



MENACES SUR LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

Les sols, issus de processus longs, sont considérés comme non renouvelables à l'échelle humaine. Toute altération peut être irréversible.

↳ L'érosion

Avec la déforestation, le surpâturage et l'agriculture mécanisée, l'érosion des sols est très largement accélérée. En Europe, l'érosion emporte en moyenne 17 t de sol/ha/an. Une valeur considérable devant le taux moyen de formation d'un sol estimé à 1 t/ha/an. 25 % des sols français et leur biodiversité sont menacés par l'érosion.

↳ La réduction de la matière organique

Causée par l'érosion et par certaines pratiques agricoles (labour profond, irrigation excessive, etc.), la perte en matière organique diminue la fertilité et la productivité des végétaux. L'activité et la diversité des organismes du sol sont directement affectées.

↳ La salinisation

Due à une irrigation et à une extraction excessives des eaux souterraines dans les zones côtières, l'augmentation de la teneur en sel dans les sols élimine de nombreux organismes.

↳ La pollution

Les sols sont contaminés par les éléments traces métalliques (Cadmium, Zinc, Plomb, Arsenic, etc.) provenant de l'industrie, la circulation automobile ou l'agriculture et par les polluants organiques (dioxines, herbicides ou pesticides organochlorés). Des réseaux d'experts surveillent près de 90 substances considérées comme persistantes, toxiques et capables de s'accumuler dans les chaînes trophiques du sol.

↳ La compaction

Le tassement du sol provoque son asphyxie et induit une forte baisse de sa porosité naturelle avec des impacts très forts sur l'activité biologique et la biodiversité. La compaction est le plus souvent due aux engins agricoles et forestiers.

↳ L'urbanisation

En France, 60 000 ha se transforment chaque année en villes, parkings et autres routes. Tous les dix ans, une surface de la taille d'un grand département français est totalement recouverte.

ENJEUX POUR LA RECHERCHE SUR LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

Les sols sont un des plus grands réservoirs de biodiversité de la planète.

Malgré les menaces, il n'existe aucune législation ou réglementation spécifique pour la biodiversité des sols. En 2006, la Commission européenne a proposé une directive-cadre sur les sols, mais les gouvernements européens ne sont toujours pas parvenus à un accord pour protéger les sols au même titre que l'eau ou l'air. Les enjeux sont de taille. Outre la mise en œuvre de politiques effectives, soutenir l'activité scientifique s'impose pour surmonter le manque de connaissances sur la biodiversité des sols et les services écosystémiques qui en dépendent.

Résoudre les difficultés liées aux mesures de la biodiversité du sol...

L'exploration de cette diversité est un défi pour les scientifiques, notamment pour des raisons méthodologiques. Seulement 1 % des micro-organismes des sols sont aujourd'hui décrits après leur mise en culture. Les microbiologistes du sol ont donc été amenés à utiliser des méthodes basées sur l'extraction de l'ADN, remplaçant l'identification morphologique des espèces. Grâce aux développements des techniques moléculaires, la richesse du sol en micro-organismes commence aujourd'hui à être mesurée.

... et proposer des indicateurs pour surveiller la qualité des sols

Une batterie d'indicateurs, simples ou composites, a été mise au point. Ils peuvent être basés sur la biomasse, sur l'abondance et/ou la diversité de certains groupes biologiques, comme les vers de terre par exemple. Bien que des travaux soient en cours (voir programme ENVASSO), il n'existe pas à l'heure actuelle de système standardisé d'indicateurs.

Connaître le fonctionnement biologique des sols pour mieux évaluer les impacts des activités humaines

Au delà de la description des organismes, des études sont menées actuellement sur les relations entre diversité et fonctionnement des sols. Elles permettront de mieux évaluer les impacts des activités humaines et ainsi de mieux cibler les mesures de gestion, pour les sols de manière générale ou en visant tout particulièrement leur biodiversité.



En savoir plus

TOUS PUBLICS...

Sagascience biodiversité! Sol et biodiversité: couple inséparable au service de l'humanité. FRB, CNRS, IRD, 2008
www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.html

L'usine de la vie, pourquoi la biodiversité des sols est-elle si importante? Commission européenne, 2010, p.20
http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/soil_biodiversity_brochure_fr.pdf

Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Commission européenne, 2010
<http://ec.europa.eu/environment/soil/biodiversity.htm>

Premier Atlas de la Biodiversité des Sols Européens. Commission européenne, 2010, p.130
http://eu soils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/

La vie cachée des sols.
Eglin T., Blanchard E., Berthelin J. & al. MEEDDM, 2010, p.20

Le sol: un gigantesque réservoir de biodiversité.
Le Roux X. in Gouyon P.H., Leriche H. (dir.), Aux origines de l'environnement, Ed. Fayard, Paris, 2010, chap.11, p.495

Observation et statistiques de l'environnement /Sol
www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/acces-thematique/sol.html

Hidden assets: biodiversity below-surface.
Policy briefs n°5, UNESCO & SCOPE, 2007, p.6

OUVRAGES, ARTICLES ET RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES...

Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., 2009. Gestion durable des sols. Ed. QUAE (coll. Savoir faire), Versailles, p.320

Dance A., 2008. Soil ecology: What lies beneath? *Nature* 455, 724-725
Decaens T., Jiménez J.J., Gioia C., Measey G.J., Lavelle P., 2004. The values of soil animals for conservation biology.
European Journal of Soil Biology 42: 523-538

Gobat J.M., Aragno M., Matthew W., 2003. Le sol vivant (2^{ème} édition). PPUR, Lausanne, p.844

Lavelle P., Spain A.V., 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht

Lavelle P. & al., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42: 53-515

Wardle D.A. & al., 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304, 1634-1637

Quelques réseaux et programmes de recherche sur la biodiversité du sol

RMQS Génosol
www2.dijon.inra/plateforme_genosol/

GIS SOL
www.gissol.fr

TerraGénome
www.terragenome.org

ENVASSO
www.envasso.com

BETSI
Programme CESAB FRB

Membres fondateurs de la FRB:



Citation:
FRB, 2011. Sols vivants: la face cachée de la biodiversité. Des clés pour comprendre la biodiversité n°1, avril 2011, FRB, Paris

Directeur de publication: X. Le Roux
Coordination: C. Adda
Conception et rédaction: E. Leciak

Validation scientifique:
S. Barrot, T. Decaens, P. Simonet

Graphisme: Maro Haas

© Crédit photos:
INRA - M. Fouchard, L. Fayolle,
C. Maitre, M. Pussard, M. Rousseau
CNRS Phototèque - C. Delhaye

papier mixte 60 % recyclé, 40 % FSC.

Contact:
FRB
195 rue Saint-Jacques
75005 Paris
contact@fondationbiodiversite.fr
www.fondationbiodiversite.fr



SOLS VIVANTS LA FACE CACHÉE DE LA BIODIVERSITÉ

Le nombre d'espèces et la densité des organismes vivants dans les sols atteignent des niveaux très supérieurs à ceux observés en surface. Un seul gramme de sol contient quelques milliards de cellules bactériennes et des centaines de mètres de filaments mycéliens. Le sol d'une prairie n'abrite pas moins de 260 millions d'invertébrés au m².

La faune et la flore du sol sont d'une incroyable diversité de formes et de fonctions et elles assurent des services indispensables; des services écosystémiques à préserver et des mécanismes biologiques, sources d'innovation, encore à explorer.



SOLS VIVANTS

LA FACE CACHÉE DE LA BIODIVERSITÉ

ORGANISMES MINUSCULES ET MEGA-DIVERSITÉ

PLUS DU QUART DE TOUTES LES ESPÈCES ACTUELLEMENT CONNUES VIVENT SOUS NOS PIEDS.

Le sol des régions tropicales abrite cinq fois plus d'espèces d'insectes que la canopée. En zone tempérée, la biomasse bactérienne du sol invisible à l'œil nu, représente pourtant 1 à 2 tonnes par hectare!

L'EXPLORATION NE FAIT QUE COMMENCER

A ce jour, plus de 95% des espèces vivant dans le sol n'ont pas encore été décrites. Chez les vers de terre, 3 300 espèces sont connues et il en reste au moins autant à découvrir. 25 000 espèces d'acariens ont été décrites, ce qui représente à peine 3% du total estimé. Que dire alors des bactéries du sol, pour lesquelles une grande majorité des taxons reste encore méconnue.

Vertigineux souterrains

Le sol est un milieu hétérogène, composé de fragments issus de la dégradation des roches et de matière organique. Entre les particules du sol, des pores remplis d'air ou d'eau forment des « îles » où la vie est possible.

En plus des nombreux plis et anfractuosités qui forment une incroyable surface de colonisation pour la vie, la vie elle-même démultiplie les possibilités et favorise la diversité: des coléoptères découpent les végétaux; sur ces petits fragments végétaux se nourrissent des acariens; dans les déjections des acariens poussent des champignons; avec les champignons se développent des bactéries...

Soumis à l'influence des êtres vivants, certains compartiments de sol sont de véritables « hotspots microbiens »: la « rhizosphère », zone autour des racines; la « détritusphère », zone de contact avec les débris organiques; ou encore la « drilosphère » qui est l'espace enrichi par l'activité des vers de terre.

Le sol n'est définitivement pas qu'un support inerte, il est fait de vie autant que de matière.

MACRO-FAUNE
> 4 mm
1 000 à 10 000 individus/ m²

MESO-FAUNE
0,2 à 4 mm
100 000 à 1 million d'individus/ m²

MICROFAUNE (MICRO-ORGANISMES)
< 1 µm
1 à 10 milliards individus/ g de sol
plusieurs dizaines ou centaines de milliers de taxons bactériens différents/ g de sol

MICRO-FAUNE
4 à 200 µm
100 000 à plus de 100 millions d'individus/ m²



BIODIVERSITÉ ACTIVE

Le sol est la pièce maîtresse des grands cycles biogéochimiques (carbone, azote...) dans les écosystèmes terrestres. Il permet les échanges gazeux, liquides et de particules entre l'air, la terre et les êtres vivants. La plupart des processus élémentaires qui donnent au sol ses fonctions sont assurés par la faune et la microflore.

Les habitants du sol creusent, découpent, digèrent, transforment la matière. Petits mammifères, insectes, vers, champignons et bactéries ont, chacun selon leurs compétences, des rôles complémentaires. Les organismes vivants, ingénieurs et recycleurs, maintiennent la structure du sol, en régulent la chimie, influencent la fertilité et participent à la régulation du cycle de l'eau.

EN UN AN, LES ORGANISMES DU SOL TRAITENT 25 TONNES DE MATIÈRE ORGANIQUE PAR HECTARE, LIBÉRANT LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX UTILES POUR LA VIE EN SURFACE

Questions en suspens...

Bien qu'essentiels, les sols restent certainement parmi les écosystèmes les plus complexes et les moins bien connus de la planète. Les mécanismes sous-jacents sont loin d'être complètement décryptés par les scientifiques et les travaux et les expérimentations sur les liens entre biodiversité et fonctionnement des sols ne permettent pas encore de répondre à toutes les questions.

Par exemple, dans une communauté bactérienne, quelques espèces seulement sont numériquement dominantes alors que toutes les autres n'ont qu'un nombre limité de représentants. Le rôle des espèces minoritaires fait toujours controverse.

Dans certains cas, le rôle joué par les bactéries est plus lié aux conditions de l'environnement qu'à leur diversité. Si on élimine expérimentalement un grand nombre d'espèces minoritaires dans un sol, les fonctions ne sont pas altérées.

La multitude d'espèces est capitale. Les espèces minoritaires prennent le relais quand, soumises à une perturbation, les espèces dominantes voient leur effectif se réduire. Cette « biosphère rare » est également un réservoir d'informations génétiques permettant l'adaptation à de nouvelles conditions.

Qualité ou quantité ?

Plusieurs approches de la biodiversité des sols se côtoient sans être incompatibles. Certains considèrent que la bonne santé d'un sol se mesure par la biomasse et qu'il convient de cibler quelques groupes fonctionnels majoritaires pour les évaluations ou les opérations de restauration. D'autres s'intéressent à la diversité, à la nature des assemblages d'espèces et aux potentiels d'évolution à plus long terme.

LA RÉSILIENCE DU SOL, EST SON APTITUDE À REVENIR À UN ÉTAT DE FONCTIONNEMENT SATISFAISANT APRÈS UNE PERTURBATION

BIOPROSPECTION, BIOINSPIRATION ET INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

Le sol constitue un formidable réservoir de nouvelles molécules, dépassant largement ce qui ne pourrait jamais être synthétisé. C'est une source d'innovation pour la médecine, les procédés industriels et pour optimiser la production agricole.

Identifié en 1928, le plus célèbre des médicaments, la pénicilline, provient d'un champignon du sol. Aujourd'hui, 70% des antibiotiques présents sur le marché sont issus de bactéries du sol.

Certaines enzymes identifiées chez des micro-organismes entrent dans des procédés industriels. Inspirées par le génie naturel, des entreprises ont développé ces technologies comme par exemple l'industrie du papier ou l'extraction minière (cuivre, or...).

En agriculture, l'inoculation avec des champignons ou des bactéries favorables aux plantes a montré ses effets positifs sur la croissance et le développement de certaines espèces cultivées.

La capacité des micro-organismes à métaboliser toutes sortes de composés, y compris les plus toxiques, est utilisée par l'ingénierie écologique, un système de pratiques innovantes pour la gestion environnementale et la restauration des sites. Plusieurs espèces bactériennes capables de dégrader le pétrole ont déjà été décrites. D'autres peuvent traiter des polluants comme les pesticides ou les métaux lourds retrouvés en abondance aux abords des autoroutes ou sur des friches industrielles.

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET VALEURS DE LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

SERVICES ASSURÉS PAR LES SOLS	RÔLES DES ORGANISMES DU SOL
Production de nourriture	<ul style="list-style-type: none"> 60 à 90% de la biomasse végétale est décomposée dans le sol et les nutriments sont recyclés Amélioration de la fertilité globale du sol Aération du sol
Qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisation de la structure du sol: limite le ruissellement et l'érosion Dégradation de nombreux polluants par les enzymes et métabolites des organismes
Hydrologie et protection contre les inondations	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la porosité et influence sur la rétention de l'eau
Pollinisation	<ul style="list-style-type: none"> Phase larvaire dans le sol de nombreux insectes pollinisateurs
Séquestration du carbone	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisation de la matière organique 1 500 gigatonnes de carbone organique sont stockées dans les sols (soit 5 fois ce qui est stocké dans la biomasse forestière)
Régulation des émissions de gaz à effet de serre et cycles biogéochimiques	<ul style="list-style-type: none"> Maintien d'un équilibre entre nutriments Fixation de l'azote
Régulation des pathogènes pour l'homme, les animaux ou les plantes	<ul style="list-style-type: none"> Contrôles biologiques des pathogènes et parasites Augmentation de la résistance des plantes-hôtes

Bien que complexe à calculer, la valeur économique des services écosystémiques assurés par la biodiversité du sol est estimée par certains auteurs à plus de 1 160 milliards d'euros / an dans le monde, avec près de 500 milliards d'euros rien qu'en activités de recyclage.

LA « BIO-INTELLIGENCE » AU SERVICE DE LA DÉPOLLUTION DES SOLS

Grâce aux mutations, à des temps de génération très courts et aux mécanismes de transferts horizontaux de gènes, les micro-organismes du sol ont de remarquables capacités d'adaptation et peuvent répondre à de nouvelles contraintes environnementales. Le cas du Lindane en est un bel exemple.

Le Lindane est une substance toxique qui a été utilisée comme pesticide agricole puis interdite en 1998. A l'époque des premiers apports, dans les années 1940, aucune bactérie n'était capable de dégrader cette molécule. Après quelques décennies, certains micro-organismes ont finalement acquis cette compétence par combinaison de matériel génétique entre espèces différentes.

