

Quels bioindicateurs pour la transition agroécologique ?

Débat prospectif

Du programme Bioindicateur à nos jours, évolution des connaissances et des méthodes pour la Bioindication de l'état des sols

Antonio BISPO (INRAE) et Matthieu VALÉ (AUREA AGROSCIENCES)

The logo for INRAE, consisting of the letters 'INRAE' in a bold, teal, sans-serif font. The 'A' and 'E' are stylized with a circular element.The logo for Aurea AgroSciences, featuring the word 'aurea' in a lowercase, dark grey, sans-serif font. The 'a' is green. Above the 'a' is a green horizontal bar. Below 'aurea' is the word 'AgroSciences' in a smaller, grey, sans-serif font.

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



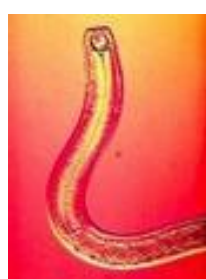
- **Rapport Agriculture – Innovation 2025**

- ♣ 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*



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 / le statut organique des sols, **sensibles, reproductibles**, (*normalisées*)

2. **Indicateurs** = **méthodes** disposant de **référentiels** et **liens avec les fonctions du sol** permettant de poser un **diagnostic**

3. **Outils de conseil** = **agrégation d'indicateurs** avec **mise en œuvre opérationnelle** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols

Depuis plus de 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
 - 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 Bioindicateurs** 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 – Agrinnov puis **Microbioterre**
 - Lancements de **projets EU d'ampleur** sur la biodiversité des sols et les services écosystémiques (ex : EcoFinders, LandMark)
 - Optimisation d'outils terrain : ANR-14-CE03-0012 - **Biofunctool**
 - Industrialisation des outils : **PIA ADEME – Agro-Eco Sol**
 - En cours : **OFB** « Biodiversité des sols et agroécologie », **REVA** et **RMQS – OFB cours**
- 2008
- 2018



De quoi a-t-on besoin ?

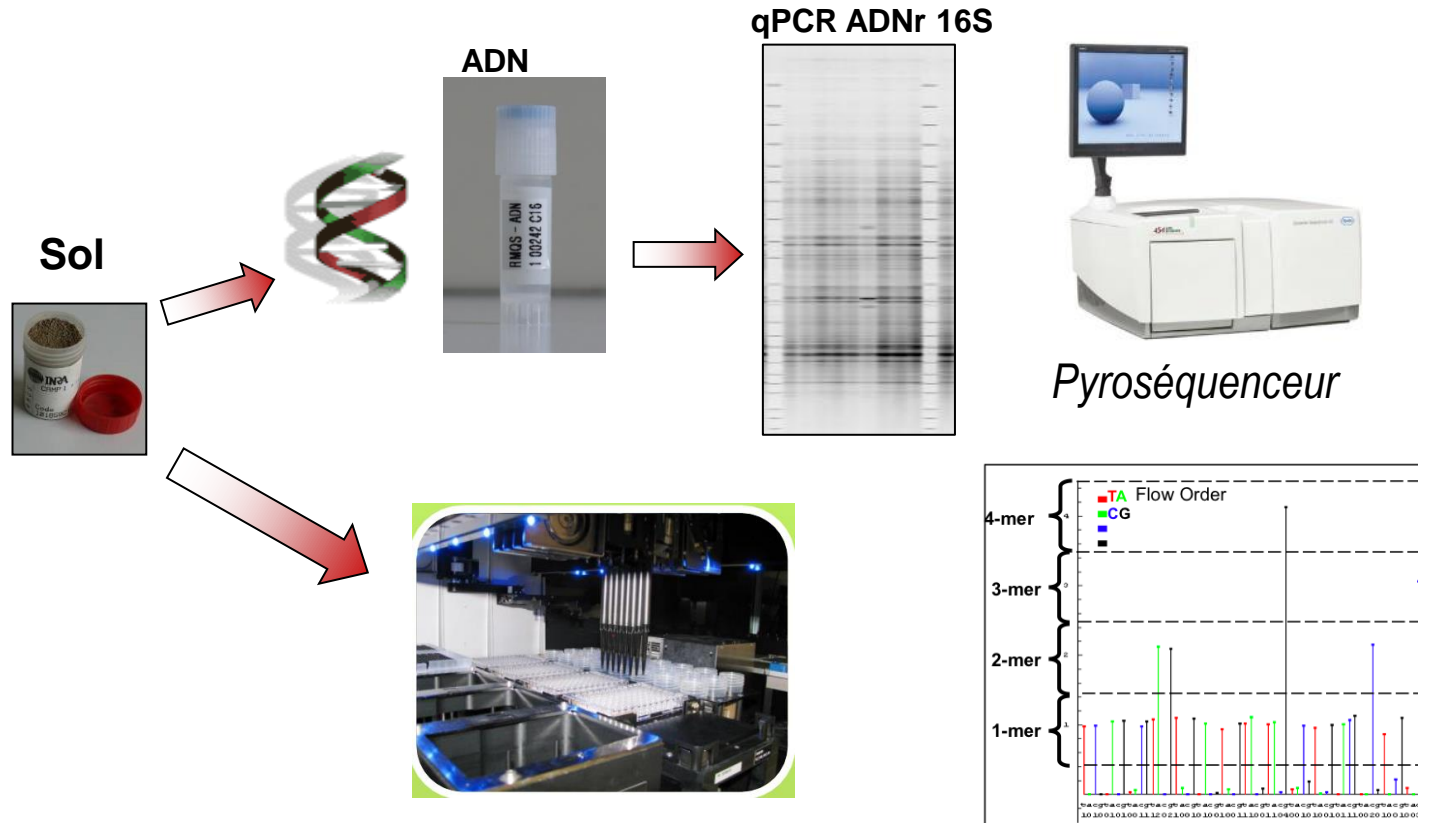
1. **Méthodes sensibles, reproductibles**, (*si possible normalisées*)
2. **Indicateurs** = méthodes disposant de référentiels et liens avec les fonctions du sol permettant de poser un diagnostic
3. **Outils de conseil** = agrégation d'indicateurs avec mise en œuvre opérationnelle

Développement et validation des méthodes

Des mesures classiques ...



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



Description des méthodes

LES BIO-INDICATEURS DE L'ÉTAT DES SOLS

PRINCIPE ET EXEMPLES D'UTILISATION

MAI 2017

NOUVEAUX RÉSULTATS DE RECHERCHE ET DÉMONSTRATION



EXPERTISES



FICHE OUTIL F2

Les vers de terre

St. Rémy, D. Chenu, H. Hénin, N. Delouis, A. Oit, 1998 (MIS 000), modifié, Université de Rennes 1
Contact : stremi.chenu@univ-rennes1.fr

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Nom de l'indicateur : Les vers de terre, densité et biodiversité des communautés lombriciennes.

Rôle écologique de l'indicateur testé : Les vers de terre, également appelés lombriciens, sont des organismes invertébrés du sol connus de tous. Étant composé d'une succession d'anneaux ils forment de l'embouchement des anneaux. Les lombriciens sont considérés comme régulateurs du sol par leur rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème. Ils agissent sur la pénétration de l'humidité et de l'air dans le sol, sur le fractionnement de la matière organique par la fabrication des vers et sur le fonctionnement hydrique des sols. Les conséquences de ces perturbations permettent, entre autres, la réduction de l'érosion, la stimulation de l'activité microbienne, l'augmentation de la production végétale ainsi que la réduction des risques de pollution.

Une centaine d'espèces ont été répertoriées en France Métropolitaine et sont classées en 3 groupes appelés **catégories écologiques** selon Baatzi (1997).

1 Les épiques : Espèces de petite taille (1-5 cm) et de couleur foncé (brun, marron). Ils vivent en surface (1^{er} cm) et dans des zones de matière organique morte (litière de feuilles, fumier, compost, déchets verts, basses de station d'épuration, ...). Ils ne creusent pas ou peu de galeries dans le sol.
Rôle : participation au fractionnement de ces matières organiques mortes. (Régime alimentaire : saprophage)

2 Les anéciques : Espèce de grande taille, entre 10 et 110 cm. Leurs couleurs varient du rouge au brun, avec couramment un gradient de couleur de la tête vers la queue. Ils vivent sur l'ensemble du profil du sol (galeries jusqu'à 5 m de profondeur). Ils creusent des galeries permanentes verticales et sub-verticales et ouvertes en surface, qui permet à l'eau de s'infiltrer. Ils déposent leurs déchets à la surface du sol (fumures - tunnels), augmentant la rugosité de surface ou la fertilité. (Régime alimentaire : fragmentaire de la matière organique morte en surface, enfouissement et brassage de cette matière organique avec le sol ingéré. (Régime alimentaire : saprophage))

3 Les tités rouges - lombriciens (du genre Lumbricus) très communément. Tête rousse, rhytidité aux changements de températures et d'humidité. Ils segmentent leur activité quand les conditions d'humidité du sol sont favorables. Leur réseau de

FICHE OUTIL M1

Les activités enzymatiques

Nahals CHEYRON, Jean TRAP, Christèle MARRAUD, Wassila RI&P, Sherif CROUETI, Karim LAVAL, Isabelle GATTIN et Christèle MOUGIN

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 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 portant sur l'interprétation des résultats issus de mesures d'activités enzymatiques dans les sols, nombres 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 (colorimétrique, fluorimétrique 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 microplaqes
- Ajout d'un substrat spécifique et incubation
- Anti de la réaction et lecture au spectrophotomètre
- Sortie et analyse des résultats

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

DOCUMENT PROTÉGÉ PAR UN COPYRIGHT - NE PAS DIFFUSER

ISO 15000-2011

norme française

NF ISO 19204
29 Avril 2017

Indice de classement : X 31 650

ICS : 13.080.01

Qualité du sol — Procédure d'évaluation des risques écologiques spécifiques au site de contamination des sols (approche TRIADE de la qualité du sol)

E : Soil quality — Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach)
D : Bodenbeschaffenheit — Vorgehensweise zur standortbezogenen ökologischen Risikobewertung von Bodenverunreinigungen (TRIAD-Ansatz)

Norme française homologuée
par décision du Directeur Général d'AFNOR.

Correspondance
Le présent document reproduit intégralement la Norme Internationale ISO 19204:2017.

Résumé
Le présent document décrit, de manière générale, l'application de l'approche TRIADE de la qualité du sol pour l'évaluation des risques écologiques spécifiques aux sites et sols contaminés. En particulier, il présente de façon transparente tous éléments de preuve (éthique, écotoxicologie et écologie) qui permettent d'effectuer une évaluation efficace, non-polluante et robuste, mais également pratique, des risques des sols contaminés. Cette procédure peut également s'appliquer à d'autres formes de stress, tels que l'acidification, le lessivage des sols, la salinisation, la baisse de la matière organique des sols et l'érosion. Toutefois, aucune expérience n'a été réalisée jusqu'à présent sur ces autres applications. Par conséquent, le présent document se concentre sur les sols contaminés par des produits chimiques.

Descripteurs
Techniques International Technique ; sol, qualité, pollution, contamination, risque, évaluation, environnement, éthique, produit chimique, stress biologique, toxicité, protection de l'environnement, processus, organisation, réseaux, mise en oeuvre, résultats d'essai, inventaire, contrôle-remède, détection.

Modifications

Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) - 11, rue Francis de Pressensac - 92078 La Plaine Saint-Denis Cedex - Tél. : +33 (0)1 41 62 60 00 - Fax : +33 (0)1 41 77 60 00 - www.afnor.org

© AFNOR — Tous droits réservés

Version de 2017-04-F



TOUR D'HORIZON DES INDICATEURS RELATIFS À L'ÉTAT ORGANIQUE ET BIOLOGIQUE DES SOLS

Version du 15 décembre 2016



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/ Privés	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/ Privés	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	Publics/ Privés	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/ Privés	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
Diversité par abondance de séquences de gènes microbiens par PCR	PCR quantitative à partir d'ADN extrait du sol	NF ISO 17 601	Publics/ Privés	Habitat 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/ Privés	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

Une diversité de méthodes – Compartiments du carbone et de l'azote

Indicateur	Type de mesure	Norme	Existence de laboratoires (Privé/Public)	Lien avec les services rendus
Carbone Microbien	Fumigation extraction	NF EN ISO 14240-2	Publics/ Privés	Recyclage de la MO Cycle de nutriments
Carbone actif	Oxydation KMnO4	-	Publics/ Privés	Recyclage de la MO Cycle de nutriments
Carbone minéralisé	Incubation aérobie 28 jours 28°C	NF EN ISO 16072	Publics/ Privés	Recyclage de la MO Cycle de nutriments
Carbone labile / stable	Fractionnement granulométrique	NF X31-516	Publics/ Privés	Recyclage de la MO Cycle de nutriments
	Rock-Eval	-	Public	Recyclage de la MO Cycle de nutriments
Azote minéralisé / minéralisable	Incubation aérobie 28 jours 28°C	FD U44-163 et NF ISO 14238	Publics/ Privés	Cycle de nutriments
	Double distillation Kjeldahl partielle (KCl et tampon phosphate borate)	-	Publics/ Privés	Cycle de nutriments
	Incubation anaérobie 7 jours 40°C	-	Privés	Cycle de nutriments

Une diversité de méthodes – harmonisation nécessaire

L'existence d'une norme n'est pas nécessairement l'assurance que tous les laboratoires pratiquent exactement la même méthode

Biomasse microbienne fumigation / extraction : légères évolutions par rapport à la norme, difficile à faire valider au niveau international (norme ISO) car peu de laboratoires français la proposent (3 – 4 participants au circuit interlaboratoire organisé par le BIPEA pour cette analyse)

Microbiologie moléculaire : même si une norme d'extraction existe, elle n'est pas forcément appliquée car il existe des kits commerciaux plus simples → sont-ils équivalents ? Quels impacts sur les mesures découlant de cette extraction (biomasse moléculaire, équilibre champignons / bactéries (ADNr 18S / ADNr 16S), diversité bactérienne et fongique) ?

De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes sensibles, reproductibles,**
(*normalisées*)

2. **Indicateurs** = méthodes disposant de
référentiels et liens avec les fonctions du
sol permettant de poser un diagnostic

3. **Outils de conseil** = agrégation d'indicateurs
avec mise en œuvre opérationnelle

Quelles ressources ?

=> **Des méthodes** éprouvées, à optimiser,
déjà transférées vers les opérateurs
privés

De quoi a-t-on besoin ?

1. Méthodes sensibles, reproductibles,
(normalisées)

2. Indicateurs = méthodes disposant de
référentiels et liens avec les fonctions du
sol permettant de poser un diagnostic

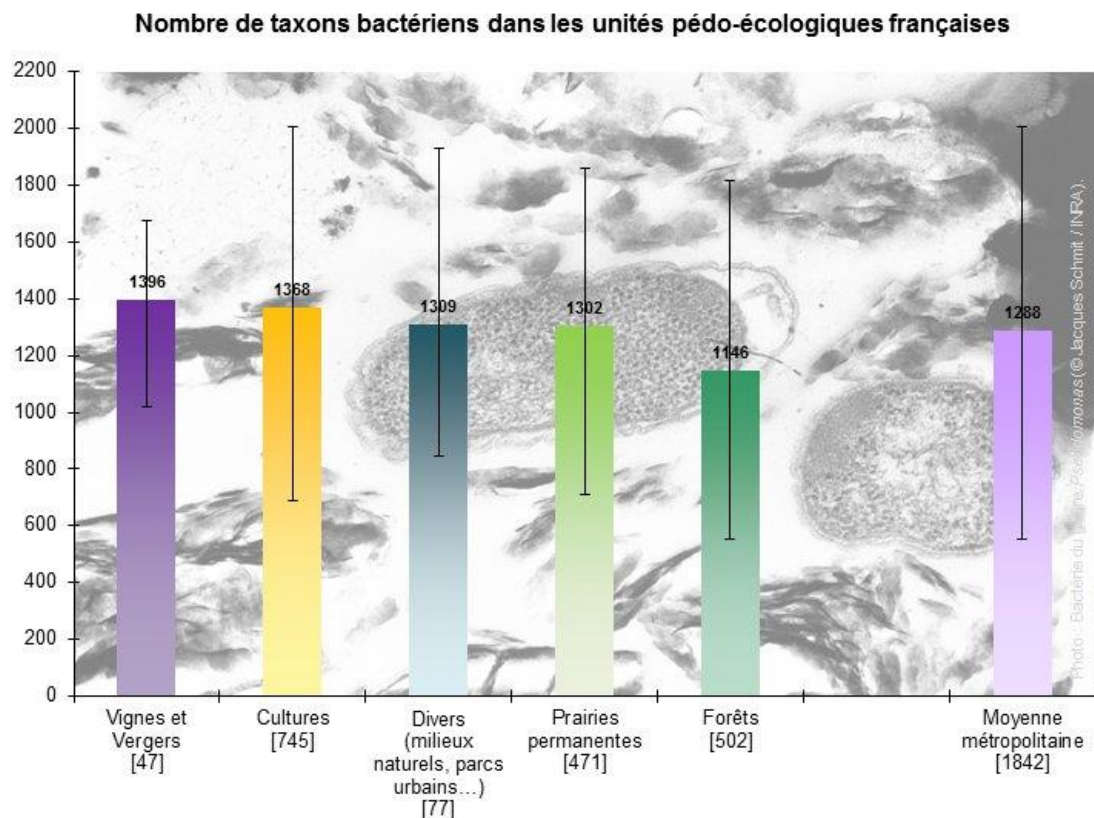
3. Outils de conseil = agrégation d'indicateurs
avec mise en œuvre opérationnelle

Quelles ressources ?

=> Des méthodes éprouvées, à optimiser
et transférer vers les opérateurs privés

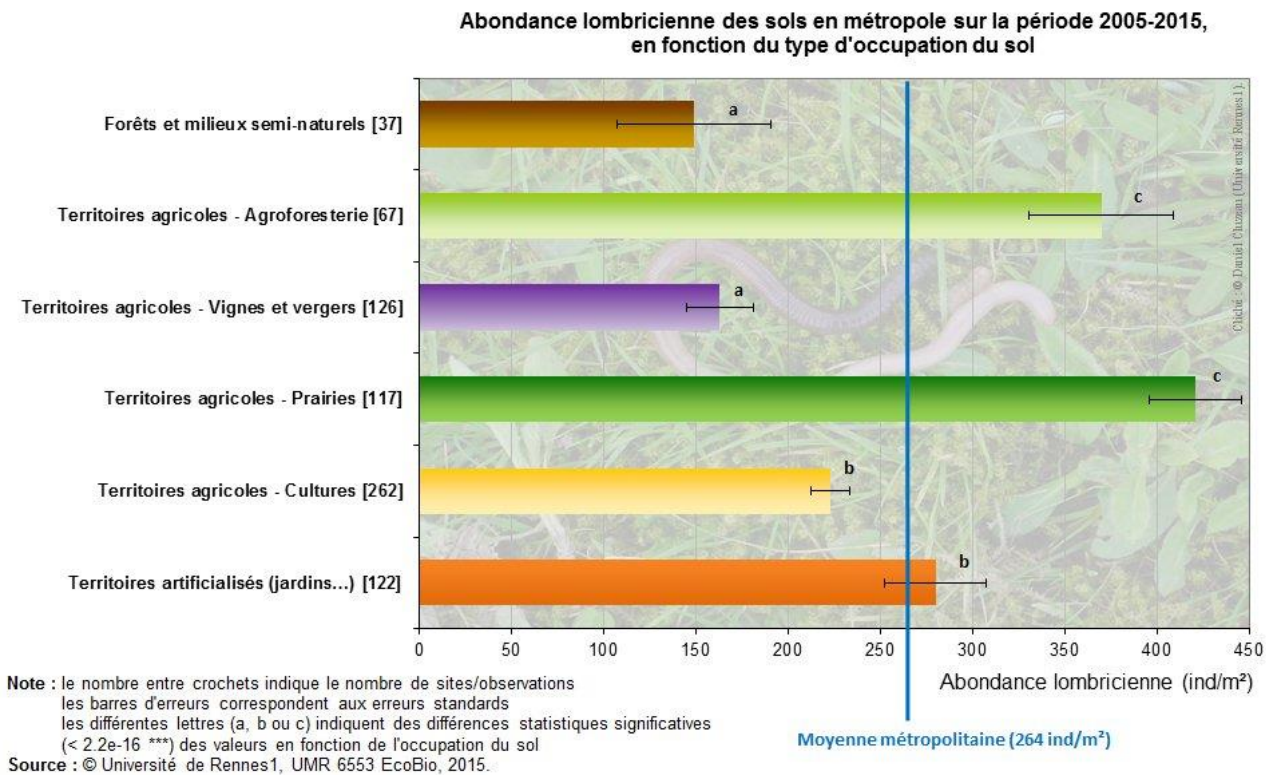
Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Distribution : valeur min – max, médiane



Note : [] = nombre de sites

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



<https://naturefrance.fr/indicateurs/abondance-des-vers-de-terre>

→ description, positionnement relatif

Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

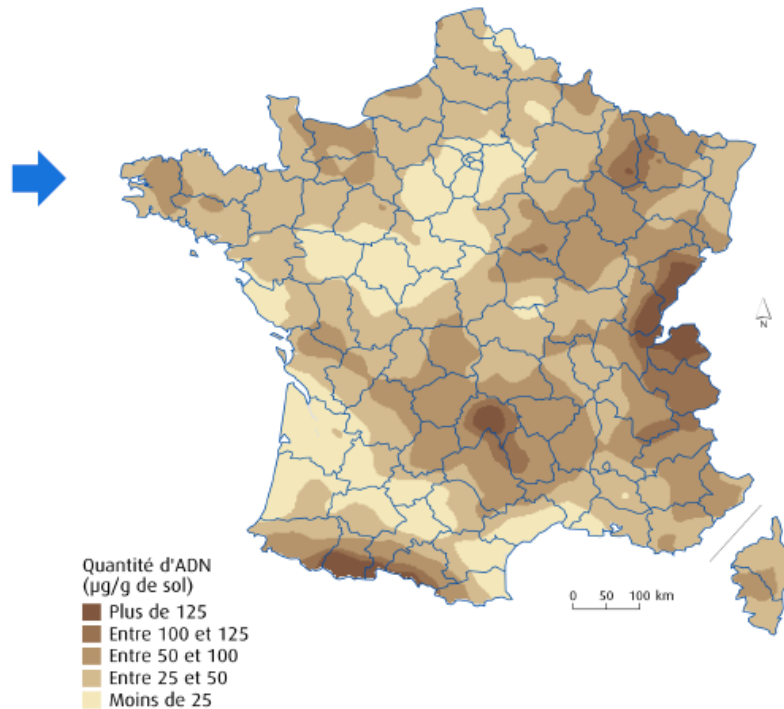
Impact du pédoclimat

Biomasse Microbienne Moléculaire (BMM)

INRAE

Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

Carte de France de la biomasse moléculaire microbienne



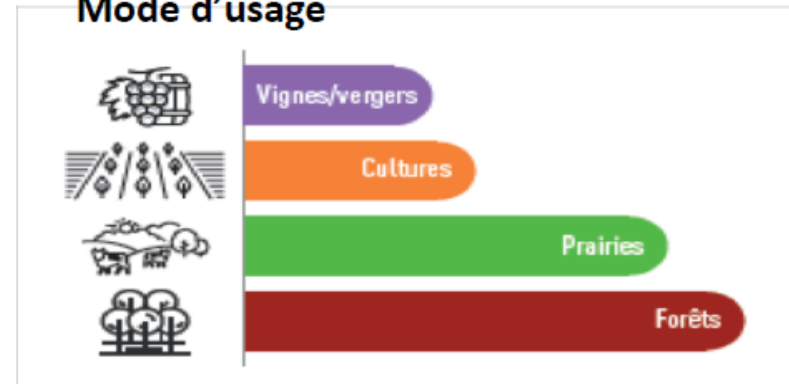
ANR



Type de sol

Carbonates de Calcium ⊖⊖	ratio C/N ⊖
Potassium ⊖	pH ++
Teneur en argile ++	Carbone organique +++

Mode d'usage



→ explication, possibilité de définir une valeur attendue de l'indicateur

Source : © Inra Dijon / plateforme GenoSol - Gis Sol, 2015.
Traitements : Gis Sol - 50eS, 2015

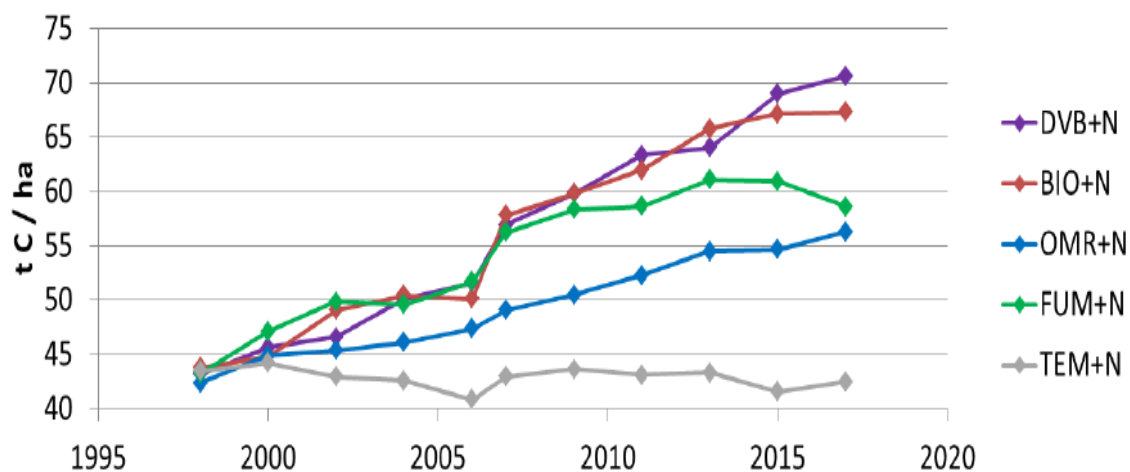
<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/indicateurs/evolution-de-la-biomasse-microbienne-des-sols-en-metropole>

Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Impact des pratiques culturales

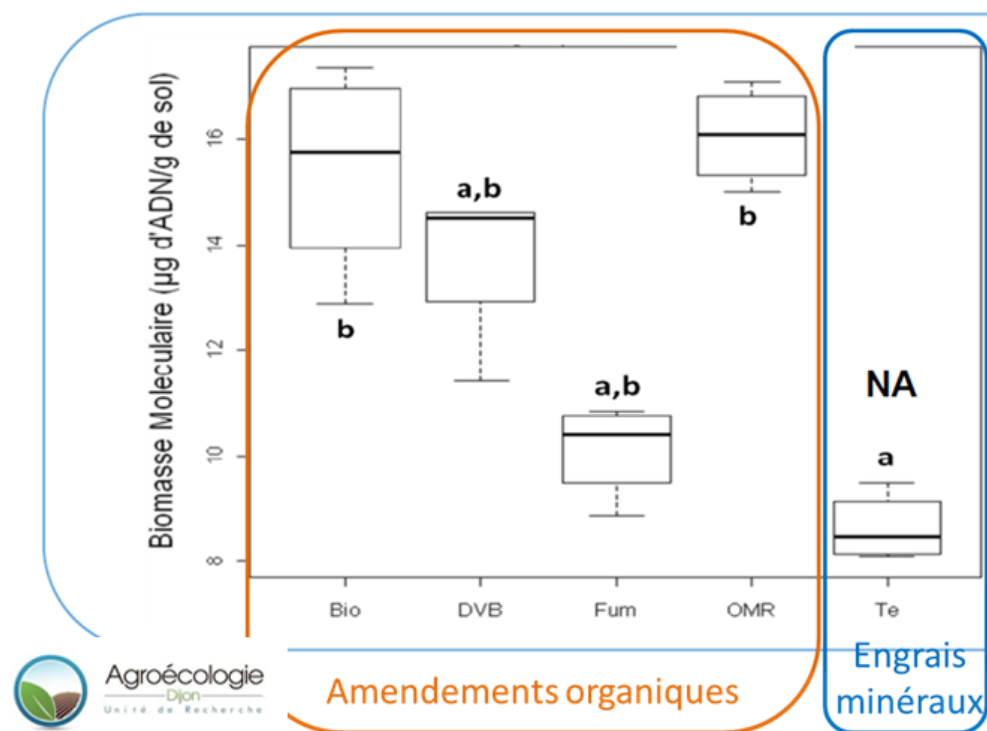


Evolution des stocks de C à masse équivalente de sol sur l'essai N+



→ Explication + choix de leviers

→ Impact des PRO très documenté, plus limité pour les autres pratiques



Amendements organiques

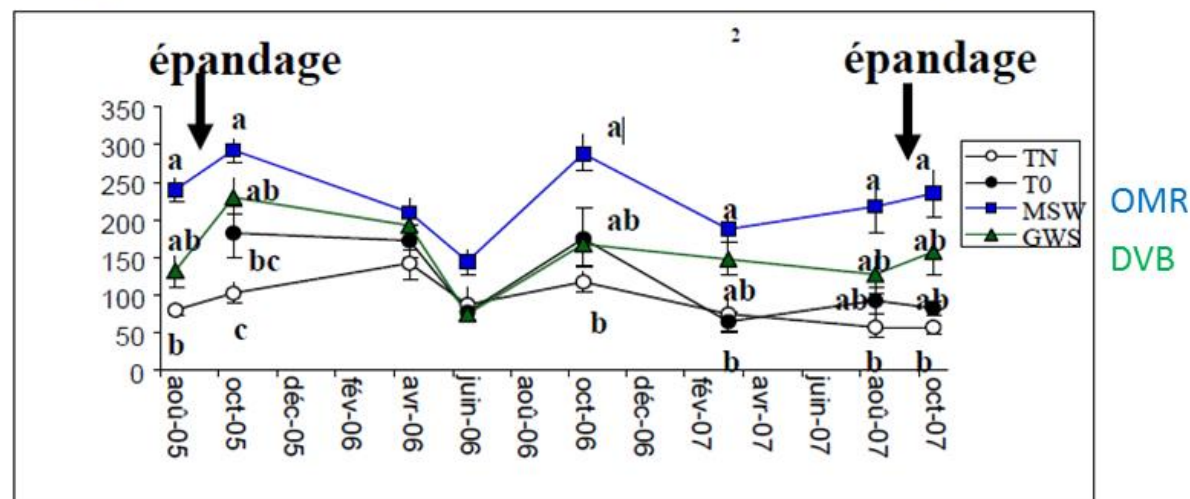
Engrais minéraux

Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

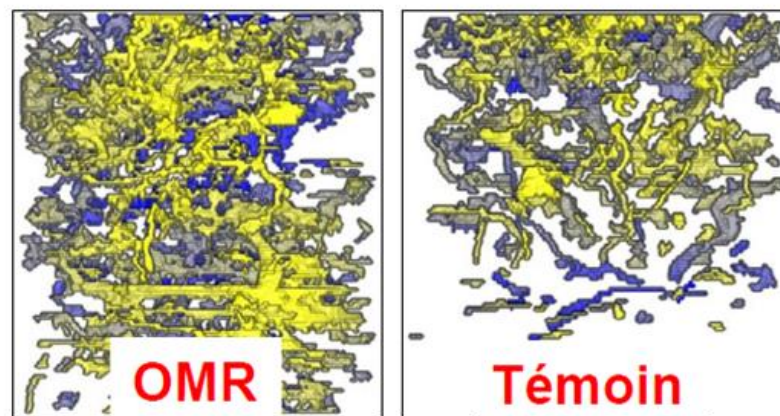
Liens avec les fonctions du sol



Augmentation de la densité de vers (nombre/m²)



Augmentation de la porosité



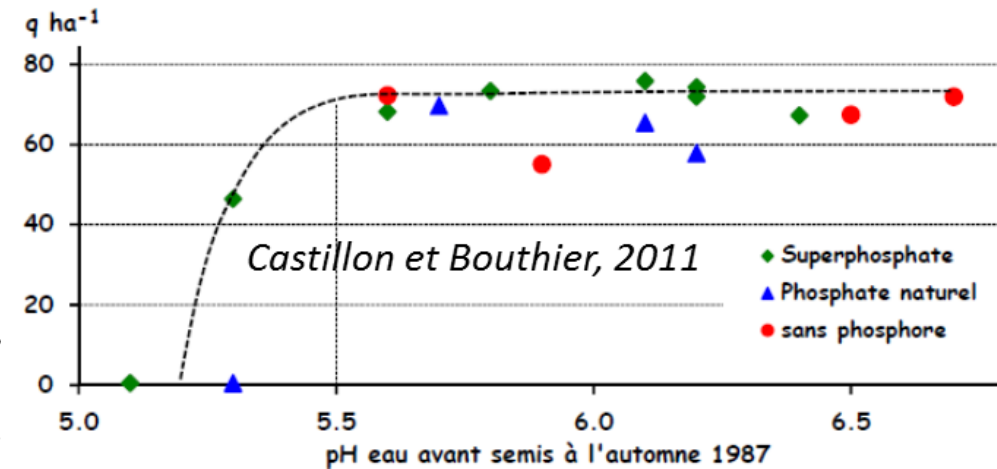
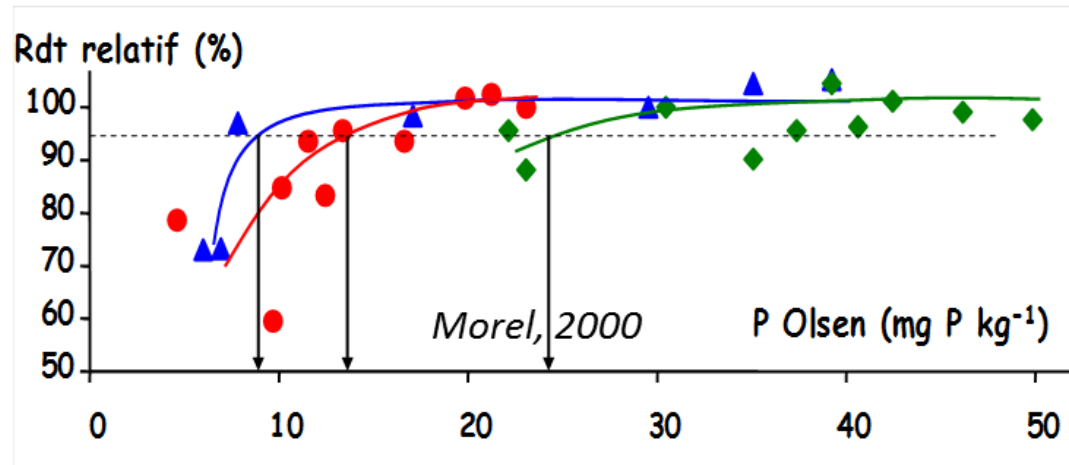
(Capowiez et al., 2009)

→ Interprétation possible (ex : le plus c'est le mieux)

→ Données disponibles à capitaliser, nouvelles acquisitions nécessaires

Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Définir un niveau souhaitable et un conseil opérationnel



→ Ce qui existe pour l'analyse de terre physico-chimique reste à construire pour les bioindicateurs

Référentiels (1/2)

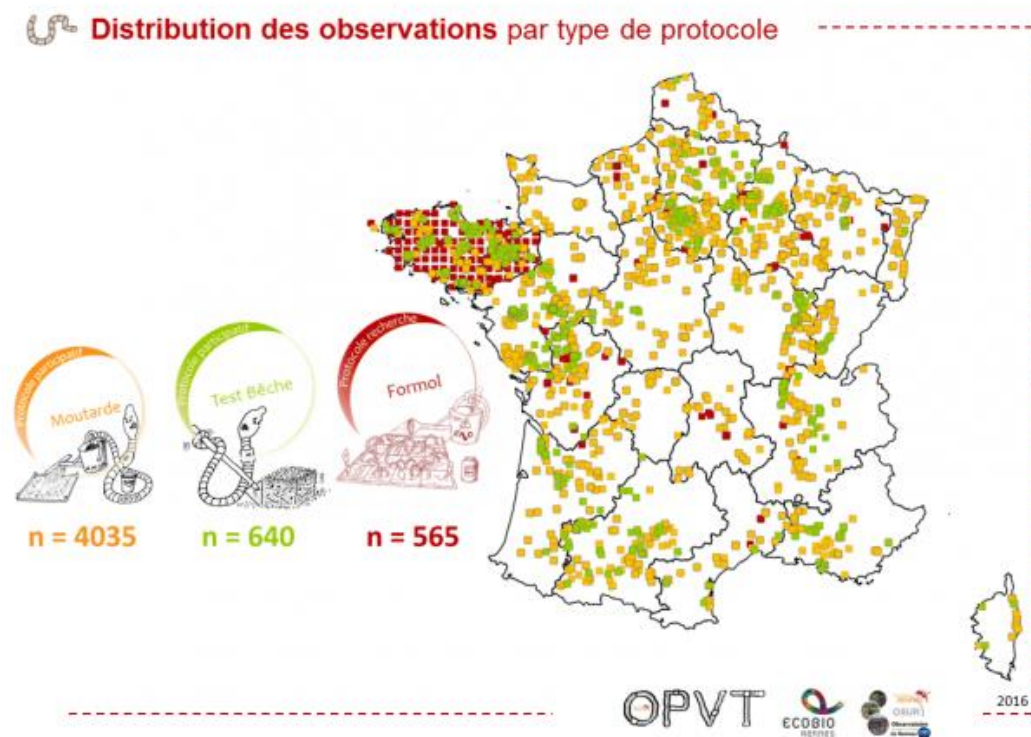
Groupe	Indicateur	Type de mesure	Existence d'un référentiel national	Idée de l'optimum
Faune	Diversité	Lombriciens (prélèvement et extraction)	Oui	+/-
		Collemboles/ acariens (prélèvement et extraction)	?	Non
		Enchytréides (prélèvement et extraction)	?	Non
		Nématodes (prélèvement et extraction)	Oui	+/-
		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	Oui	Non

Progression des référentiels

- **Marché qui grandit, enrichissement progressif des BD**
- **Des projets récents :**
 - CASDAR Microbioterre
 - PIA ADEME – Agro-Eco Sol
 - RMQS 2
- **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 sensibles, reproductibles, (*normalisées*)
2. Indicateurs = méthodes disposant de référentiels et liens avec les fonctions du sol permettant de poser un diagnostic
3. Outils de conseil = agrégation d'indicateurs avec mise en œuvre opérationnelle

Quelles ressources ?

- => Des méthodes éprouvées, à optimiser et transférer vers les opérateurs privés
- => Des premiers référentiels déjà disponibles qui progressent, effort à faire sur les liens bioindicateurs / fonctions

De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes sensibles, reproductibles, (normalisées)**
2. **Indicateurs** = méthodes disposant de **référentiels** et **liens avec les fonctions du sol** permettant de poser un **diagnostic**
3. **Outils de conseil** = agrégation d'indicateurs avec **mise en œuvre opérationnelle**

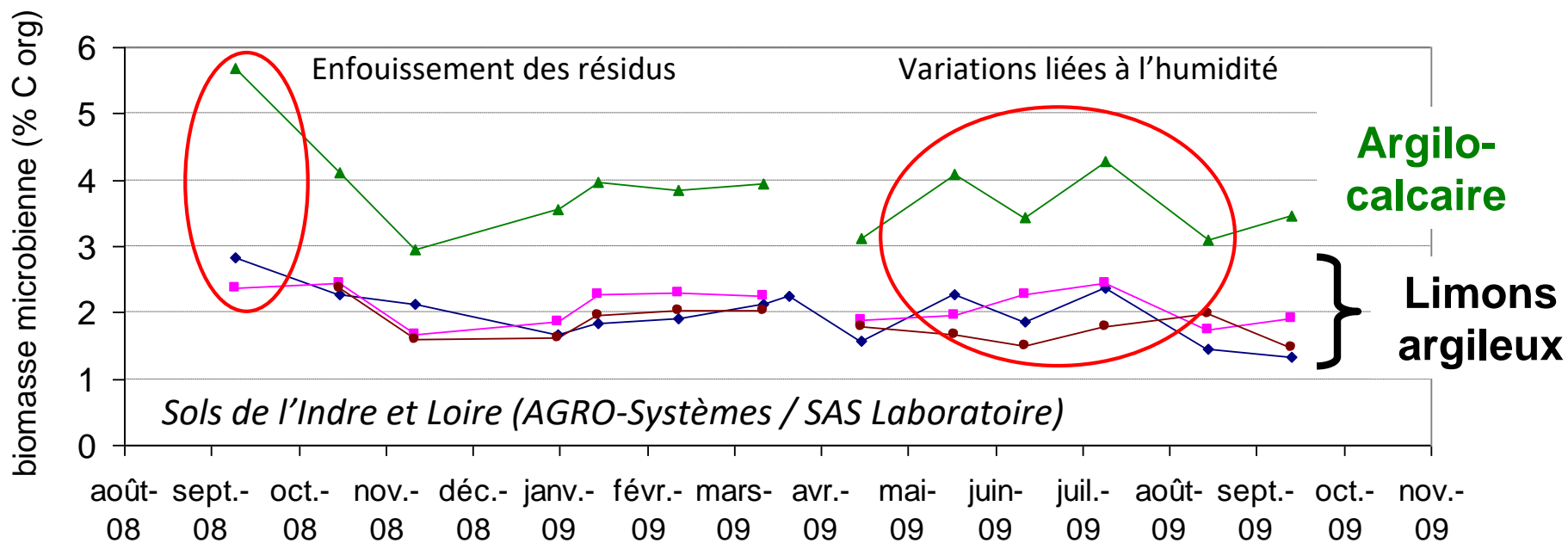
Quelles ressources ?

- => **Des méthodes** éprouvées, à optimiser et transférer vers les opérateurs privés
- => **Des premiers référentiels** déjà disponibles qui progressent vite, effort à faire sur les liens bioindicateurs / fonctions

Mise en œuvre opérationnelle : des connaissances à compléter

• Prélèvement

- ♣ **Avec quelle méthode ?** : variabilité spatiale, profondeur de prélèvement, nombre de prises d'essais, quantité de matière, ...
- ♣ **Quand prélever ?** : variabilité temporelle (effet climat, pratiques, ...)
- ♣ **Quelles infos complémentaires ?** (observation terrain, infos culturales)



Mise en œuvre opérationnelle : des connaissances à compléter

- **Conditionnement / envoi**

- ♣ **Mode d'expédition au labo** : chaîne du froid ?
- ♣ **Quel délai ?** J+1 indispensable ou compromis possible ?

- **Préparation / conservation**

- ♣ **Contraintes du sol frais** : comment bien homogénéiser et sous échantillonner ?
- ♣ **Impact du mode de préparation ?**
- ♣ **Stockage** possible pour gestion du flux laboratoire ?



Le conseil : comment améliorer / piloter / orienter

- **Des connaissances encore assez (trop ?) génériques**
 - ♣ **Pratiques agricoles** : impact du labour, apport de matière 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, REVA)



De quoi a-t-on besoin ?

1. **Méthodes sensibles, reproductibles, (normalisées)**
2. **Indicateurs** = méthodes disposant de **référentiels** et **liens avec les fonctions du sol** permettant de poser un **diagnostic**
3. **Outils de conseil** = agrégation d'indicateurs avec **mise en œuvre opérationnelle**

Quelles ressources ?

- => **Des méthodes** éprouvées, à optimiser et transférer vers les opérateurs privés
- ⇒ **Des premiers référentiels** déjà disponibles qui progressent vite, effort à faire sur les liens bioindicateurs / fonctions
- ⇒ **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**
- **Un conseil qui va progresser** avec l'acquisition de nouvelles références (« classiques » et via les sciences participatives) et leur capitalisation (ex : Microbioterre)
- **Une industrialisation** en cours de finalisation pour certains indicateurs (ex : PIA Agro-Eco Sol)
- **Il est donc déjà possible de réaliser des analyses / caractérisations et d'avoir un diagnostic.... et un premier conseil**