

## Le sol

**Le sol est une composante essentielle de l'environnement. Le suivi des contaminations par le plomb, le cuivre et la surveillance de l'enrichissement en phosphore révèle le poids du passé et des pollutions diffuses d'origine industrielle, urbaine et agricole. Les sols à proximité des grandes agglomérations et régions fortement industrialisées sont affectés par le plomb issu des retombées atmosphériques et ceux des vignobles et vergers par le cuivre provenant des traitements phytosanitaires. La teneur en phosphore augmente dans les sols agricoles de nombreuses régions, malgré une baisse des livraisons d'engrais phosphatés.**

Le sol rend de nombreux services écosystémiques : il filtre les eaux, abrite une abondante biodiversité, régule le cycle du carbone et de l'azote et sert la production agricole et forestière. Mais il subit de nombreuses pressions, principalement liées aux activités humaines : développement urbain, activités industrielles et agricoles. Selon sa nature et ses propriétés, le sol est plus ou moins vulnérable à ces pressions. Ces préoccupations sont clairement identifiées aux niveaux français et européen<sup>1</sup>. Cependant, si les sites et sols pollués bénéficient d'un recensement<sup>2</sup> et d'une législation spécifiques, la contamination diffuse des sols est plus difficile à appréhender.

### La contamination des sols par les éléments traces, un danger pour les écosystèmes et l'homme

Les éléments traces (ET), comme le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc, sont naturellement présents dans les sols, comme héritage de l'altération des roches. Les ET proviennent également de contaminations locales liées à des activités industrielles ou d'apports agricoles concentrés. Les contaminations diffuses sont liées aux apports

par voie aérienne issus des rejets industriels et des transports et aux épandages agricoles. Au-delà d'un certain seuil et suivant leur nature chimique, les teneurs en ET peuvent devenir toxiques pour l'homme et un grand nombre d'espèces végétales ou animales, s'accumuler dans les différentes chaînes alimentaires des écosystèmes et altérer la biodiversité des sols. En milieu péri-industriel, le niveau élevé de contamination peut également affecter le comportement, la densité et l'activité des communautés microbiennes et de la macrofaune du sol et ainsi impacter la structure et le fonctionnement des sols.

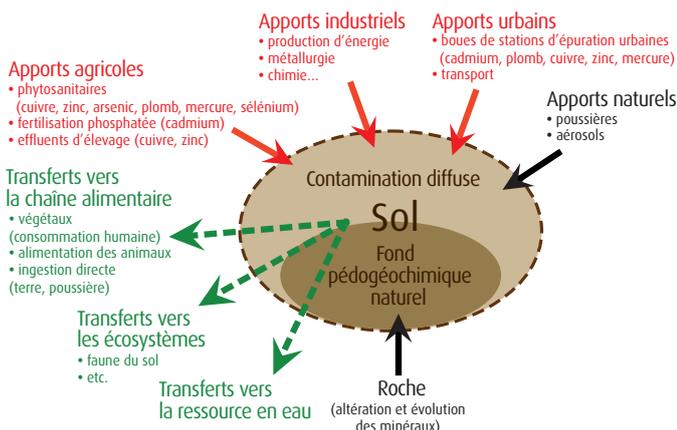
### Le poids de l'urbanisation dans la contamination par le plomb

Le plomb est fortement lié à la matière organique présente dans la partie superficielle des sols. Il est donc peu disponible pour les plantes et les apports en plomb de nature anthropique déposés en surface migrent très peu en profondeur. Les fortes teneurs en surface sont donc liées aux activités humaines (transports, industrie, mines, boues urbaines, traitements phytosanitaires) et celles en profondeur à l'altération des roches. La comparaison des teneurs en surface et en profondeur permet de mettre en évidence l'impact lié aux activités humaines. Le trafic automobile serait à l'origine de plus de 90 % des contaminations diffuses par le plomb avant la commercialisation de l'essence sans plomb en 1990. Les activités minières ont également joué un grand rôle depuis l'Antiquité.

D'après les traitements récents des données du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) mesurées entre 2000 et 2009, les sols contenant moins de 30 mg/kg de plomb représentent 55 % des analyses de surface en métropole et ceux entre 30 et 100 mg/kg, 43,5 %. En revanche, les teneurs supérieures à 100 mg/kg ne représentent que 1,5 %<sup>4</sup>, dont un tiers est situé à moins de 30 km d'une grande agglomération (Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Nantes, Paris, Strasbourg...). Un autre tiers est localisé dans un rayon de 30 km autour d'agglomérations plus modestes (Alès, Arras, Belfort, Lens, Tarbes...). Les sols des Antilles ont de très faibles teneurs en plomb, puisque les sols développés dans les basaltes sont particulièrement pauvres en plomb.

En profondeur, les plus fortes teneurs en plomb sont situées dans les zones de contact entre les bassins sédimentaires et les massifs cristallins, notamment dans le Morvan, les Cévennes et certaines zones du Massif central. Les teneurs élevées dans le Poitou sont à relier aux sols ferrallitiques de cette région (« terres rouges »), également considérés comme anomalies naturelles.

#### Origine des éléments traces métalliques des sols



Note : Les teneurs agricoles habituelles (TAH) associent les ET issus de l'altération des roches puis de l'évolution des sols (fond pédogéochimique naturel), aux apports liés à l'agriculture et aux retombées atmosphériques diffuses (contamination diffuse). La collecte nationale d'analyses d'éléments traces métalliques (BDETM<sup>3</sup>) fait une synthèse des TAH.

Source : SOeS, 2009.

<sup>1</sup> Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement ; Projets de directive-cadre européenne sur les sols (COM (2006) 231 et 232), sur l'énergie (COM(2008) 19).

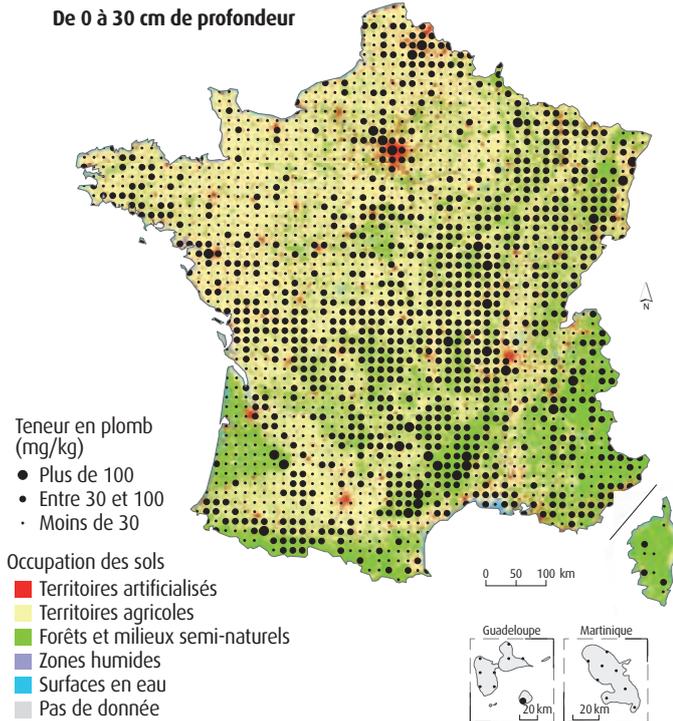
<sup>2</sup> Base de données sur les sites et sols pollués Basol : <http://basol.ecologie.gouv.fr>

<sup>3</sup> <http://www.gissol.fr/programme/bdetm/bdetm.php>

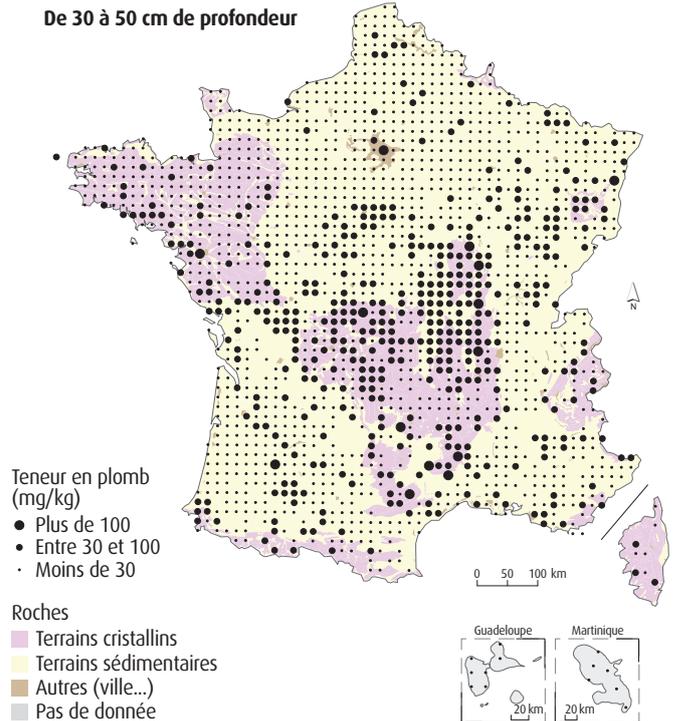
<sup>4</sup> La teneur maximale mesurée par le RMQS est de 624 mg/kg en métropole.

Teneurs totales en plomb dans les sols mesurées sur 2000-2009

De 0 à 30 cm de profondeur



De 30 à 50 cm de profondeur



Note : Les teneurs totales en plomb mesurées par le RMQS sont comprises entre 3 et 624 mg/kg en surface et entre 2 et 342 mg/kg en profondeur pour les sols métropolitains. Dans les sols des Antilles, elles s'échelonnent entre 7 et 51 mg/kg en surface et entre 6 et 16 mg/kg en profondeur.

Source : Gis Sol, RMQS, 2009 - UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006. Traitements : SOeS, 2009.

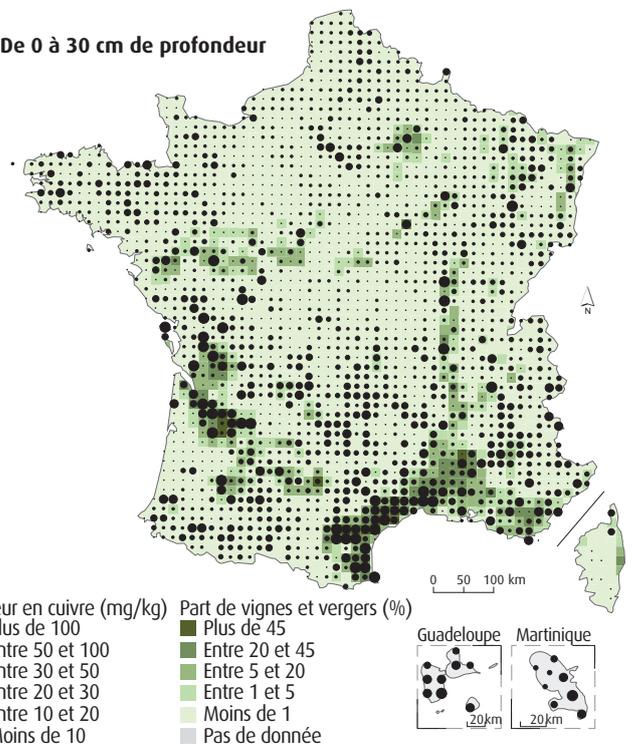
L'influence des cultures viticoles et des vergers dans la contamination diffuse des sols par le cuivre

Pour les sols non contaminés, on observe des teneurs couramment inférieures à 20 mg/kg. Les sols développés dans des formations sableuses ou gréseuses sont pauvres en cuivre (Landes de Gascogne, Sologne, Vosges). Les teneurs relativement élevées dans les Antilles sont liées à l'altération des roches magmatiques basiques riches en cuivre.

Les teneurs les plus fortes sont mesurées dans les vignobles et vergers contaminés par les traitements fongicides récurrents, à base de sulfates de cuivre (« bouillie bordelaise »). Cet effet est particulièrement visible dans les vignobles de Gironde et du Languedoc-Roussillon. Ils rassemblent 62 % des teneurs en cuivre supérieures à 100 mg/kg. En Champagne, dans la vallée du Rhône, en Alsace et dans les Pays de la Loire, cet effet est moins visible : le faible nombre de sites échantillonnés par le RMQS dans ces terroirs de surface réduite ne permet probablement pas de le mettre en évidence. Plus de 85 % des faibles teneurs en

Teneurs totales en cuivre dans les sols mesurées sur 2000-2009

De 0 à 30 cm de profondeur



Teneur en cuivre (mg/kg)

- Plus de 100
- Entre 50 et 100
- Entre 30 et 50
- Entre 20 et 30
- Entre 10 et 20
- Moins de 10

Part de vignes et vergers (%)

- Plus de 45
- Entre 20 et 45
- Entre 5 et 20
- Entre 1 et 5
- Moins de 1
- Pas de donnée

Note : La part occupée par les vignes et les vergers a été calculée pour chaque maille de 16 km de côté du RMQS. Les teneurs totales en cuivre mesurées dans les sols sont comprises entre 1 et 508 mg/kg en métropole et entre 27 et 156 mg/kg dans les Antilles.

Source : Gis Sol, RMQS, 2009 - UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006. Traitements : SOeS, 2009.

DONNÉES & MÉTHODOLOGIE

La mesure des teneurs en éléments traces des sols

Les teneurs en plomb et en cuivre des sols proviennent de la première campagne de mesures (2000-2009) du RMQS du Groupement d'intérêt scientifique sur le sol (Gis Sol). Il regroupe un réseau systématique de 2 200 sites d'observation en France, à raison d'un par maille carrée de 16 km de côté. Il a essentiellement pour but de détecter la contamination diffuse des sols et d'en suivre l'évolution au fur et à mesure des campagnes de mesures. Neuf éléments traces sont mesurés dans ce cadre : le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le molybdène, le nickel, le plomb, le thallium et le zinc.

cuivre (< 20 mg/kg) sont mesurées dans les zones faiblement occupées par les vignobles et vergers (< 1 %). *A contrario*, 53 % des fortes teneurs en cuivre (> 100 mg/kg) sont localisées dans des zones occupées à plus de 20 % par des vignes et vergers.

## Le phosphore dans les sols : le poids de l'héritage des pratiques agricoles

L'utilisation du phosphore en agriculture s'est généralisée en France depuis les années cinquante pour améliorer la croissance des végétaux. Le phosphore contenu dans les plantes récoltées n'étant pas restitué aux sols, il est compensé par l'apport d'engrais phosphatés organiques (environ 50 %) ou minéraux (environ 50 %). Les engrais organiques sont issus d'effluents d'élevage (fumiers, lisiers) ou d'effluents urbains (domestiques, industriels, boues de stations d'épurations - Step). Les engrais minéraux sont obtenus par traitement industriel de phosphates issus de gisements naturels. Exploités principalement au Maroc (45,5 %), en Chine (28 %) et aux États-Unis (7,5 %), ils pourraient être épuisés d'ici cent ans selon l'*US Geological Survey*.

### Le phosphore, une menace pour l'environnement

L'apport de phosphore est une nécessité agronomique mais, associé aux nitrates en excès, il contribue à l'eutrophisation des eaux de surface. L'excès de phosphore rejoint les milieux aquatiques sous forme dissoute dans l'eau du sol ou fixé sur des particules issues majoritairement du ruissellement et de l'érosion. D'importantes proliférations végétales ou algales apparaissent alors, diminuant la qualité des eaux et la biodiversité aquatique. Certains engrais minéraux phosphatés peuvent introduire du cadmium dans l'environnement, toxique pour l'homme, en concentration variable en fonction des zones d'extraction des phosphates. Enfin, les boues de Step recyclées en agriculture peuvent aussi présenter des risques sanitaires pour l'homme et l'environnement. Elles peuvent contenir des micropolluants organiques, des micro-organismes pathogènes ou des métaux.

#### Martinique : une fertilisation phosphatée limitée

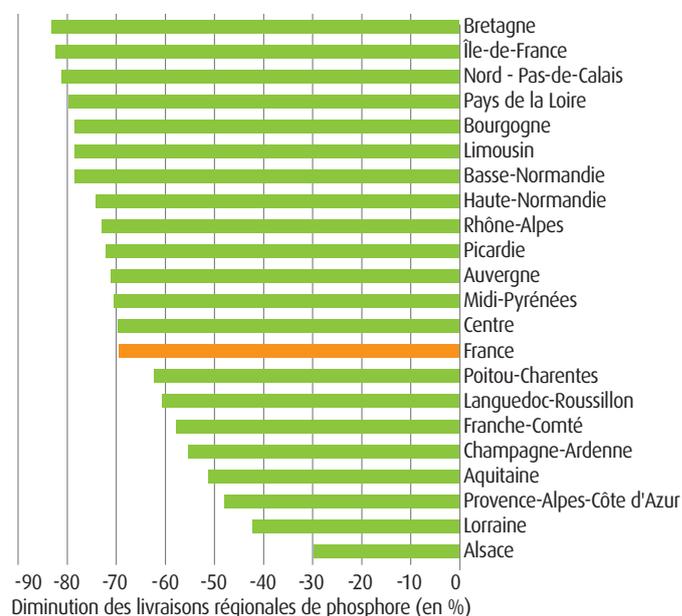
Actuellement, la fertilisation phosphatée n'est pas une nécessité agronomique majeure à la Martinique. Les propriétés et la nature des minéraux argileux présents dans les sols acides issus de matériaux volcaniques récents du centre et du nord de l'île leur permettent de retenir aisément le phosphore. Ainsi, l'île n'importe plus d'engrais phosphatés simples depuis 2006 et l'importation d'engrais en association avec l'azote ou l'azote et le potassium a diminué de 30 % depuis 2003 (5 027 tonnes en 2006, soit une moyenne de 20 kg P/ha). Des résidus d'exploitations de canne à sucre et des boues de Step sont aussi utilisés.

La pollution phosphatée des eaux semble limitée à la Martinique et résulte plus du mauvais traitement des eaux ménagères que de l'usage du phosphore en agriculture. En effet, sur vingt points de mesure analysés en 2007, « l'altération phosphore » des cours d'eau montre que 10 % des points de mesure sont de qualité moyenne, 15 % de bonne qualité et 75 % de très bonne qualité. Le phosphore issu des eaux usées résulte du faible taux de raccordement des habitations au réseau d'assainissement collectif (45 % des foyers en 2006).

## Une diminution des livraisons d'engrais phosphatés

Selon l'Union des industries de la fertilisation (Unifa), les livraisons d'engrais minéraux phosphatés<sup>5</sup> ont baissé progressivement de 31 à 5 kg de phosphore par hectare (P/ha) fertilisable<sup>6</sup> entre 1972 et 2009. Au niveau régional, les diminutions globales observées varient de -30 % en Alsace à -83 % en Bretagne. Près de quatre régions sur cinq montrent des diminutions de plus de 50 % des livraisons de phosphore. Pour certaines régions comme la Bretagne, les baisses de plus de 70 % s'expliquent par une hausse de l'usage des effluents d'élevage. Pour d'autres comme le Nord - Pas-de-Calais, ce serait plutôt le résultat d'une fertilisation plus raisonnée. La moindre diminution des livraisons d'engrais phosphatés en Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca) (-48 %) et en Alsace (-30 %) s'explique par une augmentation des livraisons de phosphore, jusqu'en 1997 pour Paca et jusqu'en 1989 pour l'Alsace avant d'amorcer une décroissance.

### Livraisons régionales d'engrais phosphatés entre 1972-1976 et 2005-2009



Note : Les statistiques de livraisons de phosphore de l'Unifa montrent une baisse de plus de 50 % entre les campagnes 2007-2008 et 2008-2009. La moyenne nationale (hors Corse et Dom) passe ainsi de 10 à 5 kg P/ha fertilisable.

Source : Unifa, 2008. Traitements : SOeS, 2009.

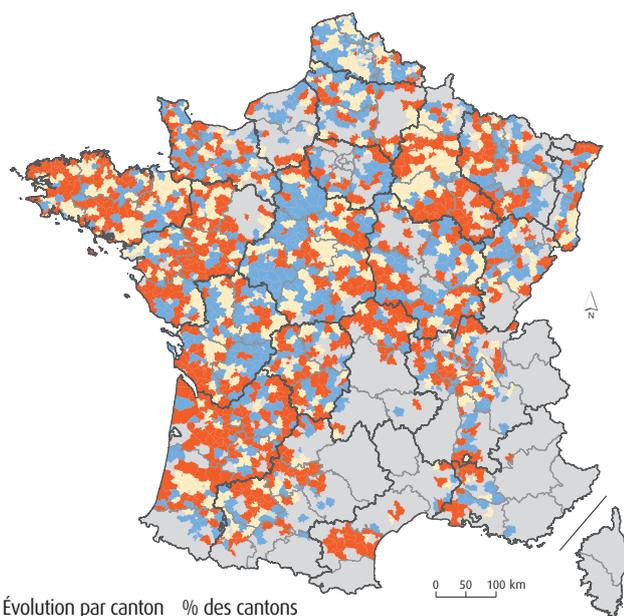
## Une contamination des sols par le phosphore toujours présente

La baisse généralisée de l'usage des engrais minéraux ne se traduit pas partout par une diminution concomitante du phosphore dans le sol. Pour les cantons disposant d'assez de données, les teneurs en phosphore des sols agricoles diminuent dans 34 % d'entre eux entre 1990-1997 et 1998-2004. Elles sont stables dans 24 % et augmentent dans 43 %. La hausse des teneurs en phosphore concerne la Bretagne, les Pays de la Loire, la Champagne-Ardenne et l'Aquitaine ; elles diminuent dans les régions du Nord, du Centre et de l'Ouest.

<sup>5</sup> Voir le chapitre « Agriculture ».

<sup>6</sup> Fertilisation par hectare : quantités d'engrais livrées aux distributeurs d'un département rapportées à sa surface agricole fertilisable.

## Évolution des teneurs en phosphore entre les périodes 1990-1997 et 1998-2004



Évolution par canton	% des cantons
■ Hausse	(22 %)
■ Stable	(13 %)
■ Baisse	(17 %)
■ Pas de donnée	(48 %)

Source : Gis Sol, BDAT, 2009 – © IGN, BD Carto©, 2006. Traitements : Gis Sol – SOeS, 2009.

### Pour en savoir plus

- CGDD-SOeS, 2009. « Le phosphore dans les sols, nécessité agronomique, préoccupation environnementale », *Le Point Sur*, n° 14. 4 p.
- Cambier P., Schwartz C., Van Oort F., 2009. *Contaminations métalliques des agrosystèmes et écosystèmes péri-industriels*. Versailles : Éditions QUAE. 304 p.
- Diren Martinique, 2008. *Chiffres clés de l'environnement de Martinique*. Fort-de-France : Diren Martinique. 51 p.
- Baize D., 1997. *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols*. Paris : Éditions Inra. 410 p. (coll. *Un point sur...*).

### Sites internet

- Groupement d'intérêt scientifique sur le sol (Gis Sol) : <http://www.gissol.fr>
- Service de l'observation et des statistiques (SOeS) : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>  
Rubrique « Environnement » > « Observation et statistiques de l'environnement » > « Données essentielles » > « Sol ».

## DONNÉES & MÉTHODOLOGIE

### L'estimation de l'évolution des teneurs en phosphore des sols

Les teneurs en phosphore des sols proviennent de l'exploitation statistique de la base de données analyse des terres (BDAT) du Gis Sol. Elle regroupe les résultats d'analyses effectuées entre 1990 et 2004, majoritairement à la demande des agriculteurs pour raisonner leur fertilisation. Un peu plus de 146 000 analyses ont été utilisées pour estimer l'évolution des teneurs en phosphore de 2 070 cantons, soit 52 % des cantons. Des méthodes robustes de ré-échantillonnage des données ont permis d'étudier un nombre constant d'analyses par canton. Les résultats par canton indiquent une tendance, ils peuvent néanmoins masquer une diversité intra-cantonale importante.

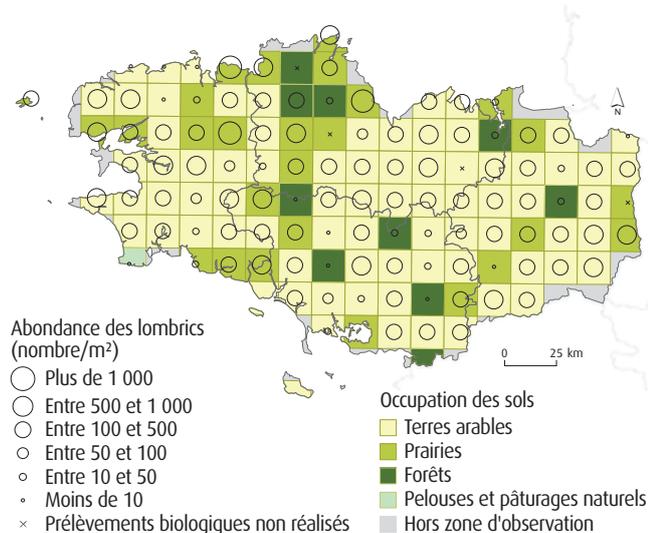
## ENVIRONNEMENT ET TERRITOIRE

## La biodiversité des sols en Bretagne

La faune du sol se subdivise en trois groupes différenciés selon leur taille : la microfaune (taille inférieure à 0,2 mm), la mésofaune (taille de 0,2 à 4 mm) et la macrofaune (supérieure à 4 mm). Dans une prairie permanente, la faune du sol représente jusqu'à 260 millions d'individus par m<sup>2</sup> (ind./m<sup>2</sup>), correspondant au minimum à 1,5 t/ha (soit le poids de deux vaches) et plusieurs milliers d'espèces. Elle occupe essentiellement les 30 premiers centimètres du sol même si les vers de terre peuvent creuser à plusieurs mètres de profondeur. Par ailleurs, elle améliore la structure du sol et favorise ainsi sa résistance à l'érosion, sa régénération après des tassements, l'enracinement des végétaux. Elle facilite également le développement des plantes. Toutefois, les changements d'usage du sol peuvent diminuer sa biodiversité : -20 à -90 % de lombriciens en trois ans lors de la mise en culture d'une prairie. Mais la limitation de l'usage des pesticides et du travail mécanique peut atténuer cette perte.

Les nématodes, appartenant à la microfaune, sont des prédateurs de la microflore du sol, ils stimulent donc son renouvellement. Ils sont omniprésents dans les sols de Bretagne avec une densité moyenne de 17 ind. par gramme de sol sec et 48 familles. Ils se nourrissent principalement de bactéries (34 % en moyenne), de substances végétales (53 % en moyenne) ou de champignons (6 % en moyenne).

## Abondance des lombrics dans les sols de Bretagne en 2009



Note : L'abondance des lombrics et l'occupation du sol observées sur les 108 sites inventoriés sont représentées pour chacune des mailles carrées de 16 km de côté du réseau de mesures de la qualité des sols en Bretagne.

Source : Université Rennes 1 – Gis Sol, 2009 – UE-SOeS, CORINE Land Cover, 2006 – © IGN, GEOFLA®, 2006. Traitements : SOeS, 2009.

La mésofaune réunit principalement les collemboles et les acariens. Ils fragmentent les résidus végétaux. Dans les sols bretons, les collemboles sont moyennement abondants (118 à 45 042 ind./m<sup>2</sup>) et assez diversifiés (67 espèces). Ils sont plus nombreux dans les sols situés près des côtes, dans les sols forestiers et sous prairies.

Enfin, la macrofaune (fourmis, vers de terre...) fragmente les résidus végétaux morts qu'elle incorpore au sol. Elle crée par ailleurs sa propre porosité (galerie, déjection, fourmière) qui influence la circulation de l'air et de l'eau dans le sol. L'abondance des vers de terre est assez importante dans les sols bretons (moyenne de 260 ind./m<sup>2</sup>) et semble liée à l'occupation du sol : faible sous forêt (moyenne de 50 ind./m<sup>2</sup>), intermédiaire sous culture (moyenne de 215 ind./m<sup>2</sup>), forte sous prairie (moyenne de 350 ind./m<sup>2</sup>). En revanche, leur diversité (23 espèces) semble liée aux pratiques agricoles, les sols soumis à fertilisation ou traitements phytosanitaires offrant une moindre diversité.

## DONNÉES &amp; MÉTHODOLOGIE

## L'établissement d'un référentiel de la biodiversité du sol à l'échelle régionale

En Bretagne, 108 sites ont été prélevés au printemps, en 2006 et 2007, sur environ 27 000 km<sup>2</sup>, dans le cadre du programme RMQS BioDiv. Cette étude pilote est aussi intégrée au programme européen Envasso, qui vise à identifier les espèces pouvant servir de bio-indicateur pour appréhender la richesse biologique des sols. Les méthodes d'étude diffèrent selon les organismes étudiés : globales pour la microflore (fumigation-extraction, quantification de l'ADN<sup>a</sup>), approche taxonomique avec identification des espèces pour la faune. À terme, cet inventaire devrait permettre de comprendre les interactions biologiques avec le milieu environnant et le fonctionnement écologique des sols.

<sup>a</sup> ADN (acide désoxyribonucléique) : molécule nécessaire au développement et au fonctionnement des cellules vivantes.

## Pour en savoir plus

- Cluzeau D., Pérès G., Guernion M. *et al.*, 2009. « Intégration de la biodiversité des sols dans les réseaux de surveillance de la qualité des sols : exemple du programme-pilote à l'échelle régionale, le RMQS BioDiv », *Étude et Gestion des sols*, vol. 16, n° 3/4. pp. 187-201.
- Bispo A. *et al.*, 2008. « ENVASSO, WP 5: Decline in soil biodiversity » in *Prototype Evaluation Report: ENVASSO Project (Contract n°022713) – Annexe 1*. pp. 83-101.

## PHÉNOMÈNES ÉMERGENTS

### Connaître la microflore du sol pour mieux la préserver

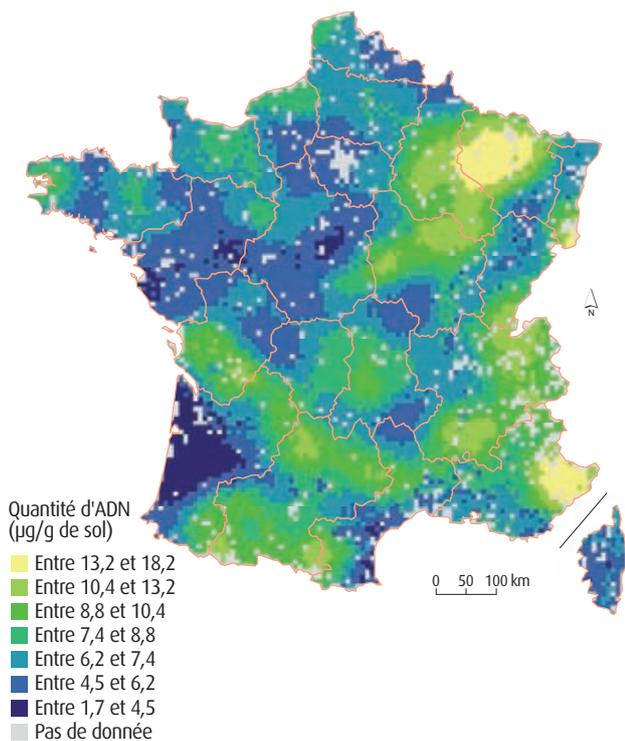
La microflore du sol, ou micro-organismes, remplit des fonctions environnementales essentielles : décomposition de la matière organique, recyclage du carbone et de nutriments (azote, phosphore, potassium) dans le sol, décontamination de sols pollués. Elle regroupe majoritairement des bactéries et des champignons. Le nombre d'espèces et leur abondance varient en fonction du milieu, des caractéristiques du sol et de son usage. Dans une prairie permanente, les bactéries peuvent représenter jusqu'à 1 milliard d'individus par gramme de sol.

La densité microbienne a été mesurée dans les sols de France métropolitaine, grâce à une estimation de leur quantité d'ADN : les rendements d'extraction d'ADN s'échelonnent entre 0,1 et 38,8 µg d'ADN par gramme de sol (moyenne de 8 µg). Les trois quarts des sols ont des concentrations situées entre 5 et 15 µg. Les sols les plus riches en ADN microbien sont situés en Lorraine et Champagne-Ardenne et dans les massifs montagneux (Alpes, Massif central, Pyrénées, Vosges). Les sols les plus pauvres se trouvent dans les Landes, le Nord et le

Nord-Ouest. Cette distribution géographique s'explique par la texture des sols, le pH, la teneur en carbone organique et par l'occupation du sol. Les sols présentant la plus grande densité microbienne sont argileux, basiques (pH élevé) et riches en carbone organique. En règle générale, les sols sous prairie ont une densité microbienne bien plus importante que les sols cultivés ou de vignobles.

La composition des communautés microbiennes des sols du sud de la Bretagne, de Sologne, des Landes, du Massif central et des Vosges est comparable et leurs populations sont très peu diversifiées. Si celles des sols du nord-est de la Lorraine, du sud de la Champagne, de la Normandie, des Pays de la Loire, du Sud-Est (région Paca) et de Midi-Pyrénées sont également comparables, leur diversité génétique est particulièrement importante. La différence entre ces milieux s'explique par la variété des paysages. Les pinèdes très peu diversifiées des Landes sur des sols sablo-acides sont à l'origine de la faible diversité des populations microbiennes des sols, contrairement aux paysages variés alliant cultures, prairies et forêts dans le Sud-Est.

#### Densité microbienne des sols



Note : La densité microbienne des sols de France métropolitaine a été analysée pour 1 900 sites sur les 2 200 que compte le RMQS. Elle est estimée par la quantité d'ADN extraite des échantillons de sol provenant de la première campagne de mesures (2000-2009). Les zones grisées sur la carte correspondent à des zones de « non sols » ou ne comportant pas assez d'informations pour calculer la quantité d'ADN.

Source : Inra - Gis Sol, 2009. Traitements : Gis Sol - SOeS, 2009.

## DONNÉES & MÉTHODOLOGIE

### L'inventaire de la microflore du sol

L'abondance microbienne des sols a été déterminée à l'aide d'outils de biologie moléculaire appliqués à l'ADN microbien extrait de 2 200 échantillons de sol du RMQS (projet Ecomicro-RMQS - ANR Biodiversité 2006-2009). Les résultats ont été confrontés à des données environnementales, comme la texture des sols, le pH, la teneur en carbone organique et l'occupation du sol, par le biais d'outils statistiques (analyses multivariées et géostatistiques...).

#### Pour en savoir plus

- Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., 2009. *Gestion durable des sols*. Versailles : Éditions QUAE. 320 p. (coll. *Savoir faire*).
- Ranjard L., Dequiedt S., Lelievre M. *et al.*, 2009. « Platform GenoSol: a new tool for conserving and exploring soil microbial diversity », *Environmental Microbiology Report*, Vol. 1, n° 2, avril 2009. pp. 97-99.

#### Site internet

- Institut national de la recherche agronomique (Inra) - plate-forme GenoSol : référentiel d'analyse de la biodiversité microbienne dans les sols : [http://www2.dijon.inra.fr/plateforme\\_genosol](http://www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol)