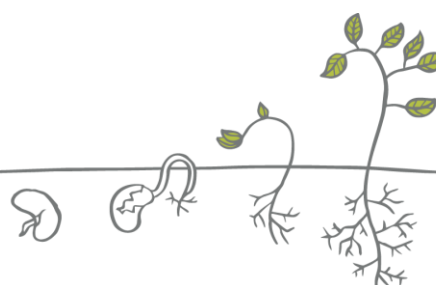


27/01/2016

BIO-INDICATEURS DE LA QUALITE DES SOLS

[Fiche de synthèse]



TITRE :

Bioindicateurs de la qualité des sols

AUTEUR :

Sophie PAREL, Antonio BISPO

THEMATIQUES :

Agronomie - Sols urbains - Conduite des végétaux, Ecologie et biodiversité

MOTS-CLES :

Sol, biodiversité, bio-indicateur, qualité des sols

OBJECTIF :

Mieux connaître la biodiversité des sols et les rôles qu'elle tient, les bio-indicateurs et leur utilisation pour une meilleure surveillance de l'état des sols.

RESUME :

Le sol est une ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes. Pourtant, il est peu connu et les recherches doivent s'intensifier. Etant soumis à des pressions de plus en plus importantes (production agricole, développement urbain et industriel, réseaux de transport, loisirs, forêt...) et n'étant pas une ressource renouvelable, il est désormais nécessaire d'en assurer la protection afin de permettre le développement durable des sociétés. Pour mettre en place, suivre et assurer les actions de protection et de gestion des sols, il convient de définir des outils, comme les bio-indicateurs, permettant un contrôle et une surveillance de la qualité des sols pour une gestion durable de cette ressource.

SOMMAIRE

1	LE SOL : UNE RESSOURCE À PROTÉGER.....	4
2	LE SOL : UN MILIEU VIVANT.....	4
3	LES BIO-INDICATEURS DU SOL	5
	3.1 POURQUOI UTILISER LES MICROORGANISMES DU SOL COMME BIO-INDICATEURS ?.	6
	3.2 POURQUOI UTILISER LA MACROFAUNE DU SOL COMME BIO-INDICATEUR ?.....	6
	3.3 POURQUOI UTILISER LA FLORE COMME BIO-INDICATEUR ?.....	7
4	QUELQUES PROGRAMMES EN COURS	7
	4.1 LE PROGRAMME ADEME « BIO-INDICATEURS DE QUALITÉ DES SOLS ».....	8
	4.2 LE PROGRAMME ECOMIC-RMQS	8
	4.3 LE PROGRAMME RMQS-BIODIV (2005-2009).....	9
	4.4 LE PROGRAMME DE RECHERCHE GESSOL	9
5	COMMENT MESURER LES BIOINDICATEURS DE QUALITÉ DES SOLS ?	9

1 LE SOL : UNE RESSOURCE À PROTÉGER

Le sol est une ressource non renouvelable mais essentielle pour les écosystèmes et les hommes : il est indispensable de le protéger compte tenu des pressions de plus en plus importantes qu'il subit, liées aux productions agricoles et forestières, au développement urbain et industriel, aux réseaux de transport, à l'érosion, aux contaminations ponctuelles et diffuses d'origine atmosphérique, au tassement...

Pour mettre en place, suivre et assurer les actions de protection et de gestion des sols, il est nécessaire de définir des indicateurs qui permettent d'identifier et de quantifier l'impact de ces perturbations et transformations du sol. A ce titre, la diversité et la densité des organismes vivants dans le sol peuvent renseigner sur son état et son fonctionnement.

2 LE SOL : UN MILIEU VIVANT

Le sol abrite plus de 25 % de la biodiversité actuellement décrite. Une cuillère à café de sol de jardin peut contenir plus d'un million d'organismes répartis en plusieurs milliers d'espèces différentes. La biodiversité des sols, c'est 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 comme ceux de la litière et des bois morts en décomposition. Ils sont généralement subdivisés en plusieurs familles, suivant leur taille : la mégafaune (comme les taupes) et la macrofaune (comme les vers de terre, les termites et les fourmis) visibles à l'œil nu, la mésofaune (comme les acariens, les micro-arthropodes) visible à la loupe ainsi que la microfaune (protozoaires, nématodes) et les micro-organismes (champignons, algues, bactéries) visibles seulement au microscope. 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 l'espèce dont la biomasse est la plus importante et la diversité spécifique la mieux connue. Ce regroupement par tailles, s'il renseigne sur l'échelle de vie des organismes, informe peu sur leurs fonctions au sein du sol.

En effet, cette ressource vivante assure de nombreux services indispensables au fonctionnement des écosystèmes terrestres et au développement des sociétés humaines. Ils sont notamment responsables de la décomposition, de la transformation et du transport de la matière organique, de la réalisation des cycles biogéochimiques et de la formation et du maintien de la structure des sols. Ils sont indispensables à la productivité des écosystèmes terrestres et régulent les processus d'émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons, tout comme la majeure partie de la nourriture que nous consommons et des vêtements que nous portons sont liés au 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 permettent une complémentarité et une redondance d'action à l'origine du bon fonctionnement des milieux terrestres et de leur adaptabilité aux changements globaux.

L'identification, le comptage et la caractérisation de la biodiversité des organismes vivant dans les sols pourraient permettre de définir de puissants indicateurs qui renseigneraient sur l'état de santé des sols et plus largement de leur environnement. Ces outils, encore en cours de développement, pourraient être mesurés soit par des laboratoires d'analyse, soit même par les agriculteurs afin de mieux connaître l'état des sols.

Plusieurs expériences de recherche, financées par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (programme de recherche GESSOL) ou par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ont pour vocation de mieux connaître la biodiversité des sols et la manière dont les organismes du sol pourraient être utilisés comme outils de surveillance de la qualité des sols. Par exemple, le programme GESSOL a permis la mise en place d'un premier protocole d'échantillonnage standardisé (projet de norme AFNOR et ISO : PR NF ISO 11063) d'extraction de l'ADN des échantillons de sols (Citeau et al. 2008 ; Chaussod et al. 2005). Ce protocole est d'ores et déjà utilisé dans le cadre du Réseau français de Mesure de la Qualité des Sols dans le programme Ecomic-RMQS :

http://www.inra.fr/presse/inventaire_cartographie_nationale_biodiversite_microbienne_des_sols.



3 LES BIO-INDICATEURS DU SOL

Un bio-indicateur se définit comme un organisme, une partie d'organisme ou une communauté d'organismes, qui renseigne sur l'état de fonctionnement d'un écosystème. Les indicateurs jusqu'alors utilisés reposent essentiellement sur des propriétés physiques et chimiques du sol.

Un bio-indicateur doit présenter des qualités particulières :

- Etre scientifiquement connu : ses propriétés biologiques et écologiques doivent être maîtrisées : alimentation, voies d'exposition aux polluants, reproduction, place dans la chaîne alimentaire...,
- Etre lié ou corrélé à des fonctions de l'écosystème,
- Etre sensible aux nuisances et aux modifications du milieu (pour rendre compte notamment des méthodes de gestion des sols et de leurs différents types de pollution)
- Sa mesure doit être précise, fiable et robuste
- Etre compatible avec des indicateurs physiques et chimiques de la qualité des sols,
- Avoir un faible coût et être facile d'utilisation.

Deux catégories de bio-indicateurs peuvent être distinguées :

- les bio-indicateurs d'accumulation : ils accumulent une ou plusieurs substances issues de leur environnement, permettant ainsi d'évaluer leur exposition.
- les bio-indicateurs d'effet ou d'impact : ils révèlent des effets spécifiques ou non lors de leur exposition à une ou plusieurs substances issue(s) de leur environnement (issues d'épandages de déchets, des pratiques agricoles, des pollutions atmosphériques ou de contaminations industrielles) ou à d'autres stress anthropiques ou naturels (tassement, changement d'usage, statut de la matière organique). Ces effets, proportionnels ou non à l'exposition, incluent des modifications morphologiques, histologiques ou cellulaires, métaboliques, de comportement ou de structure des populations.

Pour le sol, les bio-indicateurs sont souvent des espèces animales vivant sous la surface (micro-organismes, vers de terre...) ou en contact direct avec celle-ci (escargots, petits rongeurs...). Des espèces végétales peuvent également être utilisées. Certains indicateurs sont mieux adaptés que d'autres pour mettre en évidence des changements à long terme des écosystèmes. D'autres peuvent au contraire permettre de détecter des effets précoces qui peuvent par la suite se transformer en atteintes irréversibles sur l'individu, la communauté ou l'écosystème (modifications cellulaires ou métaboliques par exemple).

3.1 POURQUOI UTILISER LES MICROORGANISMES DU SOL COMME BIO-INDICATEURS ?

Les microorganismes sont impliqués dans de nombreuses fonctions des sols : ils décomposent la matière organique des sols, libèrent des minéraux sous une forme assimilable par les plantes, dégradent des composés toxiques, fournissent des éléments nutritifs aux plantes par des associations symbiotiques avec les racines, éliminent des pathogènes, participent à l'altération et à la solubilisation de constituants minéraux ainsi qu'à la structuration et à l'agrégation du sol, etc. En outre, ils sont susceptibles d'intégrer l'ensemble des stress environnementaux touchant le sol. C'est pourquoi ils sont considérés comme de bons indicateurs.

Les bio-indicateurs microbiens peuvent se fonder sur la taille ou l'activité des populations ainsi que sur leur diversité. En voici quelques exemples :

- La biomasse microbienne, soit la quantité massique de microorganismes dans le sol,
- La mesure d'activités enzymatiques indicatrices de l'activité des microorganismes,
- Le dénombrement direct des microorganismes pour estimer la taille des populations microbiennes,
- L'activité globale des microorganismes ou de l'activité spécifique d'un groupe de microorganismes pour évaluer la qualité des sols (car il y a une forte implication des microorganismes dans les cycles biogéochimiques : mesures de minéralisation du carbone (respiration du sol) et de l'azote (nitrification)...),
- La diversité métabolique des microorganismes, pour identifier des communautés microbiennes assurant les mêmes fonctions,
- L'analyse d'ADN des communautés microbiennes d'un échantillon de sol.

3.2 POURQUOI UTILISER LA MACROFAUNE DU SOL COMME BIO-INDICATEUR ?

La macrofaune du sol influence fortement les fonctions du sol par ses activités biologiques, mécaniques et chimiques : elle stimule la microflore du sol, forme de l'humus, minéralise et interagit avec les microorganismes, participe à la bioturbation, à la construction de galeries et à la production d'agrégats organo-minéraux. De plus, elle présente des réponses très variées suivant les conditions de vie dans le sol et les différents types de perturbations, du fait de la diversité des modes de respiration (cutanée ou aérienne), des habitats (litière, galeries ou porosité du sol) et des régimes alimentaires (carnivores, phytophages, xylophages...).

Certains groupes d'organismes peuvent constituer des bio-indicateurs pertinents de la qualité des sols. Comme pour les microorganismes, les bio-indicateurs sont basés sur des spécificités : abondance, biomasse, richesse génétique, structure de la population (nombre de jeunes), etc.

Par exemple, les populations de vers de terre, qui représentent la biomasse la plus importante de la macrofaune du sol, répondent rapidement à un changement de gestion du sol ou à d'autres perturbations extérieures (1 à 3 ans), ce qui en fait des indicateurs très sensibles de la qualité des sols. Ainsi, la densité de vers de terre dans un sol peut être multipliée par 10 en 2 ans lors d'un passage d'une monoculture à une prairie permanente (Balabane et al. 2005 ; Citeau et al. 2008).



3.3 POURQUOI UTILISER LA FLORE COMME BIO-INDICATEUR ?

Les plantes sont souvent considérées comme de bons indicateurs de la qualité d'un sol. Elles sont extrêmement sensibles à la composition chimique, physique et biologique des sols. Toutefois, dans les systèmes cultivés, il est difficile d'utiliser ce critère pour évoquer l'état du sol, car il est faussé par l'apport anthropique de produits comme les fertilisants ou les phytosanitaires et par l'irrigation.

Dans les écosystèmes naturels, la composition des communautés de plantes ou la présence d'une espèce particulière peuvent par contre s'avérer de bons bio-indicateurs. Un intérêt particulier de l'utilisation de la flore comme bio-indicateur d'accumulation se situe dans la mesure de la contamination des sols par les éléments traces.

Les bio-indicateurs se fondent sur plusieurs critères, comme la diversité, la taille. En voici quelques exemples :

- La mesure de l'activité photosynthétique,
- l'étude de la composition biochimique des plantes (ex : lipides foliaires, acides aminés...),
- Le dosage d'éléments traces dans les feuilles,
- Les analyses dendro-chimiques (i.e., la mesure de la composition chimique des cernes annuels d'arbre) pour reconstruire a posteriori l'histoire des contaminations successives,
- La diversité des espèces par unité de surface (phytosociologie).

4 QUELQUES PROGRAMMES EN COURS

S'il est aujourd'hui bien établi que la nature du sol détermine la diversité des espèces végétales et animales que l'on trouve à sa surface, il est encore assez peu connu qu'une biodiversité très importante réside dans les sols, représentant pourtant 25 % de la biodiversité mondiale. Elle n'est étudiée que depuis peu, grâce à quelques programmes de recherche récents.

4.1 LE PROGRAMME ADEME « BIO-INDICATEURS DE QUALITÉ DES SOLS »

Pour mettre en place, suivre et assurer les actions de protection et de gestion des sols, il convient de définir des indicateurs qui permettent d'identifier et de quantifier les perturbations et transformations du sol, ainsi que les impacts sur les écosystèmes. C'est pourquoi dès 2004, l'ADEME a lancé le programme de recherche et développement « Bio-indicateurs de qualité des sols ». Il vise à développer les recherches sur la composante biologique des sols afin de définir des indicateurs de qualité des sols pour compléter les outils physico-chimiques déjà disponibles.

Ce programme, divisé en deux phases, réunit un ensemble de laboratoires travaillant sur des indicateurs biologiques très divers : diversité bactérienne, activités enzymatiques, dosage des métaux dans les tissus animaux et végétaux, composition des communautés des invertébrés du sol. La première phase, terminée en 2008, a permis d'évaluer et de tester un ensemble de 80 bio-indicateurs dans différentes situations. Les indicateurs jugés les plus pertinents ont été retenus pour être calibrés et comparés sur des sites ateliers sélectionnés en fonction de différents usages du sol (agricole, urbain, forestier) et de problématiques environnementales variables (pratique agricole, épandage de déchets, sites contaminés). Cette phase, la seconde, a débuté en 2009 et devra également permettre d'initier la création d'un premier référentiel national.

Finalement, les outils développés seront utilisés avec deux objectifs : surveiller l'évolution de la qualité des sols et évaluer les risques pour les écosystèmes, et permettre une meilleure compréhension de la biodiversité des sols et des services écosystémiques rendus.

4.2 LE PROGRAMME ECOMIC-RMQS

Coordonné par l'INRA de Dijon, ce programme avait pour principal objectif de caractériser l'abondance et la biodiversité des communautés microbiennes telluriques au sein des sols du RMQS (Réseau français de Mesure de la Qualité des Sols) afin d'appréhender la biogéographie microbienne mais également d'estimer l'impact des activités humaines sur la diversité microbienne aux échelles régionale et nationale. L'abondance et la composition bactériennes ont pu être caractérisées grâce notamment à l'utilisation d'outils moléculaires, directement sur l'ADN extrait des sols. Ainsi, l'abondance des microorganismes telluriques et les variations de composition et de diversité des communautés bactériennes à l'échelle de la France ont pu être cartographiées.

Ce programme a permis de mettre en évidence qu'à l'échelle nationale, il existe une forte variabilité des communautés microbiennes. La distribution non aléatoire des microorganismes telluriques est soumise à un déterminisme environnemental : il y a une forte influence des paramètres locaux (type et usage du sol), en plus de paramètres globaux (climat et géomorphologie). Sur la base des diverses observations réalisées à cette échelle, il est donc possible d'améliorer la conduite de certaines pratiques agricoles pour préserver la diversité microbienne des sols, donc les sols eux-mêmes.

A l'échelle régionale, la diversité des communautés bactériennes est fortement liée à la diversité et à la fragmentation des paysages (pédo-climat, géomorphologie, usage du sol). Le programme a permis de classer les régions riches et les régions pauvres en termes de biodiversité des sols : ce classement est fortement corrélé à la diversité du paysage associé.

Ce programme a donc permis d'améliorer les capacités techniques de caractérisation et de gestion des échantillons et des données. Il a donné lieu à la mise en place d'une structure dédiée à la biosurveillance de la microbiologie des sols, premier conservatoire des ressources génétiques des sols. Une telle structure doit permettre d'alimenter un référentiel d'interprétation de la biodiversité des sols et déboucher sur la définition d'outils d'aide à la décision afin d'améliorer les politiques d'exploitation des sols et les rendre plus durables.

4.3 LE PROGRAMME RMQS-BIODIV (2005-2009)

Le programme RMQS-BioDiv, coordonné par l'université de Rennes 1 et impliquant de nombreux partenaires, avait pour objectif d'étudier un grand nombre d'organismes du sol afin d'établir un premier référentiel de la biodiversité des sols sur une échelle régionale. Il devait permettre notamment de relier ces données biologiques aux données agro-physico-chimiques avec l'objectif d'identifier des organismes indicateurs de la qualité des sols et des pratiques.

Les résultats obtenus renseignent d'un état de la biodiversité des sols en relation avec l'usage et les paramètres pédoclimatiques. Ce programme a permis de mieux connaître la richesse taxonomique des sols à une échelle régionale (Bretagne), notamment en recensant trois espèces lombriciennes jusqu'alors non répertoriées sur ce territoire, ainsi qu'en dressant la liste des groupes fonctionnels de nématodes et de mésofaune jusqu'alors non documentés. Un éventail important de contextes agro-pédo-climatiques a pu être étudié, ce qui a contribué à initier un référentiel de la biodiversité des sols en zone tempérée. L'analyse des données obtenues a mis en évidence que l'occupation des sols structure de manière importante tant la densité des communautés que leur composition spécifique et fonctionnelle. Ce programme constitue le point de départ d'une biosurveillance des sols de France.

4.4 LE PROGRAMME DE RECHERCHE GESSOL

Mis en place depuis 1998 par le ministère en charge de l'écologie, 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. A ce jour, le programme a déjà financé 31 projets de recherche qui ont contribué :

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

Trois appels à projet de recherche ont été lancés en 1998, 2003, puis 2008-2009. Plusieurs projets ciblent la biodiversité des sols et sont en cours de développement.

5 COMMENT MESURER LES BIOINDICATEURS DE QUALITÉ DES SOLS ?

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 et mésofaune) se fait par collecte ou piégeage suivi de leur identification au laboratoire (on compte par exemple le nombre et la quantité d'organismes par m² de sol). Plusieurs normes ont été développées pour aider au prélèvement de ces organismes :

- NF ISO 23611-1. Juin 2006. Qualité du sol - Prélèvement des invertébrés du sol - Partie 1 : tri manuel et extraction au formol des vers de terre.
- NF ISO 23611-2. Juin 2006. Qualité du sol - Prélèvement des invertébrés du sol - Partie 2 : prélèvement et extraction des micro-arthropodes (Collembola et Acarina).
- PR NF ISO 23611-5. Août 2010. Qualité du sol - Prélèvement des invertébrés du sol - Partie 5 : prélèvement et extraction des macro-invertébrés du sol

Cependant, une 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. Les normes suivantes ont été développées pour extraire les animaux les plus petits :

- PR NF ISO 23611-3. Août 2007. Prélèvement des invertébrés du sol - Partie 3 : prélèvement et extraction des enchytraéides
- PR NF ISO 23611-4. Février 2008. Prélèvement des invertébrés du sol - Partie 4 : prélèvement, extraction et identification des nématodes du sol

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. Une norme a été développée pour standardiser les méthodes d'extraction de l'ADN :

- Norme PR NF ISO 11063. Juin 2010. Qualité du sol - Méthode pour extraire directement l'ADN d'échantillons de sol.

D'autres méthodes ont été développées et normalisées pour mesurer l'activité des microorganismes du sol telles que :

- FD ISO 14238. Juin 1997. Qualité du sol - Méthodes biologiques - Détermination de la minéralisation de l'azote et de la nitrification dans les sols, et de l'influence des produits chimiques sur ces processus
- FD ISO 14240-1. Décembre 1997. Qualité du sol - Détermination de la biomasse microbienne du sol - Partie 1 : méthode par respiration induite par le substrat
- FD ISO 14240-2. Décembre 1997. Qualité du sol - Détermination de la biomasse microbienne du sol - Partie 2 : méthode par fumigation-extraction.
- XP ISO/TS 22939. Mai 2010. Qualité du sol - Mesure en microplaques de l'activité enzymatique dans des échantillons de sol en utilisant des substrats fluorogènes
- ISO 23753-1:2005. Novembre 2005. Qualité du sol - Détermination de l'activité des déshydrogénases dans les sols - Partie 1 : méthode au chlorure de triphényltétrazolium
- ISO 23753-2:2005. Novembre 2005. Qualité du sol - Détermination de l'activité des déshydrogénases dans les sols - Partie 2 : méthode au chlorure de iodotétrazolium

Actuellement, beaucoup de laboratoires prestataires d'analyse de sol sont à même de réaliser des caractérisations de l'activité des microorganismes du sol (ex : respiration, biomasse bactérienne). Pour ce qui concerne la diversité des invertébrés du sol (ex : vers de terre, nématodes, collemboles) ou des bactéries, il convient de s'adresser plutôt à des organismes de recherche et/ou à des laboratoires universitaires. Les sites suivants peuvent être consultés :

- http://www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol/
- http://ecobio.univ-rennes1.fr/Fiches_perso/Fiche.asp?pseudo=DCluzeau
- <http://biosol.esitpa.org/>
- <http://www.lse.inpl-nancy.fr/Personnel/pperso/cortet.html>
- <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15113>
- <http://www.biosol.ird.fr/>
- http://www.inra.fr/les_partenariats/collaborations_et_partenaires/entreprises/en_direct_des_labos/des_escargots_comme_indicateur_de_la_qualite_des_sols

