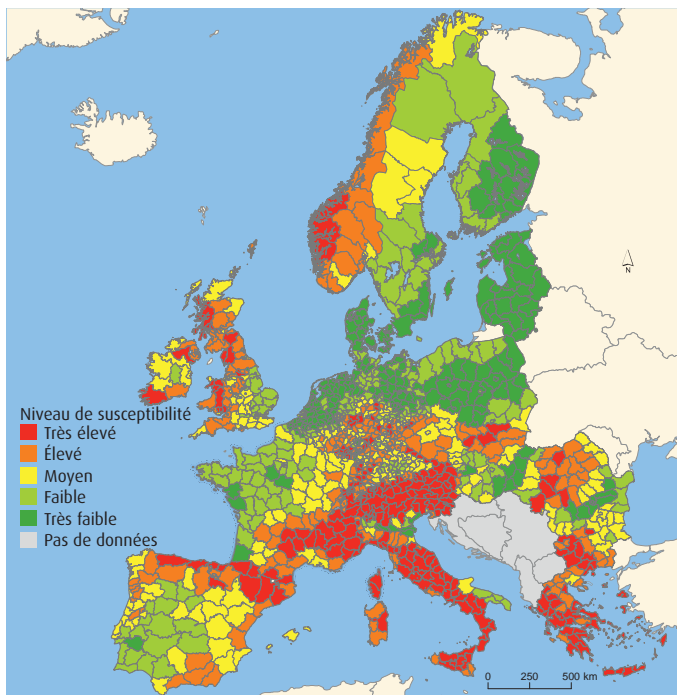
Les glissements de terrain surviennent lors du déplacement de sols ou de roches déstabilisés par des phénomènes naturels (climatiques, géomorphologiques, géologiques) ou par les activités humaines.

La susceptibilité des versants aux glissements de terrain et aux écoulements est estimée faible ou très faible pour deux tiers de la métropole, moyenne pour environ 14 % et élevée ou très élevée pour un peu moins d'un cinquième. Si l'ensemble des régions françaises est concerné, les zones de montagne (Alpes, Corse, Massif central, Pyrénées, Vosges) montrent cependant une prédisposition particulière. Trois régions sont ainsi exposées sur plus de 45 % de leur territoire (Corse, Provence - Alpes - Côte d'Azur, Rhône-Alpes). *A contrario*, la susceptibilité est estimée très faible pour plus de 80 % de la surface en région Centre, Haute-Normandie, Île-de-France, Pays de la Loire et Poitou-Charentes.

Plutôt lents, les glissements peuvent être dévastateurs lorsqu'ils forment des coulées ou des laves torrentielles. C'est très souvent le cas aux Antilles et à la Réunion, lorsque les terrains argileux sur fortes pentes sont soumis aux abondantes précipitations tropicales.

### Les glissements de terrain en Europe

Susceptibilité des versants aux glissements de terrain et aux écoulements



Note : selon découpage UE - Nuts 3.

Source : JRC ; BGR ; CNR-EOST ; CNR-IRPI, ELSUS1000\_v1, 2013 © Günther A., Reichenbach P., Malet J.-P., Van Den Eeckhaut M., Hervás J., Dashwood C., Guzzetti F. Traitements : SOeS, 2013

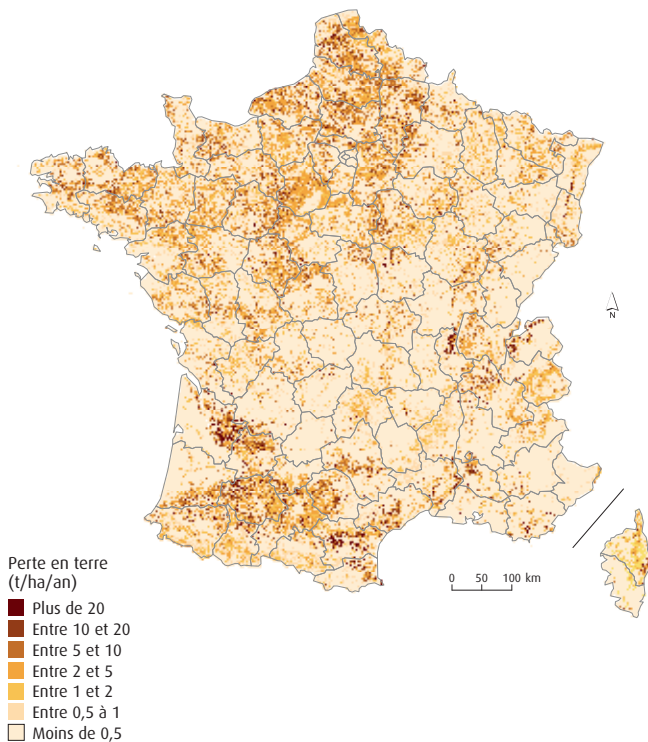


Dans un peu plus d'un tiers des petites régions européennes, la susceptibilité des versants aux glissements de terrain et aux écoulements est estimée élevée ou très élevée. Elle est moyenne pour un cinquième des régions et faible ou très faible pour les autres, soit pour un peu moins de la moitié du territoire européen.

Les zones de relief, telles que le massif pyrénéen, l'arc alpin, les Apennins, la Grèce et dans une moindre mesure la chaîne scandinave, sont particulièrement sensibles aux glissements de terrain et aux écoulements. Ainsi, pour cinq pays (Autriche, Italie, Liechtenstein, Suisse, Slovénie), la susceptibilité aux glissements de terrain est élevée ou très élevée pour plus de 45 % de leur territoire, soit le double de la moyenne européenne. À l'opposé, l'ensemble des petites régions de six pays (Finlande, Danemark, Estonie, Lettonie, Lituanie, Pays-Bas) est classé en susceptibilité faible à très faible.

### L'érosion hydrique des sols en France

Pertes en terre par érosion hydrique des sols



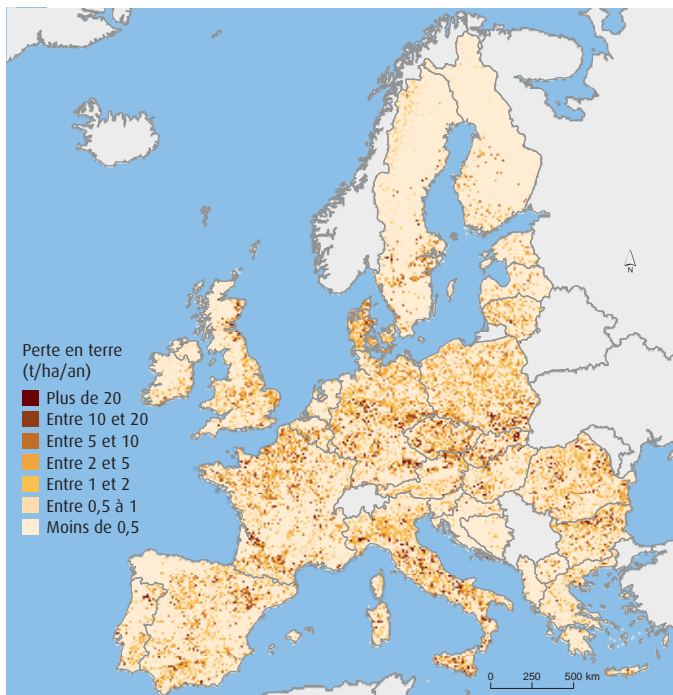
Source : BRGM, d'après Cerdan O. *et al.*, 2010. Traitements : SOeS, 2013

L'érosion, phénomène naturel dû essentiellement aux pluies, dégrade les sols par déplacement des matériaux dont ils sont composés. La perte de la couche fertile en amont et la submersion des cultures ou des infrastructures à l'aval (coulée boueuse) s'accompagnent d'une diminution des rendements agricoles, d'une perturbation de la biodiversité des sols et d'une dégradation de la qualité de l'eau.

L'érosion hydrique des sols est estimée à 1,5 tonne par hectare et par an (t/ha/an) en moyenne en France, contre 1,2 t/ha/an en Europe, avec une forte hétérogénéité spatiale. Ainsi, les régions Picardie, Nord – Pas-de-Calais, Haute-Normandie et Bretagne présentent des risques de pertes en terre supérieurs à 5 t/ha/an sur plus de 10 % de leur territoire. Dans le nord de la France, les terres arables sont particulièrement vulnérables en raison d'un faible couvert végétal une partie de l'année. Le piémont pyrénéen, comme les zones limoneuses du Nord, est également fortement exposé aux pertes en terre. Les vignobles (Languedocien, Bordelais), et dans une moindre mesure les terres cultivées et les vergers, sont les plus sensibles.

### L'érosion hydrique des sols en Europe

Pertes en terre par érosion hydrique des sols



Source : BRGM, d'après Cerdan O. *et al.*, 2010. Traitements : SOeS, 2013

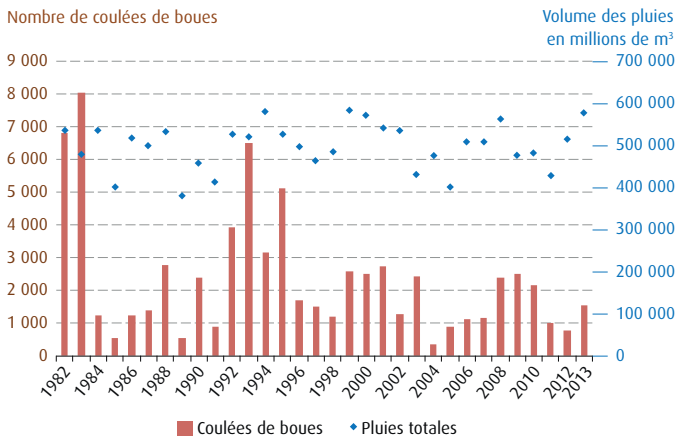
Un peu moins d'un quart des sols européens sont estimés sensibles à des pertes en terre par érosion hydrique supérieures à 1 tonne par hectare et par an (t/ha/an). Cette proportion représente environ 6 % du territoire européen pour les pertes supérieures à 5 t/ha/an et moins de 1 % pour les pertes en terre les plus sévères (plus de 20 t/ha/an).

Les pays les plus touchés sont la Slovaquie, le Danemark, la République tchèque et l'Italie avec une moyenne supérieure ou égale à 2,3 t/ha/an, soit environ le double de la moyenne européenne (1,2 t/ha/an). La France se situe dans la moyenne européenne.

Les pertes en terre varient selon le type de culture. Elles sont très élevées dans les vignobles (17 t/ha/an), de l'ordre de 3 t/ha/an dans les terres cultivées et les vergers, et très faibles en prairies ou en forêts.

### Les coulées d'eau boueuse

Évolution des arrêtés de catastrophes naturelles « coulées de boues »



Source : Medde/DEB ; Medde/DGPR, Gaspar, 2014. Traitements : SOeS, 2014

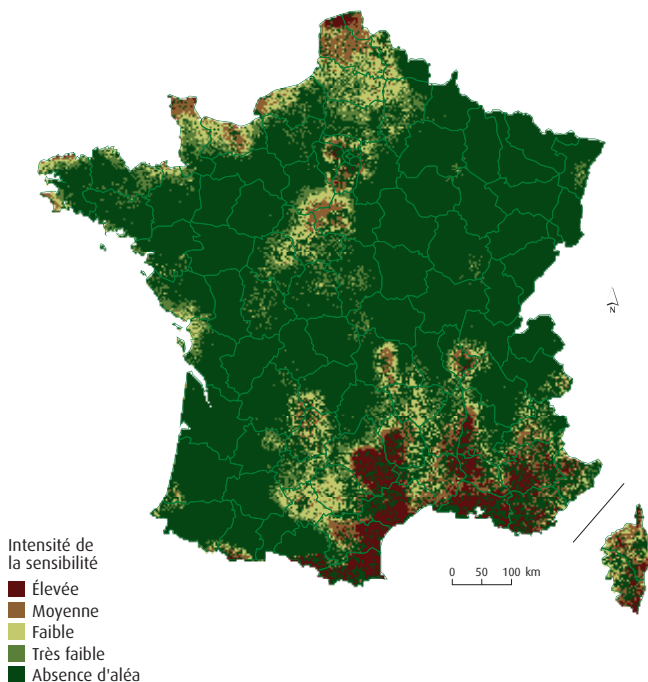
L'érosion des sols peut être catastrophique quand elle génère des coulées d'eau boueuse. Celles-ci résultent généralement de fortes pluies, aggravées par des modifications paysagères apportées par l'homme. Les dégâts qu'elles provoquent font l'objet de demandes d'indemnisation au titre des catastrophes naturelles.

Entre 1982 et 2013, 74 700 arrêtés de catastrophes naturelles « coulées de boues » sont recensés en France. L'évolution du nombre d'arrêtés semble en partie corrélée à celle de la pluviométrie. Par ailleurs, la mise en place du régime d'indemnisation au titre des catastrophes naturelles date de 1982. Sur une période de 30 ans entre 1982 et 2012, un cinquième des arrêtés relatifs aux coulées de boues ont été enregistrés les deux premières années et 9 % en 1993.

Si environ trois quarts des communes françaises ont été concernées au moins une fois, les coulées d'eau boueuse couvertes par des arrêtés de catastrophes naturelles se concentrent sur un nombre limité de communes. Plus d'un tiers des coulées ont lieu dans des communes en ayant déclaré au moins cinq (soit 12 % des communes). Onze départements totalisent ainsi plus d'un quart des arrêtés, avec chacun plus de 1 500 évènements.

### L'érosion éolienne des sols en France

Sensibilité des sols à l'érosion éolienne



Source : JRC/Institute of Environment and Sustainability, 2014, d'après Borrelli P. *et al.*, 2014.  
Traitements : SOeS, 2015



L'érosion éolienne, comme l'érosion hydrique, est un phénomène naturel de dégradation des sols, accéléré localement par les activités humaines (friches, surpâturage, surexploitation). Une certaine intensité du vent, des caractéristiques de sols spécifiques et l'absence de couvert protecteur sont les déclencheurs de l'érosion.

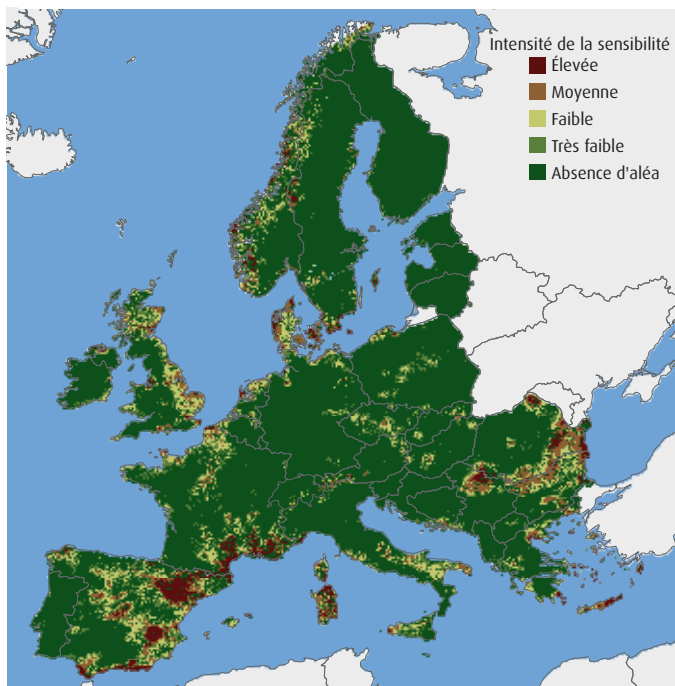
En France, un quart des sols présentent une susceptibilité à l'érosion éolienne, dont 4 % une prédisposition élevée.

Le Languedoc-Roussillon et Provence – Alpes – Côte d'Azur présentent les plus fortes sensibilités à l'érosion par le vent (plus d'un quart de leur territoire). Cela s'explique probablement par la combinaison de vents forts, de sols secs et peu couverts sur le golfe du Lion.

D'autres secteurs balayés par les vents marins sont également touchés, mais dans une moindre mesure : le littoral normand, le Nord – Pas-de-Calais et la Corse. Il en va de même des régions de grande culture, telles que le Centre ou la Picardie.

### L'érosion éolienne des sols en Europe

#### Sensibilité des sols à l'érosion éolienne



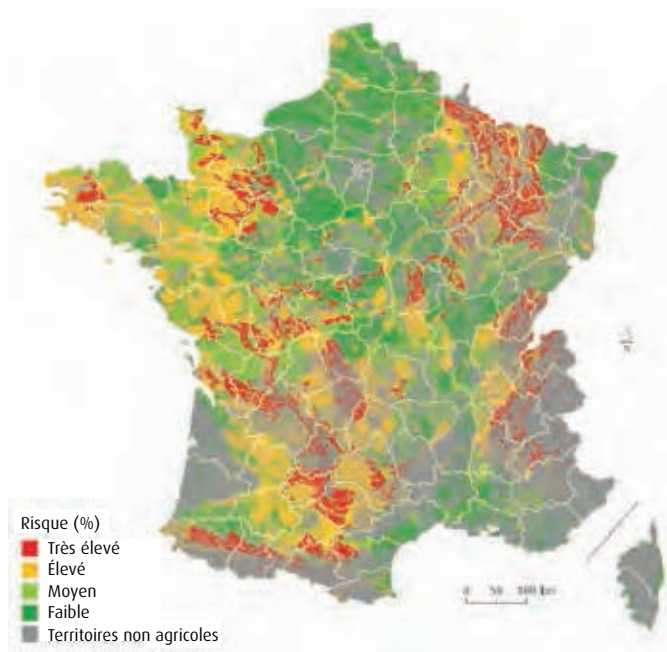
Source : JRC/Institute of Environment and Sustainability, 2014, d'après Borrelli P. *et al.*, 2014.  
Traitements : SOeS, 2015

À l'échelle de l'Europe, un peu plus d'un cinquième des sols présentent une sensibilité à l'érosion éolienne, dont 3 % (soit 13 millions d'hectares) une sensibilité forte.

Si la plupart des pays sont concernés par l'érosion éolienne, seuls quelques-uns semblent présenter une forte sensibilité : Danemark (16,2 % du territoire), Espagne (10,2 %), Grèce (7,9 %), Chypre (6,4 %), Roumanie (5,4 %), France (4,3 %). En Méditerranée, les sols sont très sensibles ou moyennement sensibles à l'érosion éolienne le long de la côte sud-ouest de l'Espagne, le long du golfe du Lion en France et sur les îles françaises, grecques et italiennes. Dans le nord de l'Europe, les régions les plus sensibles se situent sur le littoral de la Manche en France et aux Pays-Bas. En mer du Nord, cela concerne le sud-ouest de l'Angleterre et de l'Écosse, une large partie du Danemark et les côtes de la péninsule scandinave. Enfin, les côtes roumaines et bulgares le long de la mer Noire et dans les plaines bordant les montagnes des Carpates montrent également des sensibilités élevées.

### La compaction des sols en France

Sensibilité à la compaction des sols agricoles cultivés en blé



*Note : le risque de tassement des sols correspond à un pourcentage d'années sur une période de 30 ans, pour lequel un tassement sévère peut survenir lors de la préparation du semis (octobre), des traitements (février, mars) et de la récolte du blé d'hiver (juillet-août).*

Source : M.P. Lefebvre, 2010. Traitements : SOeS, 2015

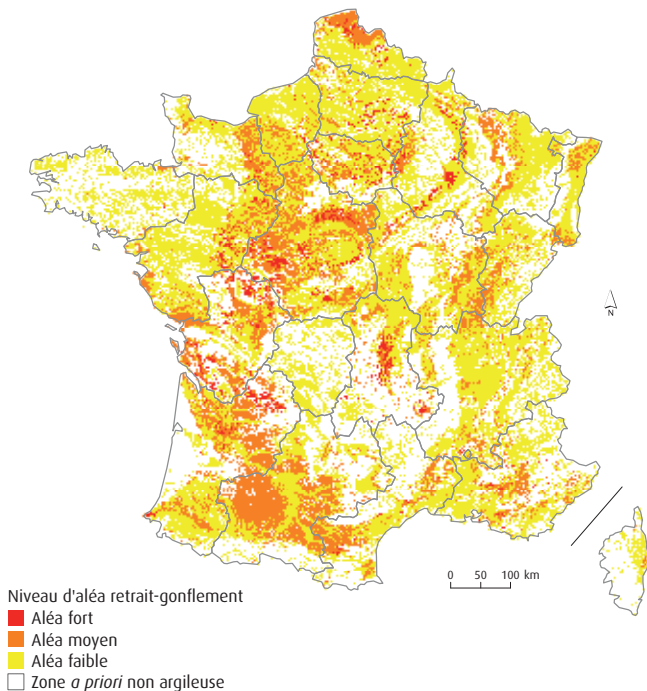
La compaction, ou le tassement, résulte essentiellement de la mécanisation agricole et forestière. Elle dépend du sol, du climat et des pratiques des exploitants. Outre une baisse de la production, la compaction des sols favorise le lessivage des nitrates, les émissions de protoxyde d'azote, le ruissellement et l'érosion. Elle affecte également la biodiversité des sols.

Pour le blé, toutes périodes confondues (préparation/semis, traitements, récolte), le risque de tassement très élevé concerne 15 % des sols agricoles, tandis que le risque élevé touche environ un tiers des sols.

Il existe de fortes disparités spatiales. Globalement, l'Ouest et l'Est, à l'exception de l'Alsace et des Alpes, sont particulièrement concernés. Plus localement, le risque est estimé élevé ou très élevé pour plus de deux tiers des sols agricoles en Midi-Pyrénées, en Lorraine ou en Limousin.

### L'aléa retrait-gonflement des argiles

Aléa retrait-gonflement des sols argileux



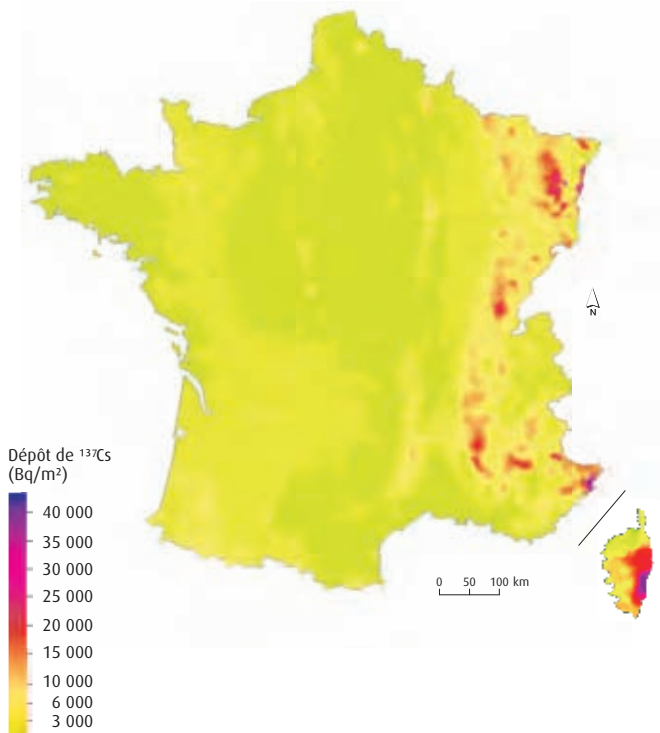
Certains minéraux argileux peuvent varier de volume selon la teneur en eau des sols. Ils se rétractent lors des périodes de sécheresse et gonflent en se réhydratant à la suite de situations météorologiques exceptionnelles, accentuées par les variations du niveau d'éventuelles nappes souterraines. Ce phénomène s'aggrave lorsque des modifications hydrologiques interviennent du fait des activités humaines (drainage, pompage, fuites de canalisation, plantations, imperméabilisation). Ces mouvements de terrain lents peuvent néanmoins endommager les bâtiments.

L'aléa fort concerne 2 % de la France métropolitaine (soit 10 600 km<sup>2</sup>), l'aléa moyen 15 %, l'aléa faible 44 %. *A contrario*, environ 40 % de la métropole ne seraient pas concernés par ce phénomène.

La moitié des zones d'aléa fort se concentre sur trois régions : Centre, Poitou-Charentes et Auvergne. Les argiles, marnes et calcaires de l'Oligocène en Limagne et dans le Val d'Allier sont en effet particulièrement riches en argiles gonflantes, comme les marnes et calcaires ou marnes et sables de l'Orléanais. Les sols antillais riches en argiles gonflantes sont également particulièrement sensibles à ce phénomène : un dixième de la côte ouest de la Basse-Terre en Guadeloupe et un cinquième en Martinique.

### La radioactivité d'origine artificielle

Activités potentielles du  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols en 2006



Source : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2010



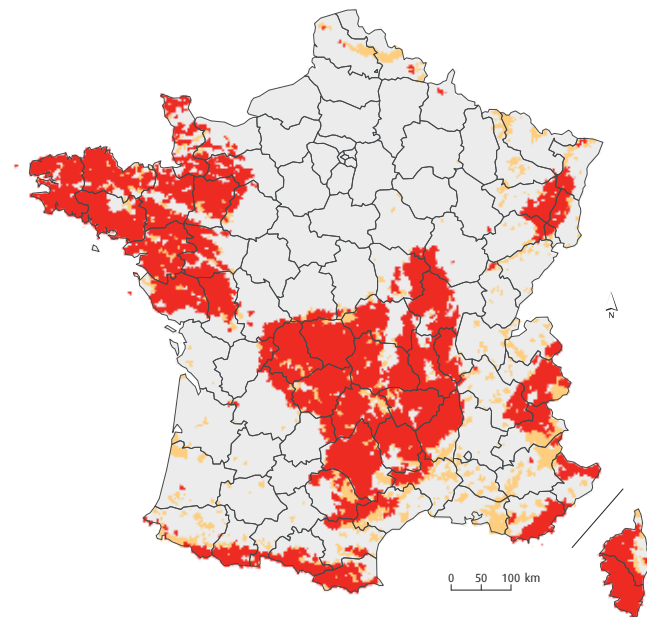
En France, le césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) est le radionucléide artificiel le plus abondant. Il provient soit des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires (1945-1980), soit des dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl (mai 1986). Jusqu'au début des années 1990, le milieu atmosphérique constituait le réservoir principal de  $^{137}\text{Cs}$ . Après dépôt progressif, le sol est devenu aujourd'hui le réservoir principal pour ce radio-isotope, qui peut être remobilisé sous l'effet de l'érosion.

En France, les dépôts de  $^{137}\text{Cs}$  les plus importants localisés dans l'Est résultent des fortes pluies s'étant produites à la suite du passage du nuage de Tchernobyl. Les niveaux sont toutefois très inférieurs à ceux observés en Ukraine, en Biélorussie et en Russie.

Considéré comme très peu mobile dans la plupart des sols car il se fixe sur les minéraux argileux, le  $^{137}\text{Cs}$  peut néanmoins rejoindre l'eau du sol en condition acide. Il est alors susceptible d'être assimilé par les organismes vivants (végétation, etc.), avec un risque d'accumulation. Même si sa biodisponibilité diminue au cours des années (demi-vie de 30 ans), le  $^{137}\text{Cs}$  est encore très régulièrement mesuré dans les champignons ramassés en France.

### La radioactivité d'origine naturelle : le radon

Potentiel radon des formations géologiques en 2010



Potentiel radon

■ Moyen ou élevé

■ Faible mais facteurs géologiques susceptibles de faciliter les transferts

■ Faible

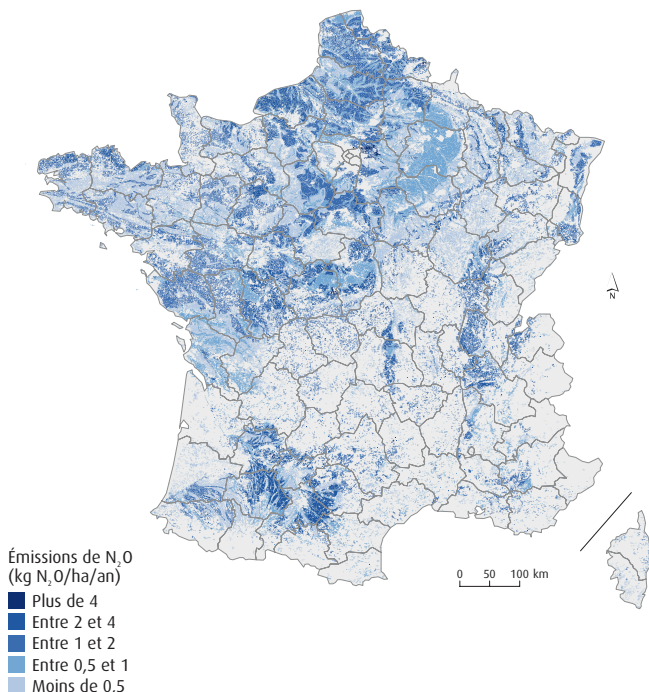
Sources : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2010 ; © IGN, Route 500®

Le radon 222 est un gaz radioactif naturellement présent dans les sols développés dans certaines roches (granit, gneiss, volcaniques acides). Le radon migre dans les sols depuis la roche jusqu'à l'atmosphère et peut s'accumuler à l'intérieur des bâtiments. Ce radionucléide fait partie des substances classées comme cancérigène certain depuis 1987.

En France métropolitaine, le potentiel radon du sous-sol se révèle moyen ou élevé pour 20 % des communes. Cette catégorie concerne au moins une commune sur deux dans 21 départements. Parmi eux, figure l'ensemble des départements des régions Auvergne, Bretagne et Limousin. Le phénomène touche toutefois plus particulièrement la Haute-Corse, la Creuse et la Haute-Vienne, pour lesquelles au moins 90 % des communes sont concernées. Le radon est surtout présent dans les grands massifs granitiques ou gneissiques (Massif armoricain, Massif central, Corse, Vosges), ainsi que dans certains grès et schistes noirs.

### Les émissions de protoxyde d'azote par les grandes cultures

Estimation des émissions de protoxyde d'azote par les grandes cultures en 2007



Note : estimation des émissions totales de  $N_2O$  (directes, par fertilisation minérale, et indirectes, par dépôt atmosphérique d'azote) pour 7 types de cultures : blé, maïs, orge, colza, betterave à sucre, pois et jachère (modèle CERES-EGC).

Source : Improved Assessment of the Greenhouse gas balance of bioenergy Pathways, Gabrielle B., Gagnaire N., Massad R. S., Prieur V. (Imagine), rapport de projet, 2013

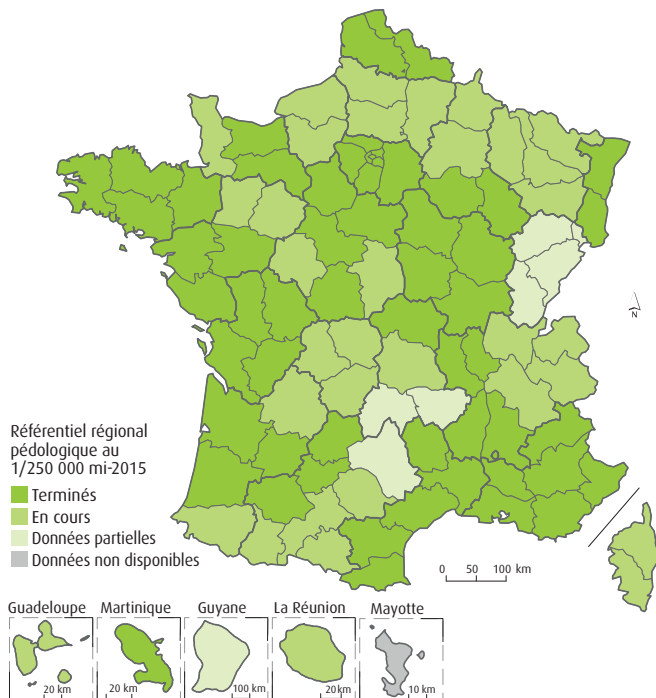
Le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) est un gaz à effet de serre avec un pouvoir réchauffant 300 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ).

En 2012, 80 % des émissions de  $N_2O$  en métropole proviennent des cultures. En effet, certains micro-organismes des sols transforment une partie des apports azotés d'origine minérale ou animale en  $N_2O$ . Celui-ci représente ainsi 55 % des émissions de gaz à effet de serre issues de l'agriculture. Ces émissions ont baissé de 17 % depuis 1990, mais moins que les autres secteurs émetteurs.

La répartition des émissions sur le territoire varie en fonction des zones de culture, du climat, mais également des types de sols. Les zones à faibles émissions correspondent à des régions de sols plutôt acides (Bretagne) ou calcaires (Champagne-Ardenne, sud de Poitou-Charentes). Le Bassin parisien (Beauce, Haute-Normandie, Picardie) présente des niveaux d'émissions moyens à forts sur des sols à fort potentiel d'émission (sols lessivés). En Midi-Pyrénées, les zones ayant des émissions élevées correspondent aux sols limoneux et argileux ayant une tendance aux excès d'eau.

## Programme inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS)

État d'avancement des inventaires sur les sols en France, mi-2015

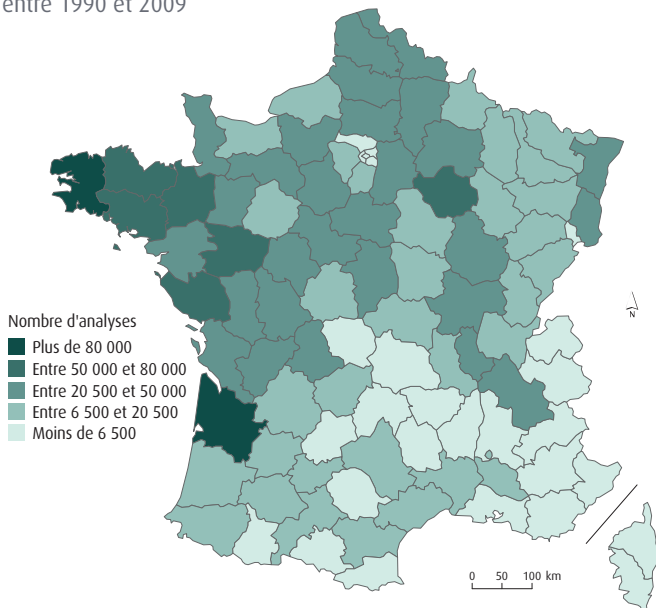


Source : Gis Sol, IGCS, 2013. Traitements : SOeS, 2013

Fin 2013, 58 départements ont finalisé leur référentiel régional pédologique à l'échelle 1/250 000, établi dans le cadre du programme IGCS. Ces inventaires identifient les principaux types de sols d'un territoire, et caractérisent leurs propriétés présentant un intérêt agricole ou environnemental.

## La base de données des analyses de terre (BDAT)

Analyses collectées dans la base de données des analyses de terre entre 1990 et 2009

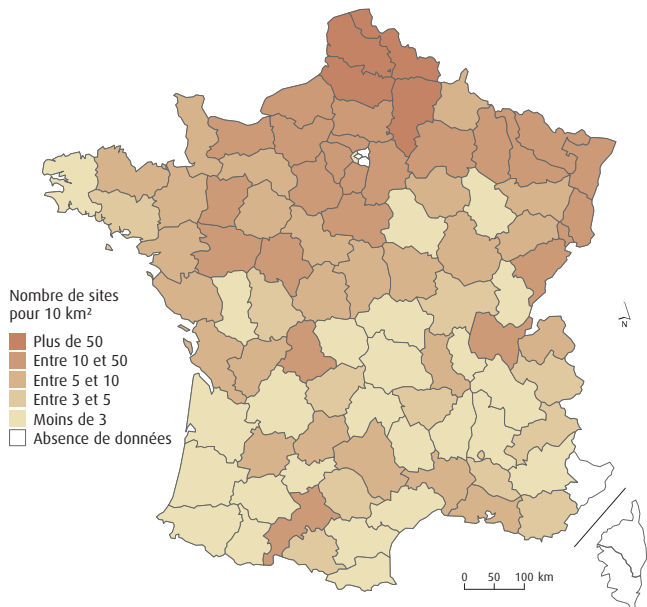


Source : Gis Sol, BDAT, 2009. Traitements : SOeS, 2013

La BDAT rassemble des résultats d'analyses de sols portant sur la fertilité (azote, phosphore, potassium, etc.), la granulométrie (argile, limon, sable) et les métaux et métalloïdes. Les analyses sont réalisées majoritairement à la demande des agriculteurs auprès de laboratoires agréés par le ministère de l'Agriculture, pour raisonner leur fertilisation.

### La base de données des éléments traces métalliques (BDETM)

Collecte nationale d'analyses d'éléments traces métalliques en 2009



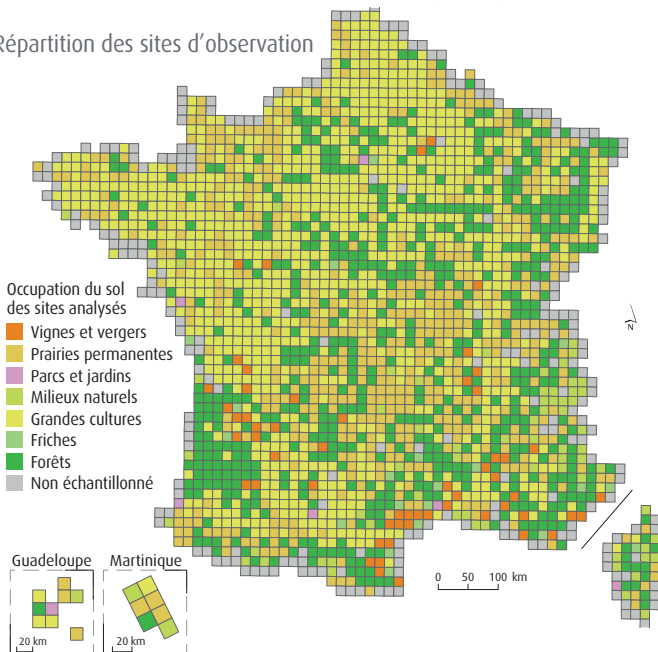
Source : Gis Sol, BDETM, 2009. Traitements : SOeS, 2013

La BDETM rassemble les résultats d'analyses en métaux réalisées entre 1988 et 2009 pour près de 74 000 sites, préalablement à l'épandage de boues d'épuration urbaines sur des sols agricoles.



## Le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS)

Répartition des sites d'observation



Source : Gis Sol, RMQS, 2011. Traitements : SOeS, 2015

Le RMQS regroupe 2 200 sites d'observation couvrant l'ensemble du territoire français, à raison d'un par maille carrée de 16 km de côté. La première campagne (2000-2009), a permis de caractériser la présence de 9 métaux, de certains polluants organiques persistants et de recueillir des éléments sur les teneurs en carbone. La deuxième campagne (2015-2026) portera sur le changement climatique et les gaz à effet de serre. Les échantillons prélevés sont archivés dans un conservatoire européen des échantillons de sols géré par l'Inra.

## Sigles et abréviations

**BDGSF** base de données géographique des sols de France

**CO<sub>2</sub>** dioxyde de carbone

**CORINE Land Cover** coordination de l'information sur l'environnement

**<sup>137</sup>Cs** césium 137

**DHEP** di(2-éthylhexyl)phtalate

**HAP** hydrocarbures aromatiques polycycliques

**ICPE** installations classées pour la protection de l'environnement

**Nodu** nombre de doses unités de produits phytosanitaires utilisés en agriculture

**Nuts** nomenclature des unités territoriales statistiques

**N<sub>2</sub>O** protoxyde d'azote

**PCB** polychlorobiphényles

**RU** réservoir utile en eau des sols

**SAU** surface agricole utilisée

**STEU** station de traitement des eaux usées

**SSP** sites et sols pollués

## Unités

**Bq/m<sup>2</sup>** becquerel par m<sup>2</sup>

**Gt** gigatonne

**ha** hectare

**ha/an** hectare par an

**ind./m<sup>2</sup>** individus par m<sup>2</sup>

**ind./g** individus par gramme

**kg/ha** kilogramme par hectare

**mg/g** milligramme par gramme

**mg/kg** milligramme par kilogramme

**Mha** million d'hectares

**mm** millimètre

**m<sup>3</sup>/ha/an** mètre cube par hectare et par an

**kt MS** millier de tonnes de matières sèches

**Mt** million de tonnes

**t** tonne

**t C/ha/an** tonne de carbone organique par hectare et par an

**t/an** tonne par an

**t/ha** tonne par hectare

**t/ha/an** tonne par hectare et par an

**µg** microgramme

**µg/g** microgramme par gramme

**µg/kg** microgramme par kilogramme

## Sigles et liens utiles

### **Ademe**

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

<http://www.ademe.fr/>

### **Agrreste**

Statistique agricole du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/>

### **Basol**

Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif

<http://basol.developpement-durable.gouv.fr/>

### **BDAT**

Base de données des analyses de terre

<http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/base-de-donnees-danalyses-des-terres-bdat-62>

### **BDETM**

Base de données des éléments traces métalliques

<http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/base-de-donnees-elements-traces-metalliques-bdetm-65>

### **BRGM**

Bureau de recherches géologiques et minières

<http://www.brgm.fr/>

### **CE/JRC**

Portail du Centre européen de données sur les sols de la Commission européenne

<http://esdac.jrc.ec.europa.eu/>

### **Citepa**

Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

<http://www.citepa.org/fr/>

### **FFTB**

Fédération française des tuiles et des briques

<http://www.ffmpeg.org/>

### **Gaspar**

Gestion assistée des procédures administratives relatives aux risques naturels et technologiques

<http://macommune.prim.net/gaspar/>

### **Genosol**

Plateforme GenoSol de l'Inra de Dijon : système d'information sur la diversité microbienne des sols et de l'environnement

[http://www2.dijon.inra.fr/plateforme\\_genosol/plateforme-genosol](http://www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol/plateforme-genosol)

### **Gis Sol**

Groupement d'intérêt scientifique Sol

<http://www.gissol.fr/>

### **IGCS**

Inventaire, gestion et conservation des sols

<http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/inventaire-gestion-et-conservation-des-sols-igcs-67>

### **IGN**

Institut national de l'information géographique et forestière

<http://www.ign.fr/>

### **Ineris**

Institut national de l'environnement industriel et des risques

<http://www.ineris.fr/>

### **Inra**

Institut national de la recherche agronomique

<http://www.inra.fr/>

### **Inventaire forestier**

Inventaire forestier de l'Institut national de l'information géographique et forestière

<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/>

### **IRD**

Institut de recherche pour le développement

<https://www.ird.fr/>

### Irep

Registre français des émissions polluantes  
<http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

### IRSN

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire  
<http://www.irsn.fr/>

### Maaf

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt  
<http://www.agriculture.gouv.fr/>

### Medde

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie  
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

### OPVT

Observatoire participatif des vers de terre  
[http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT\\_accueil.php](http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php)

### RMQS

Réseau de mesures de la qualité des sols  
<http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/rmq3-34>

### SOeS

Service de l'observation et des statistiques du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie  
<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

### UIPP

Union des industries de la protection des plantes  
<http://www.uipp.org/>

### Unicem

Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction  
<http://www.unicem.fr/>

### Unifa

Union des industries de la fertilisation  
<http://www.unifa.fr/>





**Commissariat général  
au développement durable**

Service de l'observation  
et des statistiques

Tour Séquoia

92055 La Défense cedex

Mél. : [diffusion.soes.cgdd@](mailto:diffusion.soes.cgdd@developpement-durable.gov.fr)

[developpement-durable.gov.fr](http://developpement-durable.gov.fr)

