

Sol (pédologie)

☞ Pour les articles homonymes, voir Sol.
Le **sol** est le support de la vie terrestre. Il résulte de



Échantillons de sol



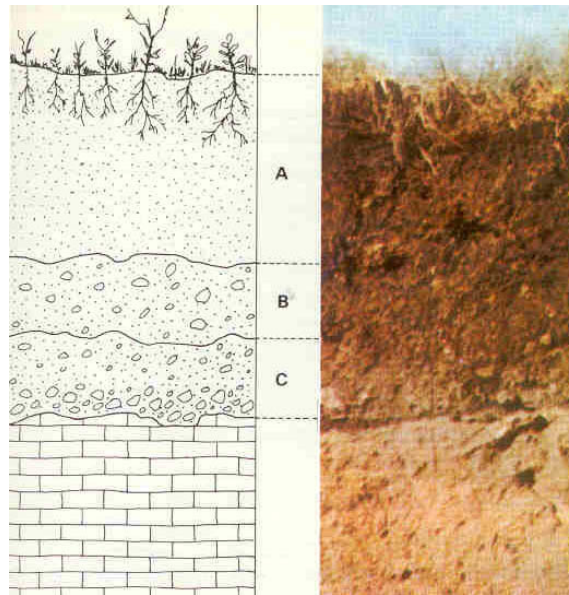
Le sol est le support des cultures mais aussi pour partie leur produit, tout particulièrement l'humus dont la perte fragilise le sol

la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, la croûte terrestre, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant. Le sol est une interface entre biosphère et lithosphère. La partie du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humus.

On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence significative de vie. Le sol est aussi un des puits de carbone planétaires, mais semble perdre une partie de son carbone, de manière accélérée depuis au moins 20 ans^[1]. Il peut contenir et conserver des fossiles^[2], des vestiges historiques^[3] et les traces d'anciennes ac-



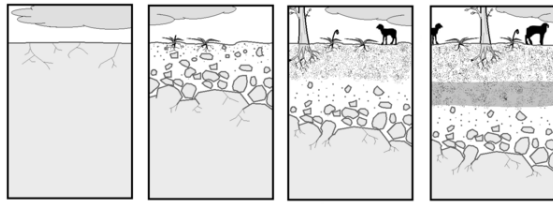
La nature et la qualité du sol, ainsi que son degré de végétalisation contribuent à sa plus grande vulnérabilité ou résilience face aux phénomènes érosifs



Exemple de profil de sol : B laterite, régolithe ; C saprolite, régolithe moins météorisé puis bedrock ou roche-mère

tivités humaines^[4] (voir archéologie) ou d'évènements climatiques^[2]. Ces éléments influent à leur tour sur la composition floristique^[4].

Le sol est vivant^[5] et est constitué de nombreuses structures spatiales emboîtées (horizons, rhizosphère, macro- et micro-agrégats, etc.). Cette dimension fractale autorise la coexistence de très nombreux organismes de tailles très diverses et fait du sol un réservoir unique de biodiversité microbienne, animale et végétale^[6]. Il est nécessaire à



Différentes étapes de la formation d'un sol (pédogénèse) : de la météorisation de la roche mère à l'évolution de l'enrichissement en humus et de la pédofaune

la grande majorité des champignons, des bactéries, des plantes et de la faune.

La FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, a déclaré 2015 comme étant l'année internationale des sols, avec comme phrase clé « Des sols sains pour une vie saine »^[7].

1 Définitions

Il existe plusieurs définitions du sol.

- Les agronomes nomment parfois « sol » la partie arable (pellicule superficielle) homogénéisée par le labour et explorée par les racines des plantes cultivées. On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25 % d'eau, 25 % d'air, 45 % de matière minérale et de 5 % de matière organique^[8]. Le tassement et la semelle de labour peuvent induire une perte de rendement de 10 à 30 %, pouvant aller jusqu'à 50 %^[9].
- Les pédologues estiment que la partie arable ne constitue que la partie superficielle du sol. Le pédologue et agronome Albert Demolon a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants »^[10].
- L'aménagement du territoire distingue des catégories d'occupation du sol, avec les sols agricoles, les sols boisés, les sols bâtis et les autres sols. Une base de données contenant des données géographiques d'occupation du sol existe, au niveau de l'Union européenne : il s'agit de Corine Land Cover. Des données plus précises sont recueillies par le GMES : la base de données les contenant est Urban Atlas^[11].

Les définitions du sol sont liées à son utilisation. Pour un ingénieur civil le sol est un support sur lequel sont construites les routes et sont fondés les bâtiments. Pour un ingénieur d'assainissement le sol est un récipient d'égouts domestiques et municipaux. Pour l'hydrologiste

ou l'hydrogéologue le sol est un manteau vivant et végétalisé permettant le cycle de l'eau. Pour l'écologue le sol est un habitat et un élément de l'écosystème qui est le produit et la source d'un grand nombre de processus et interactions chimiques, biochimiques et biologiques^[12].

La science qui étudie les sols, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la pédologie. Plus généralement, aujourd'hui, on parle de science du sol, englobant ainsi toutes les disciplines (biologie, chimie, physique) qui s'intéressent *pro parte* au sol. De nombreux processus, autrefois considérés comme purement physico-chimiques, sont aujourd'hui attribués à l'activité des êtres vivants, comme l'altération des minéraux^[13] ou la mobilisation du fer par les sidérophores bactériens.

2 Description

2.1 Constituants des sols

2.1.1 Fraction minérale

La fraction minérale représente l'ensemble des produits de la dégradation physique puis chimique de la roche mère.

On peut les classer par diamètres décroissants (granulométrie) :

- les graviers et cailloux (> 2 mm)
- les sables (20 µm-0,2 mm)
- les limons (2 µm-20 µm)
- l'argile granulométrique (< 2 µm)

Article détaillé : Granulométrie.

Tous ces éléments constituent le « squelette » du sol.

La fraction minérale est composée d'une fraction grossière et d'une fraction fine :

- fraction grossière, les particules ont un diamètre supérieur à deux micromètres : les graviers et cailloux, les sables, les limons. Cette fraction est sans intérêt immédiat pour les plantes, mais est primordiale pour garder l'eau en réserve dans le sol (macroporosité). Il s'agit du squelette du sol, qui finira par se transformer en fraction fine par altération ;
- fraction fine : les particules sont inférieures à 2 µm. Cette fraction est biologiquement et chimiquement active. Elle est composée de colloïdes minéraux.

2.1.2 Fraction organique

La matière organique du sol peut être définie comme une matière carbonée provenant de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants végétaux, animaux et microbiens (fongiques, bactériens). Elle constitue l'humus.

Elle est composée d'éléments principaux (le carbone-C, l'hydrogène-H, l'oxygène-O et l'azote-N), d'éléments secondaires (le soufre-S, le phosphore-P, le potassium-K, le calcium-Ca et le magnésium-Mg), ainsi que d'oligoéléments.

Elle se répartit en quatre groupes :

- la matière organique vivante, animale (faune du sol), végétale (organes souterrains des plantes) et microbienne (bactéries, champignons, algues du sol), qui englobe la totalité de la biomasse en activité,
- les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats racinaires), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, parois cellulaires, exsudats) appelés matière organique fraîche,
- des composés organiques intermédiaires, appelés matière organique transitoire (évolution de la matière organique fraîche),
- des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes.

La végétation fournit des débris végétaux qui constituent la litière ou horizon organique. Sa décomposition se fait sous l'action de la microflore et de la faune du sol, et produit l'humus et des composés minéraux. Les deux processus de décomposition sont d'une part la minéralisation (produisant des composés minéraux tels que le dioxyde de carbone (CO₂), l'ammoniac (NH₃), les nitrates et les carbonates) et l'humification (polymérisation oxydative sous la forme de composés organiques amorphes qui migrent ou se lient aux argiles et aux hydroxydes métalliques). Le processus d'humification aboutit à la formation de l'humus.

- En milieu peu actif, la décomposition des litières est lente, l'horizon organique OH est brun noir, fibreux et acide. On parle de mor ou terre de bruyère.
- En milieu biologiquement plus actif mais sans bioturbation, l'horizon OH est moins épais et constitue un moder.
- En milieu biologiquement très actif, la décomposition est très rapide, l'horizon OH disparaît et apparaît un horizon A grumeleux, composé d'agrégats argilo-humiques à fer et aluminium. On parle de mull.

Selon l'acidité du sol, sous climat tempéré, l'humus prendra la forme de mull, moder ou mor (sur substrat siliceux) ou mull, amphi ou tangel (sur substrat carbonaté)^{[14],[15]}.

2.2 Texture du sol

Une des caractéristiques des sols est la taille des éléments minéraux qui le composent.

- Les cailloux ou blocs sont les éléments de taille supérieure à 2 mm.
- Les éléments de taille inférieure à 2 mm sont définis par classe de texture (sables, limons et argiles).

Ces roches appartiennent au groupe des silicates ou des carbonates.

- Des ions (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻...) arrivent dans le sol en solution dans l'eau infiltrée, ou fixés aux particules colloïdales citées ci-dessus.
- D'autres ions, comme les sulfates (SO₄²⁻) ou les ions iodures (I⁻) sont apportées par les précipitations atmosphériques.

Les particules colloïdales chargées négativement peuvent se présenter à l'état dispersé ou floculé.

- À l'état dispersé, les particules se repoussent en raison de leur polarité, et occupent tous les interstices du sol. Ce dernier devient asphyxiant, et l'eau ne s'y infiltre plus. Le sol est difficile à travailler.
- À l'état floculé, les particules colloïdales sont neutralisées par les ions chargés positivement, et s'agglutinent avec ceux-ci. Les flocons formés laissent un sol lacunaire, perméable à l'eau et à l'air. C'est un sol avec une bonne structure.

2.3 Le profil du sol

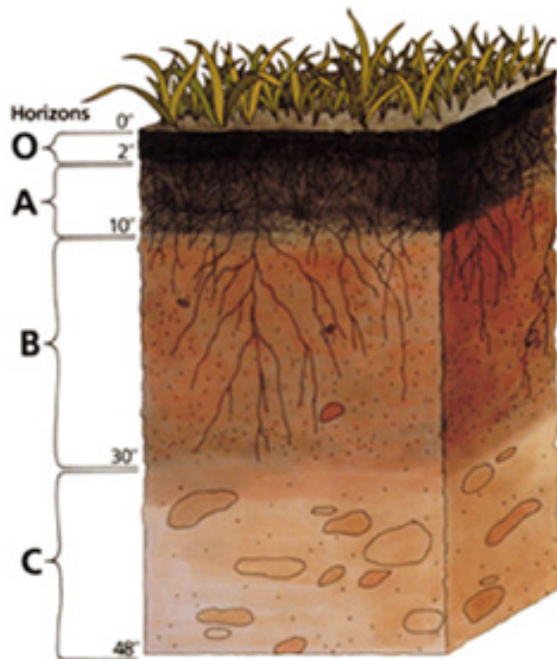
Pour décrire un sol, il est nécessaire de l'observer en tranches parallèles à la surface, appelées horizons. Deux types d'horizons se superposent habituellement : une suite d'horizons humifères, au-dessus des horizons minéraux. En résumé, la structure respecte cet agencement (voir Le profil de sol pour plus de précisions).

Les horizons humifères sont les horizons les plus riches en êtres vivants (pédofaune).

- O, (ou A₀) comprenant la litière et les matières organiques en cours de transformation,
1. OL - litière : comprend l'ensemble des débris bruts (restes de bois, de feuilles et de fleurs fanées, de cadavres d'animaux),



Les profils de sol (ou fosses pédologiques) permettent d'étudier les horizons du sol et l'activité biologique



Profil de sol montrant les horizons principaux (d'après United States Department of Agriculture^[16])

2. OF - horizon de fragmentation (parfois appelé à tort horizon de fermentation). La température et l'humidité y sont optimales, en raison de l'isolation fournie par la litière,
3. OH - horizon humifié : horizon composé quasi exclusivement de matière organique morte transformée

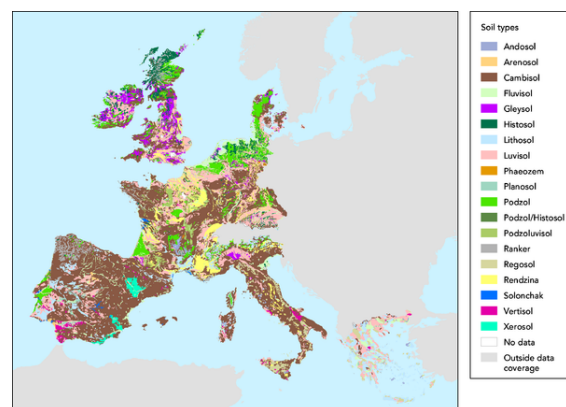
mée par les organismes du sol,

- A - horizon mixte, composé d'éléments minéraux et d'humus. Sa structure dépend de l'incorporation plus ou moins rapide de l'humus.

Les horizons minéraux sont les moins riches en organismes vivants.

- E - horizon lessivé. Il est drainé par l'eau qui s'infiltre, ce qui le rend pauvre en ions, en argiles, en composés humiques et en hydroxydes de fer et d'aluminium.
- B - horizon d'accumulation. Horizon intermédiaire apparaissant dans les sols lessivés. Il est riche en éléments fins ou amorphes (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium, humus), arrêtant leur descente à son niveau lorsqu'ils rencontrent un obstacle mécanique (frein à la diffusion) ou une modification de l'équilibre électrostatique.
- S - horizon d'altération. Il est le siège de processus physico-chimiques et biochimiques aboutissant à la destruction des minéraux du sol (altération minérale)
- C - roche-mère peu altérée.
- R - roche-mère non altérée. Couche géologique dans laquelle se sont formés les sols.

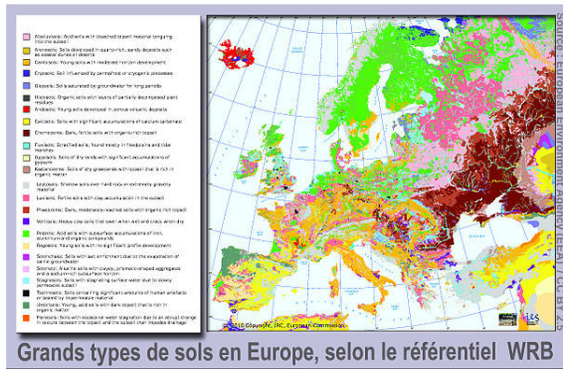
Chaque profil de sol a une histoire, que les pédologues tentent de retracer grâce aux caractéristiques et à l'agencement des différents horizons.



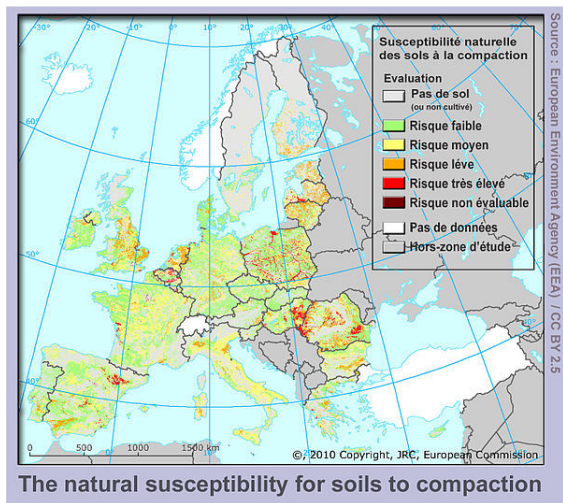
La répartition des grands types de sols dans l'Union européenne (à 15).

2.4 Types de sols

Il existe un grand nombre de types de sols, parmi lesquels les sols bruns, les podzols, les sols hydromorphes (à gley ou pseudo-gley), les sols rouges, les sols isohumiques, les sols ferralitiques, les sols ferrugineux. Voir la liste des sols ou la Classification française des sols pour plus de détails.



Autre exemple de cartographie ; Grands types de sols tels que définis par le référentiel WRB^[17]

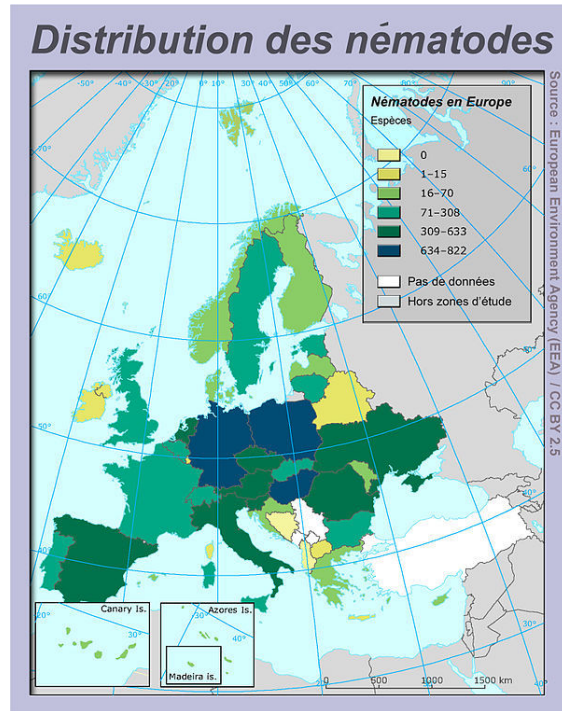


Carte, très simplifiée de sensibilité naturelle des sols à la compaction (sols limoneux fragiles en général), en 4 catégories. La dernière des catégories colorées (« pas d'évaluation possible ») représente les sols urbains ou des sols marécageaux plus ou moins drainés ou des sols perturbés par l'homme^[18].

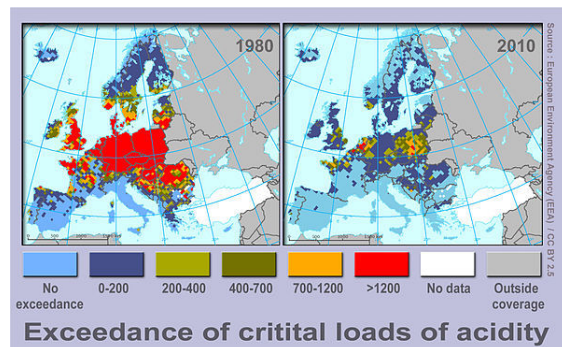
3 Fonctions

Les sols ont plusieurs fonctions. Ainsi, selon les critères du Service d'Information des Sols Africains (ASIS) du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT), un sol est considéré comme sain lorsqu'il parvient à la fois à^[20] :

- héberger un écosystème (le sol), lui-même fonctionnellement fortement lié aux écosystèmes terrestres et parfois aquatiques via les symbioses à l'œuvre dans la rhizosphère notamment ou parce que le sol abrite de nombreuses espèces qui y effectuent une partie de leur cycle de vie (hibernation ou estivation notamment). Les plantes non-aquatique dépendent fortement du sol au travers de biofeedbacks complexes et nombreux^[21].
- produire des récoltes,
- stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère,



Carte de richesse en Nématode (moyenne par pays, évaluation d'après les données fournies par les pays à l'Agence européenne de l'environnement, initialement publiées 2010-12-08



Les efforts de diminution des émissions et retombées acides ont porté leurs fruits (Pour SO₂, NO_x, COV et NH₃). Les dépassement de la « charge critique » de retombées acide sont en diminution (unité : eq ha⁻¹a⁻¹). Attention, sur cette carte de l'Agence européenne de l'environnement, les valeurs pour 2010 sont les valeurs-cibles prévues par l'adhésion à la mise en œuvre de la directive NEC. Ces cibles ne sont peut être pas atteintes partout^[19]

- retenir les eaux de pluie et de ruissellement.

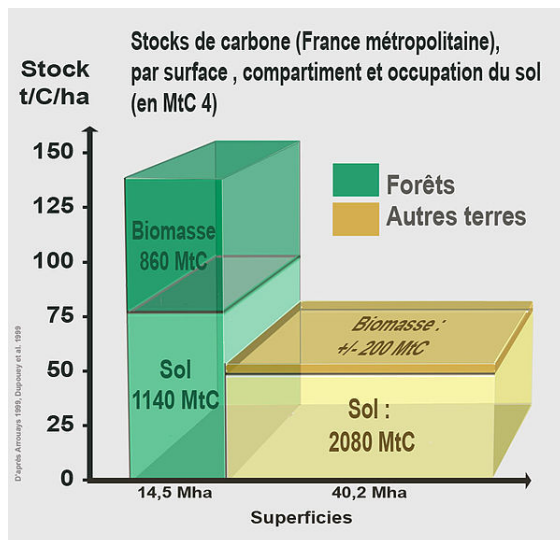
Le sol a aussi un rôle très important dans la fixation ou dispersion et la (bio)dégradation des polluants.

3.1 Sol et cycle de l'eau

Des fonctions « nouvelles » (services écosystémiques) lui sont reconnues dont un rôle majeur dans le cycle de l'eau, pour la santé publique (cf. sols pollués) et des écosystèmes, ainsi qu'une importance dans les cycles

biogéochimiques du carbone, de l'azote, du potassium, du calcium, du phosphore, des métaux. Les sols de qualité limitent les risques d'érosion et de salinisation.

3.2 Sols et puits de carbone



Stocks de carbone dans le sol et en forêt dont par la biomasse, (en MtC = mégatonne de carbone, = million de tonne de carbone)^[22]

Le protocole de Kyoto a mis en avant l'importance du sol comme *puits de carbone*, surtout en zone tempérée. Les enjeux sont très importants, car le CO₂ émis par les microbes constitue l'essentiel du flux de dioxyde de carbone (CO₂) émis de la surface du sol vers l'atmosphère^[1], et le second flux de carbone terrestre le plus important. Les plantes émettent du CO₂ la nuit, mais la plupart du temps très largement compensé par la photosynthèse le jour^[1].

- la fonction « puits de carbone » est encore mal cernée car elle varie fortement dans l'espace et dans le temps, selon les conditions biogéographiques, agropédologiques, voire de pollution du sol. La respiration du sol est facile à mesurer localement mais ses variations locales et saisonnières rendent les bilans globaux difficiles. De plus, aucun instrument de télédétection ne peut aujourd'hui la mesurer à l'échelle de vastes territoires.
- Des modèles doivent donc être construits sur la base d'extrapolations, calés et vérifiés avec les données du terrain. À ce jour, les modèles, et les études de terrain, laissent penser qu'un réchauffement climatique, même d'un ou deux degrés devrait fortement perturber la biodiversité du sol et donc le cycle du carbone^[1].
- Le bilan respiratoire du sol et son évolution commencent à être mieux approchés. Le bilan correspond à la somme des flux de CO₂ et de vapeur d'eau libérés par le métabolisme des microbes,

des animaux du sol, des racines des plantes et des champignons du sol. Une méta-analyse (Nature, mars 2010^[11]) a porté sur 439 études. Sur la base des 50 années de données d'émissions des sols étudiées sur 1.434 points de données répartis sur toute la planète, les auteurs ont conclu que les sols du monde entier ont encore augmenté leurs émissions de CO₂ entre 1989 et 2008, probablement à cause d'une augmentation de l'activité microbienne induite par la température et l'eutrophisation et d'une dégradation des humus. Les changements de comportements du sol sont lents, mais se traduisent par des effets globaux très significatifs ;

L'expiration vers l'atmosphère des organismes du sol a augmenté d'environ 0,1 % par an (« 0,1 Pg C/an ») de 1989 à 2008, pour atteindre en 2008 environ 98 milliards de tonnes de Carbone (« 98 ± 12 pg C »), soit 10 fois plus de carbone que les humains injectent dans l'atmosphère annuellement selon cette méta-analyse. Le réchauffement est le facteur explicatif qui semble dominant, via l'accroissement des taux et vitesse de décomposition de la matière organique du sol, selon le biogéochimiste Eric Davidson^[23].

Les auteurs ont à cette occasion posé les bases d'un observatoire mondial de l'expiration des sols, appuyé sur une base de donnée jumelée à une base de donnée météorologique historique, de haute résolution^[24]. Des données déjà disponibles, après prise en compte des moyennes climatiques annuelles, de la surface foliaire, des dépôts d'azote et changements de méthode de mesure du CO₂, se dégage une tendance à l'augmentation, avec des flux de CO₂ effectivement corrélée aux anomalies de température (anomalies par rapport à la moyenne des températures de la période 1961-1990) de température de l'air.

Il reste à différencier la part du Carbone anthropique issu de l'atmosphère et reperdu, et celle anormalement perdue ou émise par la matière organique du sol suite à une dégradation de processus pédologiques.

Ce CO₂ ajoute ses effets à ceux du méthane qui semble également en augmentation à partir des pergélisols. Une très petite part du CO₂ exprimé par les sols peut aussi provenir de bactéries méthanotrophes (Ce CO₂ la serait en termes de bilan moins « nuisant » pour le climat, puisque le méthane a à court terme un effet bien plus réchauffant. Les auteurs de la méta-analyse concluent des données disponibles qu'elles sont compatibles avec une accélération en cours du cycle du carbone terrestre, en réponse au dérèglement climatique.

- L'importance du sol comme puits de carbone (et pour la biodiversité, notamment pour les sols prairiaux et forestiers^[25]) est mieux reconnue ; Une conférence^[26] européenne a rappelé en 2001 l'importance des relations entre puits de carbone et

biodiversité.

- Enjeu pour la lutte contre l'effet de serre : selon le groupe de travail du Programme européen sur le changement climatique (PECC) consacré aux puits de carbone liés aux sols agricoles, les sols agricoles de l'UE présentaient à eux-seuls un potentiel l'équivalent de 1,5 à 1,7 % des émissions de CO₂ de l'Union européenne, potentiel qui devra peut-être être revu à la baisse avec le réchauffement.

3.3 Biodiversité / Sol vivant, support et milieu de vie

Article détaillé : Biodiversité du sol.

Végétaux, animaux et microorganismes profitent de la désagrégation des roches de la croûte terrestre et y contribuent, coproduisant le sol et y puisant l'eau et les nutriments. À échelle moléculaire, les champignons et leurs métabolites, les mucus (du ver de terre notamment) et les exopolysaccharides sécrétés par les microbes (bactéries notamment) jouent un rôle important dans la formation et conservation des sols^[27] (dextrane, xanthane, rhamsane, succinoglycane).

3.3.1 Biodiversité intrinsèque du sol

De nombreux organismes trouvent dans le sol un abri, un support ou un milieu indispensable à leur vie.

Pour les animaux du sol, on parle de microfaune (< 0,2 mm), mésofaune (de 0,2 à 4 mm) et macrofaune (> 4 mm). À titre d'exemple, rien que pour la microfaune, un seul mètre carré de prairie permanente bretonne abrite dans ses trente premiers centimètres jusqu'à 260 millions d'organismes animaux/m² (ind./m²), appartenant à plusieurs milliers d'espèces. Cette biomasse animale correspond au minimum à 1,5 t/ha ou le poids de deux vaches). Le labour de cette prairie et sa mise en culture diminue de 20 à 90 % le nombre de lombriciens en trois ans, surtout avec un travail mécanisé du sol et avec des pesticides.

Le sol était autrefois considéré comme un élément abiotique, résultant de facteurs physico-chimiques tels que la géologie, le climat, la topographie... Il est maintenant démontré que l'ensemble des éléments abiotiques constituant le sol sont mobilisés par le Vivant, et en particulier par les microorganismes, qui recyclent également la nécromasse (biomasse morte) et les excréments des animaux, constituant ainsi la base trophique des écosystèmes terrestres. Le sol est à la fois un produit du vivant et un support du vivant.

La rhizosphère est l'interface complexe entre les mondes végétal, fongique et minéral, lieu et niche écologique où se nouent des relations étroites entre les processus biotiques et abiotiques qui régissent la formation des sols et la nutrition minérale des végétaux : altération minérale,

décompactation, lessivage, formation des complexes argilo-humiques, échanges ioniques, symbioses qui influent les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et impactent les cycles biogéochimiques...

En plus des virus, ce sont jusqu'à 100 millions de microorganismes qui vivent dans un gramme de sol^[28].

3.3.2 Menaces

Les pesticides et le labour sont deux facteurs d'érosion et perte de sol. Le surpâturage entraîne une réduction de la biodiversité et de la capacité du sol à résister au stress hydrique, notamment en zone subtropicale (argentine par exemple)^[29]. La dégradation des sols peut aussi être très aggravée par la monoculture de quelques espèces (dont celles destinées à produire des agrocarburants)^[30]. Les réflexions se portent désormais plus la réutilisation de déchets verts ou de plante dédiée (voir Biocarburant). La production d'agrocarburants est en effet une nouvelle vocation proposée pour certains sols. L'intérêt et le bilan écologique de ces carburants sont cependant très discutés, notamment en raison du risque de détournement de sols de cultures vivrières (Changement d'affectation des sols) vers des productions commerciales dans les pays les plus pauvres, et en raison d'un bilan global neutre, voire négatif en termes de carbone et effet de serre^[31]. Selon la cour des comptes en 2012, « Le bilan environnemental des biocarburants est fort loin d'être à la hauteur des espoirs placés en eux. Si l'on intègre (ainsi qu'il a été fait dans les dernières études d'impact environnemental) le changement d'affectation des sols indirects (CASI), on obtient pour l'EMHV des émissions de gaz à effet de serre qui sont doubles de celle du gazole^[32]. »

3.3.3 Connaître pour agir

Le pédologue peut repérer des sols favorables ou défavorables à certains organismes et produire des cartes de pédopaysages. Le botaniste et le phytosociologue peuvent également, au moyen de plantes bioindicatrices, identifier les caractéristiques de certains sols, par exemple les plantes de milieux calcaires secs, groupe au sein duquel on pourra repérer quelques orchidées emblématiques.

Connaître et mieux protéger, restaurer et gérer les sols nécessite d'identifier, localiser et cartographier leur biodiversité, les typologies de sols, les sols dégradés, pollués, leur degré de vulnérabilité, leur isolement écologique et degré de résilience face aux usages par l'Homme, ou face au dérèglement climatique. Cela permettra aussi de mieux identifier certains enjeux (production alimentaire, protection de l'eau, puits de carbone, biodiversité...).

La « richesse microbienne globale » peut maintenant être évaluée par la biologie moléculaire, via la mesure de la diversité de l'ADN microbien d'un sol.

Par exemple, les sols de Bretagne, en 2006 et 2007, ont été échantillonnés sur environ 27 000 km², avec 2 200

échantillons de sol, par le Programme RMQS6BioDiv^[33], dans le cadre du Programme européen *Envasso* visant à trouver des bio-indicateurs pertinents pour les sols et à mieux comprendre le déclin de la biodiversité dans les sols^{[34],[35]}. L'approche est globale pour la microflore (fumigation/extraction, quantification de l'ADNa), ou taxonomique (avec identification des espèces ou au moins des genres) pour la faune. Ce RMQS-BioDiv vise à établir un référentiel de la biodiversité des sols en Bretagne, en lien avec les caractéristiques du milieu (pédologie, usages des sols). La cartographie nationale de la diversité bactérienne des sols a montré en France que « certaines pratiques agricoles sont assez agressives et délétères sur le patrimoine biologique. Il s'agit des pratiques viticoles, des forêts monospécifiques de résineux et de certaines pratiques conventionnelles en grandes cultures céréales. » Les sols français les plus pauvres en diversité bactérienne sont la grande pinède des Landes, mais les zones enrésinées méditerranéennes sont également très pauvres de ce point de vue. L'observatoire français de la biodiversité a retenu l'évolution de la biomasse microbienne des sols en métropole comme l'un de ses indicateurs^[36]. Pour l'état zéro, il a été estimé à 9,9 µg d'ADN microbien/g de sol pour 2000-2009 (On trouve de 0,1 à 41,8 µg d'ADN par gramme de sol, mais dans près de 75 % des échantillons, ce taux est de 5 à 15 µg, le reste se répartissant équitablement au-delà de ses deux limites).

Pour mieux comprendre l'écologie des sols, on commence à approcher la diversité biologique des sols^[37] ; par la mesure de la diversité des ADN présent, par certains indices tels que l'abondance en micro-organismes, *enchytraéides* ou en lombrics (réputés être de bons bioindicateurs). Des programmes spécifiques portent sur ce thème (ex *BIODEPTH*, Nouvel atlas européen du Centre Commun de Recherches (JRC) qui porte notamment sur la biodiversité des sols en Europe et fait apparaître certaines menaces auxquelles elle est exposée ; il montre que le Royaume-Uni, la Belgique, le Luxembourg, les Pays-Bas et le nord de la France ont particulièrement dégradé leurs sols et que la biodiversité du sol y reste plus menacée qu'ailleurs).

En 2010, l'UE a publié son *Atlas de la biodiversité des sols*^[38] et organisé une conférence de mise au point et information sur le sujet^[39] où a eu lieu une présentation de l'étude *Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers*^[40] et du rapport^[41] destinée à préparer la conférence mondiale sur la biodiversité, de Nagoya (2010).

3.4 Qualité d'un sol

Elle concerne les aptitudes d'un sol à remplir ses fonctions de production agricole, sylvicole ou écologique et sa résilience. Elle est mesurée par ses composantes biologiques (bioindicateurs, comme les vers de terre), la fertilité, l'état sanitaire (au sens large), à comparer avec un stade dit climacique ou "idéal", qui va-

rie selon la zone biogéographique et l'altitude et le contexte considérés. On cherche maintenant à mesurer les risques environnementaux portant sur l'eau et l'air et les risques liés aux inondations/sécheresses, nitrates, pesticides, aérosols, etc. On différencie les impacts de polluants biodégradables (nitrates) de polluants non dégradables (éléments traces métalliques ou ETM), et on s'intéresse à leurs voies de dissémination ou aux synergies qu'ils peuvent développer avec d'autres polluants ou éléments du système sol.

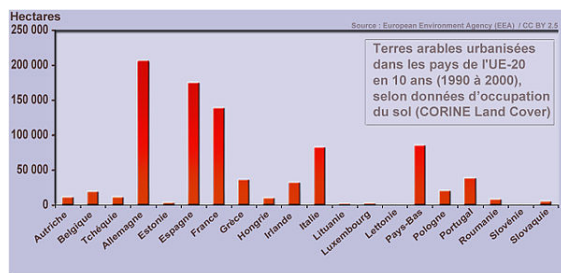
Quelques normes ISO concernant la qualité des sols :

- ISO 10381-6, Qualité du sol - Échantillonnage - Partie 6 : Lignes directrices pour la collecte, la manipulation et la conservation de sols destinés à une étude en laboratoire des processus microbiens aérobies ;
- ISO 10390, Qualité du sol - Détermination du pH ;
- ISO 10694, Qualité du sol - Dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche (analyse élémentaire) ;
- ISO 11268-1, Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des vers de terre (*Eisenia fetida*) - Partie 1 : Détermination de la toxicité aiguë en utilisant des substrats de sol artificiel ;
- ISO 11269-2, Qualité du sol - Détermination des effets des polluants sur la flore du sol - Partie 2 : Effets des substances chimiques sur l'émergence et la croissance des végétaux supérieurs ;
- ISO 11274, Qualité du sol - Détermination de la caractéristique de la rétention en eau - Méthodes de laboratoire ;
- ISO 11465, Qualité du sol - Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau - Méthode gravimétrique ;
- EN 14735, Caractérisation des déchets - Préparation des échantillons de déchets en vue d'essais écotoxicologiques.

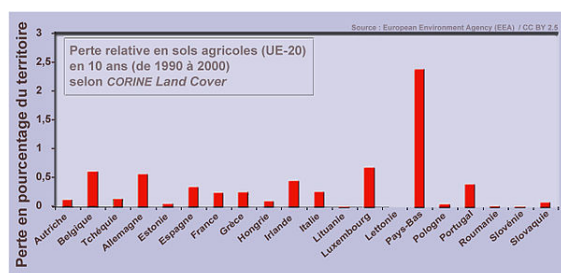
D'autres sont en préparation, utilisant par exemple des escargots comme indicateurs^[42].

4 Les menaces

Le sol est une ressource naturelle, peu ou lentement renouvelable, globalement en voie de dégradation (surtout dans les pays pauvres, où celle-ci n'est pas compensée par les hausses de productivité actuellement permises par la mécanisation, les engrais et les pesticides). Ce patrimoine est aussi en régression quantitative selon l'ONU (FAO), essentiellement consacrée à l'agriculture, à la sylviculture ou aux écosystèmes mais aussi et de plus en plus aux « établissements humains » (villes, habitations, zones d'activité, parkings, etc.).



La France, avec l'Espagne et l'Allemagne, fait partie, selon l'Agence européenne pour l'environnement des vingt pays européens qui ont en dix ans perdu le plus de sols agricoles (transformés en routes, immeubles, zones d'activité...), selon la mise à jour de la carte européenne d'occupation du sol Corine Land Cover (Cliquez sur l'image pour l'agrandir)^[43]



Cet autre graphique met visuellement en évidence le fait que la perte de terres agricoles due à l'urbanisation et à l'artificialisation (routes...) est proportionnellement beaucoup plus importante dans les petits pays très peuplés (Les Pays-Bas étant un exemple typique), Ici, la France bien qu'elle compte parmi les trois pays qui perdent le plus de sols agricoles paraît moins touchée en raison de la taille de son territoire (données estimée à partir de la mise à jour de l'occupation du sol Corine Land Cover)

4.1 Menaces autres que les pollutions

De grandes quantités de sols sont « consommés » ou stérilisés par l'urbanisation et la périurbanisation (habitats, infrastructures pour les transports, parkings, etc.)^[44].

Le dérèglement climatique menace également les sols des régions chaudes et tempérées, avec notamment selon le GIEC le risque croissant d'aridification estivale des sols et de phénomènes érosifs accrus en hiver ou suite aux pluies d'orage et des modifications probables des assemblages des groupes de microorganismes qui participent à la production et à l'entretien de l'humus^[45]. Le réchauffement des sols pourra aussi nuire à leur capacité à retenir le carbone, et dégrader la sécurité alimentaire^[46]. La distribution verticale du carbone dans le sol et les boucles de rétroaction puits de carbone - Climat pourraient en être perturbées^[47].

Certaines pratiques agricoles induisent en outre diverses formes de régression et dégradation des sols ;

- une diminution des taux de matière organique (due au labour et en particulier au labour profond, aux cultures intensives, à l'usage d'engrais chimiques et

de pesticides, etc.) ;

- la compaction et l'asphyxie, et en zone de labour l'apparition d'une semelle de labour ;
- l'acidification, la salinisation et éventuellement la désertification ;
- l'érosion (hydrique ou éolienne)...

Dans les basses terres, ils peuvent aussi être menacés de submersion marine (cf. montée des océans et risques accrus de phénomènes de surcote), en particulier dans la perspective d'une fonte des glaciers et calottes glaciaires.

Un autre problème est la dispersion dans le monde d'espèces invasives de vers plats (Plathelminthes terrestres) dont certains sont d'importants prédateurs des vers de terre (20 % des vers de terre auraient disparu des zones du Royaume-Uni où plusieurs de ces espèces ont été introduites)^[48].

4.2 Sols pollués

Les retombées atmosphériques, les boues d'épuration, certains engrais (phosphates riches en cadmium en particulier), les pesticides et parfois les eaux d'irrigation apportent dans les sols des quantités significatives de métaux lourds (non dégradables, bioaccumulables) et de divers polluants ou contaminants microbiens, parfois pathogènes.

Les sols agricoles contiennent souvent des micropolluants qui ont pour origine le fonds géochimique, les séquelles de guerre, ou plus souvent les retombées atmosphériques (45 000 t/an de zinc et 85 000 t de plomb/an estimés dans les années 1990 par Juste, 1995, pour l'Europe des 12) et parfois les eaux d'irrigation.

En France, l'INRA^[49] a étudié sept métaux (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb et Zn) dans 460 horizons de sols agricoles, et trouve un taux médian de 0,22 mg/kg, contre 0,10 en sols forestiers équivalents. Dans une région industrielle (Nord de la France), P. Six (1992, 1993) confirme ces résultats avec sur 1000 horizons labourés analysés dans le département du Nord, n'ayant pas subi d'apports de boues, pour lesquels la valeur médiane était de 0,37 mg/kg, 60 % des échantillons se situant entre 0,12 et 0,58 mg/kg. Hormis dans le cas d'espèces métallophytes, l'exportation naturelle par les végétaux est faible (moins d'un % des apports de boues résiduelles dans les récoltes étudiées sur quinze à dix ans).

Certains sols forestiers, à condition d'avoir été exposés à des retombées de polluants ou s'ils en contiennent naturellement, s'aèrent cependant mieux conservent certains de ces polluants que les sols agricoles (c'est le cas des radionucléides). Les polluants sont plus ou moins biodisponibles selon les sols. Ils le sont généralement plus (jusqu'à cent fois plus) dans les sols acides^[50].

Article détaillé : Sols pollués.

Article détaillé : Directive cadre pour la protection des

sols.

5 Protection

En France le Grenelle de l'Environnement a proposé en 2007 les concepts de trame verte et de remembrement environnemental qui pourraient tous deux contribuer à restaurer les sols. Un « bail environnemental » avait été créé (décret de mars 2007^[51]). Ce bail ne vaut cependant que dans certaines zones géographiques précisées par le décret et pour des bailleurs privés (si leurs parcelles sont situées dans des espaces naturels sensibles et si les clauses conformes au document de gestion officiel sont en vigueur dans ces zones). Ce bail permet d'imposer une liste limitative de pratiques culturales susceptibles de protéger l'environnement. Leur non-respect par le repreneur du bail peut entraîner sa résiliation.

6 Le sol dans l'art

Avant l'art de la Renaissance, le sol est représenté schématiquement par de simples lignes ou une simple surface. À la Renaissance, sa représentation s'affine mais reste standardisée^[52]. Le soil art est un domaine de l'art contemporain qui s'est spécialisé sur ce sujet^[53]. La pédothèque (collection d'échantillons de terre dont la couleur est classée selon le nuancier de Munsell) de l'artiste Kôichi Kurita en est une des illustrations^[54].

- Représentation du sol dans l'art assyrien
- Sol dans une peinture médiévale
- Sol à la Renaissance
- Exemple de land art

7 Année internationale des sols



Le logo de l'Année internationale des sols

À sa soixante-huitième session, l'Assemblée générale de l'ONU (A/RES/68/232)^[55] a déclaré l'année 2015 Année internationale des sols (AIS)^[56].

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a été désignée pour mettre en œuvre l'Année internationale des sols 2015, dans le cadre du Partenariat mondial sur les sols et en collaboration avec les gouvernements et le secrétariat de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.

L'AIS vise à accroître la sensibilisation et la compréhension de l'importance des sols pour assurer la sécurité alimentaire et permettre à l'écosystème de remplir ses fonctions essentielles.

8 Notes et références

- [1] (en) Ben Bond-Lamberty & Allison Thomson « Temperature-associated increases in the global soil respiration record » *Nature* 464, 579-582 (2010). (PDF, 6 pp.)
- [2] Olivier Moine, Denis-Didier Rousseau, Pierre Antoine & Christine Hatté « Mise en évidence d'évènements climatiques rapides par les faunes de mollusques terrestres des Loess Weichseliens de Nussloch (Allemagne) » *Quaternaire* 1967 ;13(3-4) :209-217. (PDF) 9 p.
- [3] Hervé Barrouquère « Nouvelles données sur le centre potier médiéval de Beylongue (Landes) » *Archéologie des Pyrénées Occidentales et des Landes* 2007 ;26 :145-160. (PDF) 16 p.
- [4] Alain Froment & Martin Tanghe « Répercussion des formes anciennes d'agriculture sur les sols et la composition floristique » *Bulletin de la Société Royale Botanique de Belgique* 1967 ;100 :335-352.
- [5] Jean-Michel Gobat, Michel Aragno & Willy Matthey, Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Troisième édition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 15 octobre 2013 (ISBN 9782880747183)
- [6] Jean-François Ponge (2011) dossier *Biodiversité animale du sol et gestion forestière* [PDF] 8 p.
- [7] Portail FAO de l'Année internationale des sols
- [8] UNIFA parlons fertilisation
- [9] Dossier Prosensols Le tassement des sols agricoles : prévenir et remédier [PDF] 32 p.
- [10] Albert Demolon & Désiré Leroux, Guide pour l'étude expérimentale du sol. Seconde édition, Gauthier-Villars, 1952
- [11] Urban Atlas une base de données pan-européenne de couverture et d'utilisation du sol
- [12] Dossier Gessol La vie cachée des sols [PDF] 19 p.
- [13] Stéphane Urozemail, Christophe Calvaruso, Marie-Pierre Turpault & Pascale Frey-Klett « Mineral weathering by bacteria : ecology, actors and mechanisms » *Trends in Microbiology* 2009 ;17(8) :378-387. DOI :10.1016/j.tim.2009.05.004

- [14] Jean-François Ponge « Humus forms in terrestrial ecosystems : a framework to biodiversity » *Soil Biology and Biochemistry* 2003 ;35(7) :935-945.DOI :10.1016/S0038-0717(03)00149-4(0) [PDF] 11 p.
- [15] Dossier Terrestrial humus forms : ecological relevance and classification [PDF] 7 p.
- [16]
- [17] Source AEE
- [18] Données publiées : 08 décembre 2010, en ligne : 07 décembre 2010; Couverture temporelle : 2000. Carte faite par Centre commun de recherche (CCR), avec comme source : la sensibilité naturelle à la compaction 2007[Source <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/the-natural-susceptibility-fo-soils> : EEE], CC-by-2.5, consulté 22/10/2011
- [19] (en) *Exceedance of critical loads of acidity Document Actions Maps showing changes in the extent to which European ecosystems are exposed to acid deposition* (i.e. where the critical load limits for acidification are exceeded). Values for 2010 are predicted based on adherence to implementation of NEC Directive (*Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants*).
- [20] *Le Monde*, 15 janvier 2009, page 4
- [21] (en) Bever, J. D., K. M. Westover, and J. Antonovics. 1997 « Incorporating the soil community into plant population dynamics : the utility of the feedback approach » *Journal of Ecology* 85 : 561–573
- [22] Stocks de carbone dans le sol et en forêt dont par la biomasse, (en MtC = mégatonne de carbone, = million de tonne de carbone) D'après Arrouays 1999, Dupouey *et al.* 1999
- [23] Eric Davidson est biogéochimiste au *Woods Hole Research Center*, à Falmouth, Massachusetts). Interrogé par Nature, il ajoute « Si c'est vrai, il s'agit d'une constatation importante : que la rétroaction positive du changement climatique est déjà à un niveau détectable dans les sols. »
- [24] Bond-Lamberty, B. & Thomson, A. *Biogeosci. Discuss.* 7, 1321-1344 (2010).
- [25] Les sols forestiers : puits de carbone et réservoirs de biodiversité
- [26] Conférence internationale, *Puits de Carbone et Biodiversité*, Liège, 2001. Actes publiés en 2003 par la Direction générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement de la Région Wallonne. Ed : Ir. J. Stein.
- [27] Lina Judith Henao Valencia, Thèse (Chimie Physique Moléculaire et Structurale) : *Étude des bases moléculaires de l'agrégation des sols par des exopolysaccharides bactériens* ; Grenoble, le 28 octobre 2008, université Joseph Fourier de Grenoble
- [28] Gérard Catroux, INRA CMSE
- [29] (en) A. Abril & E.H. Bucher « The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the Chaco dry savannas of Argentina » DOI :10.1016/S0929-1393(98)00162-0
- [30]
- [31] Agrocarburants, dangers confirmés
- [32] « La politique d'aide aux biocarburants » ; Rapport public thématique / Évaluation d'une politique publique (2012-01-24), PDF, voir paragraphe 243 page 118 (sur 259)
- [33] Projet Ecomic-RMQS, financé par l'ANR Biodiversité pour 2006-2009
- [34] (en) Bispo A. *et al.* 2008 « ENVASSO, WP 5 : Decline in soil biodiversity » in Prototype Evaluation Report : ENVASSO Project (Contract n° 022713) – Annexe 1. p. 83-101
- [35] (en) 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. p. 97-99
- [36] Indicateur : taux d'évolution de la biomasse microbienne moyenne des sols en métropole (Lien)
- [37] 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. p. 187-201
- [38] « European atlas of soil biodiversity » (téléchargement) ; *Applied Soil Ecology* ; Volume 12, Issue 2, May 1999, Pages 159-167
- [39] Conférence [Soil, Climate Change and Biodiversity – Where do we stand ? (Commission européenne), 23 and 24 September 2010
- [40] présentation de l'étude *Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers*
- [41] Rapport final *European Commission - DG ENV ; Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers*, Fev 2010 (pdf, 250 pages, environ 6,4Mb)
- [42] NF X 31-255-2 :2001, Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des escargots juvéniles (*Helix aspersa*) - Partie 2 : Détermination des effets sur la croissance par contamination par le sol
- [43] AEE, Losses of agricultural areas to urbanisation Document Actions Graph showing estimated loss of agricultural land in 20 EU countries due to urbanization between 1990 and 2000 based on an analysis of CORINE Land Cover Data
- [44] Denhez Frédéric (2015) *Cessons de ruiner notre sol!*; Flammarion
- [45] Briones MJI, Ineson P & Pearce TG (1997) *Effects of climate change on soil fauna ; responses of enchytraeids, Diptera larvae and tardigrades in a transplant experiment*. *Applied Soil Ecology*, 6(2), 117-134.

- [46] Lal R (2004) <http://www.rowan.k12.ky.us/userfiles/959/Classes/10689/stegall%20kandra%2011302011%20327%20pm%20soilcarbon.pdf> *Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security*. science, 304(5677), 1623-1627 (PDF, 6 pages)
- [47] Davidson, EA & Janssens IA (2006) *Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change*. Nature, 440(7081), 165-173
- [48] *Plathelminthes terrestres invasifs*, par Jean-Lou Justine (Museum)
- [49] Baize « Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols » Inra Lien vers résumé étude
- [50] (en) Mench *et al.* 1996 « Cadmium availability to wheat (*Triticum aestivum*) and mobility in soils from the Yonne district » *Environmental Pollution*
- [51] Décret n° 2007-326 du 8 mars 2007 (JO du 10 mars 2007), pris « après discussion avec les organisations professionnelles agricoles » pour les bailleurs associatifs agréés au titre de la protection de l'environnement et les personnes morales de droit public, en application de la Loi d'orientation agricole (LOA) du 6 janvier 2006.
- [52] (en) Edward R. Landa, Christian Feller, *Soil and Culture*, Springer Science & Business Media, 2010, p. 23
- [53] (en) Edward R. Landa, Christian Feller, *Soil and Culture*, Springer Science & Business Media, 2010, p. 51
- [54] Dominique Poiret, « Kôichi Kurita, collectionneur de poussières », sur *Libération*, 2 avril 2014
- [55] http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/68/232&Lang=F
- [56] « Année internationale des sols (AIS) », sur www.fao.org

9 Voir aussi

9.1 Articles connexes

- Liste des sols
- Classification des sols
- Pédologie
- Pédogenèse
- Mécanique des sols
- Humus
- Terre arable
- Érosion, désertification
- Régression et dégradation des sols
- Directive cadre pour la protection des sols
- Dépollution des sols

- Hydroponie
- Aéroponie
- Terra preta
- Biochar
- Culture sur sol inversé
- Terra Mater
- Sol suppressif

9.2 Liens externes

- Portail d'information sur les sols de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- Partenariat mondial sur les sols
- Groupement d'Études Méthodologiques pour l'Analyse des Sols
- Cours de la FAO pour la connaissance des sols.
- Rapport sur l'état des sols de France sur le site du GIS (Groupement d'intérêt scientifique) Sol
- Connaissez votre sol
- Glossaire de pédologie d'AgroParisTech
- Trucs simples pour vérifier la santé du sol
- (en) European soil portal

9.3 Bibliographie

- *Atlas de la biodiversité des sols* (en)
- Bourguignon Claude & Lydia, *Le sol, la terre et les champs : Pour retrouver une agriculture saine*. Éd. Sang de la Terre, 2008, 221 p. ISBN 978-2-86985-188-7
- Citeau Laëtitia, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King (coord.) *Gestion durable des sols*. Éditions Quae, 2008, 320 p.
- Commission européenne, *Du sol au paysage : un patrimoine fondamental de l'Union européenne*. Juillet 1999
- Commission européenne, DG ENV, 2010 - *Rapport final ; Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers*] 250 p. (en)
- EEB, Biodiversity and nature / Soil, News section, European Environmental Bureau (EEB), 2010.

- EEB, Soil : worth standing your ground for- Défendez votre sol (Arguments pour la directive Sols), Publication du Bureau européen de l'environnement (BEE) sur les Sols (en)
- EEA & JRC The European Environment State and Outlook 2010 – Thematic Assessment Soil, 2010
- EEN *et al.*, The truth behind the CAP : 13 reasons for green reform, European Environmental Bureau, Butterfly Conservation Europe, Birdlife European Policy Office, Europarc Federation, Greenpeace, Friends of the Earth Europe, IFOAM EU Group, Pesticide Action Network, WWFWorld Wildlife Fund, 2010
- DNR, Bodenschutz – Argumentationshilfe für eine EU-Rahmenrichtlinie, German League for Nature and Environment (DNR), 2010
- DNR, German , Bodenschutz und Landwirtschaft, League for Nature and Environment (DNR), 2010 ;
- (en) David R. Montgomery (en), *Dirt : The Erosion of Civilizations*, (ISBN 978-0-5202-5806-8)
- Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W., 2010 (3^e éd.) - *Le sol vivant. Bases de pédologie - Biologie des sols*. Lausanne, PPUR - Collection : Science et ingénierie de l'environnement, 848 p.
- Morin Hervé, *L'Afrique agricole* dans le journal *Le Monde* du 9 juin 2006 [lire en ligne]
- Legros Jean-Paul, 2007 - *Les grands sols du monde*. Lausanne, PPUR, Collection : Science et ingénierie de l'environnement, 574 p.
- Hedlund Katarina, Soil ecosystem services, a natural capital - how we can use soil ecosystem services to promote actions for enhancing soil biodiversity and sustainable use of soil resources ? Presentation de Katarina Hedlund faite au 3^e “Soil Service Workshop”, EU FP 7 research project SOILSERVICE, 2011-06-01 ;
- Gustave André, *Propriétés générales des sols en agriculture*. Éd. Armand Collin, 1946, 184 p.
- Union européenne/European Union, 2011 - *Soil : the hidden part of the climate cycle*
- Espaces-naturels, n^o spécial Un habitat à protéger ; Le sol est vivant, PDF, 52 pages



• Portail des sciences



• Portail de la médecine



• Portail de l'agriculture et l'agronomie



• Portail de la géologie



• Portail de la biologie

10 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

10.1 Texte

- **Sol (pédologie)** *Source* : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Sol_\(p%C3%A9dologie\)?oldid=115175209](http://fr.wikipedia.org/wiki/Sol_(p%C3%A9dologie)?oldid=115175209) *Contributeurs* : Anthere, Orthogaffe, Semnoz, Cdang, Abrahami, Jusch, FoeNyx, Spedona, Spooky, Aurevilly, Archibald, Phe, MedBot, Nnemo, Phe-bot, ~Pyb, Urban, Goliadkine, PieRRoMaN, Pixeltoo, Criric, Leag, Bob08, En rouge, Nias, Laurent Jerry, DocteurCosmos, Seb35, JihemD, Nykozoft, Arnaud.Serander, Pok148, Gzen92, Calbp, Zyzomys, Tvpm, Litlok, Toutoune25, Njaeh, Puff, Pautard, Xofc, Karl1263, Lamiot, Ton1, GamiP, Basicdesign, X-or, Linan, BaptIsteD, Rhadamante, Thijs !bot, Macassar, Grimlock, Bc789, Escarbot, Maja~frwiki, VincentPalmieri, RémiH, Dauphiné, JAnDbot, Soulbot, Nono64, Van Rijn, Nilfanion, FR, Eiffele, Darkludo, VonTasha, Salebot, Vi..Cult..., AlnoktaBOT, Idioma-bot, TXiKiBoT, BapTi, VolkovBot, Nightwoof, AmaraBot, Moyg, AlleborgoBot, Perspectus, SieBot, YonaBot, ZX81-bot, Pépé34, Cxielarko, JLM, Kyro, Wanderer999, OKBot, Brunehaut, Vlaam, Dhatier, Hercule, LeMorvandiau, DumZiBoT, DeepBot, DragonBot, Quentinv57, HerculeBot, WikiCleanerBot, SilvononBot, ZetudBot, Ggal, LaaknorBot, JeanBono, Jfponge, LinkFA-Bot, Luckas-bot, Denispir, Nallimbot, Jotterbot, GrouchoBot, Dark Attsios, Archimëa, DSisyphBot, Penjo, Xqbot, Rubinbot, Mmmngb, Cj73, Coyote du 57, Lomita, Orlodrim, Tijo2008, Gsalokhe, EmausBot, Salsero35, LD, WikitanvirBot, Sacha66100, Teglin666, Didier SKALSKI, Zubiburu, Splujer, Eritro, Oimabe, MerlIwBot, Brigadefluviale, OrlodrimBot, BonifaceFR, Michel Chauvet, Houterdam, Addbot, Améliorations-Modestes, ValentinDesloges, Os-max, Isabelle FAO, Choo-gun, Do not follow, Hibolites, Maxencepetit et Anonyme : 67

10.2 Images

- **Fichier:AcidificationExceedance_UE_AEEen.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/AcidificationExceedance_UE_AEEen.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:BU_Bio5c.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/BU_Bio5c.jpg *Licence* : CC BY-SA 2.0 fr *Contributeurs* : Transferred from fr.wikipedia ; transferred to Commons by User:Bloody-libu using CommonsHelper. *Artiste d'origine* : Original uploader was Elapied at fr.wikipedia
- **Fichier:Bodenart.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Bodenart.jpg> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Disambig_colour.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Disambig_colour.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Bub's
- **Fichier:DistributionNematodesEEAfr.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/DistributionNematodesEEAfr.jpg> *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Estructura-suelo.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Estructura-suelo.jpg> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Carlosblh
- **Fichier:Formación del suelo.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Formaci%C3%B3n_del_suelo.png *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Wikimedia Commons, User :Sinnya
- **Fichier:Information icon.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Information_icon.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : en:Image:Information icon.svg *Artiste d'origine* : El T
- **Fichier:LOGO Année internationale des sols 2015.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/LOGO_Ann%C3%A9e_internationale_des_sols_2015.jpg *Licence* : CC BY 4.0 *Contributeurs* : <http://www.fao.org/soils-2015/fr/> *Artiste d'origine* : L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- **Fichier:Monocline01.gif** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Monocline01.gif> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Transferred from en.wikipedia ; Transfer was made by User:Mikenorton. *Artiste d'origine* : Original uploader was Mikenorton at en.wikipedia
- **Fichier:Sciences exactes.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Sciences_exactes.svg *Licence* : LGPL *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:SoilTypeUE_EEA_Fr.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/SoilTypeUE_EEA_Fr.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Soil_erosion.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/Soil_erosion.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Panoramio *Artiste d'origine* : Богдан Малько
- **Fichier:Soil_profile.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Soil_profile.png *Licence* : Public domain *Contributeurs* : <http://soils.usda.gov/education/resources/lessons/profile/> *Artiste d'origine* : US Department of Agriculture
- **Fichier:Soil_sci.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Soil_sci.jpg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:SoilsCompaction_UE_EEA_FR.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/SoilsCompaction_UE_EEA_FR.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:SolsAgricolesPerte_relativeUE20_EEA_Fr.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/SolsAgricolesPerte_relativeUE20_EEA_Fr.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Sols perte UE_AAE Français modifié-\$1.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Sols_perte_UE_AAE_Fran%C3%A7ais_modifi%C3%A9-1.jpg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Spargelbalken.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Spargelbalken.jpg> *Licence* : CC BY-SA 2.0 de *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : LSDSL 19 :56, 27 February 2008 (UTC)
- **Fichier:Star_of_life2.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Star_of_life2.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Verdy p

- **Fichier:Stock_carbone_en_france_(estimation).jpg** Source : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Stock_carbone_en_france_%28estimation%29.jpg Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Lamiot
- **Fichier:Tractor_icon.svg** Source : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tractor_icon.svg Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Spedona
- **Fichier:UE_Soils.png** Source : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/UE_Soils.png Licence : Public domain Contributeurs : ? Artiste d'origine : ?

10.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0