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-01606698v1**

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

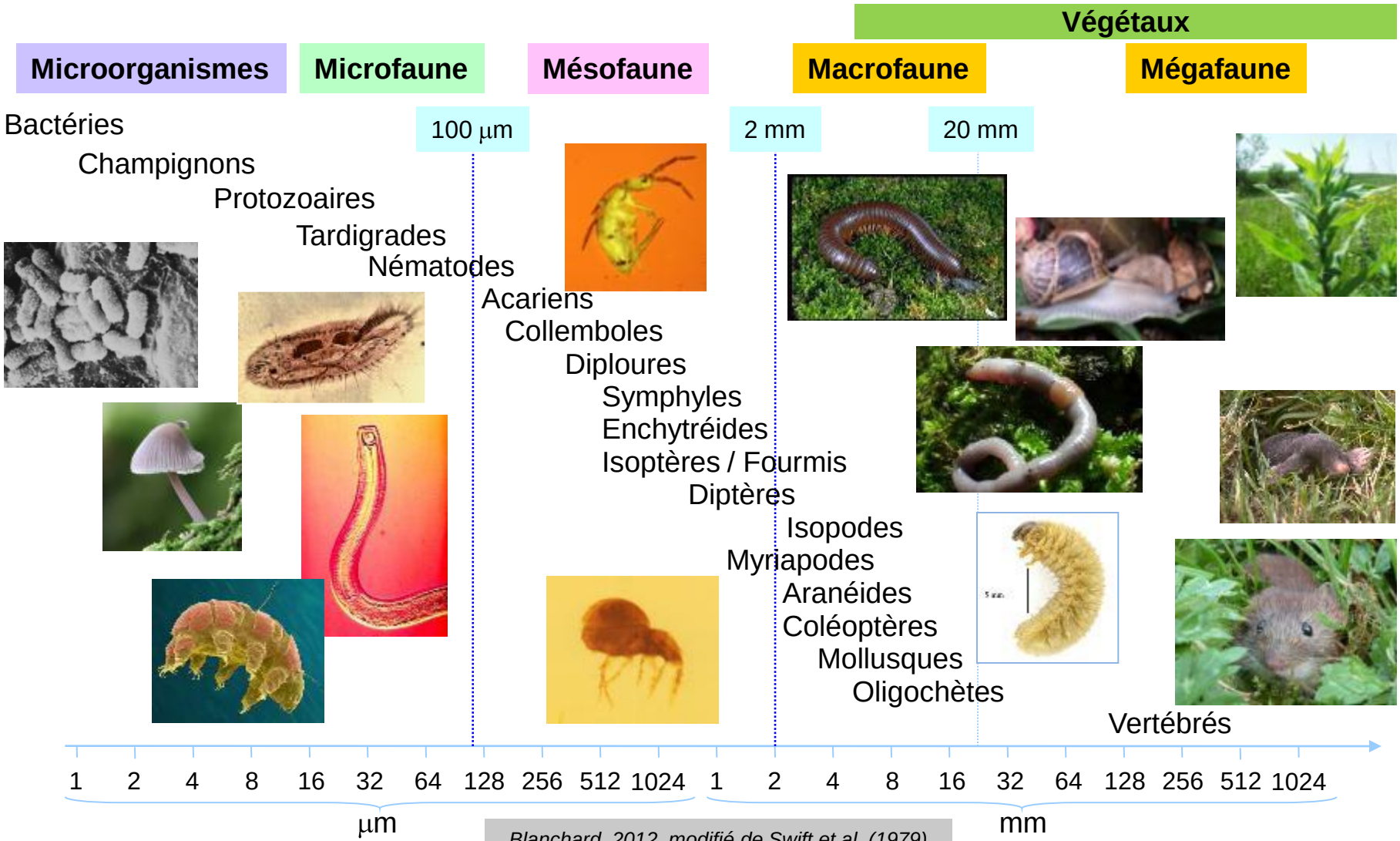
# Les enseignements du programme ADEME « Bioindicateurs de l'état biologique des sols »


**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

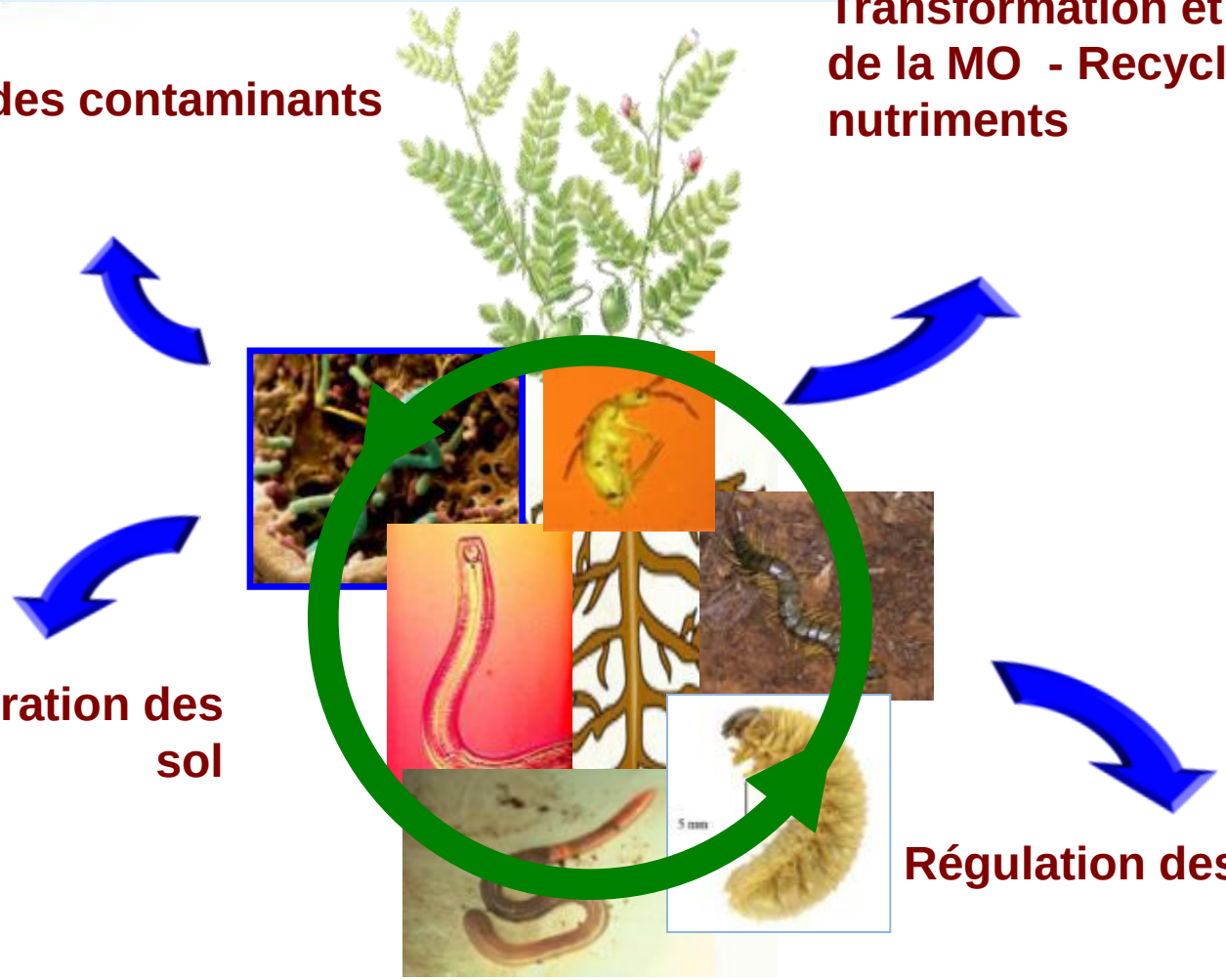



*Blanchard, 2012, modifié de Swift et al. (1979)*

# *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

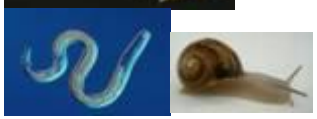
- Acquisition de connaissances, mise en réseau et renforcement de l'expertise nationale
- Obtention d'un retour d'expérience sur les bioindicateurs
- Détermination de la pertinence des bioindicateurs pour différentes applications
- Définition de batteries de bioindicateurs pertinents
- Développement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

# Le programme ADEME « Bioindicateurs de qualité des sols) (2004-2012)

Phase 1

## Indicateurs Microbiens

Quantité
Activité
Structure génétique



## Indicateurs Faune

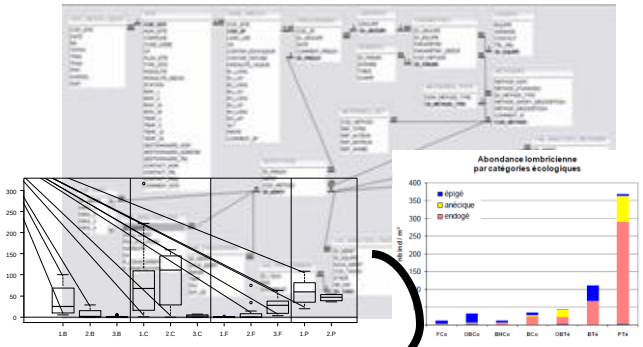
Quantité
Composition communautés
Bioaccumulation

## Indicateurs Flore

Marqueurs d'exposition
Bioaccumulation

**13 sites « atelier »**
Sites agricoles
Sites forestiers
Sites contaminés

**Base de données**
**Traitement de données**




**Proposition d'indicateurs & référentiels**

*D'après : G. Péres, coordinatrice du programme (Université de Rennes 1)*

# Paramètres biologiques mesurés

## 1) Paramètres microbiens

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

Indicateurs d'activité
- Diversité métabollique potentielle
- Fonctions métabolliques (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

13 sites et 47 contextes (modalités)

**Metaleurop (Contamination diffuse, Fonderie)**

**Yvetot (Prairie)**

**GIS- FI (HAP)**

**Feucherolles - QualiAgro (Déchets Organiques)**

**ANDRA(Site cultivé)**

- **s. forestiers**
- **s. contaminés**
- **s. agricoles**

**Thil (Travail du sol)**

**Crassier (métaux)**

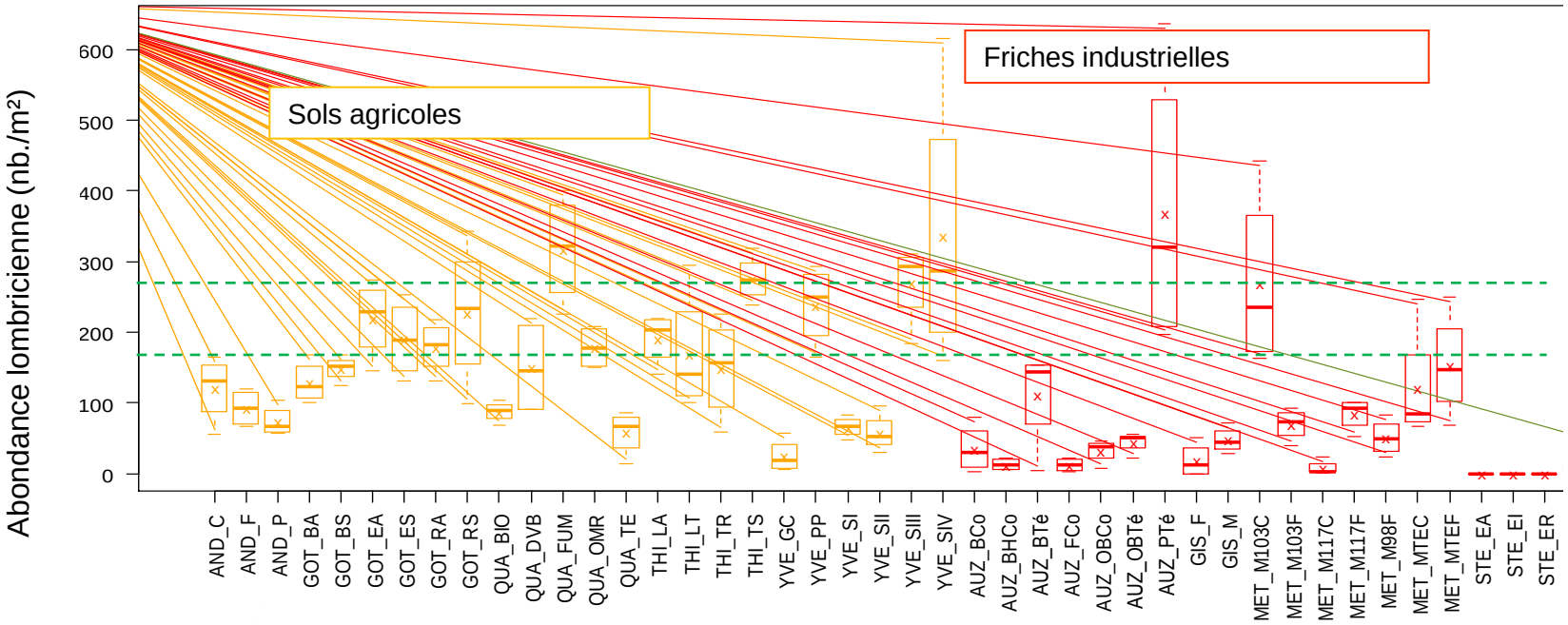
**Gotheron (Phyto)**

**Auzon (Arsenic, Industrie phyto)**

# 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 (Kruskall- 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)

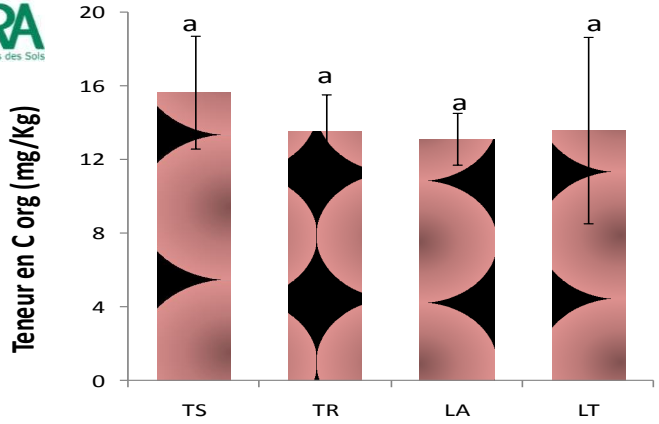
| Indicateurs globaux | Sites d'étude – Pratiques agricoles | | | | | Contamination | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Yvetot | Thil | Feucherolles | Andra | Gotheron | MetalEurop C | MetalEurop B | Saint Etienne | Gisfi | Auzon | Forêts | Total Agri | Total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

*(Gattin et al., 2013)*

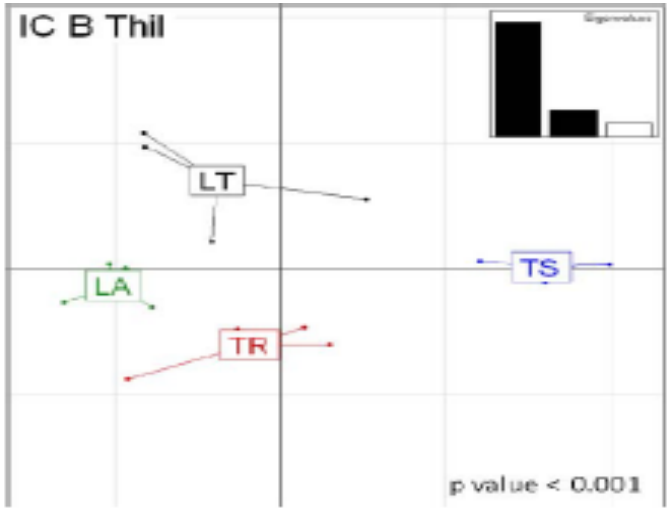
# 3- Complémentarité des indicateurs chimiques et biologiques

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

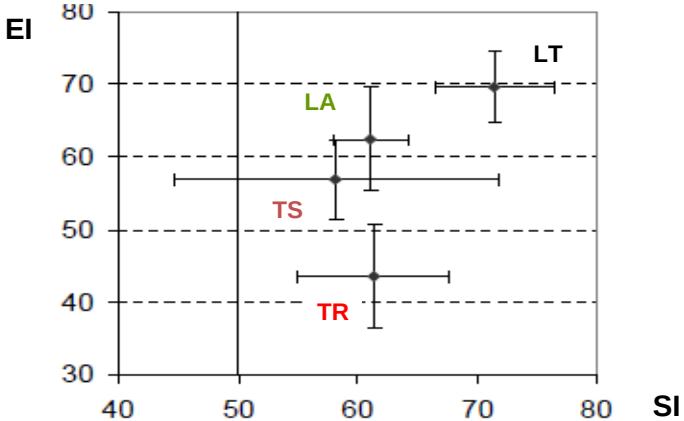
### Teneur en carbone organique du sol



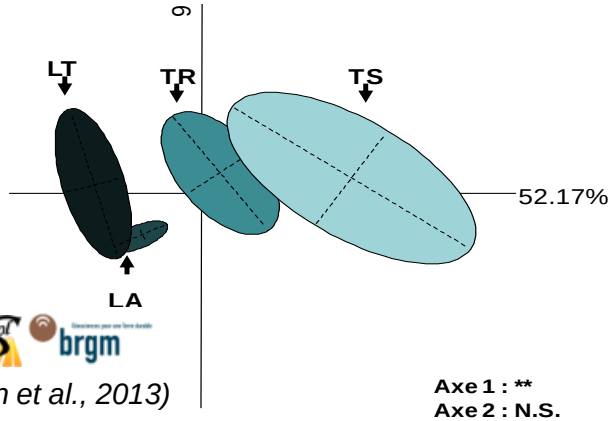

### Diversité microbienne (empreinte ADN)




### Diversité fonctionnelle (Nématodes)

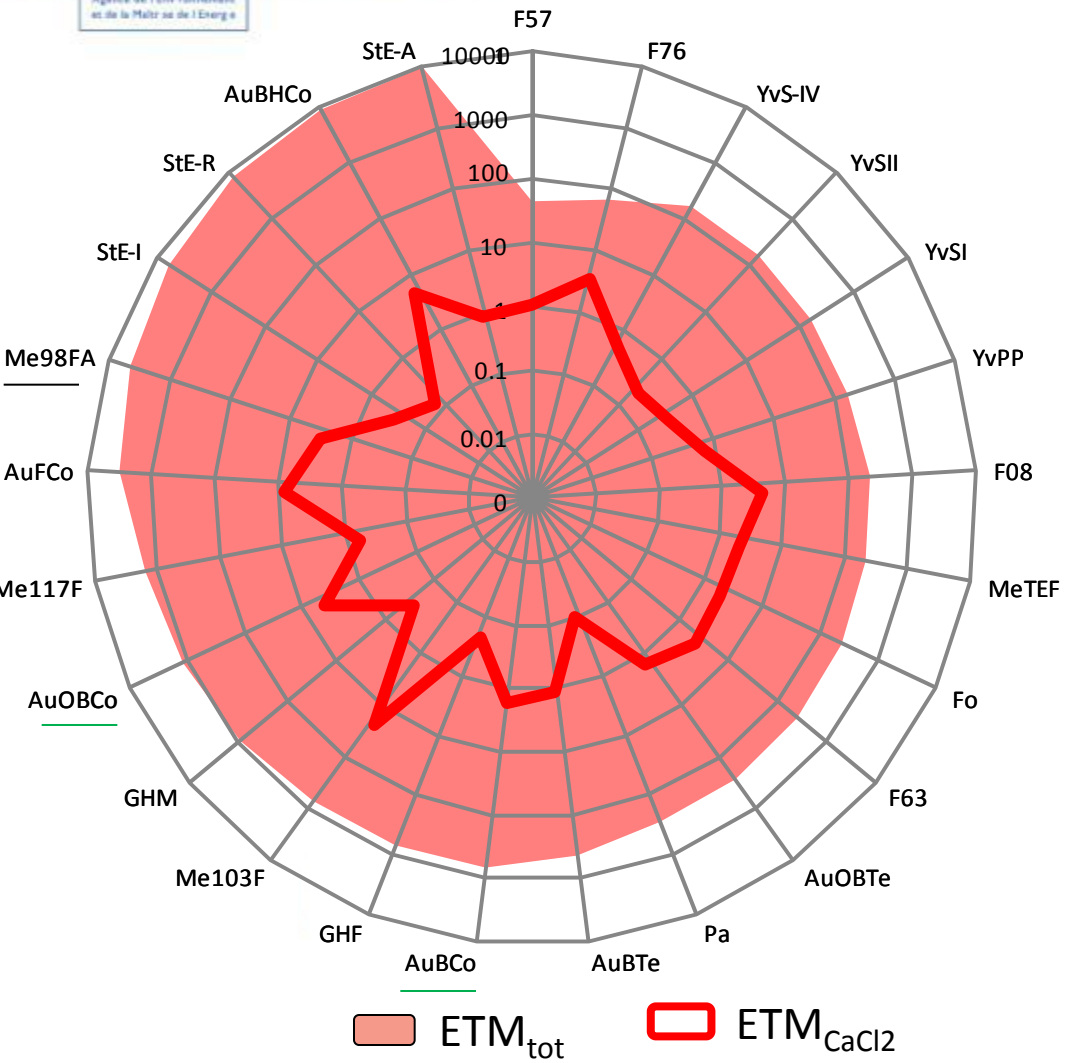



### Activités enzymatiques (13 activités enzymatiques)




(Gattin et al., 2013)

# 3- Complémentarité des indicateurs chimiques et biologiques

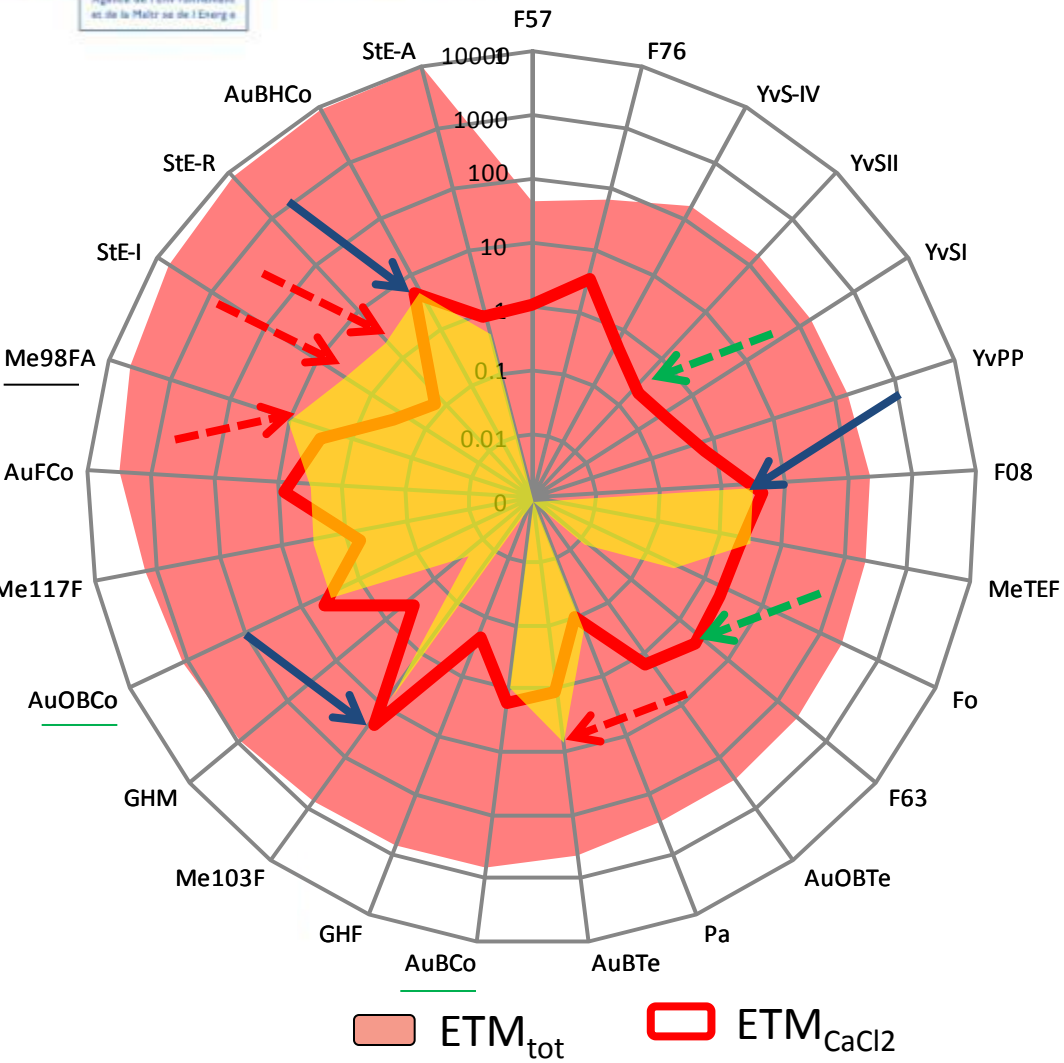



Question :

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

***(de Vaufleury et al., 2012)***

# 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

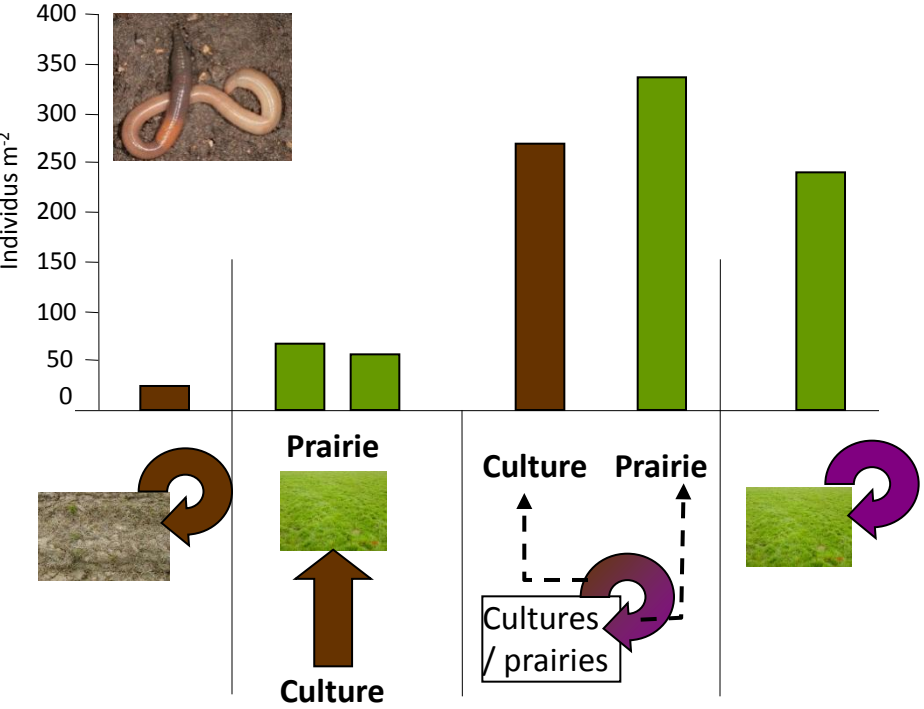
**→Outils de diagnostic (Biodisponibilité)**

*(de Vaufleury et al., 2012)*

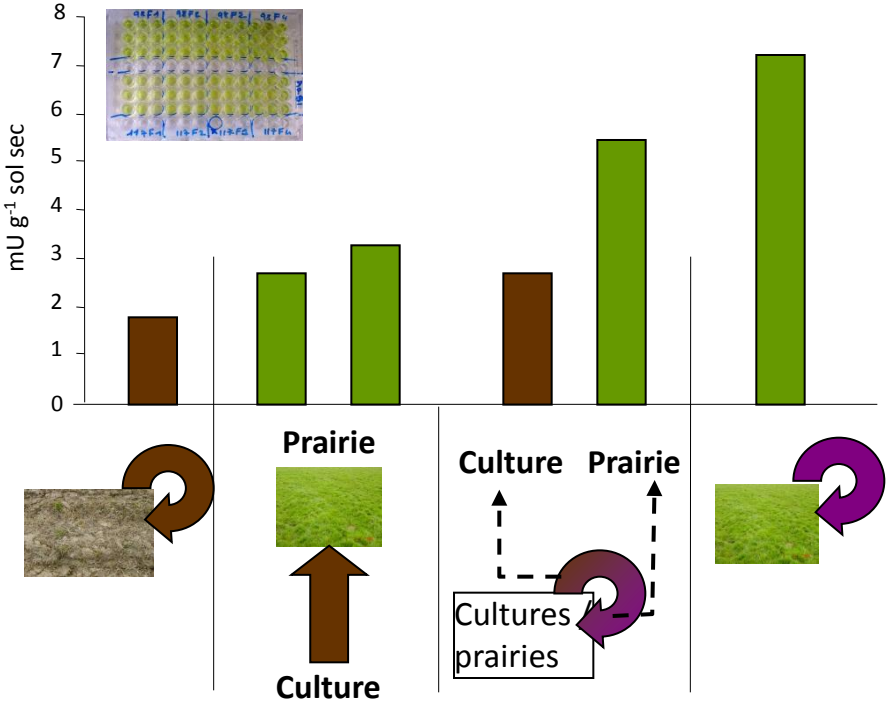
# 4- Restauration de la composante biologique

## Site Yvetot : Rotation prairies/cultures

### Abondance lombricienne




### Activité enzymatique arylsulfatase (Cycle du soufre)

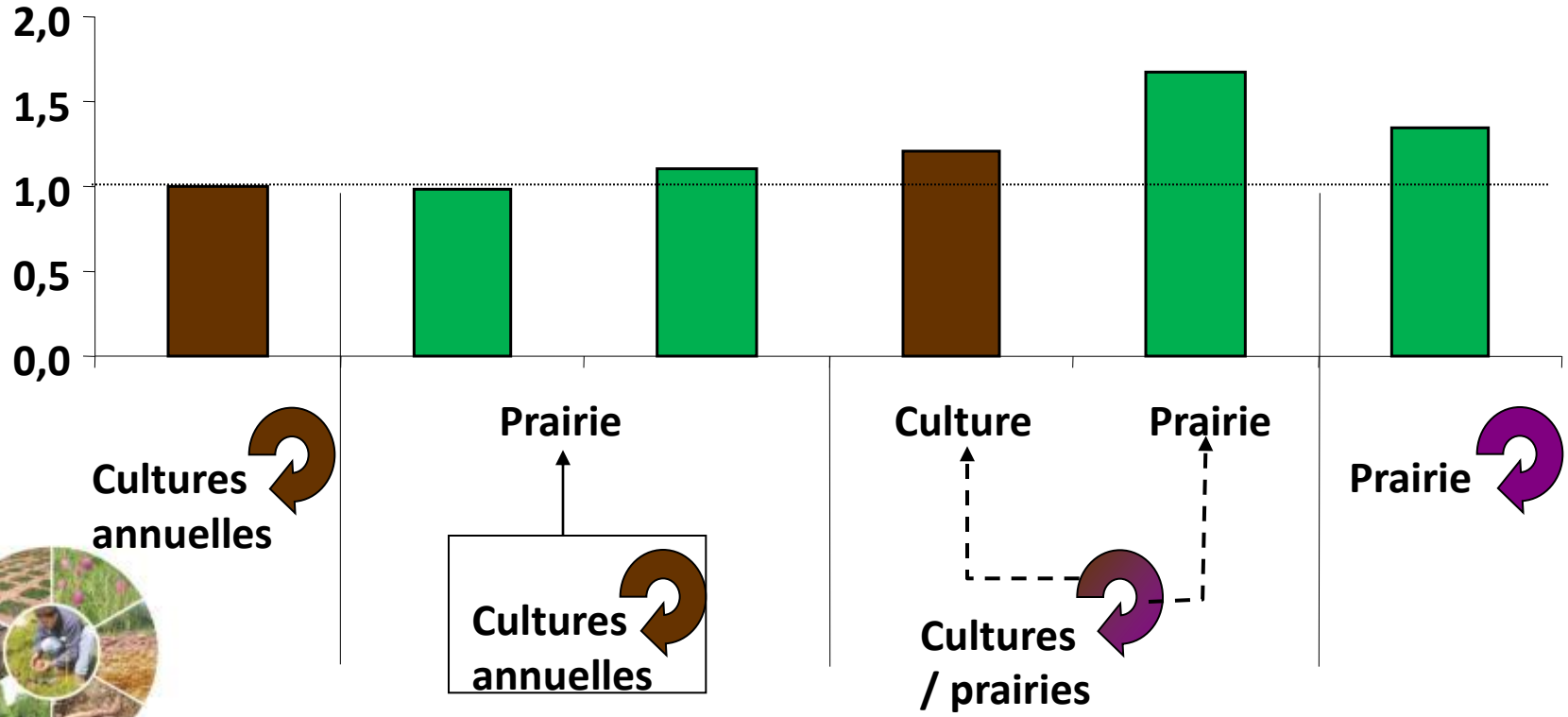



*(Hedde et al., 2012)*

# 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



(Hedde et al., 2012)

ADEME

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

# Synthèse

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

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

ADEME

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

## Synthèse

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

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

# Les suites en cours

- **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

- **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

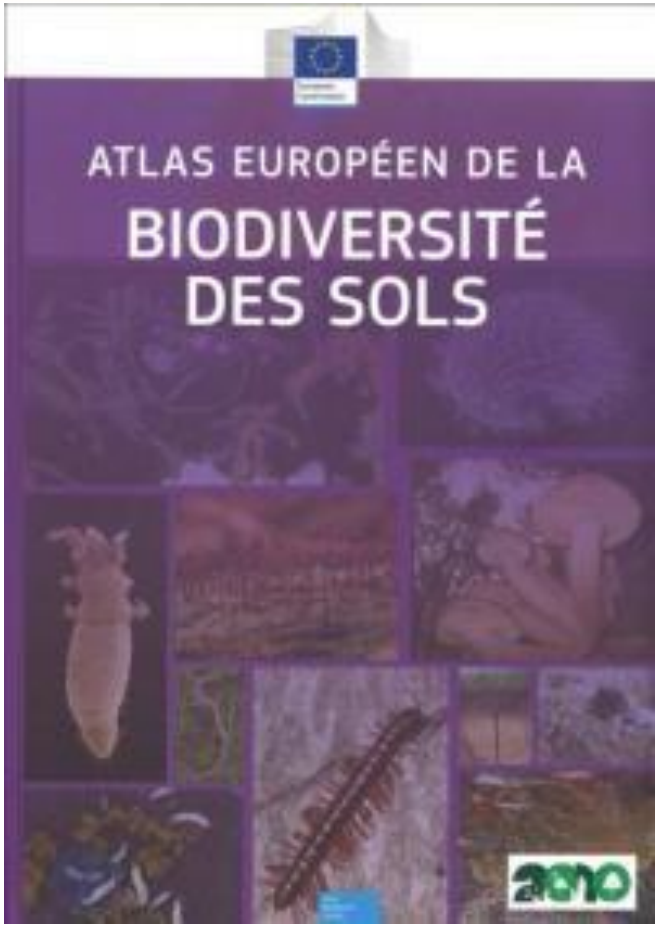
- **Les sols ne sont pas morts… et des solutions existent pour améliorer leur statut biologique**
- **Les bioindicateurs sont complémentaires des analyses physico-chimique (ne s'y substituent pas)**
- **Les outils sont disponibles et mûrs…**
- **Les prestataires existent déjà… avec des prix comparables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