

**3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO****

7 novembre 2023 - Paris 3^e

Fertilité des sols en AB : quelles perspectives?

Coordination : Cécile Le Gall – Terres Inovia

Fertilité des sols en AB : quelles perspectives?

Anne Sophie
PERRIN
Terres Inovia

Fertilité des sols : de quoi parle t-on?

Romain
TSCHEILLER
ARVALIS

Microbioterre : apport des bioindicateurs pour piloter la gestion des restitutions organiques

Jim
FELIX-FAURE
IRD

Biofunctool : Un set d'indicateur fonctionnels permettant l'évaluation rapide de l'impact des pratiques agricoles sur la santé du sol

Table
ronde

Innovations pour améliorer la fertilité des sols en AB – quelle place pour l'ACS ?

Titre de l'intervention



Le sol au cœur des service écosystémiques




Processus **biologiques** / chimiques / physiques



Fonctions assurées par le sol



Services écosystémiques



3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO**

7 novembre 2023 - Paris 3^e

Fertilité des sols : de quoi parle-t-on ?

Anne-Sophie Perrin

Chargée d'étude Sols et Environnement (Terres Inovia)

as.perrin@terresinovia.fr

Qu'entend-on par fertilité des sols ?

Pas de définition faisant consensus auprès des agronomes & spécialistes sciences du sol.

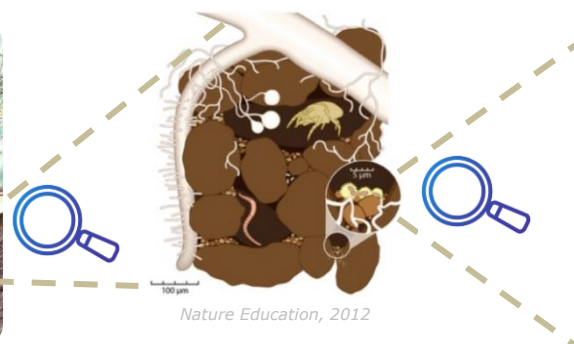
« il n'y a pas de fertilité en soi mais en référence, pour un milieu, aux systèmes de culture pratiqués » (Sébillotte, 1992)

Nous retiendrons celles-ci :

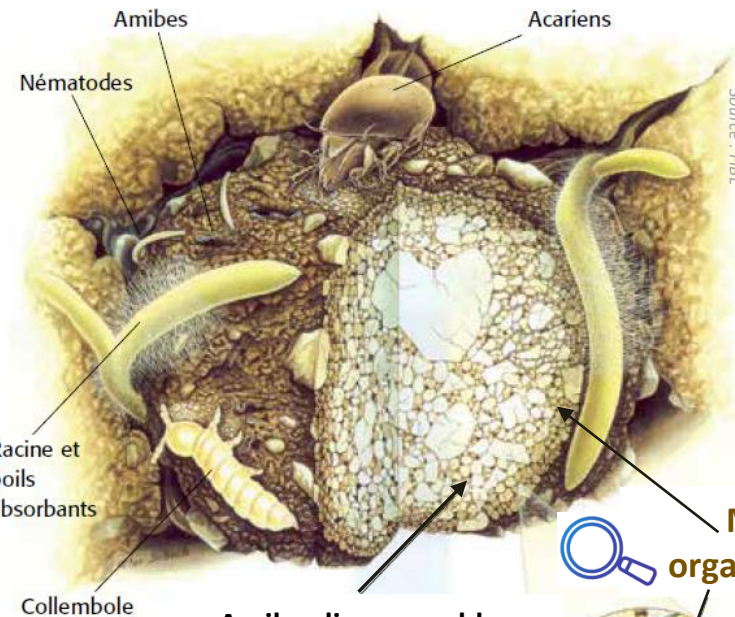
- capacité du sol à **produire durablement une culture** sous un climat donné
- la capacité du sol à **répondre durablement, sous un climat donné, aux besoins physiques, chimiques et biologiques** nécessaires à la **croissance** des plantes, assurant leur **productivité**, leur **reproduction** et leur **qualité**



Les sols ...



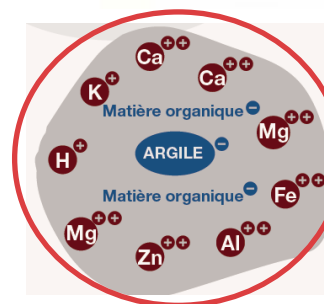
Nature Education, 2012



Source : FBL

Matières organiques fines

Argiles, limons, sables



(Champignons) Hyphe

Bactéries

Nématodes

Les sols sont constitués :

- de **particules minérales**,
- de **matières organiques**,
- d'eau, d'air,
- et **d'organismes vivants**

(macro- et mésofaune, microorganismes)

Capacité d'échange cationique - CEC

K, Mg, Ca, oligo-éléments etc. retenus sur le complexe organo-minéral (particules de matières organiques très fines liées aux fractions minérales)

La fertilité des sols dépend de paramètres ...

1) non modifiables :

texture (% argiles/limons/sables), profondeur,
quantités de cailloux, de calcaire etc.
= qualités intrinsèques des sols



2) modifiables :

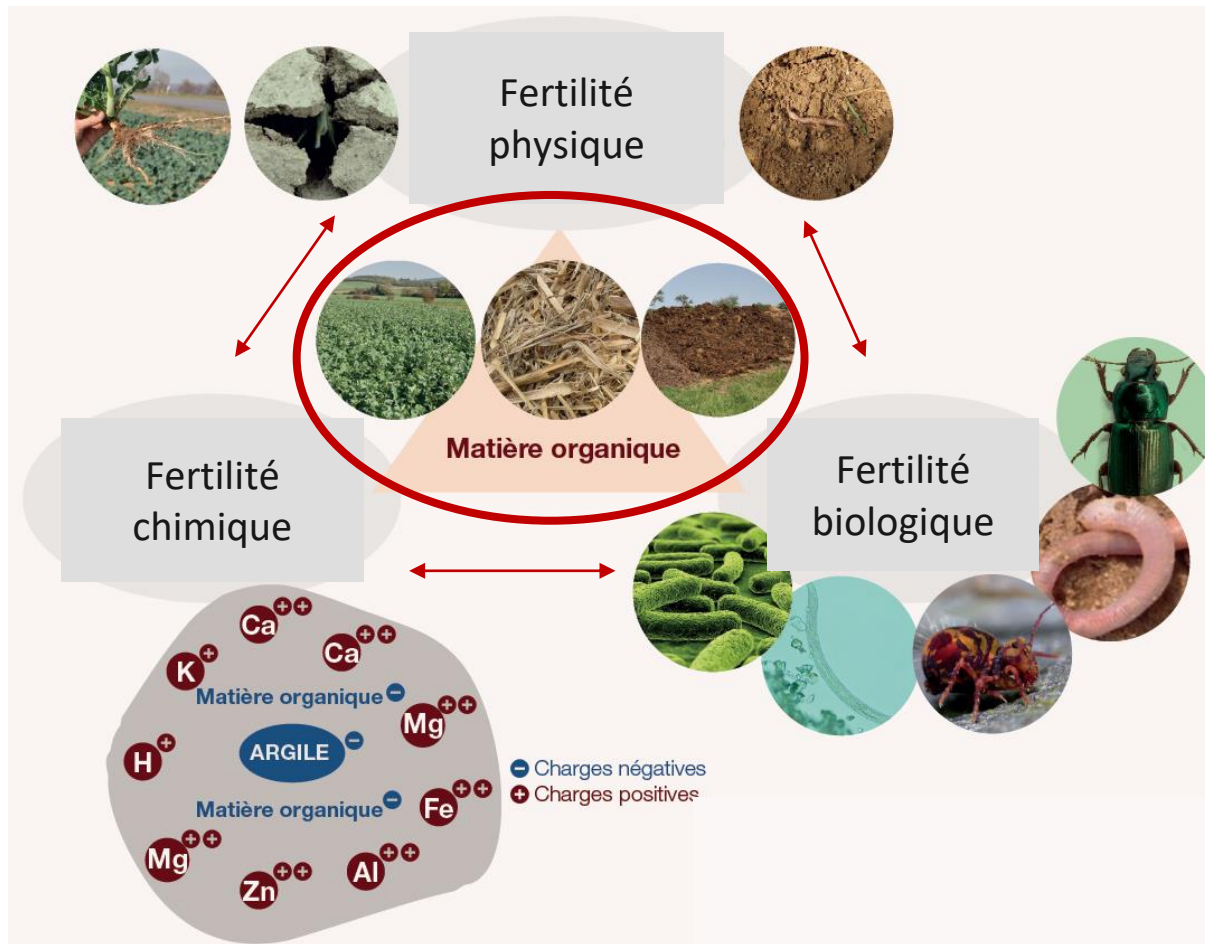
à court termes : teneurs en N, P, K, etc. ou pH (cas sols non calcaires)

à courts/moyens termes : abondance, activité des organismes du sol

à moyen/long terme : quantité et qualité des matières organiques du sol



Les 3 composantes de la fertilité des sols



Ces 3 composantes sont fortement imbriquées

La matière organique joue un rôle essentiel (en lien avec le fonctionnement biologique des sols)

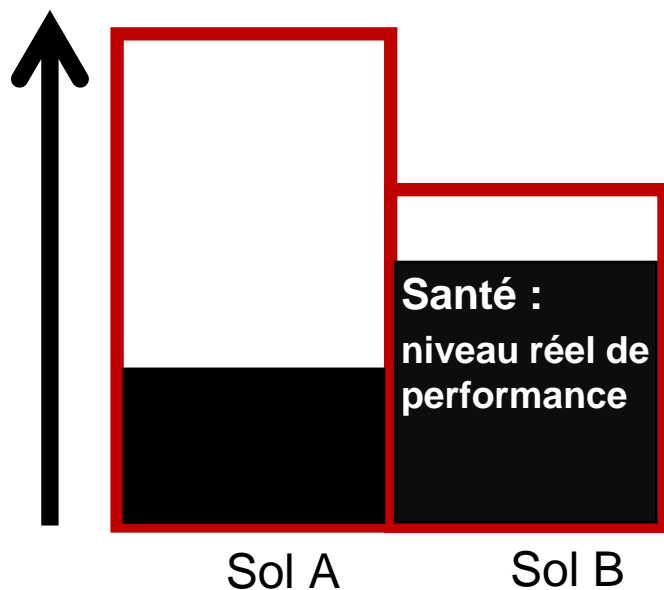


La fertilité des sols dépend de ...

Qualité intrinsèque des sols = potentiel de performances en lien avec ses paramètres propres

Fonctionnement ou Santé des sols = performance ou **fonctionnement réel** du sol relatif à son potentiel

Qualité : niveau potentiel de performance



(d'après Kibblewhite et al., 2008)

Les 4 fonctions principales des sols agricoles assurées par les assemblages biologiques

Recyclage des nutriments

Capture
Dynamique
Biodisponibilité N et P

Maintenance de la
structure du sol
Rétention en eau
Erosion
Fourniture d'habitats

Transformations du carbone

Décomposition
Dynamique de la MO

Régulation des populations
Contrôle des bioagresseurs

**Services écosystémiques rendus
par les sols (fonctions des sols)**

**Résilience et durabilité
environnementale**

Productions agricoles, stockage C, cycle de l'eau etc

Titre de l'intervention

Indicateurs de fertilité / fonctionnement du sol

Qu'est-ce qu'un bioindicateur ?

- corrélé aux propriétés et fonctions du sol,
- validé scientifiquement,
- sensibilité aux options de gestion des sols (pratiques culturales),
- disponibilité des méthodes acceptées et partagées par tous,
- facilité d'utilisation et d'interprétation,
- coûts.

D'après Hedde M. et al., 2018, Montpellier, <https://journées.inra.fr/ecosols/Programme>



Titre de l'intervention



Indicateurs de fertilité / fonctionnement du sol

Indicateurs de laboratoire

- Mesures laboratoires fiables, répétables (protocoles normés)
- Non soumis aux conditions météo (T°C et humidité standardisées)

Mais :

Mesures sur sols perturbés (tamisage, transport...)

Nombre de répétitions intra parcellaire souvent limité (coût)

Indicateurs de terrain

- Sol moins perturbé (conditions plus proches de la réalité)
- Nombre de répétitions plus facile à adapter en fonction de l'hétérogénéité

Mais :

Biais potentiel lié à l'expérimentateur

Référentiels plus difficiles à construire (T°C et humidité non standardisées)

→ La solution : coupler les deux ?



Des avancées sur les indicateurs de fonctionnement des sols

Laboratoire de routine :

Indicateurs biologiques et qualité des matières organiques : **Microbioterre**
(référentiel, accessible aux agriculteurs)

Terrain :

Un set d'indicateurs fonctionnels mesurables au champ : **Biofunctool**
(utilisable pour comparaisons de pratiques ou suivi temporel, réalisable en autonomie)



Titre de l'intervention





Microbioterre : apport des bioindicateurs pour piloter la gestion des restitutions organiques

Romain Tscheiller¹, Anne-Sophie Perrin², Thibaud Deschamps¹, Nadia Bennegadi-Laurent³, Elodie Cusset³, Sabine Houot⁴, Blaise Leclerc⁵, Sylvie Recous⁶, Wassila Riah-Anglet³, Pierre-Yves Roussel⁷, Matthieu Valé⁸

¹ Arvalis-Institut du Végétal, ² Terres Inovia, ³ UniLaSalle-Campus Rouen ⁴ INRAE-UMR Ecosys, ⁵ Itab, ⁶ INRAE-UMR FARE, ⁷ Chambre d'agriculture de Bretagne, ⁸ AUREA AgroSciences

Pilote



Partenaires financés



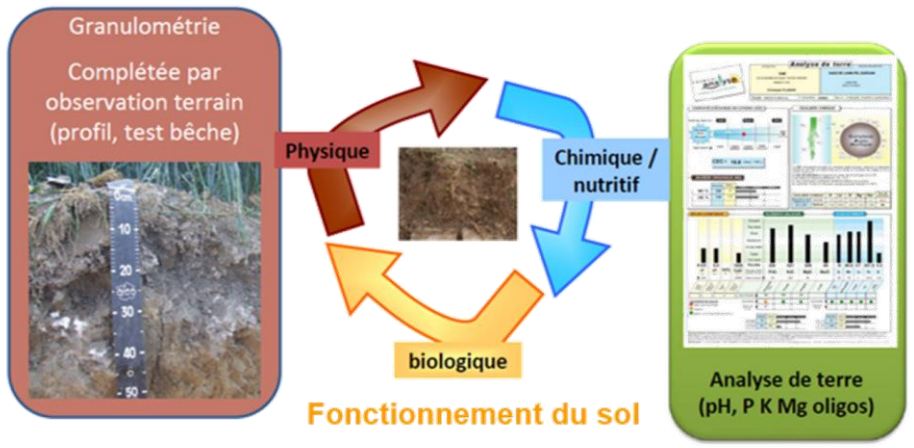
Partenaires non financés



Soutien



Contexte du projet MICROBIOTERRE



Un besoin de référencement d'indicateurs du fonctionnement des sols

Foisonnement d'indicateurs et de méthodes d'évaluation

Levabag

Celesta lab

Biomasse microbienne

SOIL NAVIGATOR

microBIOMETER

ADN

ELISOL ENVIRONNEMENT

REVA

auréa Agrosclences

Fractionnement de la MO



Comment évaluer la composante biologique du sol et adapter les pratiques en conséquences ?

Titre de l'intervention

Méthodologie : 25 indicateurs mesurés sur 20 essais long-terme

Essais agronomiques Campagne 2017 - 2018

- 18 sites (20 essais)
- Différenciation des pratiques : 5 à 47 ans
- 61 modalités agronomiques

Durée de la rotation

Rotation longue vs. Rotation courte (ref.)

Travail du sol

Travail superficiel ou SD vs. Labour (ref.)

Couverts Intermédiaires

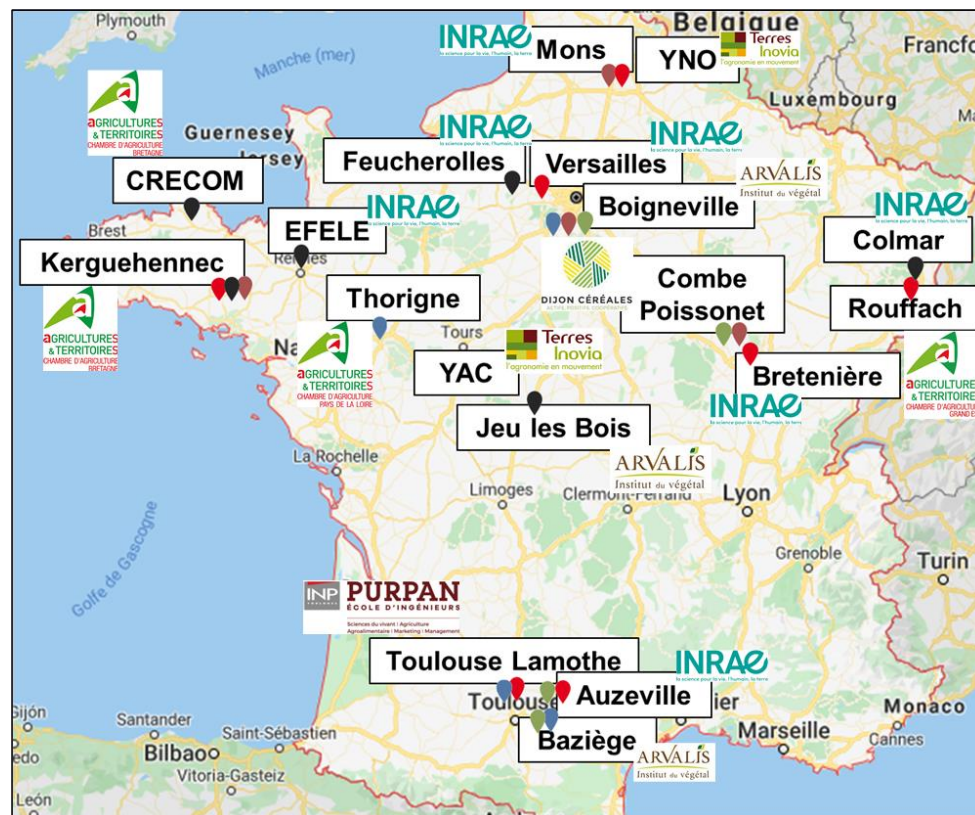
Avec vs. sans couverts (ref.)

Produits résiduaires organiques

Avec vs. sans apport PRO (ref.)

Systèmes de culture

Syst. Innovant ou bio. vs. Syst. conventionnel (ref.)



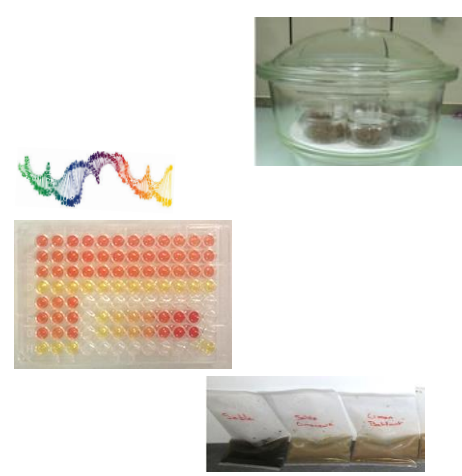
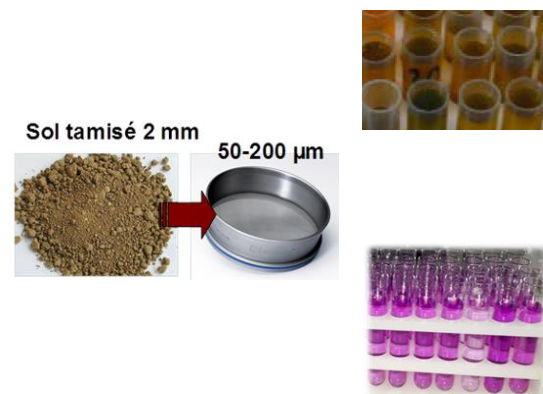
Sélection de 12 indicateurs parmi les 25

(redondance de l'information, variabilité spatiale, réponses aux pratiques, lien avec stockage C, coût et faisabilité technique)

Titre de l'intervention

Indicateurs retenus dans le projet Microbioterre

		Paramètre évalué	Variable
Analyses physico-chimiques	Carbone C	C organique total	Carbone Organique (référence)
		C organique stable	C fraction 0-50 µm
		C organique labile	C fraction 50-200 µm
			C fraction 200-2000 µm
			C fraction 50-2000 µm
	Carbone oxydé (C KMnO4)		
Azote N	N total	Azote Dumas (référence)	
	N fraction stable	N fraction 0-50 µm	
	N fraction labile	N fraction 50-200 µm	
N fraction 50-2000 µm			
Analyses microbiologiques	Abondance µbienne	Microorganismes totaux	C de la biomasse microbienne
		Champignons totaux	Biomasse fongique 18S
	Activités microbiennes	Activités enzymatiques Cycle N	Activité leucine aminopeptidase (LAP)
			Activité arylamidase (AryIN)
			Activité protéase
		Potentiel de minéralisation du N	Azote Biologiquement Minéralisable (ABM)
Activités enzymatiques Cycle C	Activité β-glucosidase (βGlu)		



Indicateurs normalisés (ou avec méthodes de référence), répétables, peu soumis à la météorologie

Titre de l'intervention

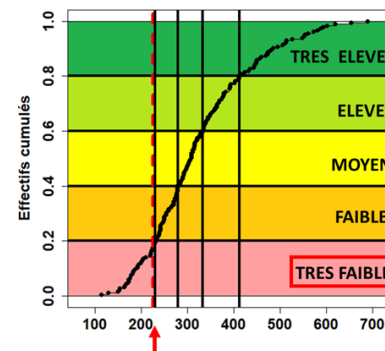
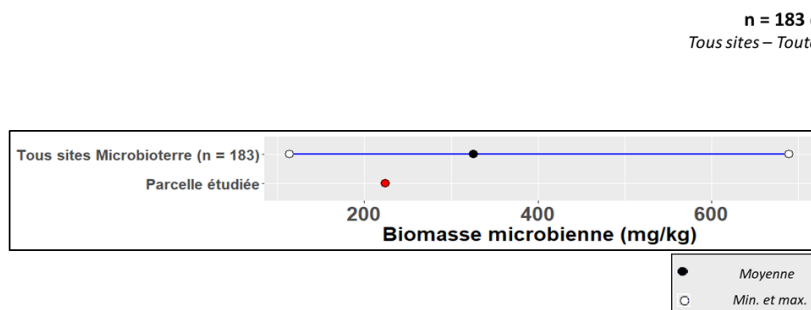
Comment interpréter ces indicateurs ?

Exemple : biomasse microbienne

1^{er} niveau d'interprétation : Valeur comprise dans le référentiel MicrobioTerre ?

2^{ème} niveau d'interprétation : Niveau de l'indicateur ?

Exemple d'un indicateur μ biologique : Biomasse microbienne



à partir des travaux de l'Université Cornell (2017)

→ Valeur de biomasse microbienne comprise dans référentiel MicrobioTerre

→ Valeur très faible de l'indicateur

AUJOURD'HUI : Première étape d'analyse et d'interprétation :
référentiel d'interprétation, impacts des pratiques sur les indicateurs



Positionnement relatif n'est pas suffisant
pour aller jusqu'au conseil

Titre de l'intervention

Exemple d'indicateurs de fertilité biologique

Biomasse microbienne

→ Indicateur d'abondance, pas d'activité

Mesure normalisée (NF EN ISO 14240-2, méthode par fumigation – extraction)

Quantification de carbone microbien, donc d'une fraction vivante de la MO (MOV)



Structure du sol (agrégation)

Minéralisation

C microbien 0.5 à 4 %
du C total
du sol



Potentiel de minéralisation de l'azote

→ Indicateur d'activité microbienne

Incubation de sol en conditions contrôlées (méthode dérivée de la XP U44-163)

Mesure de la variation de stock d'azote minéral



Ammonification

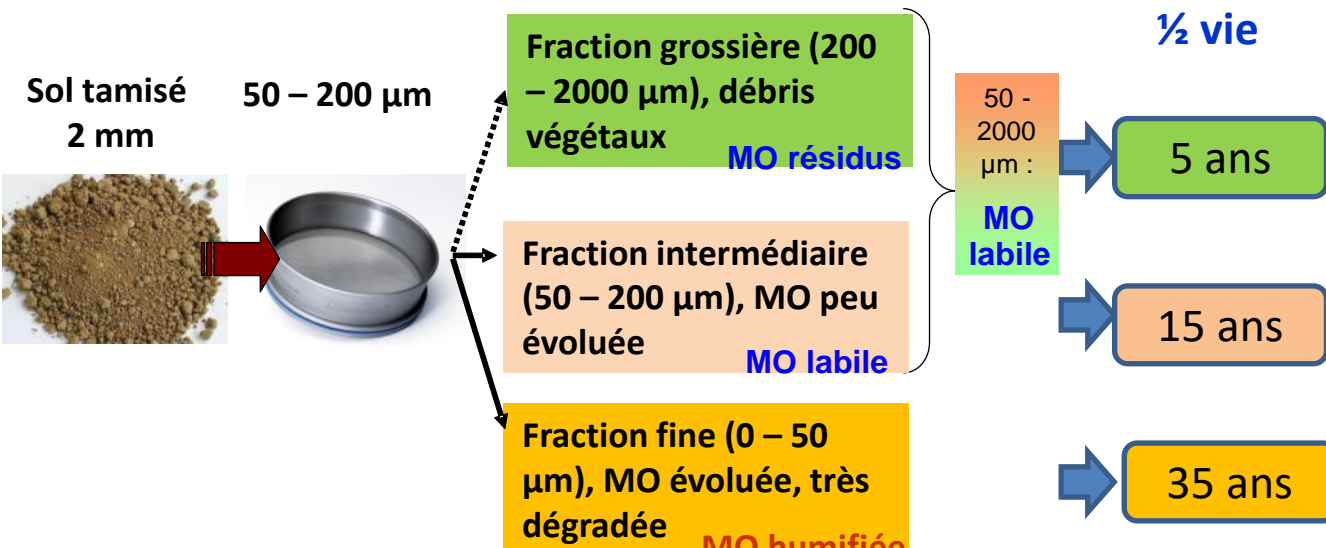
Volatilisation

Structure (agrégation)

Titre de l'intervention

Exemple : fractionnement de la matière organique

Mesure normalisée (NF X31-516), Fractionnement granulo – densimétrique des matières organiques particulières du sol dans l'eau



5 à 35 % du C total en grandes cultures
Effets systèmes de culture et pratiques culturales

65 à 95 % du C total en grandes cultures.
Effet sol sur cette fraction

Lien entre fractionnement MO et fonctions du sol (Guide d'interprétation à l'analyse des bioindicateurs)


Fonction	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	Fourniture N			Perte N		Transformation MO		Perte MO	Augmentation MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau
Processus	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biodégradation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Agrégation (Macro)	Agrégation (Micro)	Aération/Circulation eau - air	Infiltration en eau	Rétention en eau
Indicateurs															
C 0-50 µm (%)									+						
C 50-200 µm (%)								+			+				
C 200-2000 µm (%)						+		+							

Interprétation :
Fraction 50-200 µm davantage révélatrice que MO totale des évolutions récentes du statut organique

Balesdent, Recous, 1997

Lien Indicateur / Fonction		
	Relation positive	Relation négative
Relation forte $r > 0,8$	+	-
Relation moyenne r entre 0,4 et 0,8	+	-
Relation faible $r < 0,4$	+	-
Avis d'experts	+	-
Lien non identifié		

Lien entre indicateurs et fonction du sol

Indicateurs du menu Microbioterre 	Recyclage des nutriments				Transformation du carbone					Structure du sol					
	Fourniture N			Perte N		Transformation MO		Perte MO	Augmentation MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau
	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biodégradation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Agrégation (Macro)	Agrégation (Micro)	Aération/Circulation eau - air	Infiltration en eau	Rétention en eau
C org (%)	+	+		+				+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)								+							
C 50-200 µm (%)							+			+					
C 200-2000 µm (%)						+	+								
C KMnO4 (mg/kg)				+			+			+		+	+	+	
N total (%)	+	+	-												
N 0-50 µm (%)															
N 50-200 µm (%)	+	+													
C microbien (mg/kg)							+			+					
18S (copies/g)										+					
LAP (nmol/min/g)	+	+													
ARYLN (nmol/min/g)	+														
Protéase (nmol/min/g)	+	-					+			+					
ABM (mg/kg)	+				+					+					
B-Glu (nmol/min/g)	+	+					+				+				

Titre de l'intervention

Effet des leviers agronomiques sur les indicateurs (levier par rapport au témoin)

Variable	PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes
C 0-50 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
C 50-200 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
C 200-2000 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
C 50-2000 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
C oxydé (mg/kg)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
N total (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
N 0-50 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
N 50-200 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
N 50-2000 (%)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Biomasse microbienne (mg/kg)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
18S (copies/g)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Activité protéase (nmol/min/g)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
LAP (nmol/min/g)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Arylamidase (nmol/min/g)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
ABM (mg/kg)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Glucosidase (nmol/min/g)	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

- Rotation : allongement/ introduction de légumineuses
- SdC : Bio, TCS, bas niveaux d'intrants...

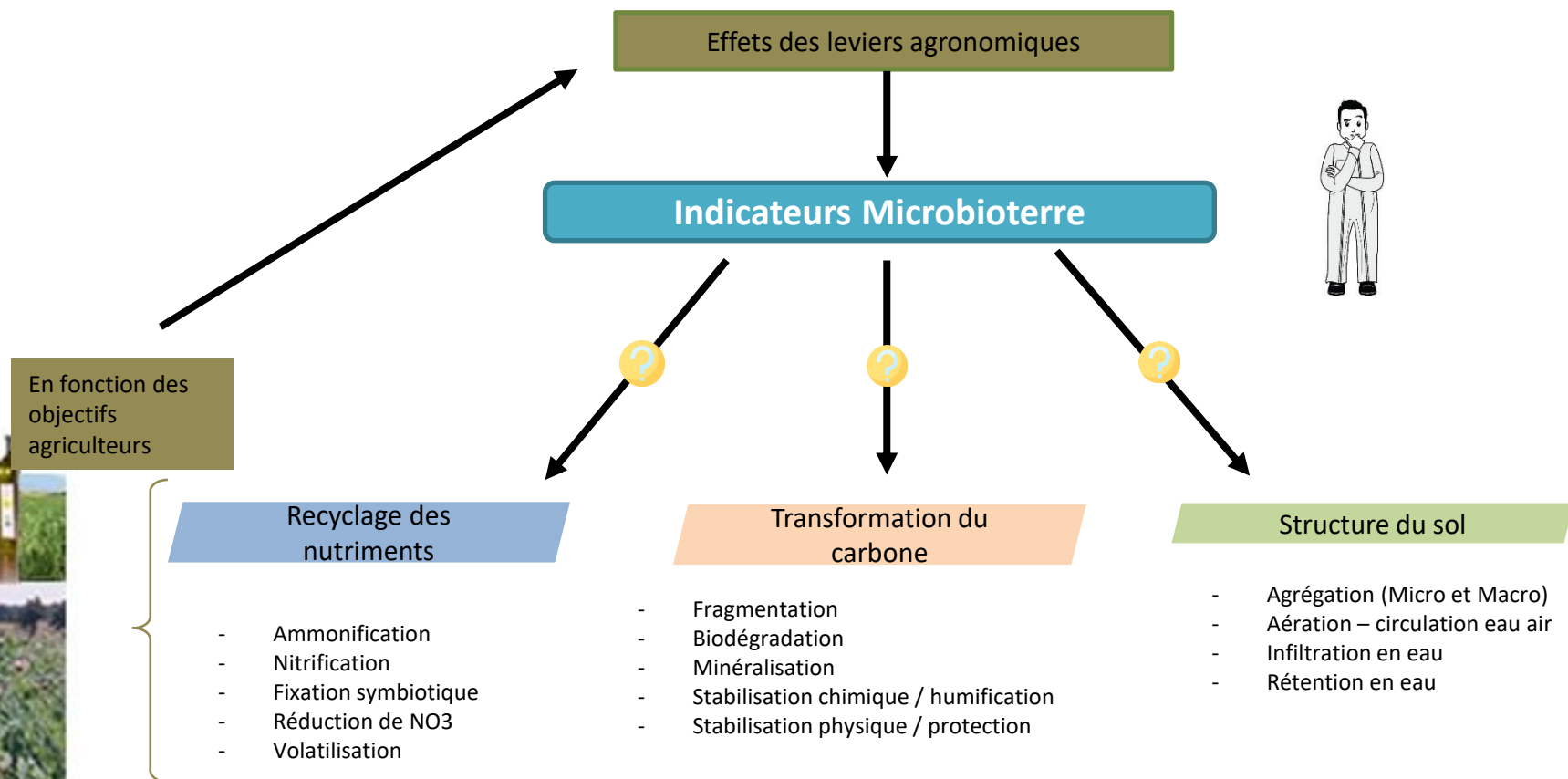


Orienter vers des changements de pratiques en fonction des objectifs



Comment interpréter ces indicateurs ?

Schéma d'interprétation



Titre de l'intervention

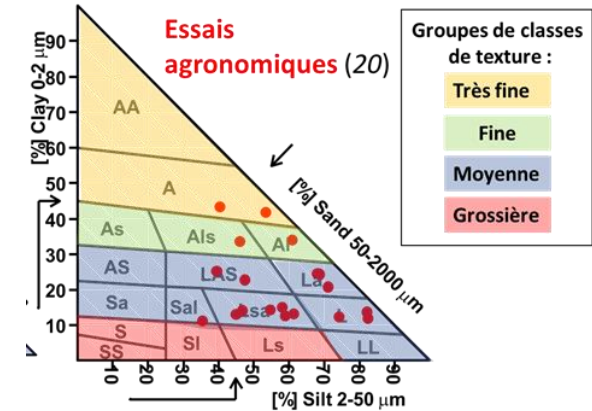
Le référencement doit se poursuivre

Gamme de variation des situations pédologiques

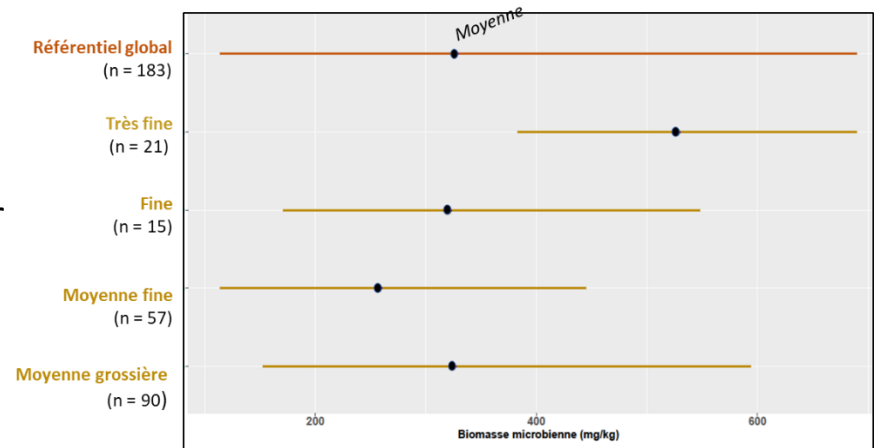
Indicateurs	Mediane	Mini	Maxi
MO (%)	2.18	1.26	5.15
Teneur en calcaire (%)	0.1	0.1	13.2
pH eau	7.2	6	8.4
Teneur en argile (en %)	17.7	7.8	47.2

n = 183

- un seul site en sol calcaire
- Effet site explique une partie de la variabilité : création de sous-référentiel par classe de texture
- Effectifs limités : besoin d'étoffer le référencement



Groupes de classes de texture des essais agronomique

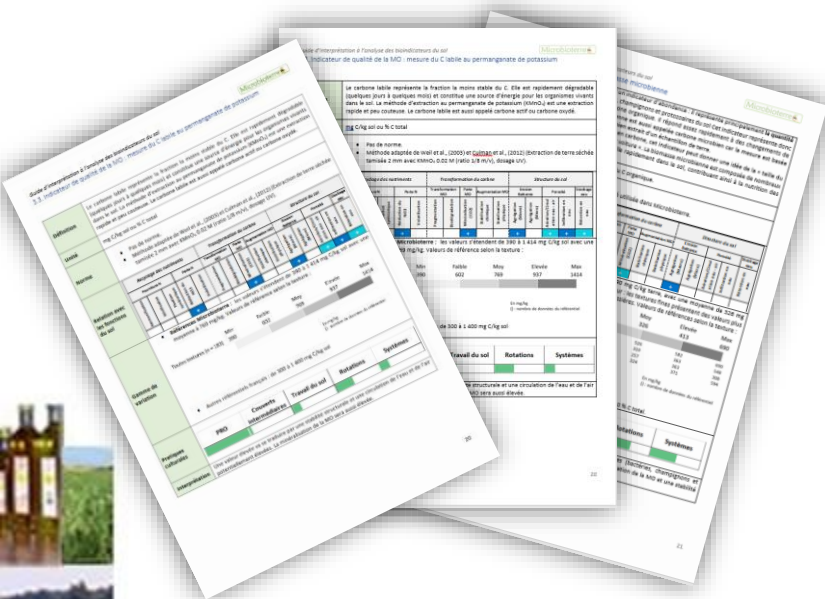


Titre de l'intervention

Fiche indicateur et référentiel Microbioterre

Exemple : Protéase

Guide d'interprétation à l'analyse des bioindicateurs du sol
3.6. Indicateur de microbiologie : Protéase



Définition	La protéase est une enzyme permettant aux microorganismes du sol de se fournir en carbone. L'activité de la protéase est impliquée dans le cycle de l'azote en participant à la décomposition et minéralisation des molécules organiques azotées, tels que les protéines et les peptides, en acides aminés.																																																			
Unité	nanomole par minute et par gramme de sol sec																																																			
Mesure	La méthode de mesure est basée sur un dosage en colorimétrie suivant le protocole de Ladd & Butler, (1972).																																																			
Relation avec les fonctions du sol	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Recyclage des nutriments</th> <th colspan="3">Transformation du carbone</th> <th colspan="3">Structure du sol</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Fourniture N</th> <th colspan="2">Partie N</th> <th>Transformation MO</th> <th>Perte MO</th> <th>Augmentation MO</th> <th colspan="2">Erosion Battance</th> <th>Porosité</th> <th>Stockage eau</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ammonification</td> <td>Nitrification</td> <td>Fixation symbiotique</td> <td>Réduction du N₂O</td> <td>Volatilisation</td> <td>Fragmentation</td> <td>Bio-dégradation</td> <td>Minéralisation (CO₂)</td> <td>Stabilisation chimique</td> <td>Stabilisation physique</td> <td>Regain (Réens)</td> <td>Aggrégation (Micro)</td> <td>Adhésion (Ciliaux)</td> <td>Infiltration en eau</td> <td>Rétention en eau</td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Recyclage des nutriments				Transformation du carbone			Structure du sol			Fourniture N		Partie N		Transformation MO	Perte MO	Augmentation MO	Erosion Battance		Porosité	Stockage eau	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du N ₂ O	Volatilisation	Fragmentation	Bio-dégradation	Minéralisation (CO ₂)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Regain (Réens)	Aggrégation (Micro)	Adhésion (Ciliaux)	Infiltration en eau	Rétention en eau	+	-						+			+				
Recyclage des nutriments				Transformation du carbone			Structure du sol																																													
Fourniture N		Partie N		Transformation MO	Perte MO	Augmentation MO	Erosion Battance		Porosité	Stockage eau																																										
Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du N ₂ O	Volatilisation	Fragmentation	Bio-dégradation	Minéralisation (CO ₂)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Regain (Réens)	Aggrégation (Micro)	Adhésion (Ciliaux)	Infiltration en eau	Rétention en eau																																						
+	-						+			+																																										
Gamme de variation	<ul style="list-style-type: none"> Références Microbioterre : les valeurs s'étendent de 2,3 à 17,3 nmol/min/g sol, avec une moyenne à 6,6 nmol/min/g sol. La texture du sol a un impact sur les valeurs observées : plus la teneur en argile (texture fine) est élevée et plus l'indicateur est faible. Valeurs de références selon la texture : <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Min</th> <th>Faible</th> <th>Moy</th> <th>Elevée</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Toutes textures (n = 183)</td> <td>2.3</td> <td>4.6</td> <td>6.6</td> <td>8.6</td> <td>17.3</td> </tr> <tr> <td>Très fine (n = 21)</td> <td>3.9</td> <td>4.5</td> <td>5.0</td> <td>5.4</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>Fine (n = 15)</td> <td>2.3</td> <td>4.1</td> <td>4.8</td> <td>5.7</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>Moyenne fine (n = 57)</td> <td>2.5</td> <td>5.1</td> <td>6.1</td> <td>7.2</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>Moyenne grossière (n = 90)</td> <td>2.4</td> <td>5.4</td> <td>7.6</td> <td>9.6</td> <td>17.3</td> </tr> </tbody> </table> Autres référentiels français : pas de référence. <p style="text-align: right;">En nmol/min/g (): nombre de données du référentiel</p>		Min	Faible	Moy	Elevée	Max	Toutes textures (n = 183)	2.3	4.6	6.6	8.6	17.3	Très fine (n = 21)	3.9	4.5	5.0	5.4	6.2	Fine (n = 15)	2.3	4.1	4.8	5.7	7.0	Moyenne fine (n = 57)	2.5	5.1	6.1	7.2	8.7	Moyenne grossière (n = 90)	2.4	5.4	7.6	9.6	17.3															
	Min	Faible	Moy	Elevée	Max																																															
Toutes textures (n = 183)	2.3	4.6	6.6	8.6	17.3																																															
Très fine (n = 21)	3.9	4.5	5.0	5.4	6.2																																															
Fine (n = 15)	2.3	4.1	4.8	5.7	7.0																																															
Moyenne fine (n = 57)	2.5	5.1	6.1	7.2	8.7																																															
Moyenne grossière (n = 90)	2.4	5.4	7.6	9.6	17.3																																															
Pratiques culturales	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRO</th> <th>Couverts Intermédiaires</th> <th>Travail du sol</th> <th>Rotations</th> <th>Systèmes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #28a745;"> </td> <td style="background-color: #28a745;"> </td> <td style="background-color: #28a745;"> </td> <td style="background-color: #28a745;"> </td> <td style="background-color: #28a745;"> </td> </tr> </tbody> </table>	PRO	Couverts Intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes																																														
PRO	Couverts Intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes																																																
Interprétation	Une valeur élevée va se traduire par une fourniture en azote, une minéralisation de la MO et une stabilité structurale potentiellement élevées.																																																			

Titre de l'intervention



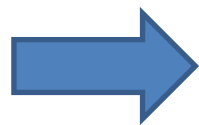
Méthodologie : conditions et méthodes de prélèvement en vue d'une analyse

- Arbitrages sur conditions de prélèvements

- T°C entre 8 et 25°C
- Humidité proche capacité au champ
- Délai au moins 2 mois après dernier apport de C dans le sol
- Délai au moins 3 semaines depuis dernier apport d'engrais minéral



- **0 - 20 cm** de profondeur **quel que soit** le travail du sol



Mode opératoire de
prélèvement à partager

Disponible sur : <http://www.rmt-fertilisationenvironnement.org/moodle/mod/resource/view.php?id=1896>

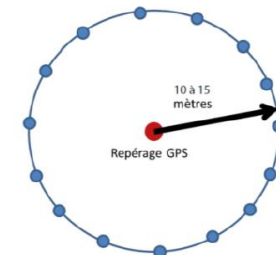


Figure 2 Schéma de prélèvement parcellaire (source ARVALIS)



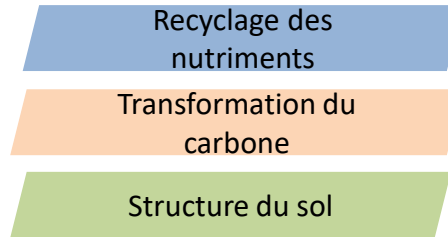
Titre de l'intervention

Conclusion

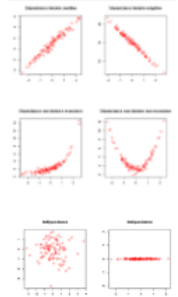
- Des outils permettant un 1^{er} niveau d'interprétation des bioindicateurs

Menu Microbioterre
12 indicateurs
retenues

Microbioterre 




*Approfondir le lien avec les fonctions
(minéralisation, dégradation des MOF)*



- Le diagnostic du fonctionnement du sol ne doit pas se limiter à sa composante biologique
- D'autres approches de diagnostic peuvent être complémentaires
- En conduite AB**
 - Des leviers mobilisables/mobilisés en bio font évoluer les indicateurs : apport de PRO, changement de rotation, couverts...**
 - Pas assez de sites bio pour tirer des conclusions générales**
 - Facteurs clefs : statut organique du sol**



Titre de l'intervention



**3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO****
7 novembre 2023 - Paris 3^e

Biofunctool[®]

Un set d'indicateur fonctionnels permettant l'évaluation rapide
de l'impact des pratiques agricoles sur la santé du sol

Jim Félix-Faure¹

Nicolas Deschamps¹, Thibault Soirat², Alexis Thoumazeau², Alain
Brauman¹

¹IRD, UMR Eco&Sols, Montpellier, France

²CIRAD, UMR ABSys, Montpellier, France

La santé des sols ?

« La capacité **continue** du sol à **fonctionner** en tant que **système vivant**, au sein des limites de l'écosystèmes et de l'usage des terre, afin de **soutenir la productivité biologique**, promouvoir la qualité de l'air et de l'eau et maintenir la santé végétale, animale et humaine »

Doran et Safley (1997)



Comment la mesure t-on ?

Propriétés physiques

Densité apparente
Humidité
Texture

+

Propriétés chimiques

MO
pH
N et P...

+

Propriétés biologiques

Densité des vers de terre
Biomasse microbienne
Nématodes

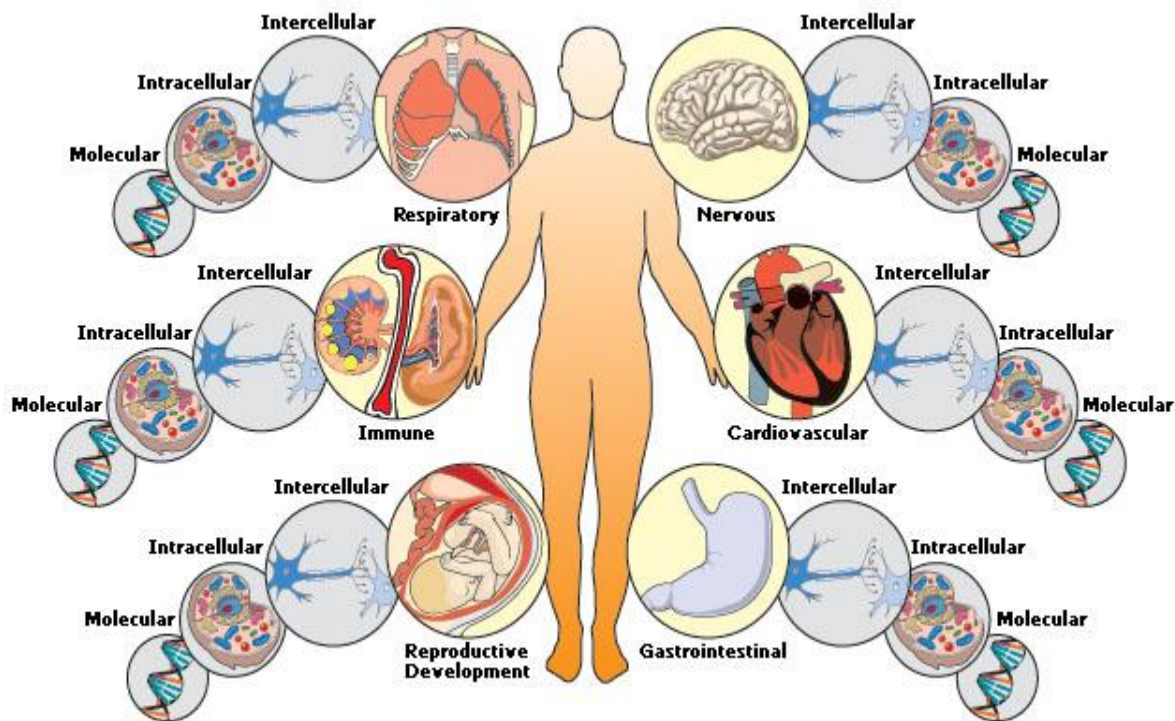
Qualité des sols = \sum propriétés (physiques + chimiques + biologiques)

Vision additive et réductionniste



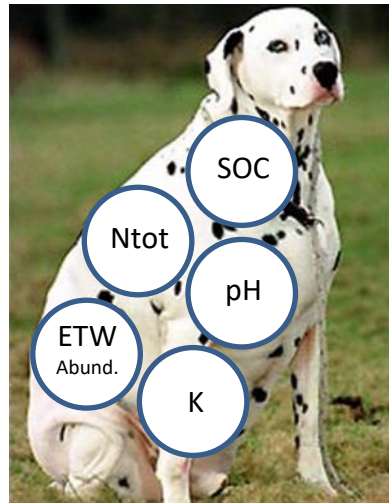
Problème de l'approche réductionniste

Vision réductionniste
Le tout est la somme de ses parties



Changement de paradigme : d'une vision stock à une approche dynamique

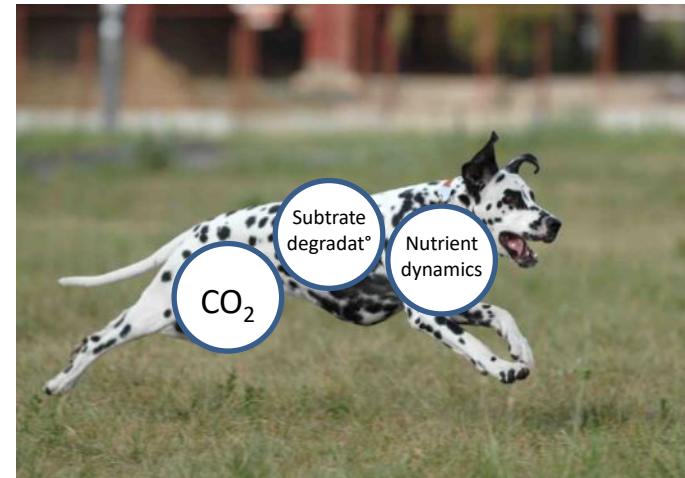
Qualité/Santé des sols V1.0



Approche stock réductionniste

Somme de parties indépendantes

Santé des sols V2.0



Approche dynamique intégrative

Mesure de fonctions = résulte d'interactions

Kibblewhite et al., 2008. Soil health in agricultural systems. Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. 363, 685–701.

Le sol : Un milieu vivant et complexe

Système biophysique

FONCTIONS

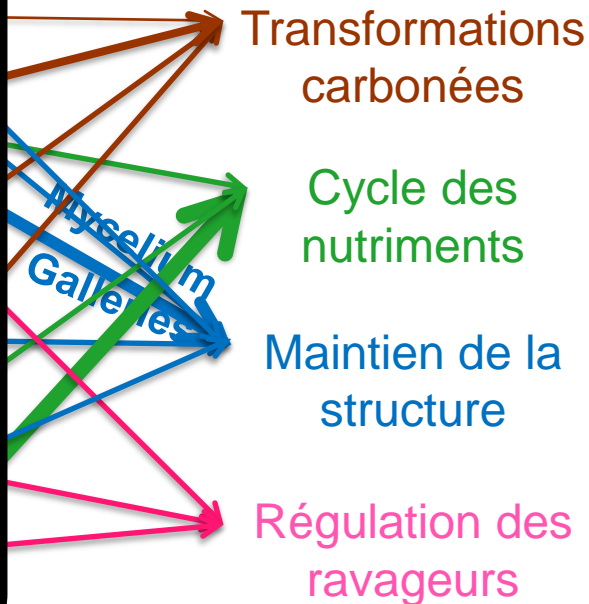
SYSTÈME SOL

**BLACK
BOX**

A-t-on besoin
de connaître
les acteurs ?



Contexte physico-
chimique

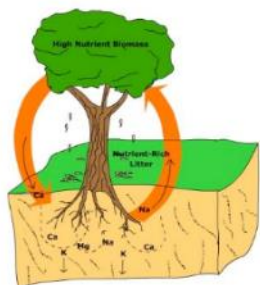
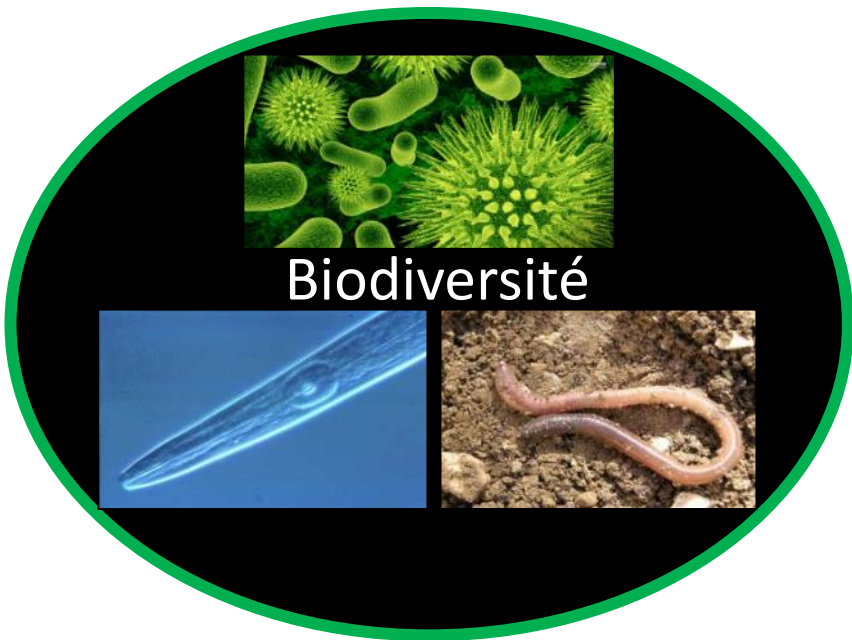


*schematic representation, scale especially was not considered

Cibler les fonctions liées à l'activité biologique



Transformation du carbone



Cycle des nutriments



Structure du sol



Quels indicateurs ?

3 principaux critères

Cibler 3 fonctions
Transformation du C ou
Cycle des nutriments
ou **Maintien de la**
structure du sol

Etre bord-champ
(réalité de la fonction)

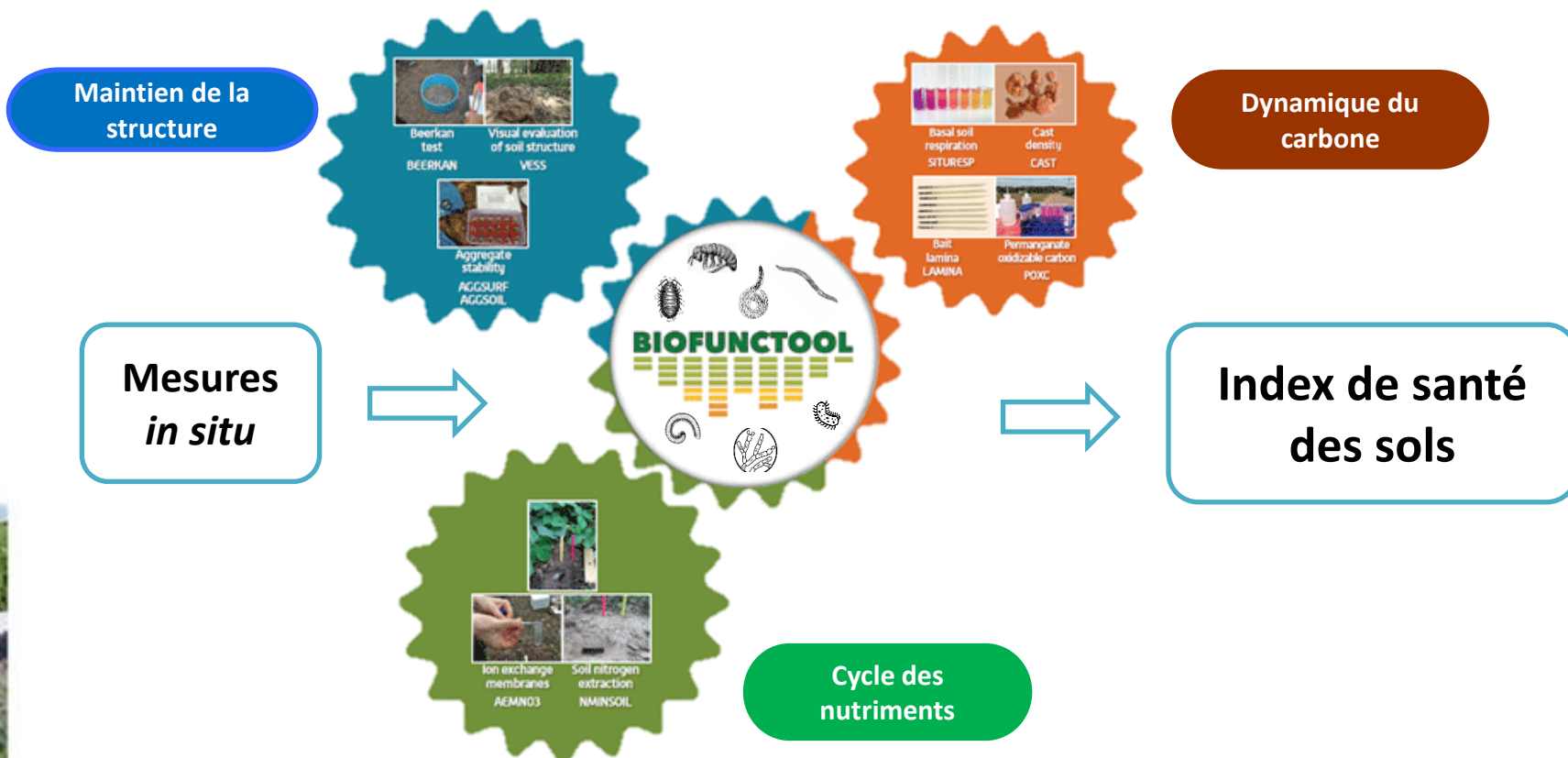
Low tech et à coût
raisonnable
(répétition, transfert et
autonomie)



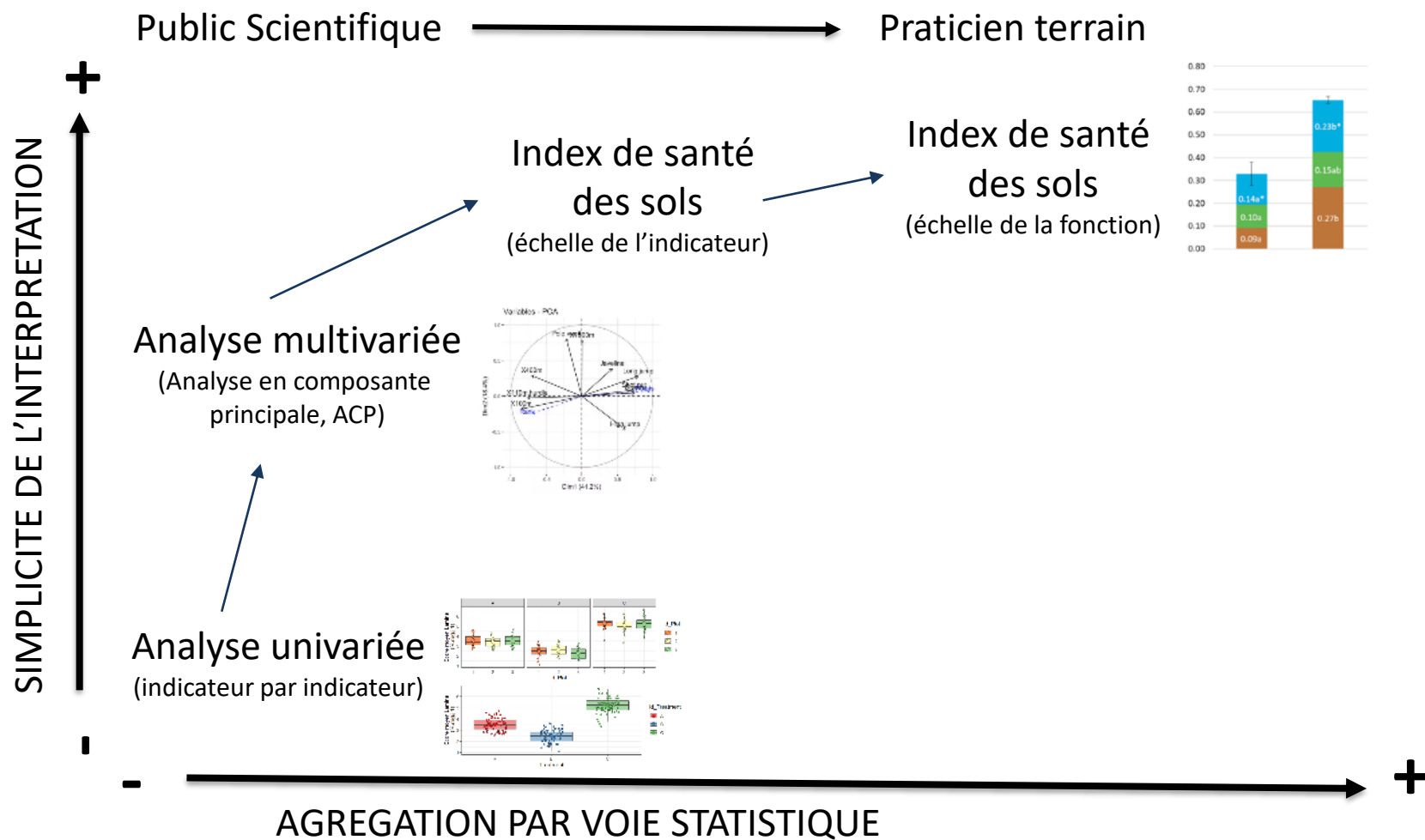
8 indicateurs
sélectionnés



Des indicateurs liés à 3 fonctions



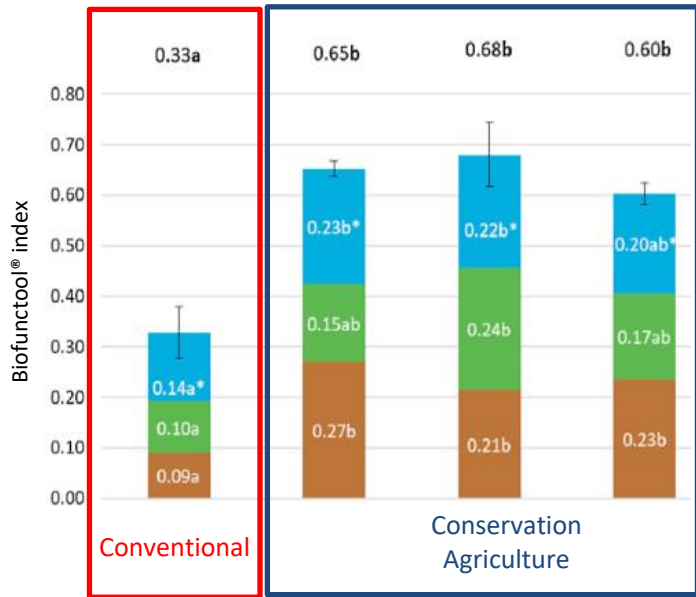
Méthodes d'agrégation des données



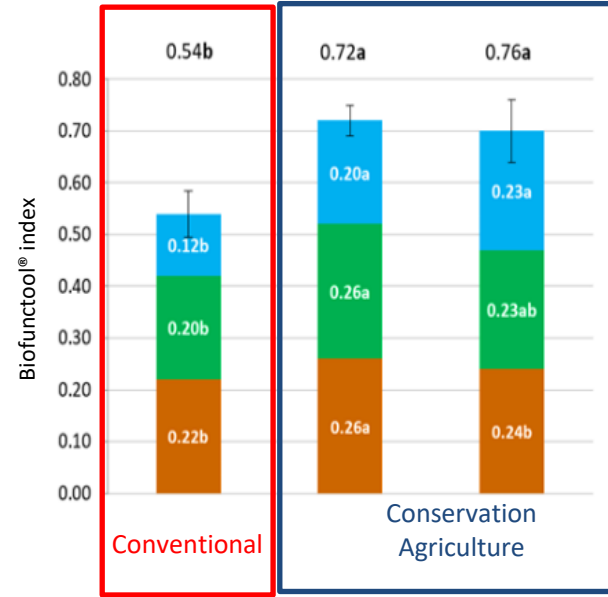
(Obriot et al., 2016)

Généricité des résultats

CAMBODGE
(Pheap et al., 2019)



NOUVELLE-CALÉDONIE
(Kulagowski et al., 2021)

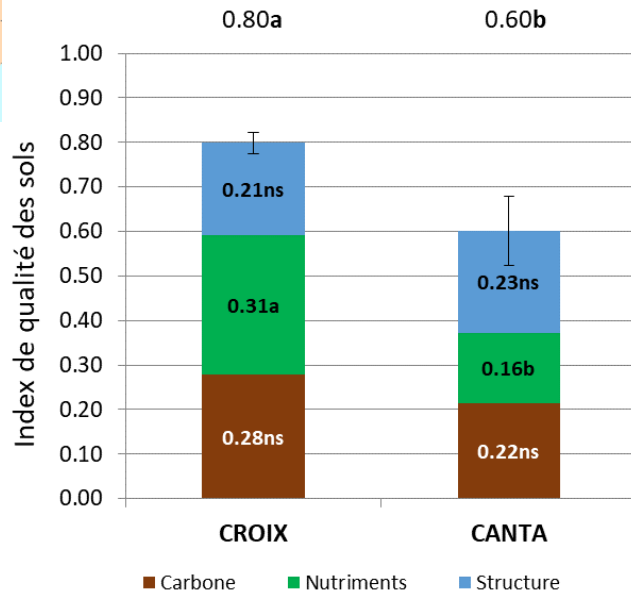


Structure maint.

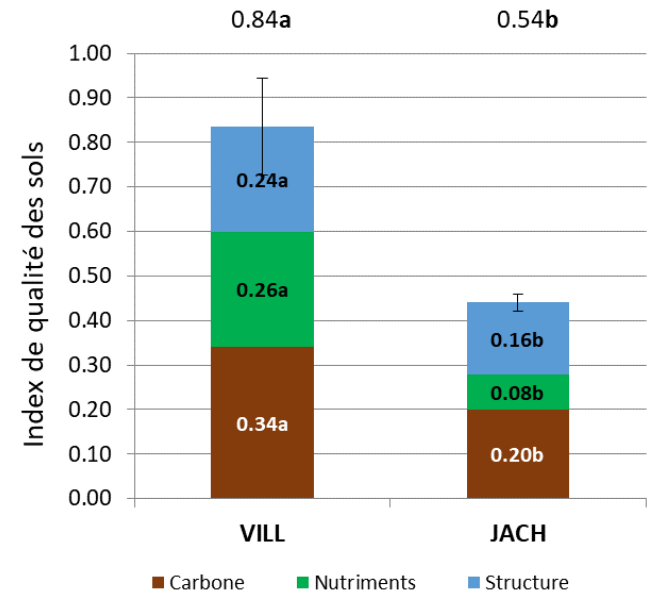
Nutrient cycling

Carbon transfo.

Comparaison de pratiques/systemes



CROIX : 10 ans en semis direct (SD) ,
recherche de couverture permanente
CANTA : idem CROIX mais depuis 2 ans
(après syst. conventionnel)

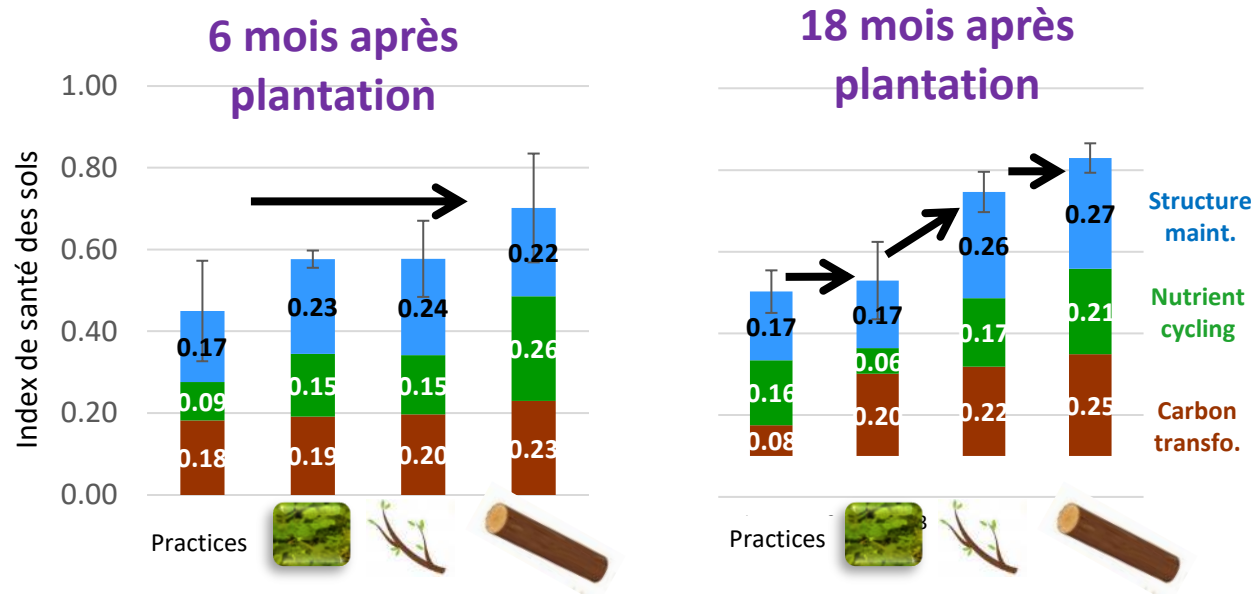


VILL : 3 ans travail réduit du sol avec
couverture hivernale (féverole)
JACH : labour conventionnel, sol nu à
l'interculture (sol érodé)



Suivi temporel

Suivi des pratiques agricoles au cours du temps après une plantation d'hévéa



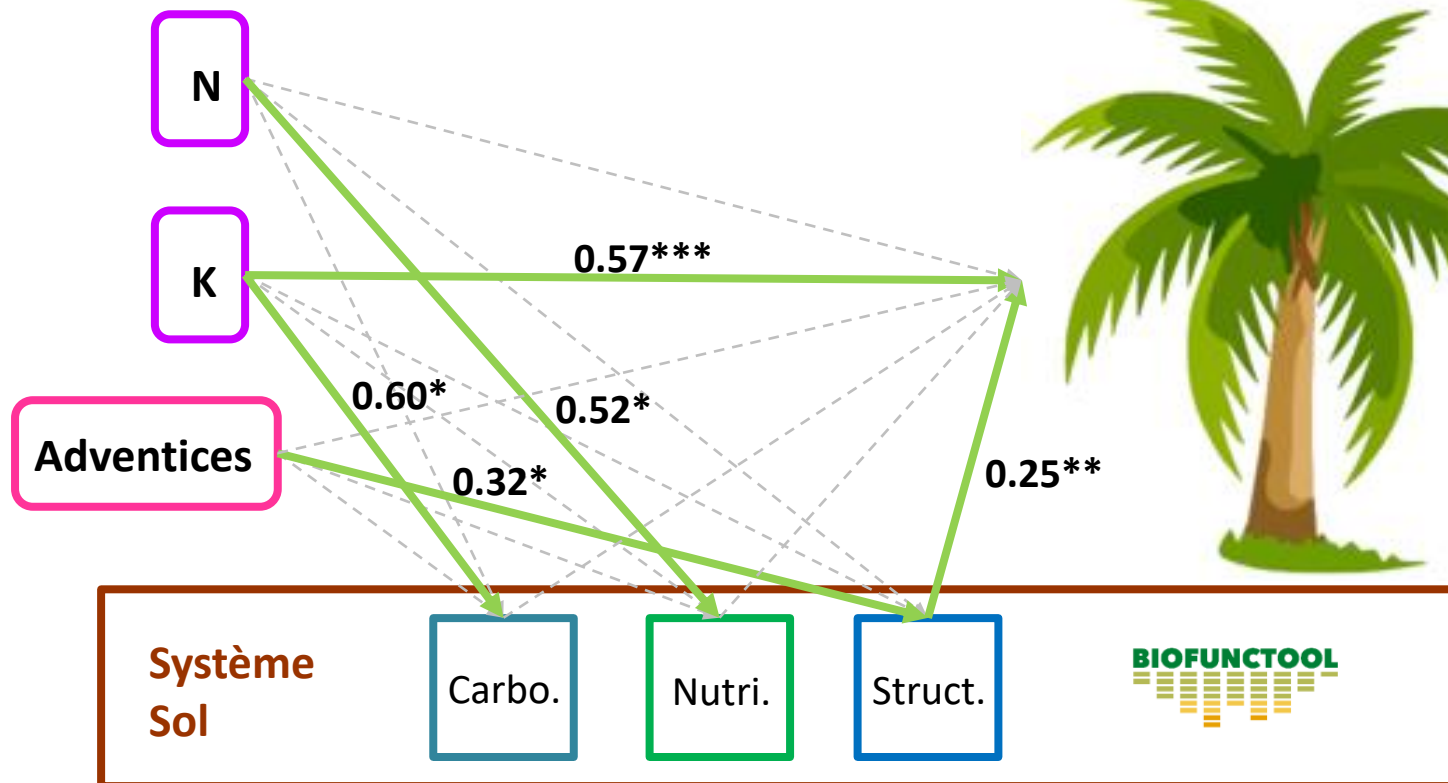
Forte résilience de la santé du sol quand les résidus d'abattage sont retournés au sol



Lien fonction - performances

Performances des arbres (palmier à huile)

Pratiques agricoles



Résultats basés sur un modèle d'équations structurelles.

Tree performances = PCA based on Yield, LAI and foliar diagnosis analysis.
n=48, Fischer'C = 6.1 ; p-value= 0.4; AIC=52.1.

Conclusion




Une approche **fonctionnelle** et opérationnelle de mesure de la **santé des sols**



Un ensemble d'indicateurs pour évaluer l'impact de la gestion des terres sur la santé du sol, à travers trois **fonctions** du sol:
Transformation du carbone, **Cycle des nutriments** and **Maintien de la structure du sol**



Biofunctool[®] a été appliqué dans un large éventail de contextes et de gestion des terres et a été **validé** sur le plan spatial et temporel.



3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO**

7 novembre 2023 - Paris 3^e

Projet GRAAL : Gestion d'un couvert permanent de légumineuse par fauchage en inter-rang d'une culture principale

→ Une technique pour tendre vers l'agriculture biologique de conservation ?

=graal=

Amélie CARRIERE

ARVALIS

INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre

isara
AGRO SCHOOL FOR LIFE

OXYANE
INSPIRER L'AVENIR

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
AIN

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
RHÔNE

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
ISÈRE

**ST EX
INNOV**
FERME EXPERIMENTALE

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

Liberté
Égalité
Fraternité

Point de départ - Enjeux

Le contexte social, politique et réglementaire amène les agriculteurs à mettre en œuvre des systèmes de culture économes en intrants, et en AB

Les couverts permanents vivants de légumineuses pourraient offrir un bouquet de services écosystémiques aux systèmes de cultures

Or pas de solution pour gérer de façon satisfaisante la concurrence du couvert en AB et sans glyphosate dans les systèmes en ACS

Séparer le couvert permanent de la culture de rente pour pouvoir les gérer indépendamment

- Concurrence adventices
- Fourniture nutriments
- Réduction travail du sol
- Amélioration vie du sol
- Stockage carbone
- Diminution émissions GES
- Réduction érosion
- Biodiversité

4 années de tests et création d'une faucheuse inter-rangs avec Ecomulch



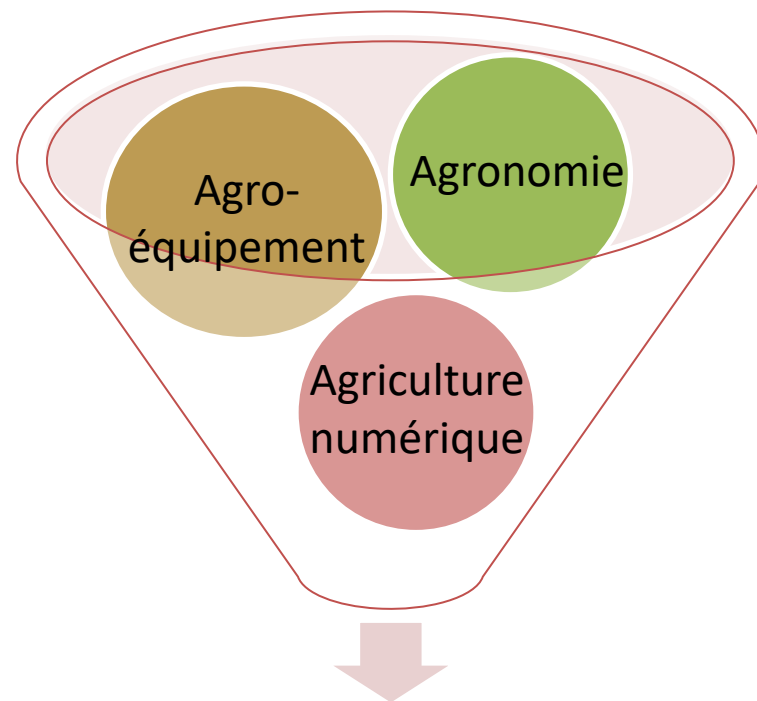
Principe agronomique

Séparer une culture de rente et une culture de service dans un même espace pour être en mesure de les gérer séparément

Autoguidage RTK
pour semer et gérer
les 2 espèces



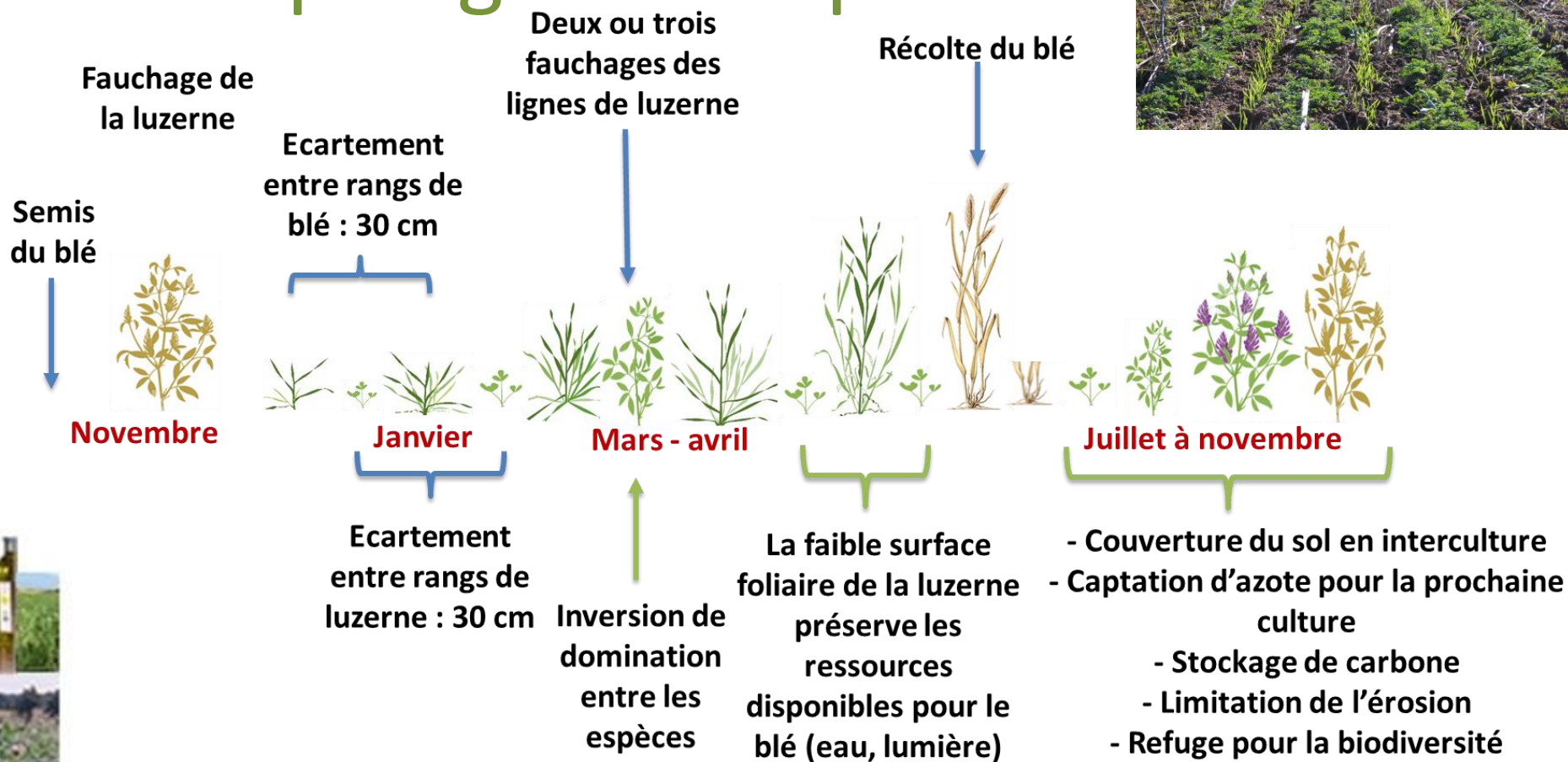
Faucheuse inter-rang
pour gérer le couvert



« GRAAL agronomique »

Titre de l'intervention

Principe agronomique



... et ainsi de suite tant que les services rendus par le couvert sont assurés et supérieurs aux dys-services

Projet **graaal** → Objectifs

Gestion d'un couvert permanent de légumineuse par fauchage en inter-rangs d'une culture principale

- Evaluer les **services** et **dys-services** de la pratique innovante grâce à la mise en œuvre de la pratique dans des contextes pédoclimatiques contrastés
- Evaluer la **faisabilité**, et les **conditions de réussite et d'échec**, de la pratique dans différents contextes pédoclimatiques, et différents modes de production
- Evaluer la **multiperformance** des systèmes de culture mettant en œuvre cette technique
- **Accompagner** les agriculteurs à l'utilisation de cette pratique

FINALITE : Doter les agriculteurs d'une nouvelle technique de production répondant aux enjeux de l'agroécologie

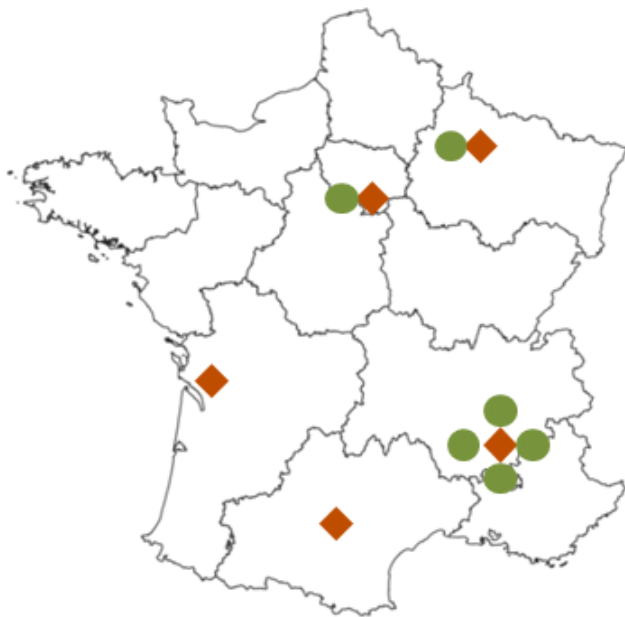


Titre de l'intervention

Projet **graaal** → Mises en œuvre

**5 expérimentations pluriannuelles
au sein des stations ARVALIS**

6 observatoires pilotés périphériques



Services agronomiques évalués :

- Productivité et qualité
- Gestion des adventices
- Fertilisation azotée
- Fertilité des sols

Faisabilité technique :

- Conditions de réussite et d'échecs
- Règles de décision



Titre de l'intervention

Projet **graaal** → Enseignements

« On apprend de nos échecs ! » → Les équipes se sont confrontées à la difficulté de mise en œuvre. La **rigueur dans le réglage des outils** est primordiale pour réussir !

Bonnes pratiques de réglage des outils, quelques exemples

Avoir la même largeur d'outil entre semoir et faucheuse

Si erreurs de guidage au semis, la reproduire pour les autres opérations

Vérifier que le réglage du RTK du tracteur a une précision +/- 2 cm

Utiliser le même semoir pour tous les semis

Numéroter les éléments de semis et de fauche et les replacer toujours au même endroit

Centrer le semoir par rapport aux éléments semeurs + boules d'attelage en butée

Calibrer le correcteur de devers entre tracteurs ou utiliser le même tracteur pour semis et fauche

Prévoir entre 10 et 20 m pour la reprise de ligne de référence par le tracteur



Titre de l'intervention



Projet → Enseignements

Complémentarité entre espèces

- Privilégier les cultures d'hiver dans le couvert permanent pour limiter la concurrence à l'eau
- Espèces de couverts qui ne semblent pas adaptées : trèfle blanc, trèfle violet, lotier corniculé
- La luzerne semble être la meilleure candidate pour le couvert fauché

Variétés adaptées

- Choisir des variétés de couvert avec un port dressé

Contexte parcellaire

- Tenir compte des précédents culturaux
- Choisir des parcelles indemnes d'adventice nitrophiles

→ **ANTICIPATION, RIGUEUR, ADAPTATION**


Titre de l'intervention

Projet **graaal** → Des résultats qui nous poussent à poursuivre



Titre de l'intervention





3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO**
7 novembre 2023 - Paris 3^e

Merci de votre attention !



[Arvalis - Couverts permanents fauchés](#)
Abonnez-vous pour suivre nos travaux !

INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre

isara
AGRO SCHOOL FOR LIFE

OXYANE
INSPIRER L'AVENIR

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
AIN

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
RHÔNE

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
ISÈRE

**ST EX
INNOV**
FERME EXPERIMENTALE

ARVALIS

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

Liberté
Égalité
Fraternité

**3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO****

7 novembre 2023 - Paris 3^e

TABLE RONDE :
**quelles innovations pour améliorer la
fertilité des sols en AB ?**



TABLE RONDE



FOCUS sur
L'Agriculture de conservation des
sols: quelles perspectives pour
l'agriculture biologique?



Titre de l'intervention

TABLE RONDE

Quelle définition de l'ACS ?

Agriculture [...] qui place le sol au cœur du système de production et s'appuie sur 3 piliers complémentaires:

- ➔ Couverture permanente des sols
 - ➔ Semis sans travail du sol
- ➔ Diversité et rotation des cultures

Source : APAD



Titre de l'intervention



TABLE RONDE

Faisabilité?



Impacts?

Accompagnement?



Titre de l'intervention



TABLE RONDE

Pour en discuter

**Jean-
François
VIAN**

Enseignant chercheur à l'ISARA

**Régis
HELIAS**


Ingénieur régional & co-animateur du programme AB chez
Arvalis-Institut du végétal

**Noëlie
DELATTRE**

Conseillère animatrice en grande culture pour Bio en Hauts
de France

Titre de l'intervention





**3^{èmes} rencontres
des grandes cultures **BIO****

7 novembre 2023 - Paris 3^e

Place à vos questions

