

Pilote

Partenaires financés

Partenaires non financés

Soutien



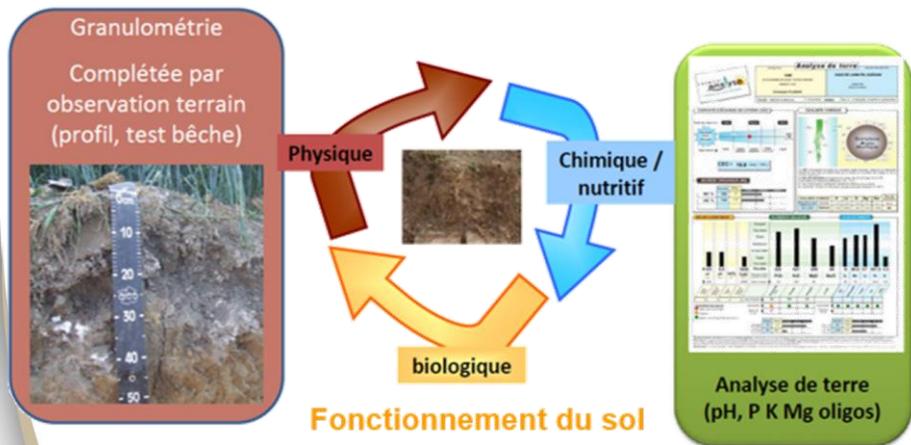
Microbioterre – finalisation et livrables

COMIFER – groupe FORBS

20 octobre 2022



Contexte du projet MICROBIOTERRE



Un besoin de référencement d'indicateurs du fonctionnement des sols

Foisonnement d'indicateurs et de méthodes d'évaluation

Levabag

Biomasse microbienne

ADN

Potentiel de minéralisation

Fractionnement de la MO

Soil rating for a green re

What will happen to our tea bag?

ELISOL ENVIRONNEMENT

REVA

aurea Agrosciences

BIOFUNCTION

L'INDICE DE RÉGÉNÉRATION PUBLIC AGRICULTEURS & TECHNICIENS

DES SITES BIEN REMISES DE FÉTAT DES SOLS AGRICOLES

Assessment of Soil Health

Microbioterre

Objectif : référencer des indicateurs de microbiologie des sols en vue de les intégrer dans l'analyse de terre de routine, et améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grande culture et polyculture élevage

Bennegadi-Laurent Nadia¹, Cusset Elodie¹, Deschamps Thibaud², Barbot Christophe³, Bouthier Alain², Houot Sabine⁴, Leclerc Blaise⁵, Perrin Anne-Sophie⁶, Recous Sylvie⁷, Riah-Anglet Wassila¹, Roussel Pierre-Yves⁸, Trinsoutrot-Gattin Isabelle¹, Valé Matthieu⁹

¹UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, ²ARVALIS, ³Chambre d'agriculture d'Alsace, ⁴INRAe – AgroParisTech UMR ECOSYS,

⁵ITAB, ⁶TERRES INOVIA, ⁷INRAe – URCA UMR FARE, ⁸Chambre d'agriculture de Bretagne, ⁹AUREA AgroSciences

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien



Microbioterre...en quelques chiffres !



25 indicateurs de microbiologie **des sols** évalués, **en lien avec les cycles** C et N



18 sites de moyenne et longue durées



227 publications étudiées



37 relations indicateurs / fonctions **des sols** identifiées dont 7 équations



183 situations site*conduite référencées



Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

Essais
agronomiques
18 essais

Choix indicateurs du menu MicrobioTerre

Sélection du *minimum data set*

Interprétation des résultats

Référentiels d'interprétation : 1^{ère} phase de construction du référentiel

Leviers agronomiques

Pratique(s) impactant chaque indicateur

Articles
bibliographiques
80 articles

Liens indicateurs - fonctions

Proposition d'indicateurs à mesurer pour une **fonction à optimiser**

Parcelles
agriculteurs
26 parcelles

Référentiel complété et déploiement test du menu

Déploiement du menu & interprétation

Diagnostic

Conseil

Lien **objectifs agriculteur / pratiques culturales**

Liens
**Indicateurs –
Pratiques culturales**

Recyclage
des
nutriments

Transformation
du
carbone

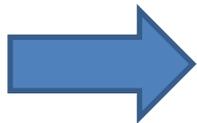
Structure
du
sol





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 ?

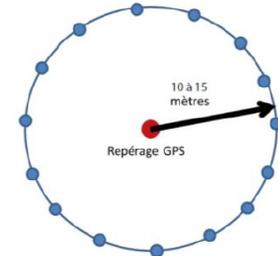


Figure 2 Schéma de prélèvement parcellaire (source ARVALIS)

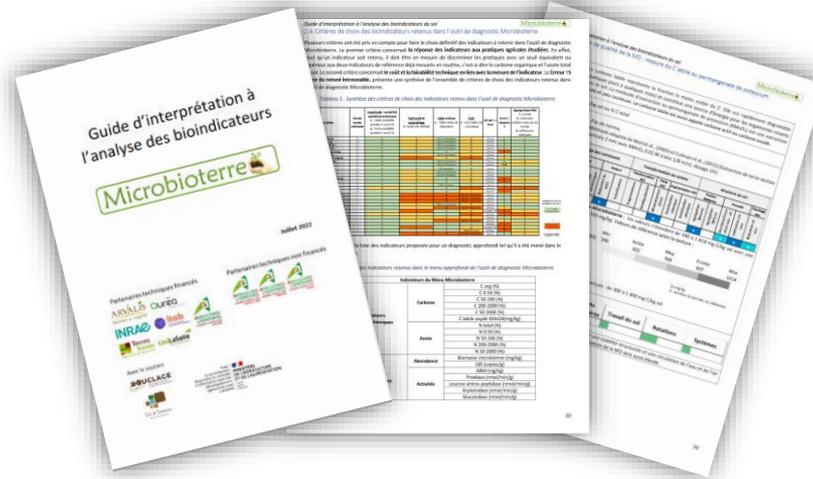
Disponible sur : <http://www.rmt-fertilisationenvironnement.org/moodle/mod/resource/view.php?id=1896>



Guide d'interprétation



- A destination conseillers et agriculteurs
- A des fins d'interprétation des bioindicateurs du menu Microbioterre



Disponible au lien suivant : <http://www.rmt-fertilisationenvironnement.org/moodle/mod/resource/view.php?id=2131>



Choix des indicateurs du menu Microbioterre

Essais agronomiques
Campagne 2017 - 2018

Indicateurs retenus pour l'outil Microbioterre

	Variables	PRO	Couverts	Wsol	Rotations	Systèmes	BILAN - Toutes pratiques
Variables physico-chimiques	C org (%)						
	C org Rock-Eval (g/kg)						
	C stable 100 ans (g/kg)						
	C 0-50 (%)						
	C 50-200 (%)						
	C 200-2000 (%)						
	C 50-2000 (%)						
	Carbone actif (g/kg)						
	C oxydé (mg/kg)						
	C labile 20 ans (g/kg)						
	N total (%)						
	N 0-50 (%)						
	N 50-200 (%)						
	N 200-2000 (%)						
	N 50-2000 (%)						
Variables biologiques	ADN total (µg/g)						
	Biomasse microbienne (mg/kg)						
	16S (copies/g)						
	18S (copies/g)						
	Ergostérol total (mg/kg)						
	Ergostérol libre (mg/kg)						
	Ergostérol lié (mg/kg)						
	18S/16S						
	FDA (nmol/min/g)						
	Protéase (nmol/min/g)						
	LAP (nmol/min/g)						
	Arylamidase (nmol/min/g)						
	N minéralisé (mg/kg 28 j)						
	APM (mg/kg)						
	ABM (mg/kg)						
	Glucosidase (nmol/min/g)						
	C minéralisé (mg/kg 28j)						



Indicateurs de « référence » mesurés en routine
(Benintende *et al.*, 2014)



Variables retenues comme
indicateurs menu **Microbioterre** selon
leur aptitude discriminante ***toutes pratiques confondues***

Aptitude à discriminer les pratiques



Aptitude
élevée

Aptitude
faible



Microbioterre : choix des indicateurs

Tableau : Synthèse des critères de choix des indicateurs

Dans incertitude je garderai dans le titre que incertitude spatiale

Comparaison pratique vs témoin

Etude variabilité réseau

Indicateurs retenus

Variables	Scores toutes pratiques	Incertitude : variabilité spatiale et analytique 1 : Faible variabilité spatiale (< seuil CV) 2 : Forte variabilité spatiale (> seuil CV)	Technicité et appareillage 1 : facile à 3 : difficile	Délai analyse 1 : faible délai à 3 : délai élevé	Coût 1 : coût faible à 3 : coût élevé	Sol sec ou brut	Envoi / réception	Norme disponible 1 : norme 2 : méthodes publiées mais pas de norme 3 : différentes méthodes
C 50-200 (%)	20	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
C 0-50 (%)	14	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
C 200-2000 (%)	14	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
C 50-2000 (%)	14	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
Arylamidase (nmol/min/g)	14	1	1	1	2	Sol brut	3	1
N 50-200 (%)	13	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
Biomasse microbienne (mg/kg)	13	1	3	2	3	Sol brut	2	1
C oxydé (mg/kg)	12	1	1	1 (2 à 3 semaines)	1	Sol sec	1	2
ABM (mg/kg)	12	1	1	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol brut	2 à 3	2
C org (%)	11	1	1	1 (2 semaines)	1	Sol sec	1	1
N 0-50 (%)	11	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
N 50-2000 (%)	11	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
Activité protéase (nmol/min/g)	11	1	2	1	2	Sol brut	3	2
LAP (nmol/min/g)	11	1	2	1	2	Sol brut	3	2
N total (%)	10	1	1	1 (2 semaines)	1	Sol sec	1	1
18S (copies/g)	10	2	2	1	1	Sol brut	3	3
Glucosidase (nmol/min/g)	10	1	1	1	1	Sol brut	3	1
C org Rock-Eval (g/kg)	9	1	3	3	3 (120 - 150 euros)	Sol sec	1	2
Carbone actif (g/kg)	8	1	3	3	3 (120 - 150 euros)	Sol sec	1	2
C labile 20 ans (g/kg)	8	1	3	3	3 (120 - 150 euros)	Sol sec	1	2
N 200-2000 (%)	8	1	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1
N minéralisé (mg/kg 28 j)	7	1	2	3	3 (70 - 100 euros)	Sol brut	2	1
Ergostérol total (mg/kg)	6	1	3	1	2	Sol congelé (-80°)	3	2
16S (copies/g)	5	2	2	1	3	Sol brut	3	3
APM (mg/kg)	5	1	2	2	2	Sol sec	1	2
C minéralisé (mg/kg 28j)	5	2	2	3	3 (70 - 100 euros)	Sol brut	2	1
ADN total (µg/g)	4	1	1	1	1	Sol brut	3	2
Ergostérol libre (mg/kg)	4	1	3	1	2	Sol congelé (-80°)	3	1
FDA (nmol/min/g)	4	1	1	1	1 à 2 (40 euros)	Sol brut	3	2
C stable 100 ans (g/kg)	2	1	3	3	3 (120 - 150 euros)	Sol sec	1	2

Prix 2019



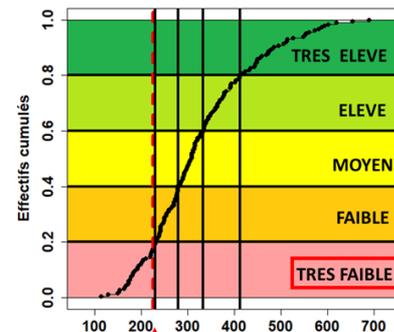
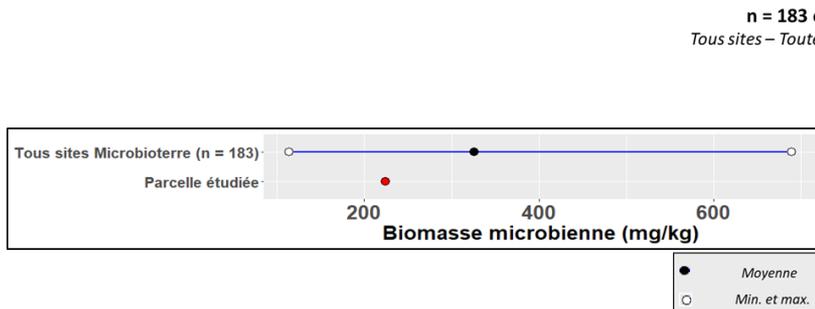
Comment interpréter ces indicateurs ?

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

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)	+	+						+				+			

Chacun des processus sont décrits dans le guide

Lien Indicateur / Fonction

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



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

Indicateurs du Menu Microbioterre		PRO	Couverts intermédiaires	Réduction travail du sol	Rotation	Systèmes de culture	
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	16%	6%	2%	2%	4%
		C 0-50 (%)	-4%	-3%	-2%	1%	-1%
		C 50-200 (%)	35%	42%	3%	-5%	10%
		C 200-2000 (%)	16%	27%	10%	-3%	13%
		C 50-2000 (%)	27%	37%	22%	-4%	10%
		C labile oxydé (mg/kg)	32%	2%	6%	13%	7%
	Azote	N total (%)	19%	5%	4%	13%	5%
		N 0-50 (%)	-3%	0%	0%	1%	-1%
N 50-200 (%)		40%	10%	6%	-8%	10%	
N 50-2000 (%)		34%	6%	5%	-12%	13%	
Indicateurs microbiologiques	Abondance	Biomasse microbienne (mg/kg)	38%	7%	7%	23%	20%
		18S (copies/g)	82%	29%	42%	65%	4%
	Activités	ABM (mg/kg)	36%	12%	-1%	8%	1%
		Protéase (nmol/min/g)	26%	11%	-9%	7%	15%
		Leucine amino-peptidase (nmol/min/g)	22%	9%	1%	18%	12%
		Arylamidase (nmol/min/g)	36%	17%	10%	30%	21%
		Glucosidase (nmol/min/g)	11%	-6%	-20%	24%	14%

- Combiné à une méta-analyse (147 articles)
- Rotation : allongement/introduction de légumineuses
- SdC : Bio, TCS, bas niveaux d'intrants...



Pratique culturale impactant positivement l'indicateur

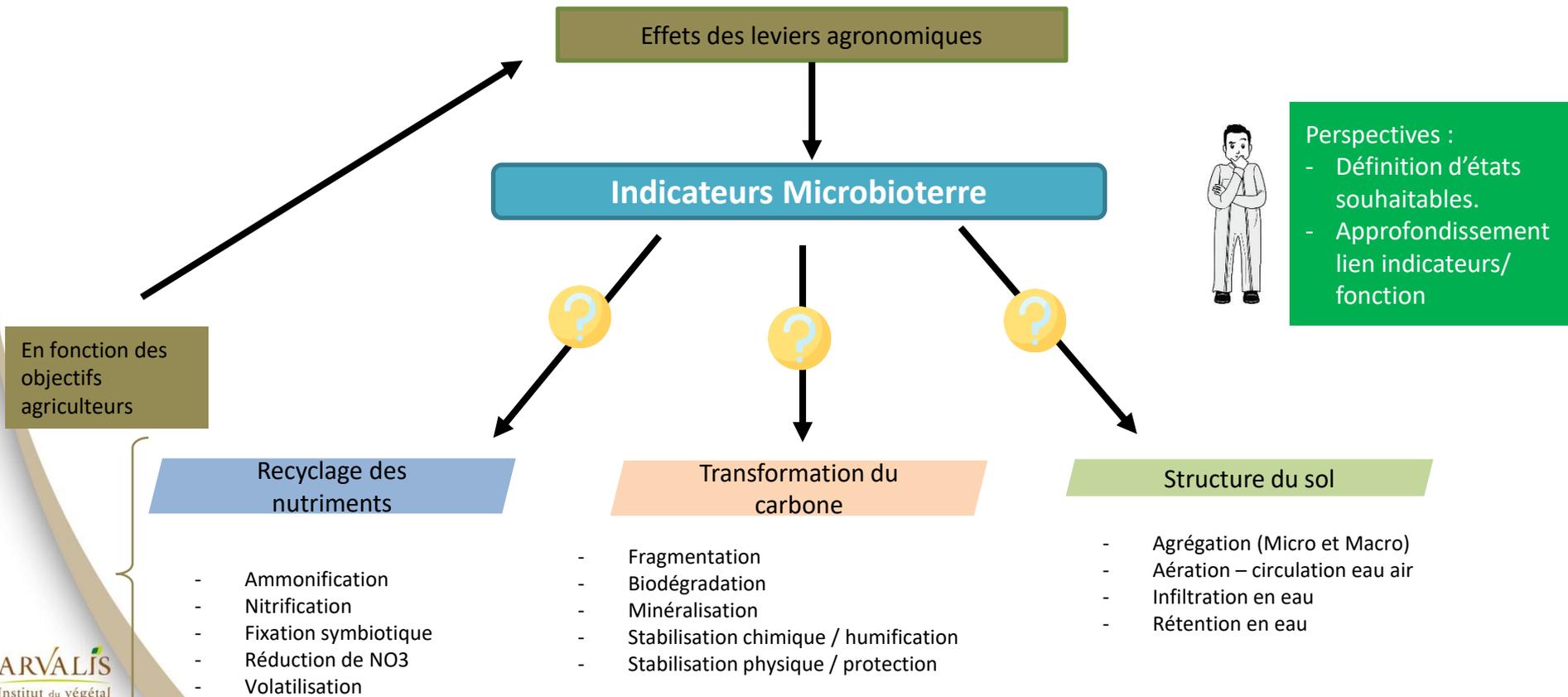
Pratique culturale influençant peu l'indicateur

Pratique culturale impactant négativement l'indicateur



Comment interpréter ces indicateurs ?

Schéma d'interprétation



Perspectives :

- Définition d'états souhaitables.
- Approfondissement lien indicateurs/ fonction



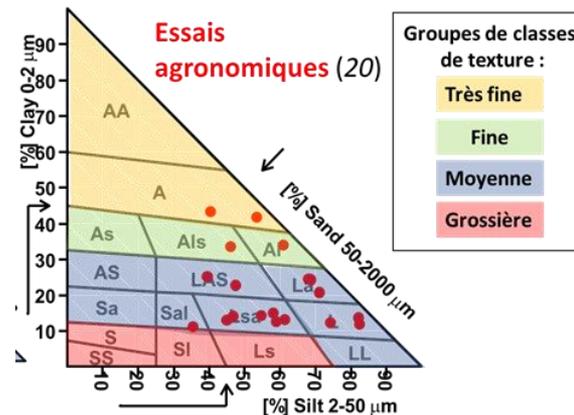
Création d'un référentiel

Gamme de variation des situations pédologiques

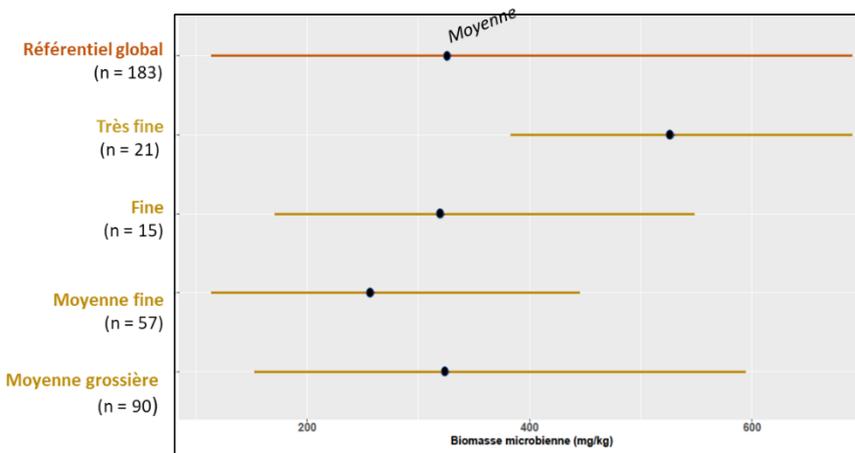
Indicateurs	Mediane	Mini	Maxi
MO (%)	2.18	1.26	5.15
Teneur en calcaire (%)	0.1	0.1	13.2
pH eau	7.2	6	8.4
Teneur en argile (en %)	17.7	7.8	47.2

$n = 183$

- 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

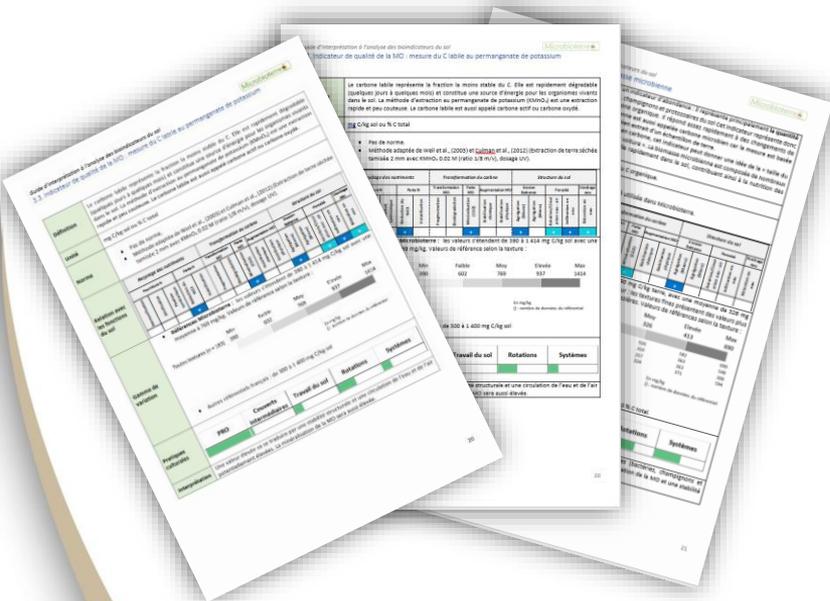




Fiche indicateur et référentiel Microbioterre

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="5">Recyclage des nutriments</th> <th colspan="3">Transformation du carbone</th> <th colspan="2">Structure du sol</th> <th>Stockage eau</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Fourniture N</th> <th colspan="3">Parte N</th> <th>Transformation MO</th> <th>Perte MO</th> <th>Augmentation MO</th> <th>Erosion Battance</th> <th>Porosité</th> <th>Stockage eau</th> </tr> <tr> <th>Ammonification</th> <th>Nitrification</th> <th>Fixation symbiotique</th> <th>Réduction du NO3</th> <th>Volatilisation</th> <th>Fragmentation</th> <th>Biofractionation</th> <th>Minéralisation (CO2)</th> <th>Stabilisation chimique</th> <th>Stabilisation physique</th> <th>Aggrégation (Micro)</th> <th>Porosité</th> <th>Stockage eau</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tr> </tbody> </table>										Recyclage des nutriments					Transformation du carbone			Structure du sol		Stockage eau	Fourniture N		Parte N			Transformation MO	Perte MO	Augmentation MO	Erosion Battance	Porosité	Stockage eau	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biofractionation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Aggrégation (Micro)	Porosité	Stockage eau	+	-						+			+		
Recyclage des nutriments					Transformation du carbone			Structure du sol		Stockage eau																																																
Fourniture N		Parte N			Transformation MO	Perte MO	Augmentation MO	Erosion Battance	Porosité	Stockage eau																																																
Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biofractionation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Aggrégation (Micro)	Porosité	Stockage 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> <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: #90EE90;"></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.																																																									



Livrables principaux et communication

Déjà accessible

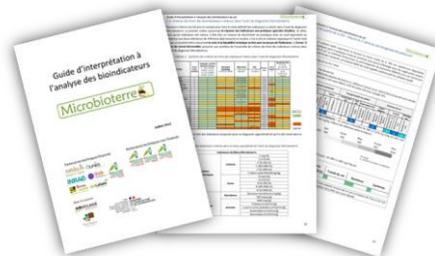
- Livrables méthodologiques
 - Cahier des charges de sélection des essais
 - Liste des essais et modalités retenues
 - **Mode opératoire de prélèvement**
- Support de communication (colloque de restitution, journées COMIFER-GEMAS, posters scientifiques,...)

Bientôt accessible (Janvier 2025)

- Compte-Rendu des travaux relation indicateur/fonction
- Inventaire des publications étudiées
- Base de données analyses
- Base de données complètes (sous conditions)

Guide d'interprétation à l'analyse des bioindicateurs

- Vocation à diffusion large
 - Site internet Arvalis, Terres Inovia...
 - Modules de formation
- Via le COMIFER ?





Plan du Guide

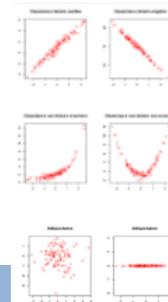
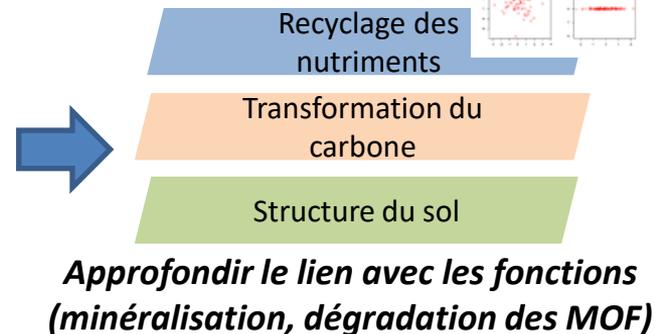
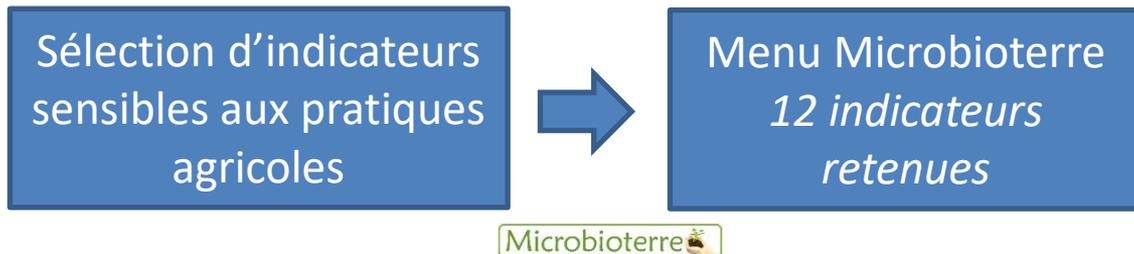
1. Démarche de diagnostic
 - 1.1. Intérêt du diagnostic microbiologique
 - 1.2. Cycle des matières organiques
 - 1.3. Positionnement des indicateurs biologiques dans le diagnostic global de fertilité
 - 1.4. Recommandations pour la mobilisation des indicateurs microbiologiques
2. Bioindicateurs
 - 2.1. Indicateur de microbiologie du sol
 - 2.2. Indicateurs de qualité des matières organiques
 - 2.3. Intérêt des bioindicateurs mesurés en laboratoire
 - 2.4. Critères de choix des bioindicateurs retenus dans l'outil de diagnostic Microbioterr
 - 2.5. Référentiel d'interprétation des indicateurs
 - 2.6. Relation des indicateurs avec les fonctions et les processus des sols
 - 2.7. Relation indicateurs / fonctions / processus
 - 2.8. Relations indicateurs / leviers agronomiques
3. Fiches bioindicateurs
4. Mode opératoire de prélèvement, de conditionnement et d'envoi d'échantillons de terre en vue d'une analyse d'indicateurs microbiologiques





Perspectives

- **Relation indicateurs/fonctions**



- **Elargissement/renforcement du référentiel**

- Approfondir la réponse aux indicateurs dans les contextes agro-pédoclimatiques
- À moyen-terme
 - Harmoniser les méthodes
 - intérêt d'établir une base commune pour harmoniser les conseils ?



Merci de votre attention



Quel implication/accompagnement du GT FOrBS dans la
sortie du guide ?