Le sol abrite plus de 25 % des espèces animales et végétales actuellement décrites. L'activité de ces organismes assure la fertilité des sols, la qualité de notre alimentation, la pureté de l'air et la qualité de l'eau. L'accroissement de la pression exercée par les activités humaines (l'artificialisation des terres et les modes intensifs de gestion agricole et forestière) et les changements globaux, menacent directement la biodiversité du sol et le bon fonctionnement des sols. Une gestion durable des milieux suppose d'élaborer des objectifs de préservation de la biodiversité et d'intégrer la valeur des services écosystémiques dans l'évaluation des projets affectant le sol.

Comité de rédaction :

- Eric Blanchart, chercheur spécialisé dans la macrofaune du sol
- Patrick Lavelle, chercheur spécialisé dans la macrofaune du sol
- Agnès Richaume-Jolion, chercheur en microbiologie
- Jacques Berthelin, chercheur en microbiologie
- Gilles Grolleau, chercheur en économie
- Stéphane de Cara, chercheur en économie

Contacts :

- Marion BARDY, Service de la Recherche, DRI, CGDD, MEEDDM : marion.bardy@developpement-durable.gouv.fr
- Thomas EGLIN et Antonio BISPO, Animateurs scientifiques, ADEME : thomas.eglin@ademe.fr et antonio.bispo@ademe.fr

La citation de ce document doit se faire comme suit : Eglin T., Blanchart E., Berthelin J., de Cara S., Grolleau G., Lavelle P., Richaume-Jolion A., Bardy M., Bispo A. 2010. La vie cachée des sols, MEEDDM, 20pp.

ADEME : 7021 - ISBN : 978-2-11-128035-9

Conception de la plaquette :
Béatrice Saurel - saurelb@free.fr

Octobre 2010

Crédits photo de la couverture : Antonio Bispo - Eric Blanchart - Claire Chenu - Isabelle Feix -

PROGRAMME GESSOL

GESSOL
Fonctions environnementales & gestion du patrimoine **sol**

2010 Année Internationale de la Diversité Biologique

La vie cachée des sols

L'élément essentiel d'une gestion durable et écologique des milieux

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Commissariat général au développement durable
Direction de la recherche et de l'innovation
Service de la recherche

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

PROGRAMME

GESSOL
Fonctions environnementales & gestion du patrimoine **sol**

Le sol a longtemps été considéré uniquement comme le support de la production agricole. Mis en place dès 1998 par le ministère chargé de l'Ecologie, le programme de recherche GESSOL trouve sa motivation dans la prise en compte de toutes les fonctions environnementales des sols et des organismes qui les peuplent, qui sont cruciales et encore négligées.

A ce jour, le programme a déjà financé 31 projets de recherche qui ont contribué :

- à la caractérisation des fonctions environnementales des sols et à la mise en évidence des rôles des organismes du sol,
- à la mise en œuvre de systèmes d'observation de la qualité et de la biodiversité des sols,
- à l'évaluation des risques et moyens de remédiation liés aux dégradations et aux contaminations des sols,
- à la compréhension des facteurs économiques, sociologiques et culturels qui régissent le rapport de l'homme au sol.

En 2008, un ouvrage "Gestion durable des sols" synthétisant les recherches menées a été publié aux éditions Quae (www.quae.com).

Le présent document a été rédigé dans le cadre de l'année internationale de la biodiversité sous l'impulsion du Conseil Scientifique du programme GESSOL.

La conduite du programme GESSOL est assurée par le Service de la recherche au sein de la Direction de la recherche et de l'innovation du Commissariat général au développement durable du MEEDDM, en lien avec l'ADEME.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Sommaire

Le sol est un milieu vivant - **4**

La biodiversité du sol - **6**

Les rôles de la biodiversité du sol - **10**

Une biodiversité menacée - **14**

La préservation de la biodiversité du sol - **16**

Observez la biodiversité du sol de votre jardin ! - **18**

de haut en bas :
coléoptère - ver de terre - mille-pattes - escargot - champignon - collembole

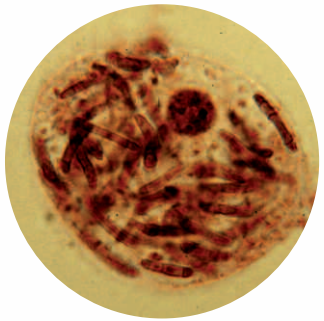
Le sol est un milieu vivant

Le sol est un élément essentiel de notre environnement, c'est un milieu plein de vie !
En effet, il abrite plus de 25 % des espèces actuellement décrites.
Une cuillère à café de sol de jardin peut contenir plus d'un million d'organismes répartis en plusieurs milliers d'espèces différentes.
Cette ressource vivante assure de nombreux services indispensables au fonctionnement des écosystèmes terrestres et au développement des sociétés humaines.

La vie du sol assure les fonctions du sol…

Outre sa fonction de support de production, le sol remplit de nombreuses fonctions environnementales, comme celle de filtre et de lieu de stockage de l'eau et des polluants. La fertilité des sols, la qualité de notre alimentation, la pureté de l'air et la qualité de l'eau sont liées à un bon fonctionnement du sol et à l'activité des organismes qui le peuplent. Même si chacun de ces organismes vivants joue individuellement un rôle spécifique dans les fonctions et les propriétés du sol, c'est leur grande diversité et les relations qu'ils établissent entre eux qui mettent en œuvre des processus biologiques à l'origine du bon fonctionnement des milieux terrestres et de leur adaptabilité aux changements (changement climatique ou d'usage des terres).

© E. Micheli, Szent Univ, Hungary



Protozoaire ayant ingéré des spores de champignons
© L. Palka, MNHN

Œuf de ver de terre
© A. Bispo, ADEME

… mais reste largement méconnue

La biodiversité du sol est une des composantes les moins connues et les plus cachées de la biodiversité. Le sol est actuellement considéré comme la « troisième frontière biotique » au même titre que les grands fonds océaniques et les canopées des forêts équatoriales.

Alors que la 6ème extinction de la biodiversité est annoncée[1] il est temps de mieux considérer ce patrimoine biologique qui détient les fondements d'une gestion durable des milieux et des ressources environnementales.

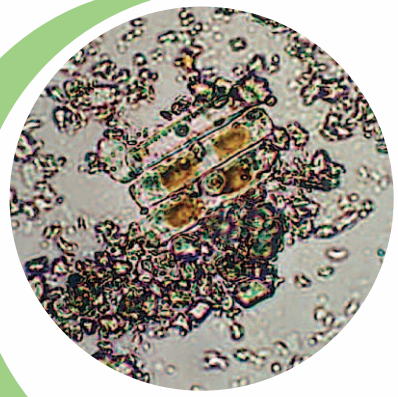
© I. Feix, ADEME

Combien de vie y a-t-il dans le sol ? (Biomasse)

Dans une prairie permanente en zone tempérée, la faune du sol représente jusqu'à 260 millions d'individus par m², correspondant au minimum à 1,5 t/ha (soit environ le poids de 50 moutons) et à une abondance moyenne de 200 vers de terre par m².

1- European Commission - DG ENV. 2010. Soil biodiversity : functions, threats and tools for policy makers.

La biodiversité du sol



Algues du sol
© A. Bérard, Cemagref

La biodiversité du sol regroupe l'ensemble des formes de vie qui présentent au moins un stade actif de leur cycle biologique dans les sols. Cela inclut les habitants de la matrice du sol ainsi que ceux de la litière, des bois morts en décomposition ou des bouses.

Des organismes de toutes les tailles ...

Les organismes du sol sont généralement subdivisés en plusieurs groupes :

- la mégafaune comme les taupes, les crapauds et les serpents
- la macrofaune, visible à l'œil nu (vers de terre, termites, fourmis, larves d'insectes)
- la mésofaune, visible à la loupe (acariens, collemboles)
- la microfaune, et les microorganismes, visibles seulement au microscope (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons, algues)

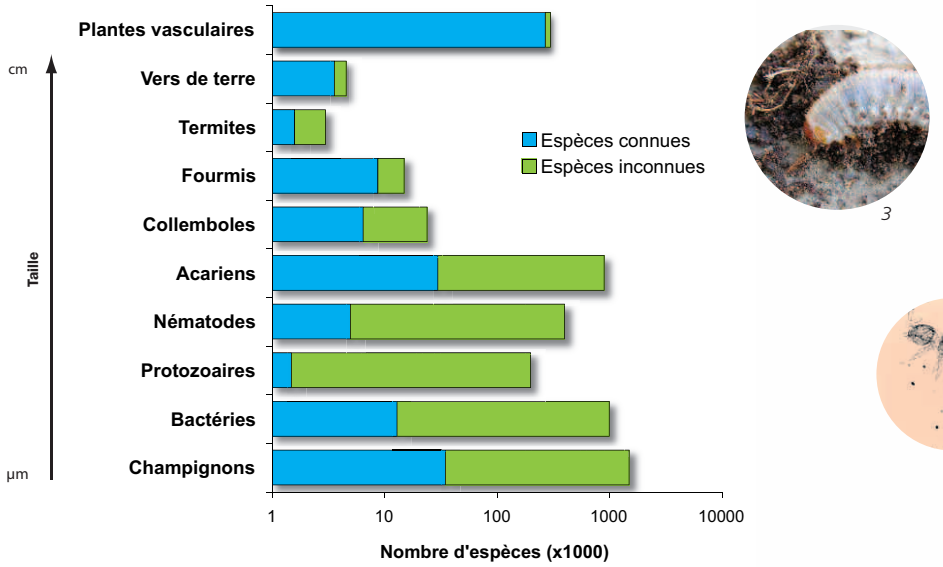
Les plus petits organismes sont les plus nombreux et les plus diversifiés : il existerait ainsi plus de 2 millions d'espèces de bactéries et de champignons dont seulement 1% aurait été identifié. Les vers de terre représentent quant à eux le groupe dont la biomasse est la plus importante et la diversité spécifique la mieux connue.

1

2

... habitant des niches très diverses.

Le sol est un habitat complexe et hétérogène sur de courtes distances, qui comprend de nombreux espaces et où plusieurs formes de ressources nutritives co-existent. Dès lors, une multitude d'organismes vivants peut coloniser ce milieu donnant naissance à des chaînes trophiques très diversifiées. La plupart des espèces se retrouve dans les 2-3 premiers centimètres du sol où les concentrations en matière organique et en racines sont les plus élevées.



3

4

1- Champignons de sous-bois © C. Militon, ADEME
2- Escargot © A. Bispo, ADEME
3- Larve d'insecte © A. Bispo, ADEME
4- Collembole © J. Cortet, INPL/ENSAIA

Etudier ce qui vit dans le sol

La diversité des organismes du sol s'étudie du gène à la communauté, de l'échelle du micro-agrégat à celle du paysage. L'étude des animaux les plus gros (macrofaune) se fait par collecte ou piègeage suivi de leur identification au laboratoire : on compte par exemple le nombre et la masse d'organismes par m² de sol.
La grande majorité des organismes du sol n'est cependant pas visible à l'œil nu. Il s'agit alors de prélever un échantillon de sol (jusqu'à 100 g) afin d'extraire les organismes au laboratoire à l'aide d'appareils spécifiques et de les observer à la loupe et au microscope. Pour les bactéries et les champignons microscopiques, les dernières technologies permettent d'extraire leur ADN du sol et de caractériser la structure, la densité et la diversité génétique des espèces, voire même d'en identifier une partie.

L'identification, le comptage et la caractérisation de la diversité des organismes vivant dans le sol permettent de définir des indicateurs pertinents qui renseignent sur la qualité des sols et plus largement de leur environnement. Ces indicateurs, encore en cours de développement, pourraient être mesurés par des laboratoires d'analyse et à terme par les utilisateurs du sol eux-mêmes afin de mieux connaître l'état de leurs sols.

Prélèvement de ver de terre
© A. Bispo, ADEME

Observation au microscope
© A. Bispo, ADEME

Des expériences nationales

Des expériences de recherches sont mises en place depuis quelques années pour mieux connaître la biodiversité du sol à l'échelle nationale et pour déterminer comment les organismes du sol pourraient être utilisés comme outils de surveillance de la qualité des sols.

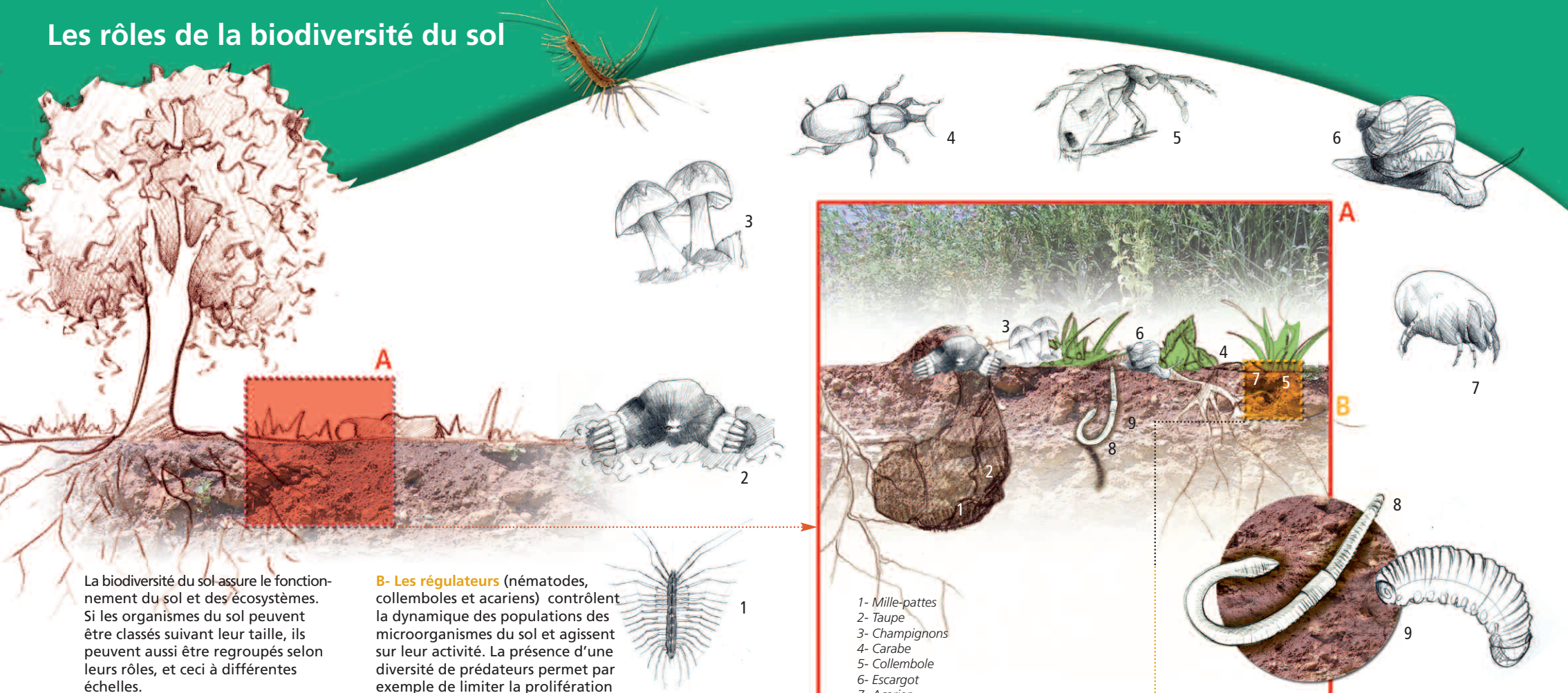
Ainsi, le premier protocole d'extraction de l'ADN des échantillons de sol a été développé dans le cadre du programme GESSOL.

Par ailleurs, un programme national de recherche est actuellement coordonné par l'ADEME, avec pour objectif de définir une batterie de « bio-indicateurs de la qualité des sols ».

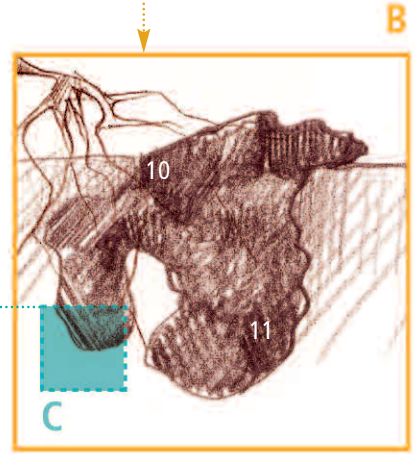
Codes barres © L. Ranjart, INRA

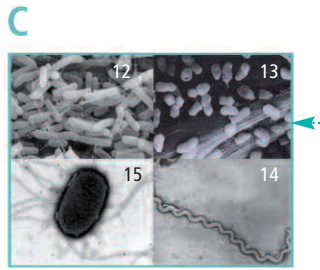
Des profils code-barre des communautés bactériennes du sol peuvent être obtenus par analyse de l'ADN du sol. Ces profils diffèrent en fonction de l'usage du sol : grandes cultures, prairies naturelles ou vignes. Des études plus exhaustives sont actuellement en cours à l'échelle de la France pour permettre d'évaluer l'impact des différents modes d'usage des sols sur la diversité microbienne des sols (programme ECOMIC-RMQS).

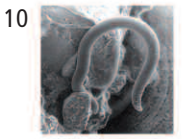
Les rôles de la biodiversité du sol



1- Mille-pattes
2- Taupe
3- Champignons
4- Carabe
5- Collembole
6- Escargot
7- Acarien
8- Ver de terre
9- larve d'Insecte
10- Nematode © C. Chenu, INRA
11- Pseudo-scorpion
12-13-15 - Bactéries du sol
© Karl Ritz, Cranfield Univ., UK
14- Algue
© Karl Ritz, Cranfield Univ., UK







La biodiversité du sol assure le fonctionnement du sol et des écosystèmes. Si les organismes du sol peuvent être classés suivant leur taille, ils peuvent aussi être regroupés selon leurs rôles, et ceci à différentes échelles.

A- Les ingénieurs physiques de l'écosystème (ex : vers de terre, termites, fourmis) renouvellent la structure du sol, créent des habitats pour les autres organismes du sol et régulent la distribution spatiale des ressources en matières organiques ainsi que le transfert de l'eau.

B- Les régulateurs (nématodes, collemboles et acariens) contrôlent la dynamique des populations des microorganismes du sol et agissent sur leur activité. La présence d'une diversité de prédateurs permet par exemple de limiter la prolifération de certains champignons ou bactéries pathogènes des cultures.

C- Les ingénieurs chimistes, principalement les microorganismes (les bactéries et les champignons microscopiques) assurent la décomposition de la matière organique (ex : les feuilles des arbres) en éléments nutritifs facilement assimilables par les plantes comme l'azote et le phosphore. Ils sont également responsables de la dégradation des polluants organiques comme les hydrocarbures et les pesticides.

Chaque année, les organismes du sol peuvent recycler 25 t de matière organique sur une surface équivalente à un terrain de football, soit plus de 7 000 m².

Les organismes du sol produisent des services essentiels aux sociétés humaines en maintenant les qualités environnementales et productives des milieux.

La fertilité du sol

Les organismes du sol supportent indirectement la qualité et l'abondance de la production végétale en renouvelant la structure du sol, en permettant la décomposition des matières organiques et en facilitant l'assimilation des nutriments minéraux disponibles pour les plantes.

La protection des cultures

Avoir une importante biodiversité des sols, c'est augmenter la probabilité que les sols hébergent un ennemi naturel des maladies des cultures. Maintenir ou favoriser une grande biodiversité des sols permet donc de limiter l'utilisation des pesticides.

© I. Feix, ADEME

La régulation du cycle de l'eau et la lutte contre l'érosion des sols

La présence d'« ingénieurs de l'écosystème » tels que les vers de terre favorise l'infiltration de l'eau dans le sol en augmentant la perméabilité des horizons de surface. Par exemple, la disparition de populations de vers de terre dans des sols contaminés peut réduire jusqu'à 93% la capacité d'infiltration des sols et amplifier le phénomène d'érosion.

La décontamination des eaux et des sols

Les microorganismes peuvent immobiliser et dégrader les polluants. Cette alternative aux méthodes conventionnelles de dépollution pourrait permettre de réduire le coût de la décontamination des sols en Europe estimé en 2000 entre 59 et 109 milliards d'Euros[1].

Sol dégradé par l'érosion hydrique
© V. Souchère, INRA

La santé humaine

Les organismes du sol, par leur étonnante diversité, constituent le plus important réservoir de ressources génétiques et chimiques pour le développement de nouveaux produits pharmaceutiques. Par exemple, l'actinomycine et la streptomycine sont des antibiotiques communs dérivés des champignons du sol. Aujourd'hui, de nombreux scientifiques étudient la biodiversité du sol afin de découvrir les médicaments du futur mais aussi des biocatalyseurs (ex: bioraffinage des matériaux lignocellulosiques).

© I. Feix, ADEME

© N. Bertrand, INRA

1- EEA, 2000. Down to the earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. Copenhagen, Denmark.

Une biodiversité menacée

L'accroissement de la pression exercée par les activités humaines (l'artificialisation et l'imperméabilisation des terres, leurs modes de gestion agricole et forestière) et les changements climatiques, sont et seront les principales causes des dégradations que subissent les sols.

La biodiversité du sol est menacée ...

La biodiversité du sol est directement ménacée par les dégradations telles que l'érosion, la diminution des teneurs en matières organiques, les pollutions locales et diffuses, le tassement, l'acidification, l'imperméabilisation et la salinisation des sols.

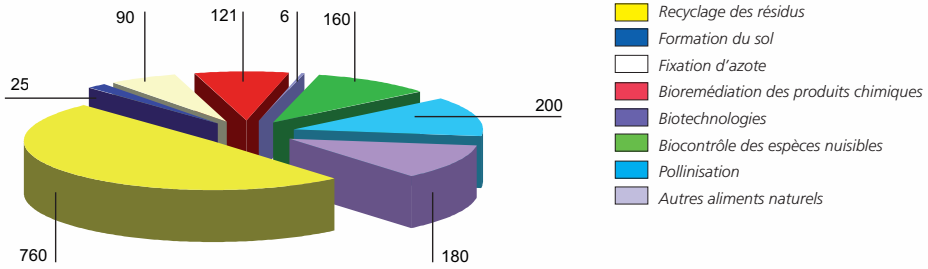
Sol imperméabilisé
© A. Bispo, ADEME

Le changement d'usage des terres (ex: urbanisation, mise en culture, déforestation) est la première cause de baisse de biodiversité car les organismes du sol n'ont généralement pas le temps de se déplacer ou de s'adapter à leur nouvel environnement. Généralement, les prairies naturelles abritent une plus grande diversité d'organismes que les sols agricoles soumis à des pratiques plus intensives. Dans les agglomérations urbaines, la fermeture des sols et le cloisonnement des espaces verts menacent directement le maintien de la biodiversité.

... malgré l'importance de sa valeur économique

Un des moyens d'évaluer la biodiversité est d'en estimer la valeur économique.

Les bénéfices économiques globaux liés à la biodiversité ont été évalués à plus de 1500 milliards de dollars. Une grande partie de ces services est fournie par les organismes du sol



d'après Pimentel et al. *1997*[1].
Les bénéfices économiques globaux liés à la biodiversité sont des résultats annuels exprimés en dollars.

La valeur des services rendus par la biodiversité des sols n'est généralement pas perçue par les bénéficiaires. Donner une valeur économique à chacun de ces services en favoriserait la prise en compte. Ici, il s'agit tout autant d'estimer la valeur de la biodiversité des sols aux échelles globales et nationales afin d'élaborer des objectifs de protection que de l'intégrer dans le coût de chaque projet à l'échelle locale. Ainsi, la prise en compte effective de la valeur des services écosystémiques liés à la biodiversité des sols pourrait corriger voire inverser les écarts de rentabilité entre différents types d'usage du sol ou de pratiques agricoles.

Site pollué
© F. Marot, ADEME

1- Pimentel et al. 1997. Economic and Environmental Benefits of Biodiversity. BioScience, 47(11) : 747-757.

La préservation de la biodiversité du sol

Epandage de fumier
© L. Mignaux, MEEDDM

Les politiques d'aménagement du territoire et de gestion des sols ont une importance primordiale sur la biodiversité des sols et donc les services rendus. Bien que les activités humaines pèsent très fortement sur le sol et ses fonctions écologiques, elles n'ont pas toujours un impact négatif et ne sont pas toutes irréversibles. Les agriculteurs savent par exemple améliorer la qualité de certains sols par le biais de pratiques favorables à la biodiversité.

Quelques exemples de pratiques favorables à la biodiversité des sols :

Augmenter la teneur en matière organique

Des apports réguliers de matière organique améliorent la structure du sol, augmentent la capacité de rétention de l'eau et des nutriments, protègent le sol contre l'érosion et le tassement et soutiennent le développement d'une communauté saine d'organismes du sol. Les pratiques, comme le maintien des résidus de culture à la surface du sol, les rotations qui incluent des plantes à fort taux de résidus, les systèmes avec peu ou pas de labour ou l'épandage de compost augmentent la teneur en matière organique.

Tassement du sol sous forêt
© A. Bispo, ADEME

Limiter les intrants agro-chimiques et la contamination des sols

L'utilisation de pesticides et de fertilisants chimiques favorise les rendements mais les matières actives peuvent nuire aux organismes du sol. Par ailleurs, les apports de contaminants volontaires (ex : bouillie bordelaise à base de cuivre) ou involontaires (ex : cadmium dans les engrais, mercure dans les boues de stations d'épuration, zinc dans les lisiers) peuvent avoir une influence sur les organismes du sol conduisant à des modifications de la biodiversité.

Prévenir le tassement du sol

Le tassement du sol par des passages répétés d'engins, en particulier sur sol mouillé, diminue les quantités d'air, d'eau et d'espace disponibles pour les racines et les organismes du sol. Comme la remédiation est difficile voire impossible, la prévention est essentielle (ex : utilisation de pneus basse pression, réduction du nombre de passages).

Vigne enherbée
© I. Feix, ADEME

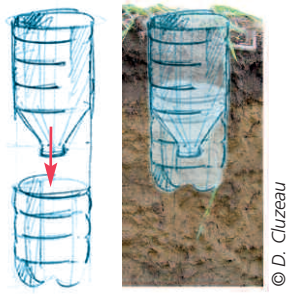
Minimiser le risque d'érosion

Un sol nu est sensible à l'érosion par le vent et l'eau, au dessèchement et à l'encroûtement. La présence d'une couverture végétale ou de résidus de cultures protège le sol, fournit des habitats pour les organismes du sol et peut améliorer la disponibilité en eau et en nutriments.

Observez la biodiversité du sol de votre jardin !

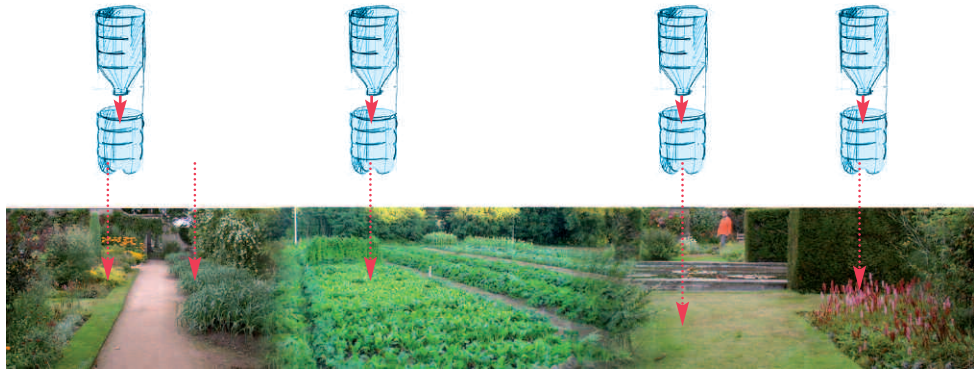
Collectez simplement la macro-faune du sol de votre jardin !

Coupez une bouteille plastique en deux. Insérez le col de la bouteille dans sa base comme un entonnoir et scotchez le joint. Mettez un peu d'eau dans la bouteille avec deux gouttes de produit vaisselle. Enterrez ce dispositif dans le sol pour que le haut coïncide avec la surface du sol. Laissez-la pour la nuit. Le matin, voyez qui est tombé dedans !



© D. Cluzeau

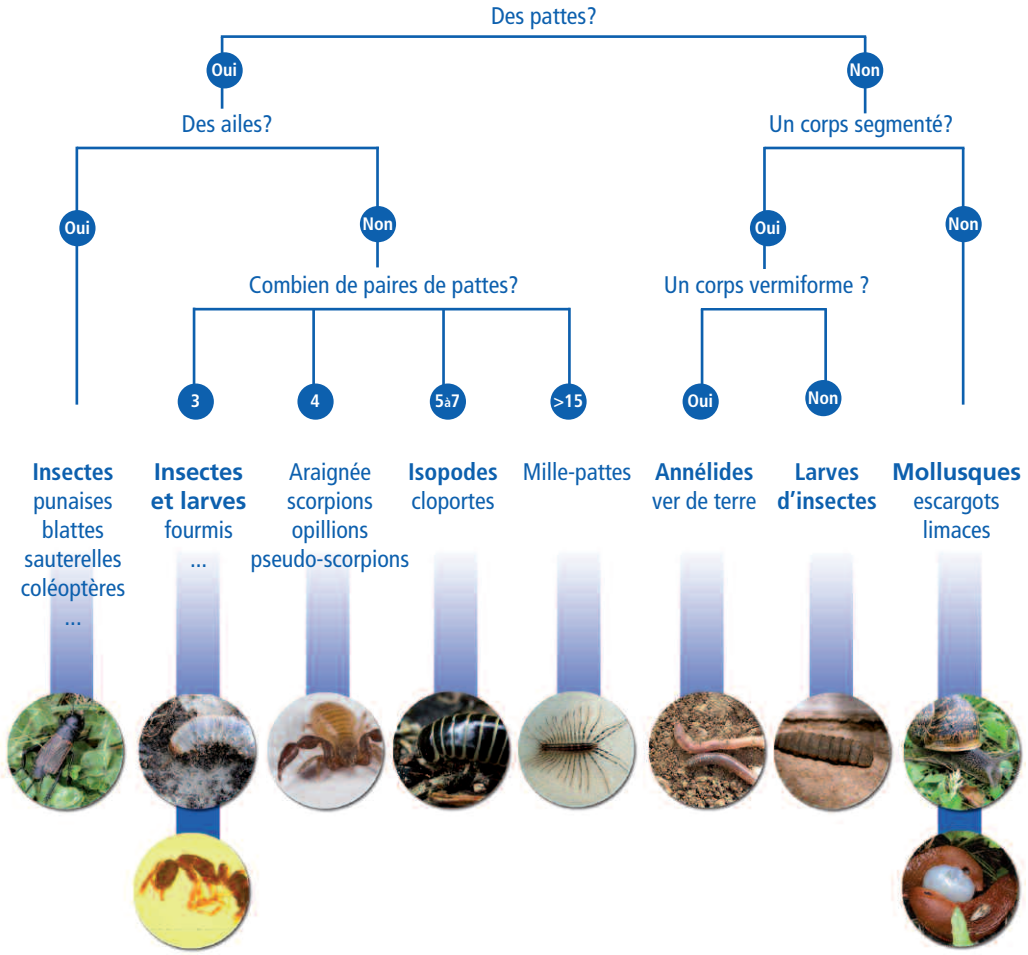
Astuce : Placez ce dispositif à différents endroits de votre jardin pour avoir une idée de la diversité des organismes qui le peuplent.



© I. Feix, A. Bispo - ADEME

Clé simplifiée de la macrofaune du sol

inspirée de Ruiz et al. 2008



1- http://www.fao.org/docrep/011/i0211e/i0211e00.HTM