



Carrefours de l'innovation
agronomique



Synthèse des outils, indicateurs, référentiels disponibles
pour comprendre et piloter la biologie des sols

A. Bispo et N. Schnebelen (INRA)

18 octobre 2018 | Conseil Régional Bourgogne-Franche-Comté | DIJON

Un besoin exprimé

- **Chantier Agroécologie du Ministère de l'agriculture**

Transition vers de nouveaux systèmes de production, qui s'appuient sur l'utilisation optimale des ressources et des mécanismes naturels

- **Rapport Agriculture – Innovation 2025**

- Priorité 1, axe « Agroécologie : accompagner et stimuler la transition agro-écologique »
- Agroéco1 « Développer les recherches sur la biologie du sol »
 - *Progresser dans la connaissance de la biodiversité du sol*
 - *Développer les outils de diagnostic, des éléments d'aide à la décision, des systèmes agricoles qui valorisent la biodiversité et les interactions biotiques*



Carrefours de l'innovation
agronomique



Une ressource : la biologie des sols...

- **Une diversité immense** : 25 % de la biodiversité terrestre serait dans les sols
- **Un rôle crucial dans le fonctionnement** des sols, à la base des fonctions et services rendus par les sols



... mais une biodiversité encore mal connue car

peu emblématique et **difficile d'accès**



Comment faire de la biologie des sols un outil de surveillance et de pilotage ?

- **Capacité d'indication** (=> renseigner sur l'état/l'évolution du milieu)
« *Ce qui est inquiétant pour les sociétés humaines, ce n'est pas la disparition de l'ours, mais celle des bactéries dans les sols* ». Bruno David, Directeur scientifique de l'Institut Français de la Biodiversité
- **Orienter le fonctionnement biologique pour tirer profit des organismes du sol** (=> servir l'agro-écologie)
"*Trois tonnes de vers de terre à l'hectare, ça vous remue 280 tonnes de terre. Pendant ce temps-là, vous n'avez pas besoin de labourer.*" Le ministre de l'Agriculture, Stéphane Le Foll, a encensé l'efficacité de son "*camarade*" le ver de terre, lors de la 3^e conférence environnementale à Paris.



De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes** pour mesurer la biodiversité / l'activité biologique des sols et établir des indicateurs
2. **Références** pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. **Conseil et OAD** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols



Depuis 20 ans plusieurs programmes de recherche clés ...

1998

- Le **programme GESSOL** du MEDDE finance des projets (www.gessol.fr) :
 - Microbiologie des sols : extraction de l'ADN des sols et de son analyse
 - Mesure de la macrofaune totale des sols

2008

- Mise en place de programmes **nationaux et européens**
 - Le programme **EU ENVASSO** propose des outils de surveillance de la qualité des sols y compris pour la biodiversité des sols
 - Le programme **ADEME** teste **un ensemble d'outils sur 13 sites** à travers la France
 - Les projets implantés sur le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) soutenus par l'ADEME et/ou l'ANR étudient la **répartition spatiale** des organismes du sol.
 - Lancement de projets **CASDAR** du MAAF – Agrinov et Microbioterre
- Lancements de **projets EU d'ampleur** sur la biodiversité des sols et les services écosystémiques (ex : EcoFinders, LandMark)

2018

- Industrialisation des outils : PIA ADEME – **AgroEcoSol**
- Lancement de l'**APR AFB** sur la biodiversité des sols et lien avec l'agriculture

PROGRAMME



AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Carrefours de l'innovation
agronomique

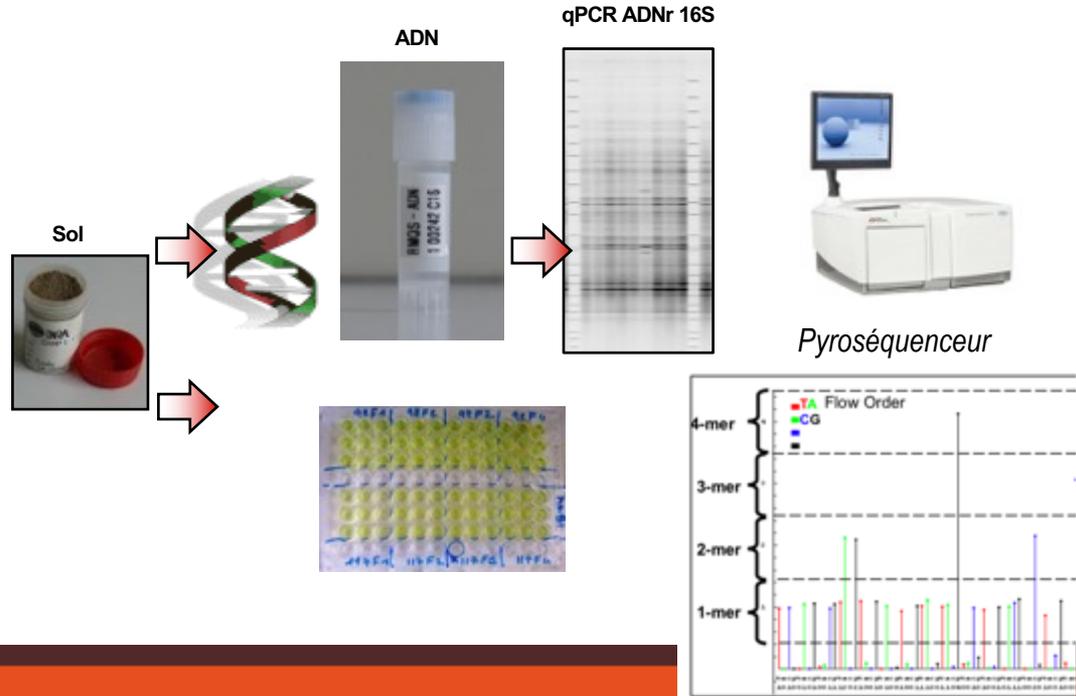


Développement et validation des méthodes

Des mesures classiques ...



Plus technologiques ... (*Méthodes basées sur l'extraction de l'ADN du sol ou des analyses biochimiques*)



Carrefours de l'innovation
agricole



INRA
SCIENCE & IMPACT

Description des méthodes



LES BIO-INDICATEURS DE L'ÉTAT DES SOLS

PRINCIPE ET EXEMPLES D'UTILISATION

EXPERTISES

MAI 2017

NOUVEAUX RÉSULTATS DE RECHERCHE ET DÉMONSTRATION



FICHE OUTIL 10

Les vers de terre

Principe de l'indicateur : Depuis plusieurs décennies, les vers de terre sont considérés comme de bons indicateurs du fonctionnement biogéochimique des sols, soit pour leurs activités, soit pour leur rôle de bio-indicateurs. Associés à la facilité de leur culture, ils permettent de fournir des données précieuses sur l'état des sols, la qualité de l'environnement et la santé humaine.

Principe de l'indicateur : Depuis plusieurs décennies, les vers de terre sont considérés comme de bons indicateurs du fonctionnement biogéochimique des sols, soit pour leurs activités, soit pour leur rôle de bio-indicateurs. Associés à la facilité de leur culture, ils permettent de fournir des données précieuses sur l'état des sols, la qualité de l'environnement et la santé humaine.

Principe de l'indicateur : Depuis plusieurs décennies, les vers de terre sont considérés comme de bons indicateurs du fonctionnement biogéochimique des sols, soit pour leurs activités, soit pour leur rôle de bio-indicateurs. Associés à la facilité de leur culture, ils permettent de fournir des données précieuses sur l'état des sols, la qualité de l'environnement et la santé humaine.

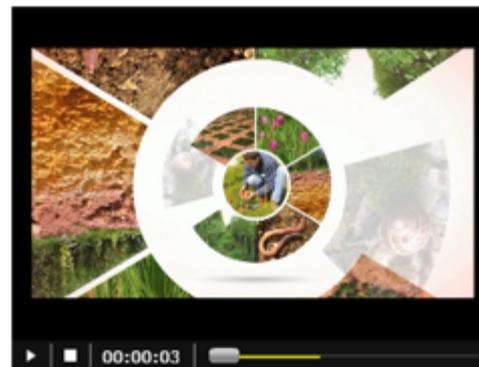
FICHE OUTIL 11

Les activités enzymatiques

Principe de l'indicateur : Les enzymes sont des catalyseurs naturels qui accélèrent les réactions chimiques. Elles sont produites par les micro-organismes du sol et leur présence est un indicateur de la santé du sol.

Principe de l'indicateur : Les enzymes sont des catalyseurs naturels qui accélèrent les réactions chimiques. Elles sont produites par les micro-organismes du sol et leur présence est un indicateur de la santé du sol.

Principe de l'indicateur : Les enzymes sont des catalyseurs naturels qui accélèrent les réactions chimiques. Elles sont produites par les micro-organismes du sol et leur présence est un indicateur de la santé du sol.



Carrefours de l'innovation agronomique



https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/bio-indicateurs_010216.pdf
<https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/fiches-outils.php>

Une diversité de méthodes – Faune

| Indicateur | Type de mesure | Norme | Existence de laboratoires (Privé/Public) | Lien avec les services rendus |
|------------|---|-------------------|--|---|
| Diversité | Lombriciens (prélèvement et extraction) | NF EN ISO 23611-1 | Publics | Habitat, Recyclage de la MO, Production végétale, Entretien du sol, Régulation des flux d'eau |
| | Collemboles/ acariens (prélèvement et extraction) | NF EN ISO 23611-2 | Publics | Habitat, Recyclage de la MO, Production végétale |
| | Enchytréides (prélèvement et extraction) | NF EN ISO 23611-3 | Publics | Habitat, Recyclage de la MO, Entretien du sol |
| | Nématodes (prélèvement et extraction) | NF EN ISO 23611-4 | Privé | Habitat, Recyclage de la MO, Production végétale, Régulation des ravageurs |
| | Macrofaune totale (prélèvement et extraction) | NF EN ISO 23611-5 | Publics | Habitat, Recyclage de la MO, Production végétale, Régulation (eau, ravageurs) |
| | Faune totale par analyse de l'ADN | - | Publics | Habitat, Recyclage de la MO, Production végétale, Régulation (eau, ravageurs) |
| Activité | Bait lamina | ISO 18311 | Publics | Recyclage de la MO |
| | Présence de galeries ou de turricules | - | Publics | Entretien du sol, Régulation des flux d'eau, Recyclage de la MO |



Une diversité de méthodes – Micro-organismes

| Indicateur | Type de mesure | Norme | Existence de laboratoires (Privé/Public) | Lien avec les services rendus |
|--|--|---|--|---|
| Biomasse moléculaire (bactérienne ou fongique) | Extraction ADN | NF EN ISO 11 063 | Publics/ Privés | Recyclage de la MO Potentiel d'épuration Habitat |
| Diversité par abondance de séquences de gènes microbiens par PCR | PCR quantitative à partir d'ADN extrait du sol | NF ISO 17 601 | Publics | Recyclage de la MO Potentiel d'épuration |
| Diversité microbienne (PLFA) | Analyse des acides gras phospholipidiques (PLFA) | XP CEN ISO/TS 29 843-1 et -2 : | Publics | Habitat Potentiel d'épuration |
| Diversité microbienne | Séquençage massif | - | Publics | Habitat Potentiel d'épuration Régulation |
| Activité globale | Respiration microbienne du sol | NF EN ISO 16 072 | Publics/ Privés | Recyclage de la MO Potentiel d'épuration |
| Activités enzymatique ciblant des éléments (ex : N, P, S) | Cycle des éléments | ISO 14238 ISO/TS 22939 ISO 23753-1 ISO 23753-2 | Publics/ Privés | Recyclage de la MO Cycle de nutriments, Potentiel d'épuration |



Des recommandations sur le choix des indicateurs ...

| Besoins | Famille | Paramètres |
|---|---------------|---|
| Gestion de la matière organique | Microbiologie | Abondance : biomasses bactérienne & fongique Diversité des communautés (ARISA, PLFA) Activités : minéralisation C&N, ergosterol |
| | Faune | Abondance des lombriciens Diversité fonctionnelle des nématodes |
| Effet des différentes pratiques (labour, système de culture, rotations) | Microbiologie | Abondance : Biomasses bactérienne & fongique Diversité des communautés Activités liées au soufre, N et P |
| | Faune | Diversité fonctionnelle des lombriciens (catégories écologiques) Diversité fonctionnelle des nématodes Diversité des collemboles (en arboriculture) |

Restitution du programme ADEME, Paris 2016



Carrefours de l'innovation
agricole



De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes** pour mesurer la biodiversité / l'activité biologique et établir des indicateurs
2. **Références** pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. **Conseil et OAD** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols

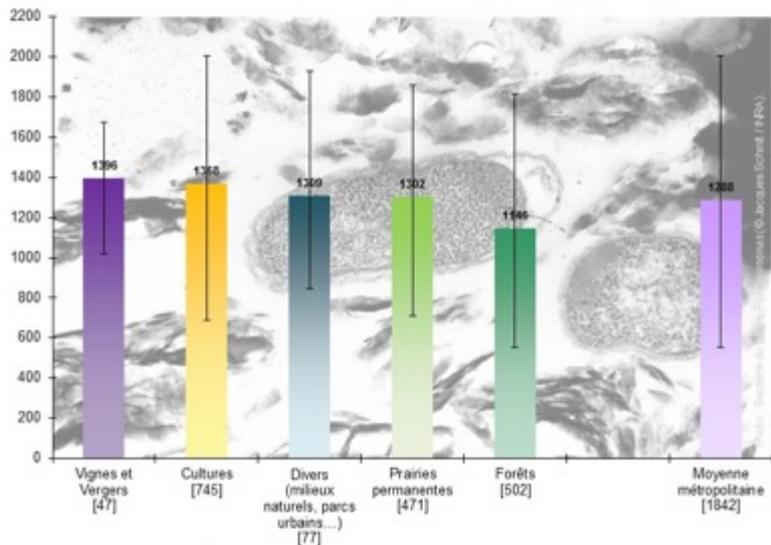
Quelles ressources ?

=> **Des méthodes/indicateurs** disponibles avec parfois des « batteries » proposées et des prestataires



Exemples de référentiels

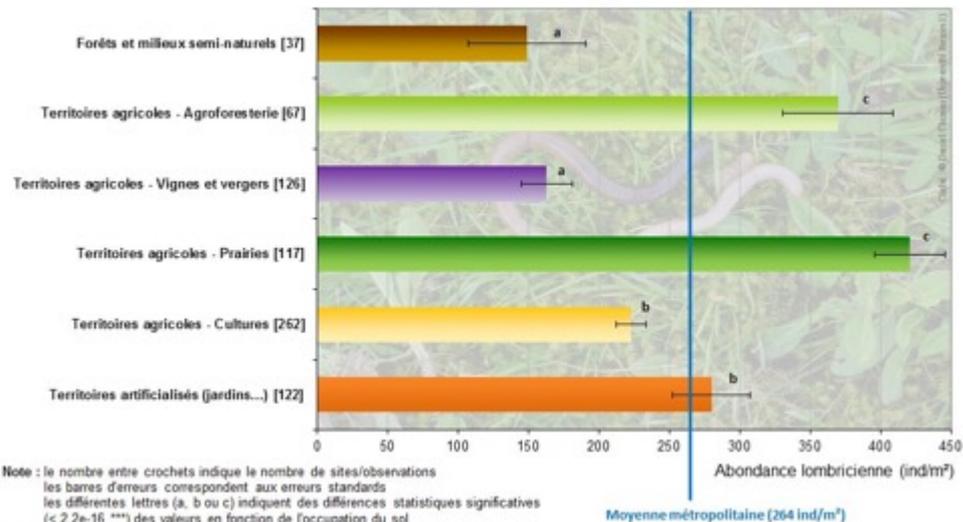
Nombre de taxons bactériens dans les unités pédo-écologiques françaises



Note : [] = nombre de sites

Source : INRA, plateforme GenoSol, UMR Agroécologie - GIS Sol, 2016.

Abondance lombricienne des sols en métropole sur la période 2005-2015, en fonction du type d'occupation du sol



Note : le nombre entre crochets indique le nombre de sites/observations
 les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards
 les différentes lettres (a, b ou c) indiquent des différences statistiques significatives
 (< 2.2e-16 ***) des valeurs en fonction de l'occupation du sol
 Source : © Université de Rennes1, UMR 6553 EcoBio, 2015.

<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr>



Carrefours de l'innovation
agricole



INRA
SCIENCE & IMPACT

Référentiels (1/2)

| Groupe | Indicateur | Type de mesure | Existence d'un référentiel national | Idée de l'optimum |
|--------|------------|---|-------------------------------------|-------------------|
| Faune | Diversité | Lombriciens (prélèvement et extraction) | Oui | +/- |
| | | Collemboles/ acariens (prélèvement et extraction) | ? | Non |
| | | Enchytréides (prélèvement et extraction) | ? | Non |
| | | Nématodes (prélèvement et extraction) | En cours | +/- |
| | | Macrofaune totale (prélèvement et extraction) | ? | Non |
| | | Faune totale par analyse de l'ADN | Non | Non |
| | Activité | Bait lamina | ? | Non |
| | | Présence de galeries ou de turricules | Non | Non |



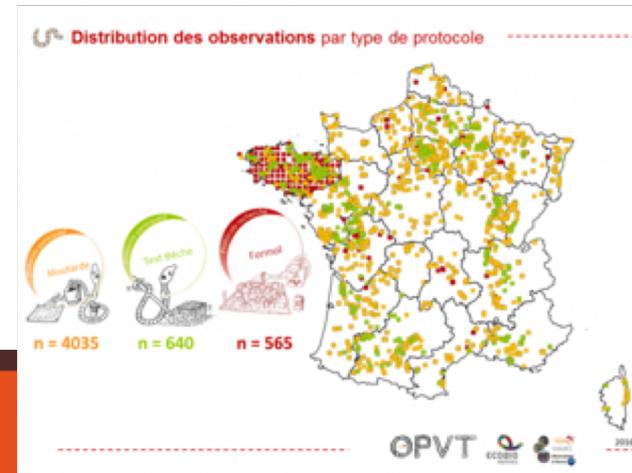
Référentiels (2/2)

| Groupe | Indicateur | Type de mesure | Existence d'un référentiel national | Idée de l'optimum |
|------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------|
| Micro-organismes | Biomasse moléculaire (bactérienne ou fongique) | Extraction ADN | Oui | +/- |
| | Diversité par abondance de séquences de gènes microbiens par PCR | PCR quantitative à partir d'ADN extrait du sol | Oui | Non |
| | Diversité microbienne (PLFA) | Analyse des acides gras phospholipidiques (PLFA) | ? | Non |
| | Diversité microbienne | Séquençage massif | Oui | Non |
| | Activité globale | Respiration microbienne du sol | Oui | +/- |
| | Activités enzymatique ciblant des éléments (ex : N, P, S) | Cycle des éléments | En cours | Non |



Progression des référentiels

- **Marché encore faible, enrichissement progressif des BD**
- **De nouvelles analyses issues de projets :**
 - PIA ADEME – AgroEcoSol porté par Auréa AgroSciences
 - APR AFB « Biodiversité des sols et agro-écologie »
- **Sciences participatives**
 - Protocoles simplifiés (facilité de d'utilisation)
 - Progression rapide des caractérisations
 - Mais...quelle validation des données ?
 - Existence de plusieurs référentiels...



De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes** pour mesurer la biodiversité / l'activité biologique et établir des indicateurs
2. **Références** pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. **Conseil et OAD** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols

Quelles ressources ?

- ⇒ **Des méthodes/indicateurs** disponibles avec parfois des « batteries » proposées et des prestataires
- ⇒ **Des premiers référentiels** déjà disponibles qui progressent vite



Le conseil : comment améliorer / piloter / orienter

- **Des connaissances encore génériques**
 - **Pratiques agricoles** : impact du labour, apport de matières organiques ...
 - **Nourrir les organismes du sol** : rotation, plantes de couverture, association de plantes...
 - **Echelle du paysage** : haies, agroforesterie, connectivité entre les parcelles ...
- **Mais**
 - Encore assez peu de conseil local, personnalisé....
 - Peu de données sur des systèmes innovants, en rupture



Comment développer le conseil ?

- **Analyser des sites d'observation de longue durée**
 - Bien pensés (répétitions, traitements factoriels, instrumentés...)
 - Possibilité de décrire les mécanismes en jeu
 - ...mais trop peu de sites, de situations ...
- **Interroger la “vraie vie”**
 - Profiter de l'expérience et du savoir faire des agriculteurs : ils s'adaptent, cherchent des solutions, innovent ...
 - Moins précis/documenté/mécaniste... mais beaucoup plus divers...
 - Recherche co-construite et participative (ex : OPVT, CASDAR Agrinnov)



De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes** pour mesurer la biodiversité / l'activité biologique et établir des indicateurs
2. **Références** pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. **Conseil et OAD** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols

Quelles ressources ?

- ⇒ **Des méthodes/indicateurs** disponibles avec parfois des « batteries » proposées et des prestataires
- ⇒ **Des premiers référentiels** déjà disponibles qui progressent vite
- ⇒ **En cours de progression** (plusieurs projets initiés)



Conclusions et perspectives

- **Des outils déjà opérationnels** (plusieurs indicateurs considérés en TRL 7 à 8 comme la diversité/activité des micro-organismes, la diversité vers de terre et des nématodes)
- **Des prestataires en cours de structuration**
- **Une industrialisation** en cours (ex : PIA AgroEcoSol)
- **Un conseil qui va progresser** avec l'acquisition de nouvelles références (« classiques » et via les sciences participatives) et leur capitalisation
- **Il est donc déjà possible de réaliser des analyses / caractérisations**

