

Projet européen



EcoFINDERS

Caractériser la biodiversité et le fonctionnement des sols en Europe

23 partenaires de 10 pays européens et la chine



Après l'air et l'eau, la Commission européenne souhaite mettre en œuvre une politique de gestion durable du précieux patrimoine que constituent les sols à travers une directive cadre. Une volonté qui implique des connaissances scientifiques et opérationnelles sur la biodiversité et le fonctionnement des sols.

(1) Millennium Ecosystem Assessment (2003) *Ecosystems and Human Well-Being. A Framework For Assessment*, Washington D.C., Island Press

(2) Straßburger T (2010) *local land & soil news* 34/35, 16-8

(3) Gobat JM *et al.* (2010) *Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols*, Presses polytechniques et universitaires romandes

(4) Jeffery S *et al.* (2010) *European Atlas of Soil Biodiversity*, European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg

(5) Curtis TP, Sloan WT (2005) *Science* 309, 1331-3

(6) Wu T *et al.* (2009) *Soil Biol Biochem* 41, 849-57

(7) Bardgett RD (2005) *The biology of soil: a community and ecosystem approach*, Oxford University Press, Oxford

*1 Organismes se nourrissant de constituants organiques préexistants.

*2 Composés présentant des propriétés toxiques, même à très faible concentration.

Interface entre l'atmosphère et l'hydrosphère, les sols sont une composante majeure de la biosphère qui joue un rôle fondamental dans son fonctionnement.

Ils délivrent de nombreux services écosystémiques essentiels tels que la production primaire, qui comprend la production agricole, la régulation des cycles biogéochimiques et de leurs conséquences sur le climat, la filtration de l'eau, la résistance aux maladies et aux ravageurs, la régulation de la biodiversité végétale (1)... Cependant, les sols sont soumis à des pressions multiples : acidification, compaction, contamination, imperméabilisation, érosion, pertes de carbone, salinisation... D'où l'urgence de préserver ce patrimoine non renouvelable à l'échelle humaine.

La protection des sols constitue une préoccupation centrale de la Commission européenne (CE), qui a adopté en 2006 une stratégie de protection et d'utilisation durable de ces derniers dans le cadre du 6^e Programme pour l'environnement (2). L'objectif est d'éviter de nouvelles dégradations des sols, de préserver leurs fonctions et, le cas échéant, de les restaurer. Pour mettre en place cette politique, la CE a considéré que les données sur la biodiversité, les relations entre biodiversité et fonctions ainsi que leur traduction en services écosystémiques étaient insuffisantes. Financé à hauteur de 7 millions d'euros par le 7^e Programme cadre européen, le projet EcoFINDERS répond donc à un appel à propositions visant :

- à faire progresser nos connaissances scientifiques de la biodiversité et de sa traduction en services écosystémiques selon le mode d'usage des sols ;
- à proposer des bio-indicateurs de l'état et du fonctionnement biologique des sols ainsi que des procédures et méthodes standards pour caractériser la biodiversité et ses fonctions ;

- à évaluer, au plan économique, la valeur ajoutée de l'utilisation de ces bio-indicateurs et de l'application de stratégies promouvant la fourniture des services écosystémiques.

Une biodiversité méconnue

Comme l'indique le titre d'un ouvrage de trois scientifiques de l'université suisse de Neuchâtel publié en 2010, les sols sont des milieux vivants au sein desquels évoluent une microflore et une faune abondantes (3,4). Pour donner quelques ordres de grandeurs, la biomasse du sol arable est estimée à 1,5 tonnes (t) pour les bactéries et les archées, 3,5 t pour les champignons et 1 à 5 t pour la faune. Cette biomasse est constituée d'une gigantesque biodiversité : on trouve plus de 1 000 espèces microbiennes par gramme de sol (5) et plusieurs centaines d'espèces animales (protozoaires, nématodes, insectes, lombrics...) se partagent un petit volume de l'ordre de quelques cm³ (6). Ces organismes sont essentiellement hétérotrophes*1, interagissant entre eux et avec les plantes pour se nourrir. Leur immense diversité ainsi que la variété de leurs interactions se traduisent par une gamme d'activités, en particulier enzymatiques, déterminant de nombreuses fonctions (fixation biologique de l'azote atmosphérique, minéralisation des composés organiques, réduction du protoxyde d'azote, antagonisme microbien à l'encontre d'agents phytopathogènes, biodégradation de composés xénobiotiques*2...) à l'origine des principaux services écosystémiques (7).

Cependant, en dépit de son rôle central dans les services délivrés par les sols, la diversité des organismes qui y sont présents, en particulier celle des micro-organismes,

nismes, reste méconnue. Notre vision fragmentaire de la diversité microbienne des sols est bien sûr liée à la taille microscopique de ces organismes, mais également à l'hétérogénéité de la matrice tellurique, composée de particules de différentes tailles agencées de façon complexe, à la variété des situations environnementales (types et modes d'usage des sols, climats) et aux limites méthodologiques. Jusqu'à la fin des années 1990, seuls étaient accessibles les micro-organismes cultivables, dont on sait maintenant qu'ils ne représentent que 0,1 à 10 % de la microflore tellurique. Des développements méthodologiques majeurs ont depuis été réalisés, permettant l'extraction d'ADN du sol, l'analyse à haut débit des séquences nucléotidiques, le développement de bases de données et leur traitement (8,9). Il est désormais possible de caractériser des communautés microbiennes dans des environnements variés et ainsi d'évaluer la contribution de filtres environnementaux*3 à l'abondance, à la structure et à la diversité des communautés microbiennes à de grandes échelles spatiales et temporelles (10,11).

Cette caractérisation requiert également la mise en relation de la biodiversité et des activités biologiques. Or la présence de gènes de fonction ne signifie pas nécessairement que les activités correspondantes sont exprimées, leur expression étant influencée par l'environnement. Les liens entre biodiversité et activités demeurent donc mal compris, en dépit de moyens importants dédiés à l'étude des cycles du carbone et de l'azote, déployés notamment dans le cadre des programmes européens CarboEurope*4 et NitroEurope*5. La compréhension de ces liens est pourtant cruciale pour identifier des bio-indicateurs (organismes, séquences d'ADN) sensibles et fiables de la biodiversité mais aussi du fonctionnement des sols, nécessaires à la mise en place d'une politique européenne de protection et de gestion durable de ces derniers. L'abondance des populations bactériennes du genre *Pseudomonas*, portant des séquences d'ADN qui codent la synthèse d'un antibiotique particulier, permet ainsi de prédire le niveau de résistance des sols à une maladie d'origine tellurique affectant le blé (12).

De façon plus générale, des méthodes de caractérisation standardisées de la biodiversité doivent être mises à disposition des scientifiques et des acteurs politiques et socio-économiques afin de permettre la comparaison de données issues d'environnements variés (types et modes d'usage des sols, climats) et la constitution de référentiels pour l'interprétation des variations des bio-indicateurs à travers l'Europe.

Fournir informations et outils

Caractériser la biodiversité des sols européens nécessite de prendre en compte à la fois les composantes microbienne (archées, bactéries, champignons) et animale (micro-arthropodes, nématodes, oligochètes, protozoaires). Le programme EcoFINDERS intègre également la caractérisation de la diversité de communautés partageant des gènes impliqués dans les cycles

du carbone et de l'azote notamment. Mais au-delà de la description de la biodiversité et de son potentiel génétique, l'enjeu d'EcoFINDERS est d'associer biodiversité, activités – à travers le transcriptome, le protéome et le métabolome des communautés – fonctions et services écosystémiques.

Afin d'intégrer l'impact des filtres environnementaux sur la biodiversité et la relation entre biodiversité, fonctions et services écosystémiques, les recherches doivent être conduites dans des environnements variés représentatifs de la variété des types de sols, de climats et des modes d'usage en Europe. L'objectif est de hiérarchiser, à travers des études de macro-écologie, les paramètres environnementaux (propriétés physico-chimiques des sols, types de cultures, climats) impactant la diversité et les activités biologiques afin d'établir un référentiel de la biodiversité au niveau européen, qui permettra de définir, pour chacun de ces paramètres, la gamme de variations normales de cette diversité et des activités biologiques qui l'accompagnent (*Normal Operating Range*, NOR).

Concept et stratégies mises en œuvre

Une des originalités du programme est sa structuration, basée sur les valeurs économiques et sociales des services écosystémiques pris en compte : recyclage des éléments nutritifs (notamment l'azote), stockage du carbone, régulation du cycle de l'eau et de la structure des sols, résistance aux maladies, régulation de la biodiversité végétale. La valeur économique d'un service écosystémique représente la valeur ajoutée de ce service. Celle de l'activité pollinisatrice des insectes a par exemple été estimée à 153 milliards d'euros (13). La valeur sociale représente une valeur relative au bien-être humain, elle peut concerner des usages récréatifs, un patrimoine culturel (diversité végétale) ainsi qu'une valeur santé et de qualité de vie. Les fonctions impliquées et la biodiversité, qui les supporte, sont ensuite analysées, grâce à des méthodes et procédures standardisées permettant la comparaison des résultats. Cette analyse, en particulier la mise en relation biodiversité/fonctions/services écosystémiques, vise à identifier des bio-indicateurs, dont la variation selon les conditions environnementales sera mesurée. Ainsi sera constitué un référentiel nécessaire à l'interprétation des variations des bio-indicateurs selon les types de sols, de climats et de modes d'usage en Europe. La valeur ajoutée de l'utilisation de ces bio-indicateurs dans le cadre d'une politique de gestion durable des sols sera évaluée. Il s'agira de comparer le coût de l'inaction (laisser les sols se dégrader) et celui d'une politique européenne de gestion des sols.

La stratégie d'EcoFINDERS mobilise trois approches complémentaires : observations, expérimentations et modélisations. Les observations sont menées au niveau d'observatoires de longue durée répartis en Europe et choisis pour leur représentativité des types de sols, de climats (atlantique, boréal, continental, méditerranéen, pannonien) et des modes d'usage des sols

*3 Paramètres environnementaux exerçant une sélection positive ou négative sur des populations d'organismes.

*4 www.carboeurope.org

*5 www.nitroeurope.eu

*6 Terres pouvant être labourées et cultivées : grandes cultures, cultures maraîchères, prairies artificielles et jachères.

*7 <http://oreacbb.inra.fr/L-ORE-ACBB>

*8 Ligne virtuelle ou physique mise en place pour étudier la distribution spatiale de la biodiversité. Cette ligne traverse plusieurs pays européens présentant des climats, types et modes d'usage des sols différents.

(8) Lemanceau *et al.* (2006) *Biofutur* 268, 22-3

(9) Simonet *et al.* (2011) *Biofutur* 319, 26-9

(10) Dequiedt S *et al.* (2011) *Global Ecol Biogeogr* 20, 641-52

(11) Mougél C *et al.* (2011) *Biofutur* 319, 44-7

(12) Raaijmakers JM *et al.* (1998) *Mol Plant Microbe Interact* 11, 144-52

(13) Gallai N *et al.* (2009) *Ecol Econ* 68, 810-21

Projet européen

*9 www.gissol.fr/programme/rmq/rmq.php

*10 www.gissol.fr/fiches/Ecomic.pdf

*11 Blocs de sols extraits en préservant leurs structures et placés en chambre de culture pour étudier l'effet de paramètres abiotiques (température, humidité) et biotiques (type de végétation) sur la biodiversité micro-bienne.

*12 Aptitude de plusieurs populations à remplir la même fonction au sein d'une communauté, de telle sorte que la fonction est maintenue même si la diversité de la communauté diminue jusqu'à un certain seuil.

(arables*9, forêts, prairies permanentes). Instrumentalisés, ces observatoires mesurent les services écosystémiques et les mettent en relation avec la biodiversité. En France, on peut citer l'Observatoire de recherche en environnement « Agro-écosystèmes, cycles biogéochimiques et biodiversité » de l'Inra de Lusignan*10. Le nombre d'observatoires étant limité du fait du coût des instrumentalisations, les observations réalisées sur ces sites sont complétées par un transect*11 à travers l'Europe. Les points de ce transect sont identifiés sur la base des informations fournies par les réseaux de surveillance de la qualité des sols des pays partenaires. Pour la France, ces informations sont issues du Réseau de mesure de la qualité des sols*12 mis en place par le Groupement d'intérêt scientifique Sol et géré par l'Unité InfoSol de l'Inra d'Orléans, ainsi que des programmes associés, tel le projet ANR ECOMIC-RMQS*13.

Les expérimentations, qui constituent la seconde approche, sont réalisées sur des monolithes*14 de sols issus de certains observatoires. Ces expérimentations consistent à faire varier les conditions environnementales abiotiques (humidité et température) ainsi que la

biodiversité pour évaluer l'impact de ces variations sur la fourniture des services écosystémiques (régulation des cycles géochimiques, de la diversité végétale). Il est alors possible de tester les hypothèses relatives à la relation entre diversité et stabilité de l'écosystème (résistance et résilience), et d'évaluer la sensibilité et la fiabilité des bio-indicateurs identifiés, la pertinence du concept de NOR, l'impact des conditions abiotiques et biotiques sur la fourniture des services écosystémiques par les sols, et les relations trophiques entre communautés (végétales, faune et micro-organismes telluriques).

La troisième approche concerne la modélisation, appliquée aux deux approches précédentes. Elle formalise les relations entre diversité et services écosystémiques selon les conditions environnementales, grâce aux méta-analyses résultant des données issues des observatoires de longue durée. Elle vise à terme à prédire l'évolution de la diversité et des services correspondants selon différents scénarios d'évolution du climat et de politique de gestion des sols. Elle est également appliquée aux données issues des monolithes. La modélisation des interactions entre communautés le long de la chaîne trophique permet de préciser les conséquences de modifications de la diversité sur la décomposition de la matière organique, sa minéralisation et l'émission de CO₂. De façon plus générale, cette dernière approche sert à préciser le rôle de la biodiversité sur la stabilité de la fourniture des services écosystémiques (14), intégrant la notion de redondance fonctionnelle*15. Des modèles économiques sont finalement mis en œuvre pour estimer la valeur des services écosystémiques et ainsi apprécier les conséquences économiques des variations de biodiversité.

(14) De Ruiter PC *et al.* (1995) *Science* 269, 1257-60

EcoFINDERS

en quelques chiffres

- ▶ **Durée** : 4 ans (2011 à 2014)
- ▶ **Budget** : Financé à hauteur de 7 M€ par le 7^e Programme cadre européen
- ▶ **Plus de 200 chercheurs**
- ▶ **10 pays européens partenaires** : France, Suède, Royaume-Uni, Danemark, Allemagne, Pays-Bas, Irlande, Italie, Portugal, Slovaquie, Slovénie

Pour en savoir plus

- ➔ www.ecofinders.eu
- ➔ Coordinateur d'EcoFINDERS : Philippe LEMANCEAU philippe.lemanceau@dijon.inra.fr

Plateforme GenoSol

Créée en 2008 au sein de l'UMR Inra-Université de Bourgogne « Microbiologie du sol et de l'environnement » de Dijon, la plateforme GenoSol constitue une structure logistique et technique assurant l'acquisition, la conservation, la caractérisation et la mise à disposition des ressources génétiques (ADN) des sols issus d'échantillonnages de grande envergure (plusieurs centaines à plusieurs milliers d'échantillons). Ces échantillonnages sont réalisés sur de grandes échelles spatiales et temporelles. La plateforme a pour mission d'établir un référentiel de données, taxonomiques et fonctionnelles, de la biodiversité des sols. Elle représente à la fois :

- Un Centre de ressource génétique (CRG) national sur les sols, le premier en Europe, qui a pour but de stocker et de conserver les ressources génétiques (ADN) et de les mettre à disposition de la communauté scientifique. Les échantillons de sols conservés proviennent en majorité de réseaux de surveillance des sols, d'observatoires de recherche en environnement, de sites expérimentaux pérennes et de zones ateliers. À ce jour, plus de 3500 sols sont stockés dans le CRG et il est prévu d'en acquérir 1500 autres dans les deux prochaines années.
- Une plateforme technique, qui développe des outils de caractérisation des ressources génétiques microbiennes des sols (génotypage, pyroséquençage, métagénomique, métaprotéomique...) et assure une veille technologique. Elle contribue à la standardisation des procédures et des outils moléculaires avec des objectifs de normalisation. Un partenariat avec le Génoscope d'Évry a été conclu en 2010 pour développer des techniques de séquençage haut débit.
- Un Système d'information environnementale (SIE) centré sur le développement de la base de données MicroSol, permettant de gérer le CRG et d'analyser des données de caractérisation génétique des sols. Cette base permettra d'élaborer un référentiel d'interprétation des analyses biologiques des sols.

www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol

Des expertises et moyens variés et complémentaires

La prise en compte de la biodiversité des sols européens et sa mise en relation avec les services écosystémiques délivrés exigent l'association d'une large gamme d'expertises complémentaires. Ces expertises incluent l'agronomie, l'écologie, la biologie moléculaire, la bio-informatique, l'économie, la gestion et l'analyse de bases de données, la modélisation. Ces expertises sont appliquées à différents modèles d'études : faune, micro-organismes, végétaux. Les moyens mis en œuvre comprennent la plateforme GenoSol, qui joue un rôle central dans le projet (encadré), mais également une plateforme de bio-informatique pour l'analyse des données issues du séquençage haut débit du génome des sols étudiés (métagénome). Ces moyens impliquent également onze observatoires de longue durée ainsi que des monolithes de sols. Les services écosystémiques pris en considération varient selon les observatoires en fonction des instruments de mesures disponibles. Les expertises des différents partenaires sont associées sur ces différents observatoires. La première campagne d'échantillonnage et d'observations a eu lieu ce printemps. Les résultats sont en cours d'analyse, et la campagne d'automne est en cours. À suivre... ●