

JiAG 2015

JOURNÉES NATIONALES DE
L'INNOVATION AGRICOLE

2–3 Novembre 2015
Centre de Congrès d'Angers

LA BIOLOGIE DU SOL

Avancées de la recherche, mises au point de bio indicateurs et de référentiels pertinents pour les sols agricoles.

Intervenant : Antonio BISPO



2015
Année internationale
des sols



LA BIOLOGIE DES SOLS... UNE INCONNUE ?

- Une diversité immense : 25% de la biodiversité terrestre serait dans les sols



LA DIVERSITÉ – COMBIEN D'ESPÈCES ?



> 4000 génotypes
bactériens
> 2000 sp de
champignons
saprophages

1000 espèces d'invertébrés:

- 400 – 500 Acariens
 - 60 – 80 Collemboles
 - 90 Nématodes
 - 60 Protozoaires
 - 20 – 30 Enchytraeidae
 - 10 – 12 Lumbricidae
 - 15 Diplopodes
- etc

1 g



1 m²

D'après Decaens, Torsvick et al. (1994), Hawksworth (2001), Schaefer et Schauer mann (1990)

LA BIOLOGIE DES SOLS... UNE INCONNUE ?

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

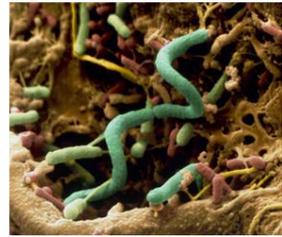


DES FONCTIONS BIOLOGIQUES POUR DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Recyclage des nutriments

Capture
Dynamique
Biodisponibilité N et P
Fixation N

Ingénieurs chimiques



Transformations du carbone

Décomposition
Dynamique de la MO

Ingénieurs de la litière

Méso- et macrofaune



**Organismes
du sol**

Régulation des populations
Contrôle des bioagresseurs

Bioagresseurs

Microfaune



Maintien de la
structure du sol
Rétention en eau
Infiltration de l'eau
Fourniture d'habitats
Erosion

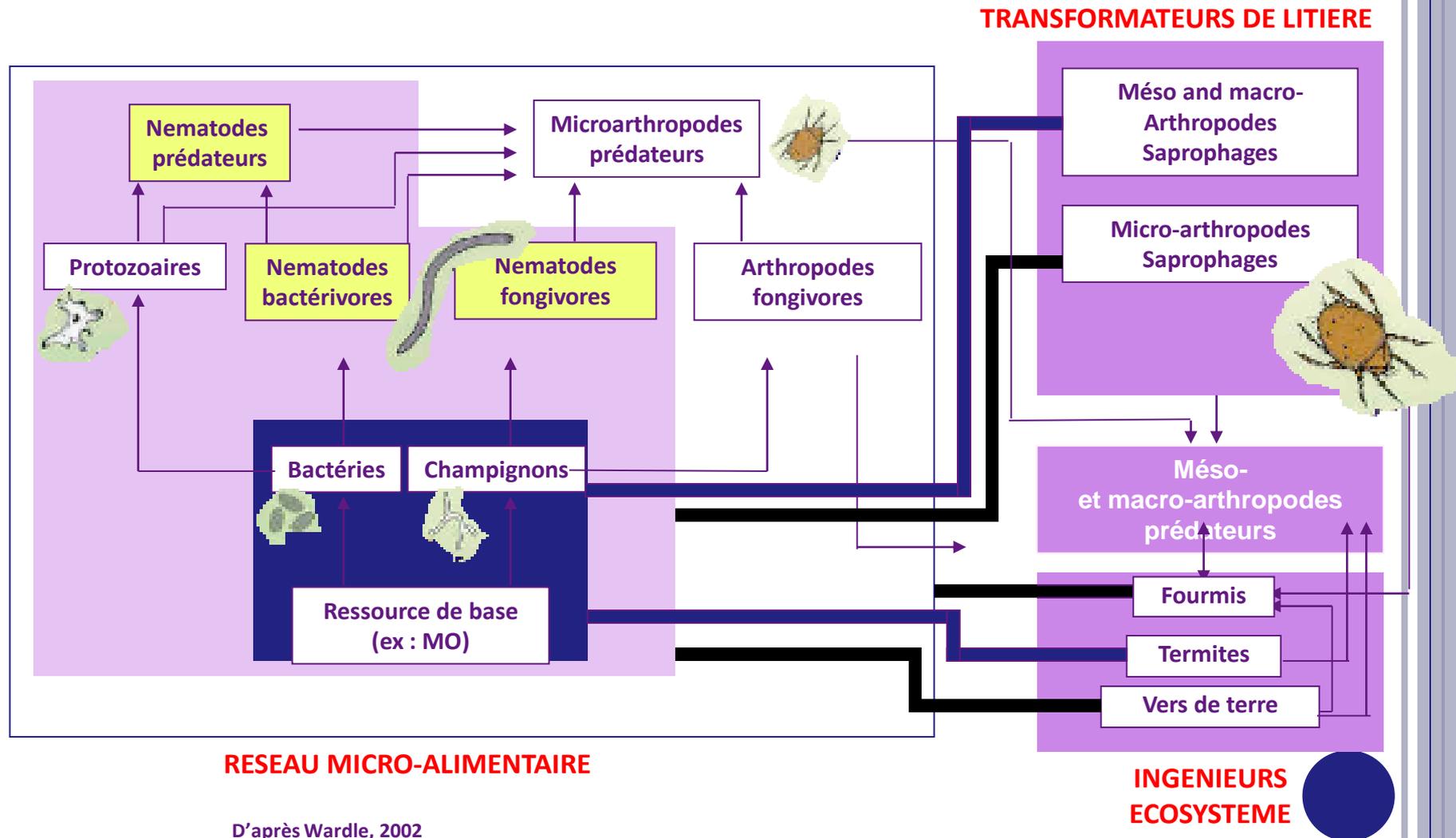
Ingénieurs du sol

Microorganismes

Macrofaune (et racines)



LIENS TROPHIQUES COMPLEXES ENTRE LES ORGANISMES DU SOL



D'après Wardle, 2002

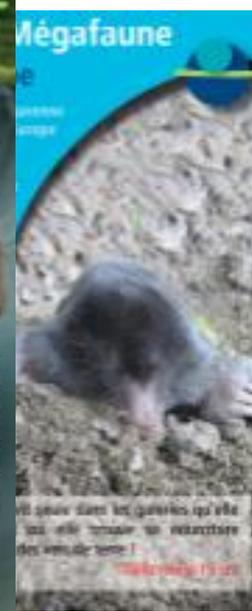
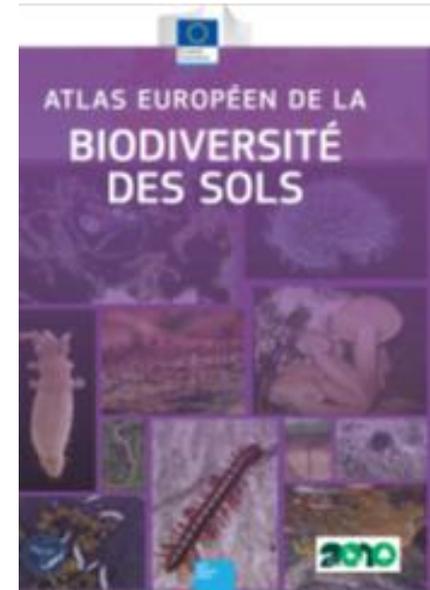
LA BIOLOGIE DES SOLS... UNE INCONNUE ?

- Une diversité immense : 25% de la biodiversité terrestre serait dans les sols
- Un rôle crucial dans le fonctionnement des sols et à la base des nombreux services rendus par les sols
- ... mais une biodiversité encore mal connue car **peu emblématique** et **difficile d'accès**



ET EN PLUS C'EST BEAU...

(WWW.GESSOL.FR)



COMMENT EN FAIRE DES OUTILS 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 3e conférence environnementale à Paris.



DE QUOI A-T-ON BESOIN ?

1. Méthodes pour mesurer la biodiversité et l'activité biologique des sols
2. Références pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. Recommandations pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique



DEPUIS 15 ANS PLUSIEURS PROGRAMMES DE RECHERCHE CLÉS ...

- 2000
- Le **programme GESSOL** du MEDDE finance des projets (www.gessol.fr) :
 - Microbiologie des sols : développement de l'extraction de l'ADN des sols et de son analyse
 - Mesure de la macrofaune totale des sols
 - Mise en place de programmes **nationaux et européens**
 - Le programme EU ENVASSO propose des outils de surveillance de la qualité des sols intégrant 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
 - Lancements de **projets EU d'ampleur** sur la biodiversité des sols et les services écosystémiques (ex : EcoFinders)
- 2005
- 2010



LE PROGRAMME ADEME – BIOINDICATEUR DE LA QUALITÉ DES SOLS (2004 – 2012)

○ **Origine :**

- Communication EU sur les sols (2002) considérant la biodiversité des sols
- Développement de normes « DCE » pour juger du « bon état écologique des masses d'eau »
- Emergence de projets de normalisation ISO sur la qualité biologique des sols

○ **Objectifs :**

- Acquisition de connaissances, mise en réseau et renforcement de l'expertise nationale
- Obtention d'un retour d'expérience sur les bioindicateurs (existants et en développement)
- Détermination de la pertinence des bioindicateurs pour différentes applications (surveillance, évaluation de risques, état biologique des sols)
- Proposition de batteries de bioindicateurs pertinents (sensibilité, reproductibilité, transférabilité)
- Développement de valeurs de référence, calibrage des réponses biologiques dans différents contextes



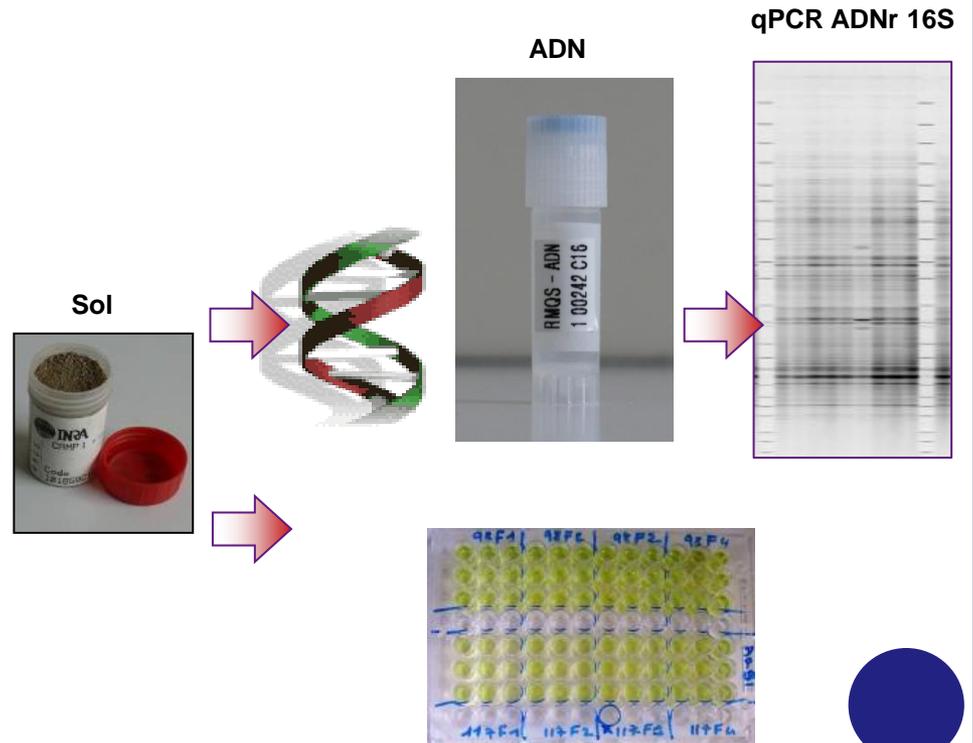
PHASE 1 DU PROGRAMME ADEME

TESTS D'OUTILS EXISTANTS ET EN DÉVELOPPEMENT

Classiques ...



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



PHASE 2 DU PROGRAMME ADEME

COMPARAISON DES OUTILS SUR LES MÊMES TERRAINS

Coordination ADEME (A. Bispo et C. Grand)
& Univ. Rennes (Guénola Pérès)



Indicateurs Microbiens

Quantité
Activité
Structure génétique



Indicateurs Faune

Quantité
Composition communautés
Bioaccumulation



Indicateurs Flore

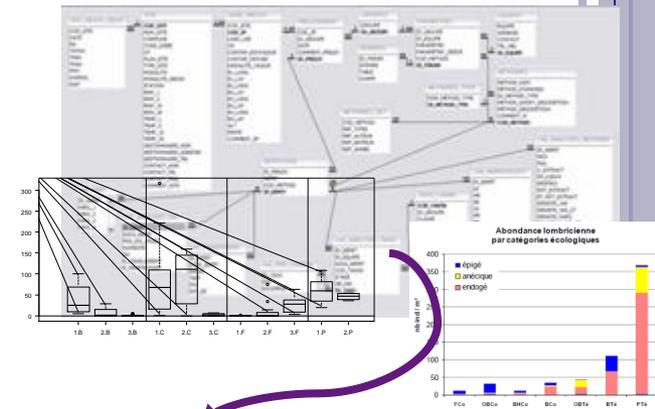
Marqueurs d'exposition
Bioaccumulation



13 sites « atelier »

Sites agricoles
Sites forestiers
Sites contaminés

Base de données
Traitement de données



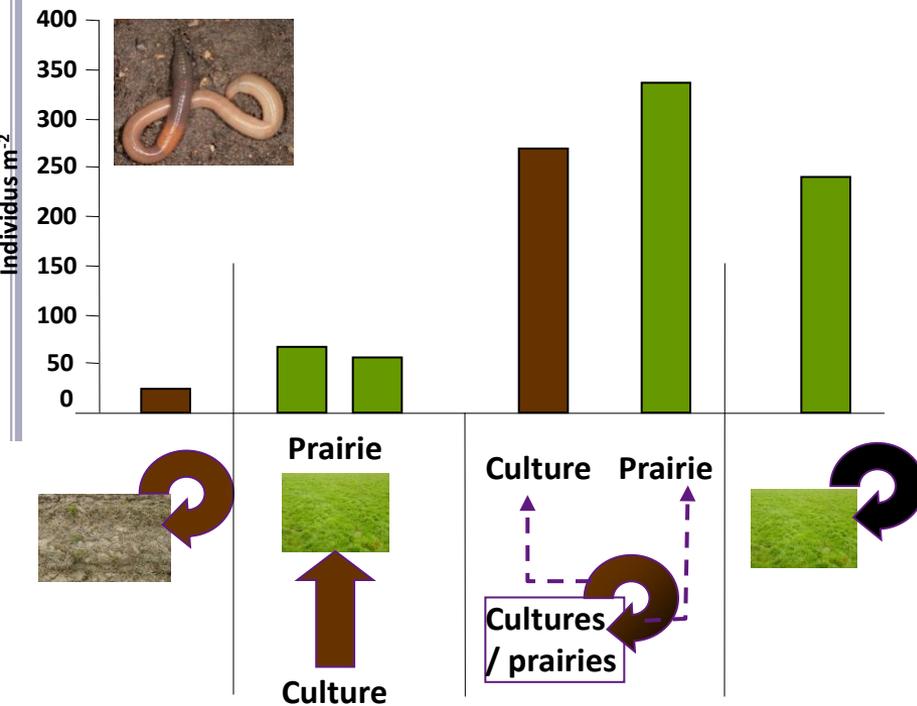
Proposition d'indicateurs & référentiels

UN RÉSEAU D'EXPERTS NATIONAUX (22 ÉQUIPES DE RECHERCHE - 70 PARTENAIRES)

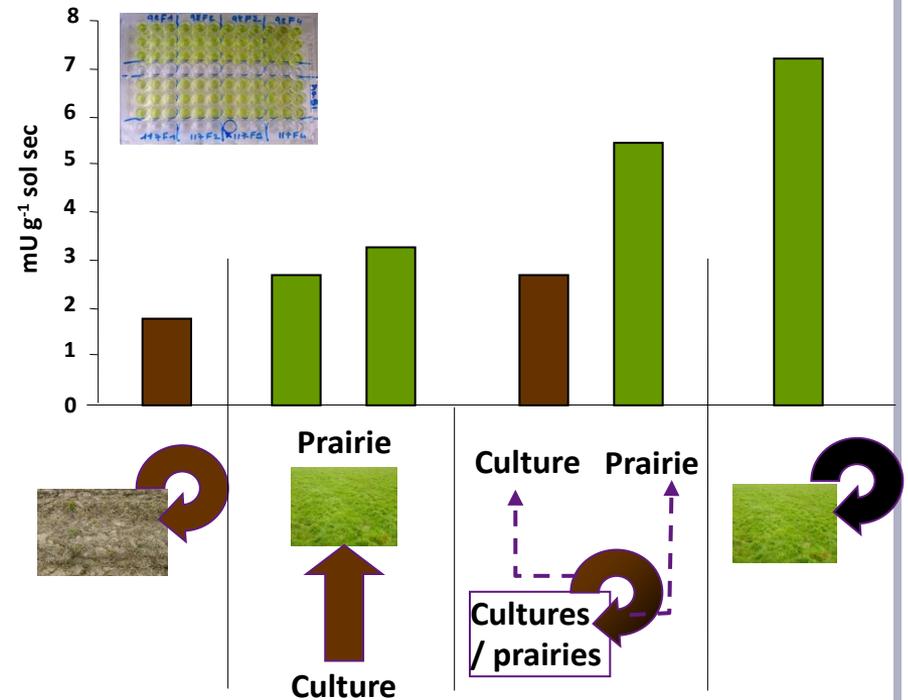


RESTAURATION DE LA COMPOSANTE BIOLOGIQUE – SITE YVETOT (ESITPA)

Abondance lombricienne

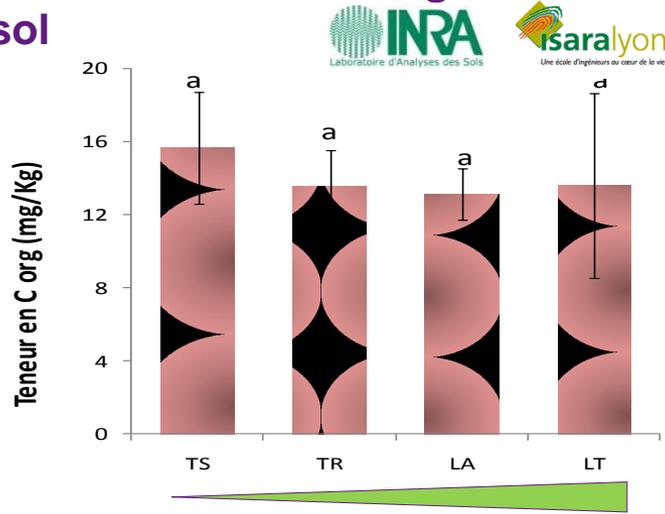


Activité enzymatique arylsulfatase (Cycle du soufre)



COMPLÉMENTARITÉ DES INDICATEURS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES – SITE THILL (ISARA)

Teneur en carbone organique du sol

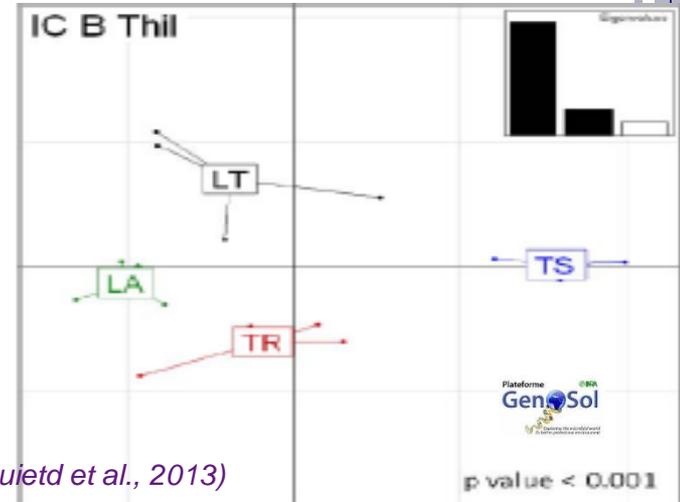


Travail du sol



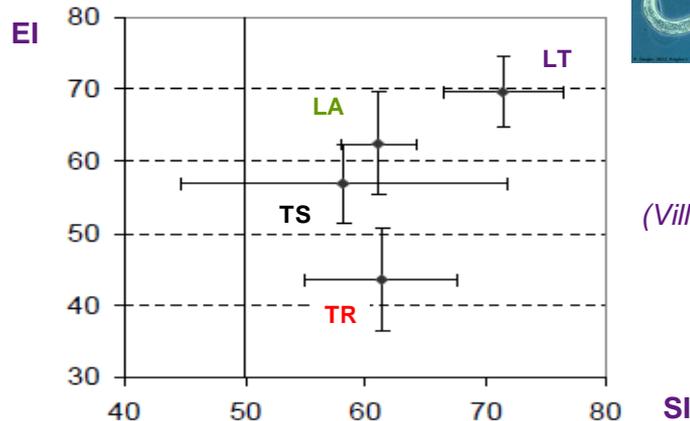
(Vian et al., 2013)

Diversité microbienne (empreinte ADN)



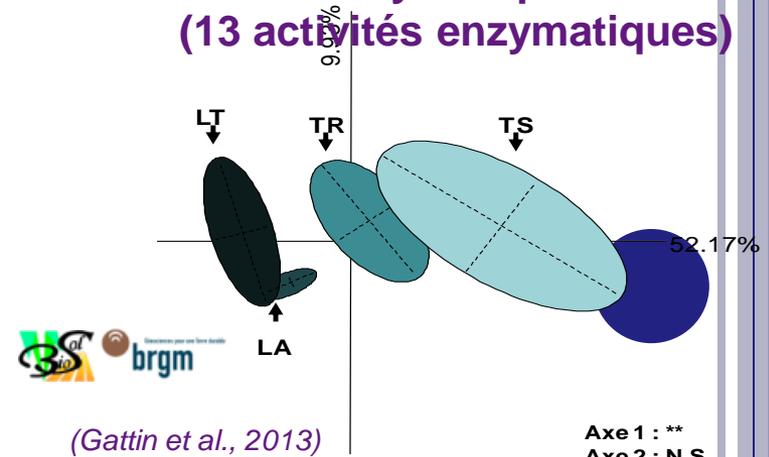
(Dequiedt et al., 2013)

Diversité fonctionnelle (Nématodes)



(Villeneuve et al., 2013)

Activités enzymatiques (13 activités enzymatiques)



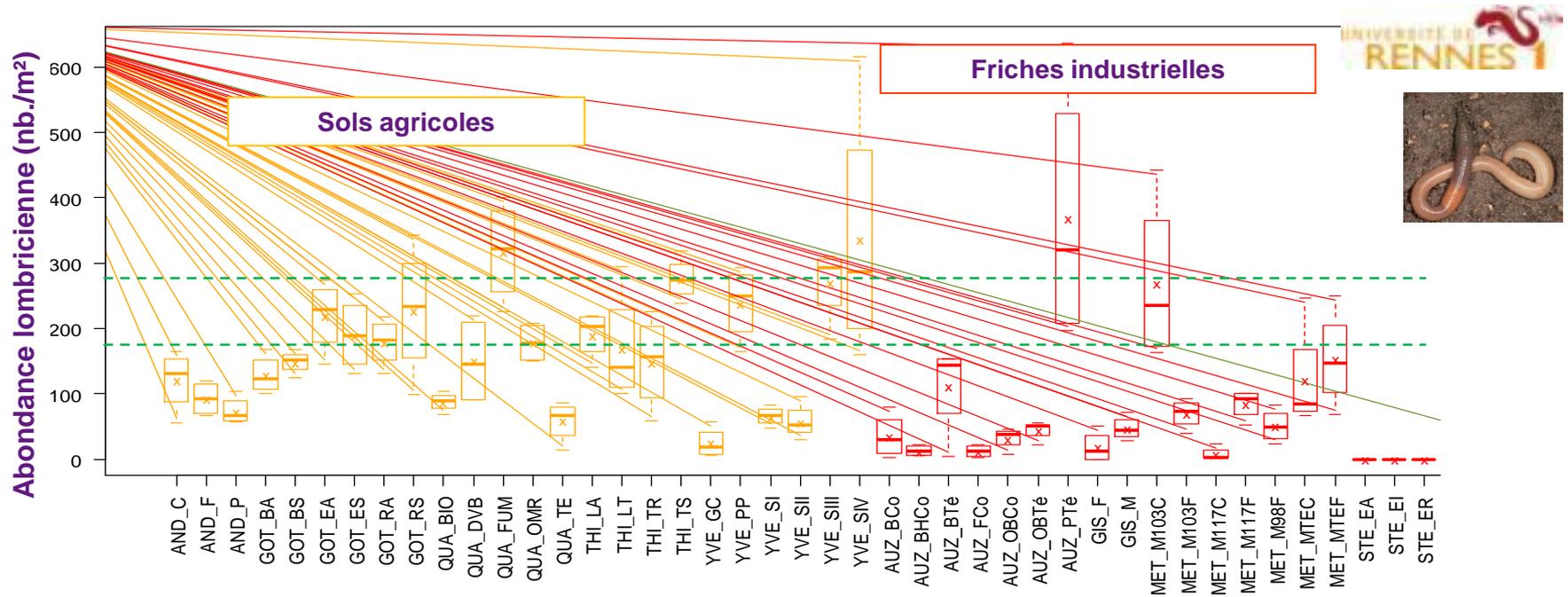
(Gattin et al., 2013)

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)



UNE PROPOSITION DE PREMIERS RÉFÉRENTIELS

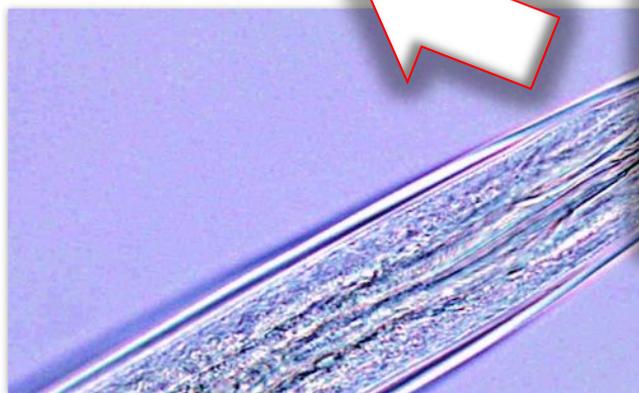


(Peres et al., 2013)



SITE WEB

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



Outils disponibles :

- Base de données
- Choisissez votre indicateur
- Fiches outils1

A venir :

- Vidéos sur les outils
- Protocoles simplifiés
- Les batteries types

SUR LE SITE...

• Références

Ver de terre

Unité : Abondances: nombre d'individus par m² & Biomasse: g par m²

N= 47	MIN	MAX	AVG	STD
Abondance totale	0	636	117	113
Biomasse totale	0	423	56	62
Abondance Epigés	0	191	14	28
Abondance Anéciques	0	224	49	56
...	
Richesses	0	9	4	2
Diversité	0.00	1.86	0.91	0.55
Equitabilité	0.00	1.00	0.62	0.32

• Des contacts et des prestataires

...



• Fiches « méthodes » décrivant les indicateurs

FICHE OUTIL F2

Les vers de terre

Cl. Ferras, D. Chazoual, H. Hottel, N. Delorme, J. Col., UMR 6559 EcoBio, Université de Rennes 1
Contact : Gaelle.Chazoual@univ-rennes1.fr

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Nom de l'indicateur FICHE OUTIL F1

Les escargots

A. de Vuilleury, B. Puygès, A. Col., UMR 6245 Chimie-environnement, Besançon
Contact : arabella.devuilleury@univ-besancon.fr

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

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

Valeurs de référence

- Digènes
- Copépodes
- Rotifères

Source de référence

- Presses de la Sorbonne Université

Une centaine d'espèces écologiques sont...

FICHE OUTIL M1

Les activités enzymatiques

Nathalie CHIFFOLEAU, Jean-Marie CHIFFOLEAU, Murielle BASTIEN, Stéphane CHIFFOLEAU, Karine LAMALU, Isabelle GATTIN et Chantal MOUGIN

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Rôle écologique de Forç plantier-ai : Ces mollusques consommateurs primaires et leurs œufs, ils intègrent donc aux échanges avec le sol et carabes, ou vertébrés : coque l'espèce *Helix aspersa* ou *Ce* dans le monde¹. Son dérang gique connu pour les utiliser par mesure de leur accumulé

Type d'indicateur : Bioindic d'écologie exposée (2) par lément faites dans cette par de Vuilleury & Pihan, ETIC 2

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 anthropiques. Souvent associées à l'activité 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 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 MÉTHODE

Malgré les grandes controverses portées sur l'interprétation des résultats issus des mesures d'activités enzymatiques dans les sols, nombreux de 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 radiométrique).

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 microplaque
- Ajout d'un substrat spécifique et incubation
- Arrêt de la réaction et lecture au spectrophotomètre
- Sortie et analyse des résultats

1 Plus plus de détails, norme ISO 15502
2 Une vidéo pédagogique permet de découvrir <http://www2.univ-rennes1.fr>



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

BILAN ...

De quoi a-t-on besoin ?

1. Méthodes pour mesurer la biodiversité et l'activité biologique des sols
2. Références pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. Recommandations pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique

Qu'est-ce qu'on a ?

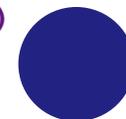
- Bcp méthodes (trop ?)



MÉTHODES

21 méthodes standardisées

- ISO 23611-1:2006 Sampling of soil invertebrates -- Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of **earthworms**
- ISO 23611-2:2006 Sampling of soil invertebrates -- Part 2: Sampling and extraction of micro-arthropods (**Collembola and Acarina**)
- ISO 23611-3:2007 Sampling of soil invertebrates -- Part 3: Sampling and soil extraction of **enchytraeids**
- ISO 23611-4:2007 Sampling of soil invertebrates -- Part 4: Sampling, extraction and identification of soil-inhabiting **nematodes**
- ISO 23611-5:2011 Sampling of soil invertebrates -- Part 5: Sampling and extraction of **soil macro-invertebrates**
- ISO 23611-6:2012 Sampling of soil invertebrates -- Part 6: Guidance for the design of **sampling programmes with soil invertebrates**
- ISO 11063:2012 Method to directly extract **DNA from soil samples**
- ISO 18311 : 2015 Method for testing effects of soil contaminants on the **feeding activity** of soil dwelling organisms -- Bait-lamina test
- ISO 14238:2012 Biological methods -- Determination of **nitrogen mineralization and nitrification** in soils and the influence of chemicals on these processes
- ISO 14239:1997 Laboratory incubation systems for measuring the mineralization of organic chemicals in soil under aerobic conditions
- ISO 16072:2002 Laboratory methods for determination of **microbial soil respiration**
- ISO 17155:2012 Determination of abundance and activity of soil microflora using respiration curves
- ISO/DIS 17601:2015 Estimation of **abundance of selected microbial gene sequences** by quantitative realtime PCR from DNA directly extracted from soil
- ISO/TS 22939:2010 Measurement of **enzyme activity patterns** in soil samples using fluorogenic substrates in micro-well plates
- ISO 10381-6:2009 Sampling -- Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory
- ISO 14240-1:1997 Determination of **soil microbial biomass** -- Part 1: Substrate-induced respiration method
- ISO 14240-2:1997 Determination of **soil microbial biomass** -- Part 2: Fumigation-extraction method
- ISO 23753-1:2005 Determination of dehydrogenase activity in soils -- Part 1: Method using triphenyltetrazolium chloride (TTC)
- ISO 23753-2:2005 Determination of dehydrogenase activity in soils -- Part 2: Method using iodotetrazolium chloride (INT)
- ISO/TS 29843-1:2010 Determination of **soil microbial diversity** -- Part 1: Method by phospholipid fatty acid analysis (PLFA) and phospholipid ether lipids (PLEL) analysis
- ISO/TS 29843-2:2011 Determination of **soil microbial diversity** -- Part 2: Method by phospholipid fatty acid analysis (PLFA) using the simple PLFA extraction method



BILAN ...

De quoi a-t-on besoin ?

1. Méthodes pour mesurer la biodiversité et l'activité biologique des sols
2. Références pour interpréter les résultats et poser un diagnostic
3. Recommandations pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique

Qu'est-ce qu'on a ?

- Bcp méthodes (trop ?)
- Des premiers référenciels (ADEME et autres programmes)
- Capable de poser un diagnostic
- Deux situations
 - Dans la fourchette : comment maintenir ou améliorer l'état ?
 - Hors de la fourchette : que dois-je changer ?



DES SOLUTIONS GÉNÉRALES CONNUES...

- **Pratiques agricoles** : impact du labour, apport de matière matières organiques ...
- **Nourrir les organismes du sol** : rotation, plantes de couverture, association de plantes...
- **Echelle du paysage** : haies, agroforesterie, connectivité entre les parcelles ...
- ... mais un peu trop général pour du conseil local, personnalisé....



DEUX PISTES POSSIBLES POUR AMÉLIORER LE CONSEIL

○ Analyser des sites d'observation de longue durée

- Bien pensés (répétitions, traitements factoriels...), instrumentés, archives,
- Possibilité de décrire les mécanismes en jeu , beaucoup de données disponibles
- ...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 et innovent ...
- Recherche participative (ex : OPVT)
- Moins précis, moins documenté, moins mécaniste... mais beaucoup plus divers...



LES LEÇONS ET PERSPECTIVES

- 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 quasi-comparables aux analyses physico-chimiques...
- ... mais il reste à progresser dans le conseil...

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





MERCI DE VOTRE ATTENTION

