



**HAL**  
open science

## Les enseignements du programme ADEME “ Bioindicateurs de l’état biologique des sols ”

Antonio Bispo, Guenola Peres, Mickael Hedde, Isabelle Gattin, Daniel Cluzeau, Nathalie Cheviron, Jennifer Hellal, Marina Le Guédard, Jean-Jacques Bessoule, Nuria Ruiz, et al.

### ► To cite this version:

Antonio Bispo, Guenola Peres, Mickael Hedde, Isabelle Gattin, Daniel Cluzeau, et al.. Les enseignements du programme ADEME “ Bioindicateurs de l’état biologique des sols ”. Séminaire national du “ Programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) ”, Dec 2013, Rennes, France. hal-01606698

**HAL Id: hal-01606698**

**<https://hal.science/hal-01606698>**

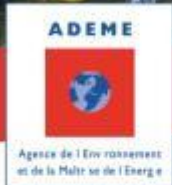
Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



# Les enseignements du programme ADEME « Bioindicateurs de l'état biologique des sols »

A. Bispo & G. Pérès

ADEME & Université de Rennes 1

M. Hedde, I. Gattin, D. Cluzeau, N. Cheviron, J. Harris-Hellal, M. Le Guedard, JJ. Bessoule, N. Ruiz, B. Pauget, A. De Vaufleury, C. Mougin, T. Beguiristain, L. Ranjard, S. Dequiedt, R. Chaussod, O. Faure, A. Hitmi, S. Criquet, M. Legras, N. Laurent, F. Vandenbulcke, K. Laval, N. Laurent, C. Gangneux, E. Nicolas, M. Coeurdassier, S. Ponton, J. Cortet, C. Villenave, J. Bodilis, L. Rougé, S. Taibi, J.C. Dur, J. Bodin, A. Alaphilippe, F. Douay, A. Hitmi, S. Houot, M. Guernion, P. Lepelletier, C. Repinçay, J.F. Vian, S. Conil, N. Raoult, P. Plassart, V. Mercier, H. Hotte, L. Galsomies, C. Grand





# Le sol un milieu inconnu et vivant



Végétaux

Microorganismes

Microfaune

Mésafaune

Macrofaune

Mégafaune

Bactéries



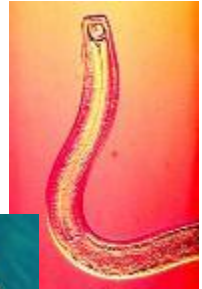
Champignons

Protozoaires



Tardigrades

Nématodes



100 μm

Acariens



Collemboles



Diploures

Symphyles

Enchytréides

Isoptères / Fourmis

Diptères

Isopodes

Myriapodes

Aranéides

Coléoptères

Mollusques

Oligochètes

2 mm



20 mm



Vertébrés

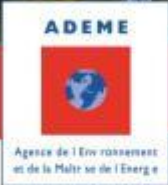


1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024 1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024

μm

mm

Blanchard, 2012, modifié de Swift et al. (1979)



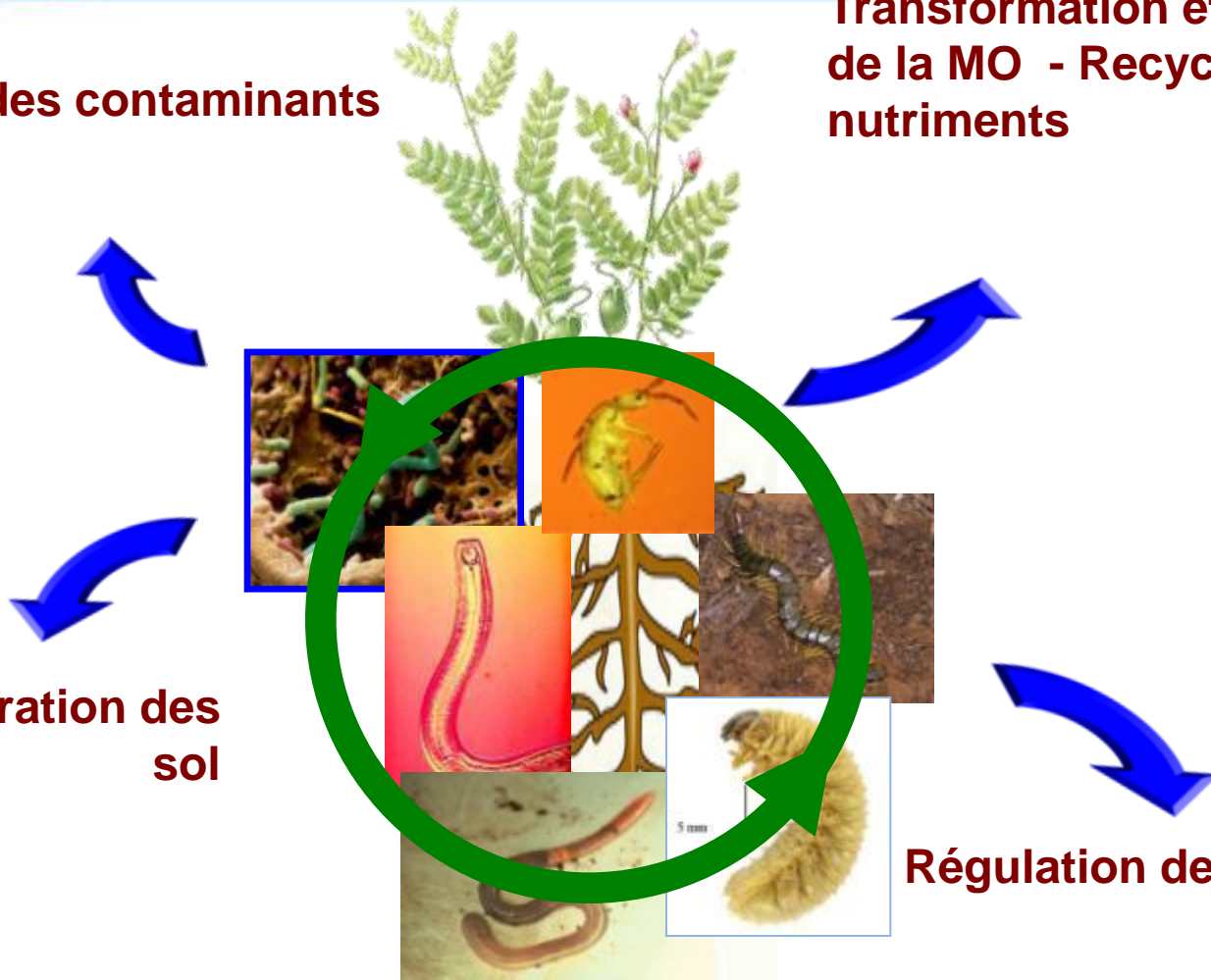
## Les 4 grandes fonctions biologiques

Dégradation des contaminants

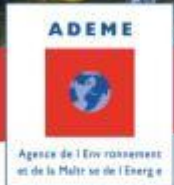
Transformation et évolution de la MO - Recyclage des nutriments

Structuration des sol

Régulation des populations



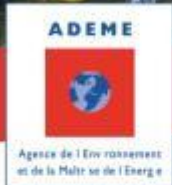
**SERVICES ECOSYSTEMIQUES**



## 2004 : le contexte européen et national du lancement du programme

- **Au niveau européen : un intérêt grandissant pour les sols et la biodiversité des sols**
  - Communication sur les sols (2002) et mise en place groupes de travail EU (intégrant la biodiversité des sols)
  - Reconnaissance de l'importance des rôles exercés par les organismes du sol
  - ➔ **Projet de Directive Cadre pour la protection et/ou la surveillance des sols... (2004)**
- **Au niveau national**
  - Démarrage du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (GIS Sol)
  - AFNOR : développement de normes pour juger du « bon état écologique des masses d'eau » (DCE) et émergence de projets sur la qualité biologique des sols
  - Résultats d'autres programmes (ex : GESSOL, PNETOX) : les organismes du sol réagissent rapidement aux pressions environnementales
    - ➔ des connaissances MAIS peu d'articulation à l'échelle nationale
    - ➔ **Le programme Bioindicateur**

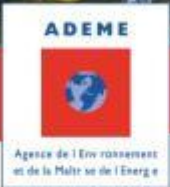




## Objectifs initiaux du programme

- Acquisition de **connaissances**, mise en réseau et renforcement de **l'expertise nationale**
- Obtention d'un **retour d'expérience** sur les bioindicateurs
- Détermination de la **pertinence** des bioindicateurs pour différentes applications
- Définition de **batteries** de bioindicateurs pertinents
- Développement de valeurs de **référence**









# Le programme ADEME

## « Bioindicateurs de qualité des sols) (2004-2012) »

Phase 1

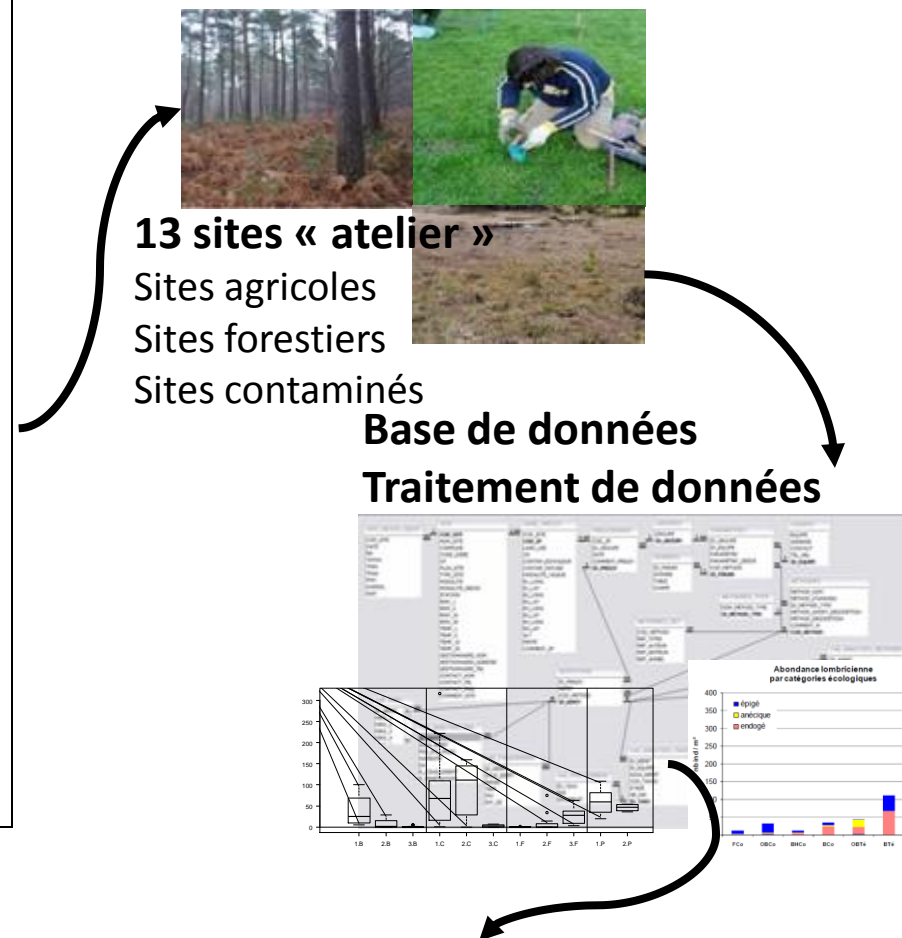



**Indicateurs Microbiens**  
 Quantité  
 Activité  
 Structure génétique

**Indicateurs Faune**  
 Quantité  
 Composition communautés  
 Bioaccumulation

**Indicateurs Flore**  
 Marqueurs d'exposition  
 Bioaccumulation



### Proposition d'indicateurs & référentiels



## Paramètres biologiques mesurés

### 1) Paramètres microbiens

#### Indicateurs de quantité

- Globaux (Bm, ADN)
- Non globaux (Bactérienne, champignons, pseudomonas)



#### Indicateurs d'activité

- Diversité métabolique potentielle
- Fonctions métaboliques (respiration, minéralisation)
- Activités Enzymatiques

#### Indicateur de structure génétique

- PCR TTGE (Bactérie, Champignon)
- PCR Empreinte ARISA (Bactérie)

### 2) Paramètres faune

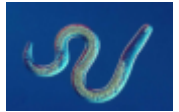
#### Indicateurs globaux

- Macrofaune totale, IGQS, IBQS



#### Indicateurs -> mesure de communautés

- Lombricien,
- Collemboles, acariens
- Nématofaune



#### Indicateur -> mesure sur individu

- Biomarqueur moléculaire
- Bioaccumulation



### 3) Paramètres flore

#### Indicateurs -> état de l'écosystème

- Dendrochimie



#### Indicateurs -> effets individuels

- Lipides foliaires, photosynthèse
- Teneur en Acides Aminés
- Bioaccumulation des ETM



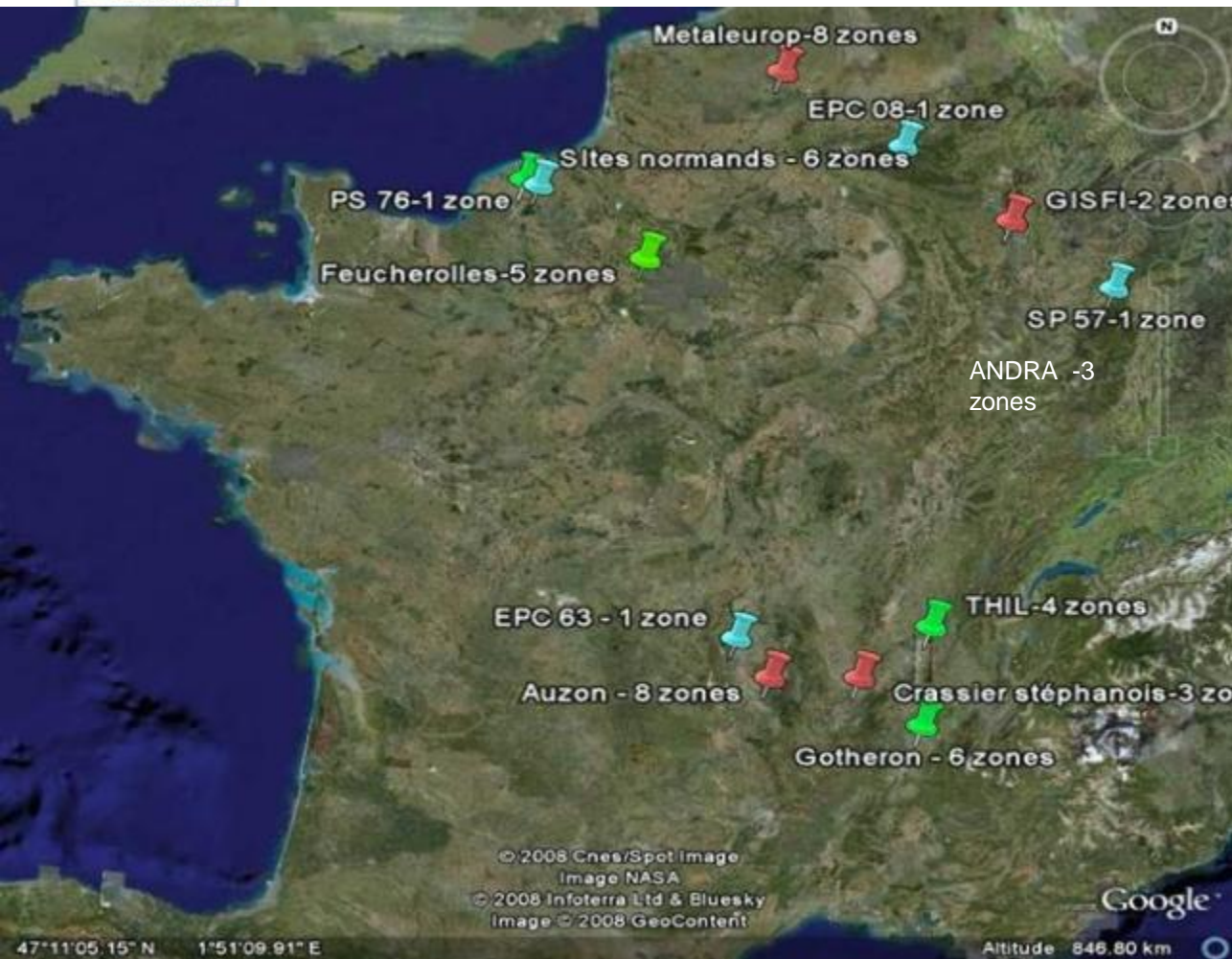




- Un grand réseau d'experts nationaux
- 22 équipes de recherche (70 partenaires )



# Localisation des sites



**Metaleurop**  
(Contamination diffuse,  
Fonderie)  
Yvetot (Prairie)

**GIS- FI (HAP)**  
Feucherolles - QualiAgro  
(Déchets Organiques)

ANDRA(Site cultivé)

<span style="color: cyan;">●</span>	s. forestiers
<span style="color: red;">●</span>	s. contaminés
<span style="color: green;">●</span>	s. agricoles

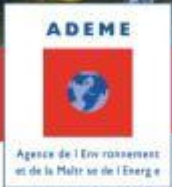
Thil (Travail du sol)

Crassier (métaux)

Gotheron (Phyto)

Auzon (Arsenic,  
Industrie phyto)

13 sites et 47 contextes (modalités)



# Quelques illustrations des résultats

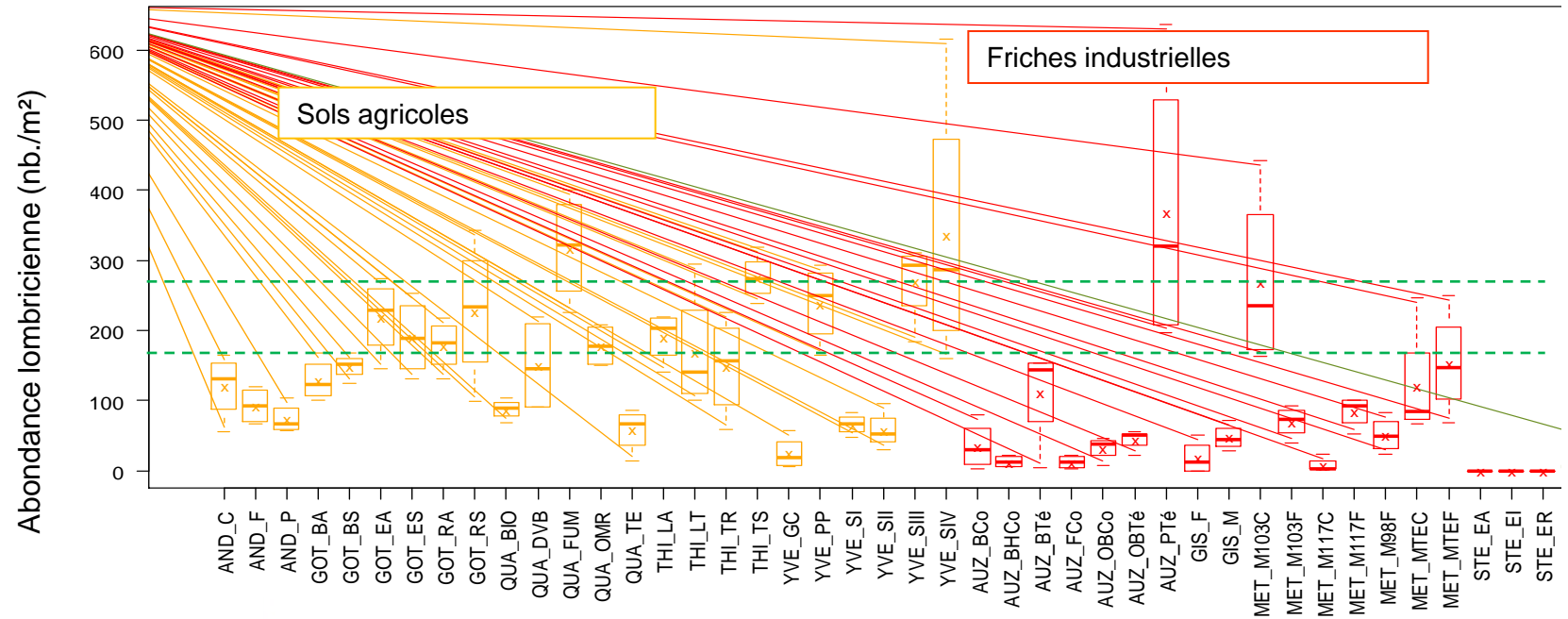




# 1 - Référentiels



## Gammes de variation des valeurs



↪ Implémentation d'une base de données

↪ Référentiel = Outil d'évaluation de dégradation de l'état biologique



## 2 – Sensibilité des indicateurs

### Exemple : paramètres microbiens

Analyse univariée (Kruskal- wallis) → Score

- 0** Réponse non significative
- 1** Réponse significative à 5%

→ Score Total

#### Ubiquiste

- Biomasse fongique (Ergosterol libre)
- Biomasse bactérienne et fongique (PLFA totaux)

#### Spécifique – Sols Agricoles

- Biomasse (moléculaire, Carbone)

#### Spécifique – Sols Contaminés

- Abondance bactérienne (Pseudomonas)

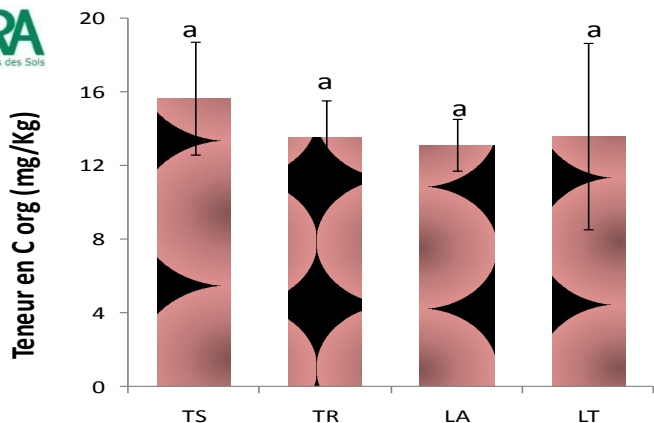
Indicateurs globaux	Sites d'étude												Total Agri	Total contam	Total
	Pratiques agricoles					Contamination					Forêts				
	Yvetot	Thil	Feucherolles	Andra	Gotheron	MetalEurop	Saint Etienne	Gisfi	Auzon						
C		B		A		A		A							
Biomasse moléculaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8
Carbone de la biomasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	9
Carbone de la biomasse / Ctotal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8
Abondance bactérienne (UFC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6
Ergostérol total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8
Ergostérol libre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	4	10
ADN 18S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	8
ADN 16S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5
Pseudomonas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	8
Pseudomonas/ADN 16S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	8
PLFA totaux	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	4	10
PLFA GRAM+ totaux	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	4	10
PLFA GRAM- totaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	9
PLFA BACT totaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	9
PLFA FONG totaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	7
PLFA FONG/BACT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6
PLFA 19 totaux	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	4	10
PLFA_ISO_ANTEISO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	5
PLFA_SAT_MONOINSAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8



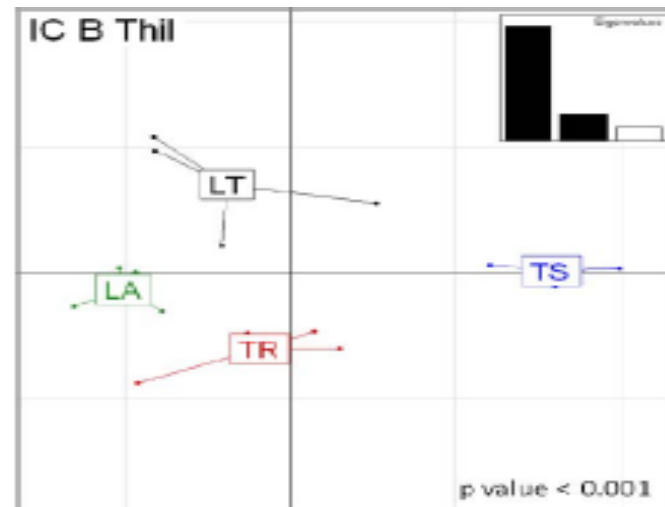
### 3- Complémentarité des indicateurs chimiques et biologiques

#### Site de Thill : impact de la réduction du travail du sol

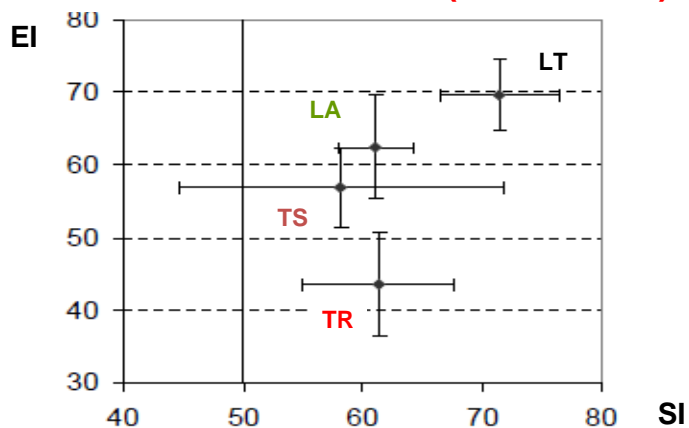
##### Teneur en carbone organique du sol



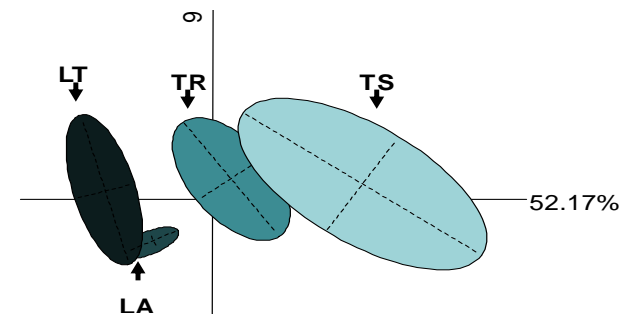
##### Diversité microbienne (empreinte ADN)



##### Diversité fonctionnelle (Nématodes)



##### Activités enzymatiques (13 activités enzymatiques)



(Gattin et al., 2013)

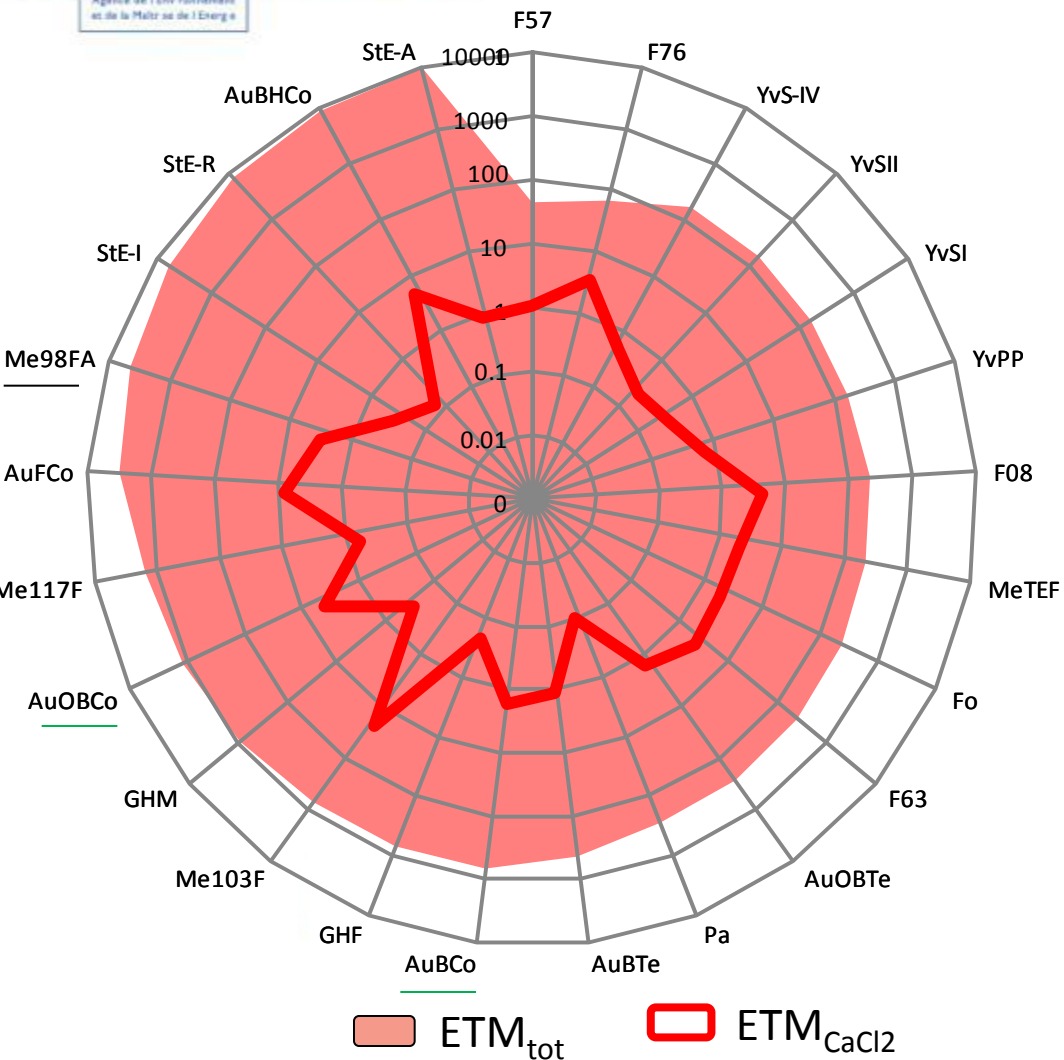
Axe 1 : \*\*  
Axe 2 : N.S.



### 3- Complémentarité des indicateurs chimiques et biologiques

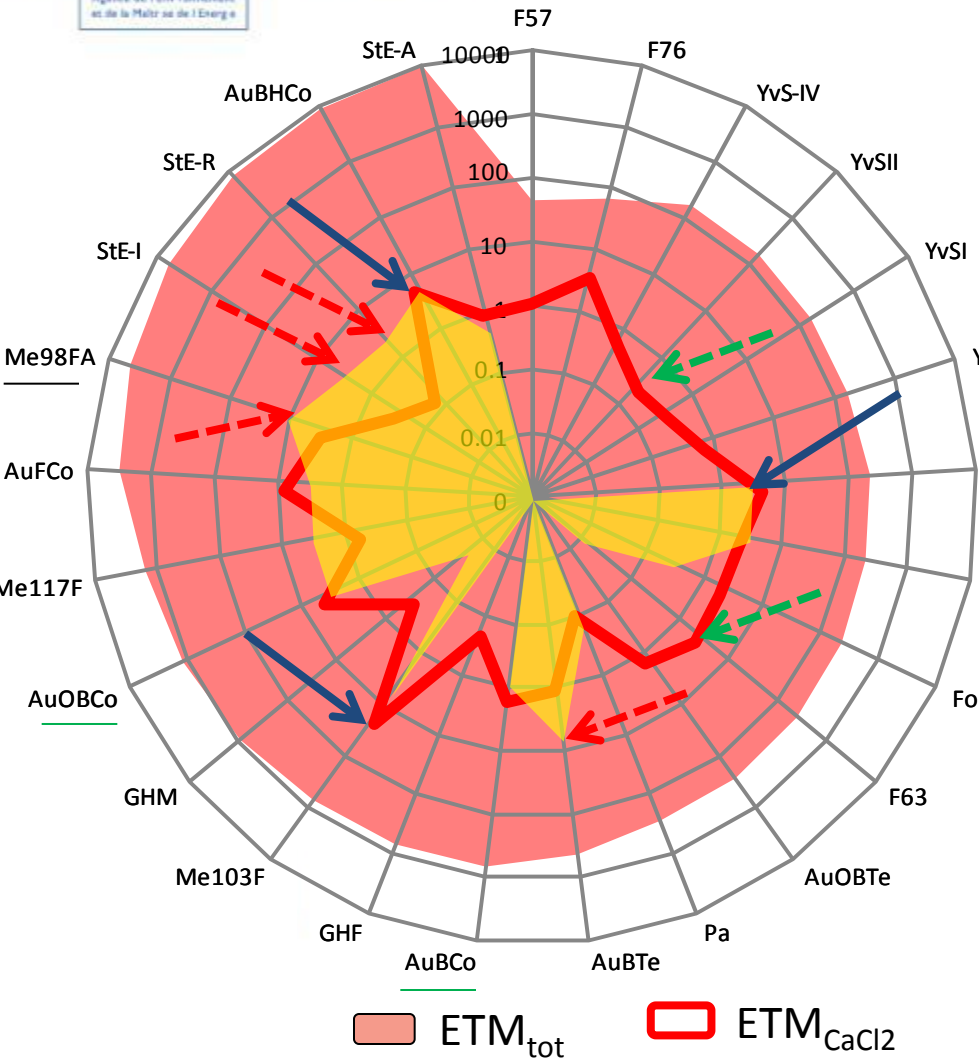
Question :

Les analyses physico-chimiques rendent-elles compte de la biodisponibilité des ETM





### 3- Complémentarité des indicateurs chimiques et biologiques



#### Indicateurs d'accumulation

SET : Somme des Excès de Transfert (escargots)

→ En accord avec la Physico-chimie

-- > autre indication

↪ transfert vers le biologique

↪ absence de transfert

→ Outils de diagnostic (Biodisponibilité)

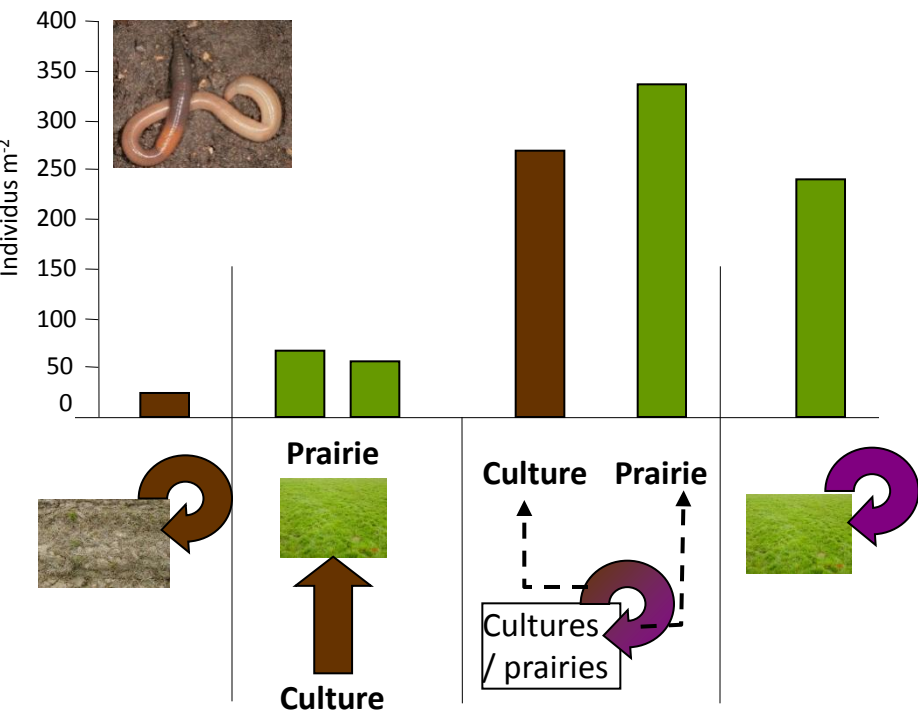




## 4- Restauration de la composante biologique

### Site Yvetot : Rotation prairies/cultures

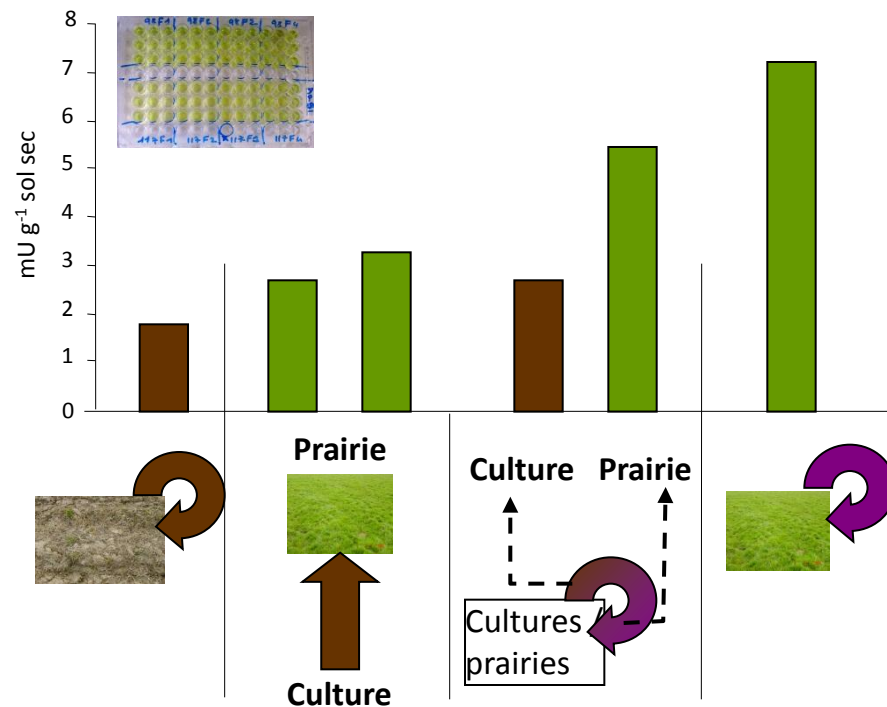
#### Abondance lombricienne



#### Activité enzymatique arylsulfatase



(Cycle du soufre)

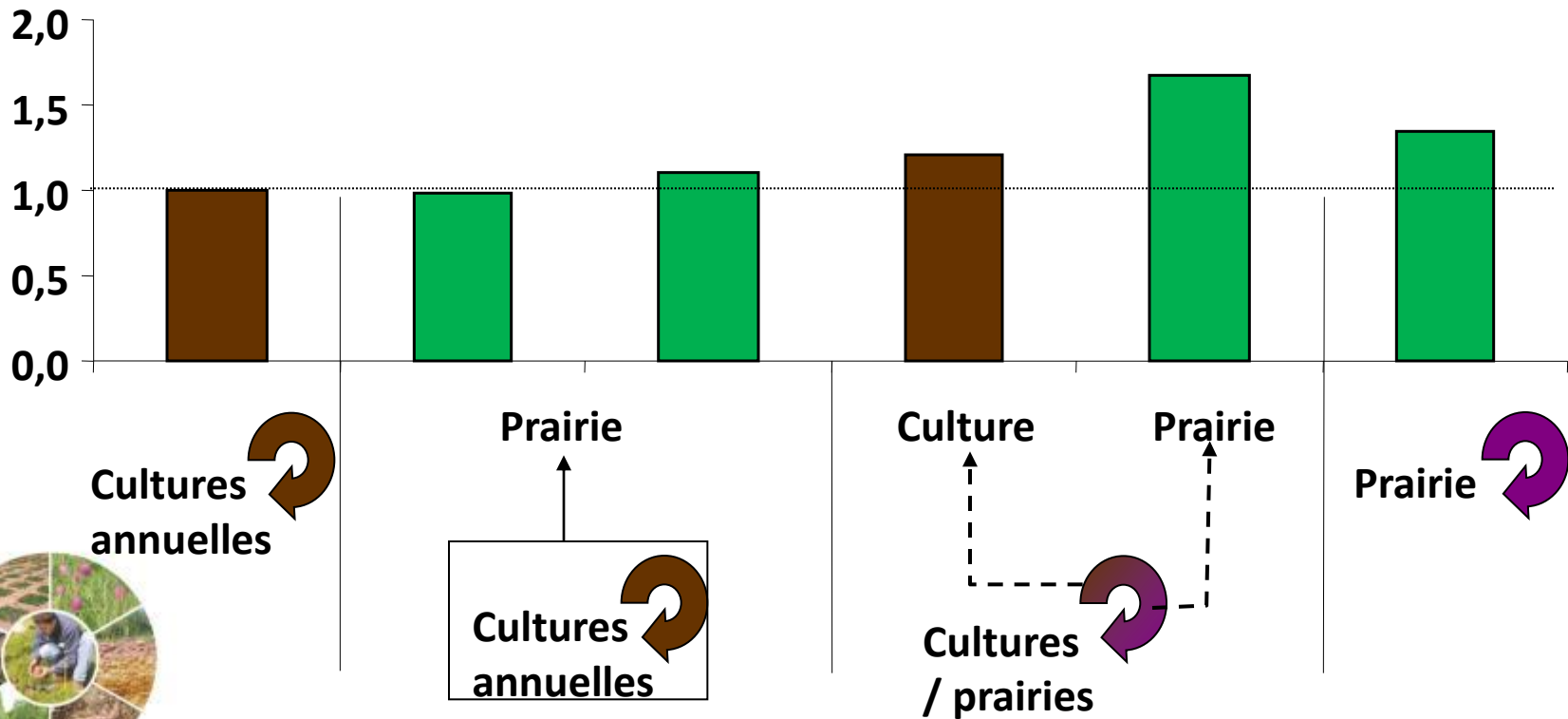


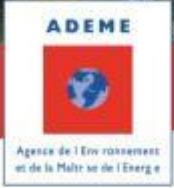
(Hedde et al., 2012)



## 5 - Lien avec les services écosystémiques

- Agrégation mathématique indicateurs biologiques, comparaison à une référence locale (Rutgers *et al.*, 2012)
  - ➔ Premier pas vers les services écosystémiques potentiels





# Synthèse

## Quels indicateurs pour quels objectifs en milieu agricoles et forestier?

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





# Synthèse

## Quels indicateurs pour quels objectifs en milieu agricoles et forestier?

Besoins	Famille	Paramètres
Sols forestiers (premiers éléments)	Microbiologie	Abondance : biomasses bactérienne & fongique Diversité des communautés Activités : laccases, lipases, galactosidase
	Faune	Diversité fonctionnelle des nématodes Diversité des collemboles et des acariens IBQS
Surveillance	Microbiologie	Abondance : biomasses bactérienne & fongique Diversité des communautés <i>Option : activités C, N, P, S</i>
	Faune	Diversité fonctionnelle des nématodes Abondance et diversité fonctionnelle des lombriciens <i>Option : Diversité des collemboles et acariens (sols de forêt)</i>





## • Valorisation réalisées

- Normes internationales (stratégie d'échantillonnage, échantillonnage, analyses)
- Fiches « outils »

<http://www.ademe.fr>

## • Poursuivre l'exploration de la base de données

- Liens entre les différents indicateurs
- Développement de référentiels et d'indices



# Les suites en cours

**FICHE OUTIL F2**

### Les vers de terre

G. Perre, D. Cluzan, H. Hoffe, N. Delennez & Col.  
UMR 8585 Ecobio, Université de Rennes 1  
Contact : [daniel.cluzan@univ-rennes1.fr](mailto:daniel.cluzan@univ-rennes1.fr)

**DESC FICHE OUTIL F1**

### Les escargots

A. de Veuffroy, D. Paquet & Col., UMR 6249 Chrono-environnement, Besançon  
Contact : [arthur.veuffroy@univ-besancon.fr](mailto:arthur.veuffroy@univ-besancon.fr)

**FICHE OUTIL M1**

### Les activités enzymatiques

Nathalie CHEVRON\*, Jean TRAPP\*, Chloé MARRAUD\*, Vanessa RIAP\*,  
Dimitri COCQUET\*, Karim AMAL\*, Isabelle GOTTIN\* et Chloé MOUQUET\*

**DESCRIPTION DE L'INDICATEUR**

**Nom de l'indicateur :** Les escargots, bioindicateurs de la biodisponibilité de contaminants sur site – indice SET – Somme des Excès de Transfert.

**DESCRIPTION DE L'INDICATEUR**

**Nom de l'indicateur :** Depuis plusieurs décennies, les activités enzymatiques sont considérées comme de bons indicateurs du fonctionnement biochimique des sols, qu'ils soient naturels ou anthropisés. Souvent associées à la faculté des microorganismes, elles permettent la fourniture par le sol de nombreux services écosystémiques tels que le développement des plantes cultivées, la productivité animale, la qualité de l'environnement, la santé humaine...

**Type d'indicateur :** Associées aux grands cycles biogéochimiques comme celui de l'azote (Figure 1), sensibles à un bon nombre de pressions anthropiques, les activités enzymatiques des sols présentent un potentiel important de bioindication. Ce sont des biomarqueurs de fonctionnement du sol.

**DESCRIPTION DE LA METHODE**

Malgré les grandes controverses portant sur l'interprétation des résultats issus des mesures d'activités enzymatiques dans les sols, nombreux techniques ont été développées pour un panel large d'enzymes, incluant des hydrolases et oxydoréductases. Celles-ci diffèrent par la nature du substrat utilisé, les conditions opératoires (notamment de pH), les temps d'incubation et les méthodes de détection (colorimétrie, fluorimétrie ou radiomarquage).

Les différentes étapes sont (Figure 2) :

- Prélèvement de sols sur 0-20 cm d'un échantillon représentatif de la parcelle (3-5 points par parcelle)
- Homogénéisation, tamisage et pesée des sols
- Préparation d'une solution de sol et répartition en microplagages
- Ajout d'un substrat spécifique et incubation
- Arrêt de la réaction et lecture au spectrophotomètre
- Sortie et analyse des résultats

**Figure 1 :** Rôle des microorganismes et de leurs enzymes dans le cycle de l'azote.

**Figure 2 :** Description des différentes étapes de mesure des activités enzymatiques.

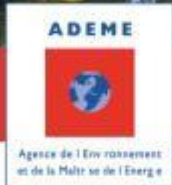


## Les suites en cours

- **Valorisation à venir**
  - Interface web (présentation des bioindicateurs, référentiels, outil d'aide au choix des indicateurs, listes prestataires ... )



- **Guides techniques/films/protocoles & kits de prélèvement....**
- **Ouvrage de synthèse et articles**

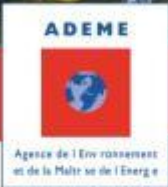


## Les enseignements

- Les sols ne **sont pas morts**... et des solutions existent pour améliorer leur statut biologique
- Les bioindicateurs sont **complémentaires** des analyses physico-chimique (ne s'y substituent pas)
- Les outils sont **disponibles et mûrs**...
- Les **prestataires** existent déjà... avec des prix comparables aux analyses physico-chimiques...

**La bioindication, c'est déjà possible  
et ce sera nécessaire pour piloter des  
systèmes agroécologiques**





# Merci de votre attention

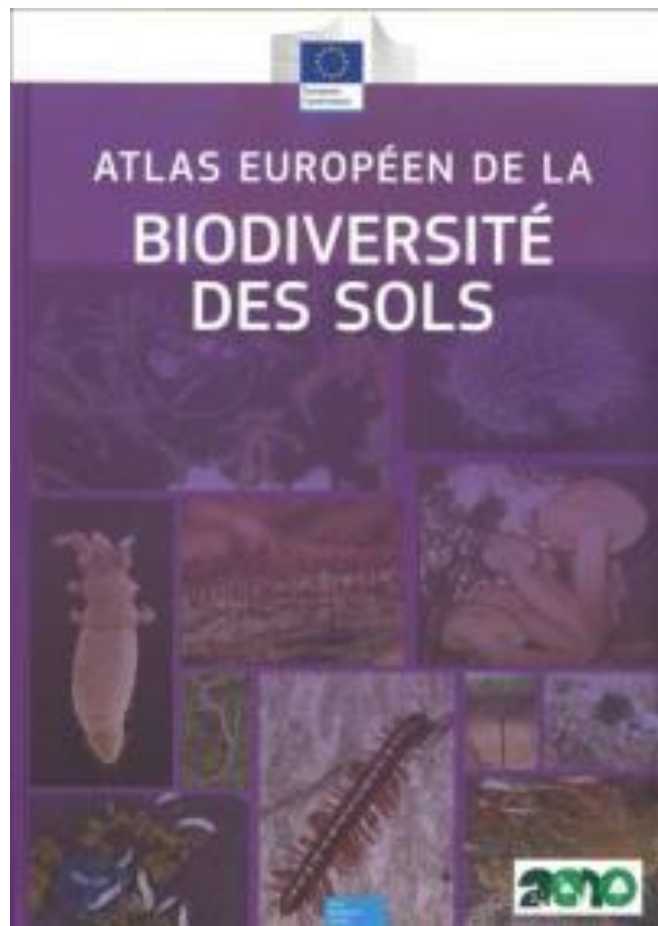
<http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur>







## De la recherche vers le grand public



[www.gessol.fr](http://www.gessol.fr)