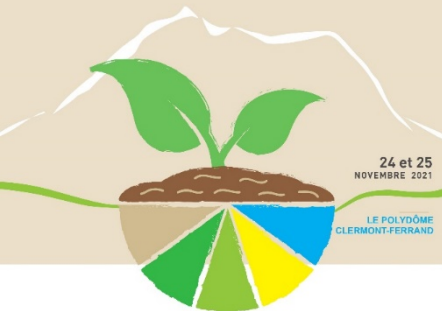


# 15<sup>È</sup> RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE  
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée



**Bennegadi-Laurent Nadia<sup>1</sup>, Cusset Elodie<sup>1</sup>, Barbot Christophe<sup>2</sup>, Bouthier Alain<sup>8</sup>, Houot Sabine<sup>3</sup>, Leclerc Blaise<sup>4</sup>, Perrin Anne-Sophie<sup>5</sup>, Recous Sylvie<sup>6</sup>, Riah-Anglet Wassila<sup>1</sup>, Roussel Pierre-Yves<sup>7</sup>, Soenen Baptiste<sup>8</sup>, Trinsoutrot-Gattin Isabelle<sup>1</sup>, Valé Matthieu<sup>9</sup>**

<sup>1</sup>UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, <sup>2</sup>Chambre d'agriculture d'Alsace, <sup>3</sup>INRAe – AgroParisTech UMR ECOSYS,

<sup>4</sup>ITAB, <sup>5</sup>TERRES INOVIA, <sup>6</sup>INRAe – URCA UMR FARE, <sup>7</sup>Chambre d'agriculture de Bretagne, <sup>8</sup>ARVALIS, <sup>9</sup>AUREA AgroSciences

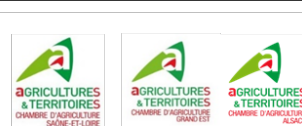
## Pilote



## Partenaires financés



## Partenaires non financés



## Soutien



# Projet MICROBIOTERRE

Evaluation d'indicateurs de microbiologie des sols en vue de les intégrer dans l'analyse de terre de routine, pour améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage



# Pourquoi Microbioterre ?

- Quels indicateurs choisir pour évaluer la fertilité biologique des sols en lien avec les fonctions de dégradation des matières organiques et le recyclage de nutriments ?
- Comment interpréter ces mesures d'indicateurs :
  - Besoin d'un référentiel
  - Besoin de clarifier les relations Indicateurs microbiologiques / Fonctions
- Quelles pratiques mettre en œuvre pour augmenter les fonctions des sols selon les objectifs spécifiques de l'agriculteur ?



# Démarche Microbioterre

Articles bibliographiques 147 articles	Etat de l'art : Réponse des indicateurs à 6 pratiques culturales
	Méta-analyse
Essais agronomiques 20 essais	Choix indicateurs du menu MicrobioTerre
	Sélection du <i>minimum data set</i>
	Interprétation des résultats
	<b>Référentiels d'interprétation : <u>1<sup>ère</sup> phase de construction du référentiel</u></b>
	Leviers agronomiques
	<b>Pratique(s)</b> impactant chaque indicateur
Articles bibliographiques 80 articles	Liens indicateurs – 3 fonctions (16 sous-fonctions)
	Proposition d'indicateurs à mesurer pour une <b>fonction à optimiser</b>
Parcelles agriculteurs 26 parcelles	Référentiel complété et déploiement test du menu
	<b>Déploiement du menu &amp; interprétation</b> <b><u>2<sup>ème</sup> phase de construction du référentiel</u></b>
Diagnostic	Conseil
	Lien <b>objectifs agriculteur / pratiques culturales</b>

Liens  
*Indicateurs –  
Pratiques  
culturales*

Liens  
*Indicateurs -  
Fonctions*





# Evaluation des indicateurs : exemple de l'aptitude à discriminer les pratiques

	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)						



2 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

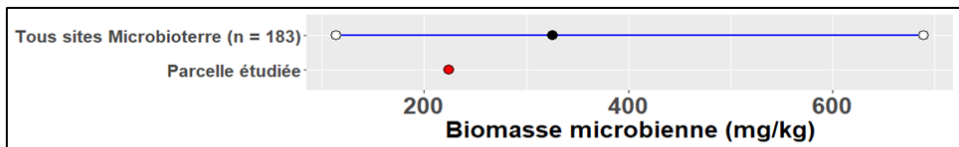
Aptitude faible

Source : analyse statistique des 183 mesures réalisées dans 20 essais agronomiques

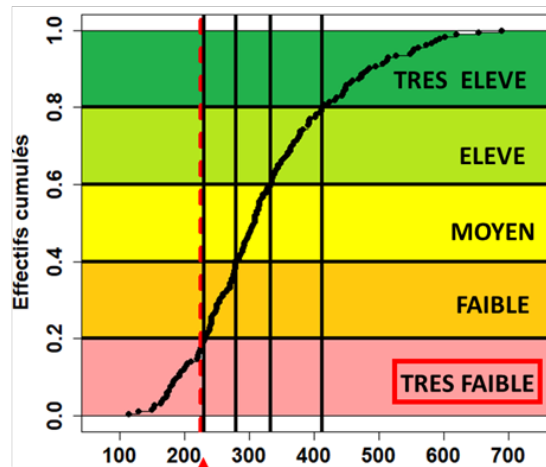
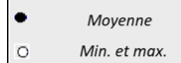


# Positionnement relatif de l'indicateur

- Création d'un référentiel pour le positionnement relatif des indicateurs
  - Basé sur
    - 209 mesures
    - 20 essais + 26 parcelles agriculteurs
    - Systèmes grandes cultures
  - Tout type de sol / classe texture



*Exemple de présentation de résultat*



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

*Exemple de présentation de résultat*



# Interpréter la valeur de l'indicateur : fonction reliée

## Méta-analyse de 80 publications scientifiques

Indicateurs	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	Aggrégation (Macro)	Aggrégation (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 50-2000 µm (%)								+		+					
C KMnO4 (mg/kg)				+		-	-	+			+		+	+	+
N total (%)	+	+	+												
N 0-50 µm (%)															
N 50-200 µm (%)	+	+													
N 50-2000 µm (%)															
C microbien (mg/kg)	+			+				+			+				
18S (copies/g)											+				
Protéase (nmol/min/g)	+	-						+			+				
LAP (nmol/min/g)															
ARYLN (nmol/min/g)	+														
ABM (mg/kg)	-				+						+				
B-Glu (nmol/min/g)	+	+						+			+				

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		

**-Niveau de l'indicateur**  
(dans référentiel)

**-Relation indicateur – fonction** (bibliographie)

→ Lien entre  
niveaux indicateur &  
niveau fonction à  
optimiser

# Relation indicateurs / pratiques culturales

## Conseil sur les leviers à choisir

**Essais Microbioterre : Valeurs relatives moyennes**  
Modalité pratique vs. modalité référence

Indicateurs du menu Microbioterre		PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes	
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	+16.2%	+6.1%	+1.5%	+1.6%	+4.4%
		C 0-50 (%)	-3.5%	-2.7%	-1.8%	+0.6%	-1%
		C 50-200 (%)	+35.4%	+41.9%	+29.5%	-4.9%	+9.9%
		C 200-2000 (%)	+15.7%	+27.1%	+9.9%	-3%	+13.3%
		C 50-2000 (%)	+27.4%	+37.3%	+22.3%	-4%	+9.6%
	C oxydé (mg/kg)	+32.1%	+1.9%	6%	+12.6%	+6.7%	
	Azote	N total (%)	+18.5%	+5.3%	+3.7%	+13.2%	+4.6%
		N 0-50 (%)	-2.6%	-0.3%	-0.4%	+0.9%	-1%
		N 50-200 (%)	+40.4%	+9.8%	+5.9%	-8.4%	+9.5%
		N 50-2000 (%)	+34.2%	+6.4%	+5.3%	-12.3%	+12.8%
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)	+38.1%	+6.5%	+6.8%	+22.9%	20%
		18S (copies/g)	+82.4%	+28.8%	+41.7%	+65.1%	4%
	Activités	Protéase (nmol/min/g)	+25.9%	+11.4%	-9%	+7.3%	+15.4%
		Leucine amino-peptidase (nmol/min/g)	+22.3%	+9.4%	+1.3%	+18%	+11.8%
		Arylamidase (nmol/min/g)	+36.1%	+16.6%	+10.3%	+29.7%	+20.5%
		ABM (mg/kg)	36%	+11.6%	-1.4%	+8.2%	+0.6%
Glucosidase (nmol/min/g)	+10.5%	-6.3%	-20%	+24.2%	+13.8%		

*Exemple* : Indicateur **Corg**

→ Pratique de **la + à la – impactante** :

**PRO** > Couverts > Systèmes > Rotations > Travail sol



Pratique culturale impactant *fortement* l'indicateur

Pratique culturale impactant *faiblement* l'indicateur

**Par indicateur du menu**

→ Pratiques : De la + à la – impactante

**Proposition de leviers agronomiques** en fonction du *contexte agronomique*

# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

## 1. Connaitre le contexte de la parcelle et objectifs de l'agriculteur

	Année récolte	n-3	n-2	n-1	n	Objectifs exploitant
	culture	maïs grain	blé tendre hiver	colza hiver	blé tendre hiver	Maintien de la rotation, rendements moyens sur colza (semis plus précoce à prévoir)
Travail du sol à l'interculture (de la récolte au semis inclus)	Type de travail du sol le plus profond	Déchaumage	déchaumage	déchaumage	déchaumage	Maintenance en non labour. Limitation du nb de passages de travail du sol.
	Profondeur travail le plus profond (cm)	12	10	10	10	
	Type d'outil	Canadien	Canadien	Canadien	Canadien	
	Nb de passages de travail du sol entre récolte précédent et semis compris	3	2	2	2	
Travail du sol après semis	Type	aucun	aucun	aucun	aucun	Introduction du désherbage mécanique sur maïs ?
	Nombre de passages					
Culture principale	Type d'organe récolté	Grain	Grain	Grain	Grain	Exportation/valorisation extérieure des pailles ?
	Rendement récolte (t/ha ou 1MS/ha) aux normes	12.33	7.53	2.42	8.91	
	Devenir des résidus	cannes broyées	paille broyée	paille broyée	paille broyée	
CIPAN, CIVE, culture dérobée et repousses	Composition	Phacélie	non concerné	repousses de céréales	repousses de colza	Tester l'introduction de couverts courts (sarrasin entre blé et colza) Augmenter la biomasse du couvert entre blé et maïs en semant plus tôt. Viser un semis plus précoce de couvert après céréales.
	Estimation de la biomasse	Moyenne (21Tms/ha)		Faible (1Tms/ha)	Faible (1.5Tms/ha)	
	Date de levée	1/9		5/8	5/8	
	Date destruction	1/3		4/9	01/10	
	Mode de destruction	Chimique		chimique	chimique	
	Devenir de la biomasse	restituée		restituée	restituée	
	Mode incorporation dans le sol	canadien		canadien	canadien	
Couvert associé à la culture	Couvert ou culture	Aucun	aucun	aucun	aucun	
Produits résiduels organiques (PRO) : produit 1	Type de PRO	fumier volaille	fumier volaille	fumier volaille	fumier volaille	Manque de disponibilité du fumier de volaille à moyen terme. Echange paille/fumier à renégocier.
	Quantité apportée (t/ha de matière brute MB)	9	9	6	8,5	
	% M.S	52,2	50,6	44,4	79,7	
	C total % de MB	336	392	140	305	
	N total % de MB	23,9	21,5	21	22,8	
	C/N	14	18,2	6,6	13,3	
	mois d'épandage de PRO	avril	mars	septembre	Mars	
Amendement	Type	pas d'amendement				pH entretenu par les apports de
Fertilisation minérale	N (kg/a)					Ajuster les apports minéraux après analyse du lot de fumier de volaille épandu et/ou vérifier les niveaux de rendements sur zone témoin sans apport
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	0	60	90	70	
	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	0	0	0	0	
		0	0	0	0	

- Historique des pratiques culturales
- Objectifs de l'agriculteur





# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

## 2. Test bêche, prélèvement et envoi des échantillons



- Test bêche : connaître l'état structural du sol et niveau tassement
- Prélèvement de terre pour envoi au laboratoire

Horizon 1 test bêche					
Profondeur sup	Profondeur inf	% terre fine + mottes $\Gamma$	% de mottes $\Delta b$	% de mottes $\Delta$	Classe
0	22	80	10	10	1
0	22	85	10	5	1
0	22	85	10	5	1



# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

## 3. Résultats des mesures au laboratoire

- Positionnement relatif dans le référentiel

Indicateurs	Valeur absolue	Niveau référentiel global	Niveau référentiel breton	Recyclage des nutriments		Transformation du C			Structuration du sol		
		n = 209 obs	n = 53 obs	Fournitures d'azote	Pertes d'azote	Transformation	Perte	Augmentation	Erosion / battance	Porosité	Stockage d'eau
C microbien par fumigation (mg/kg)	450	<i>Très élevé</i>	<i>Très élevé</i>	++	++		++		++		
C oxydé KMnO4 (mg/kg)	1110	<i>Très élevé</i>	<i>Elevé</i>	++	++	--	++		++	++	++

### Légende

++	Très élevé
+	Elevé
+/-	Moyen
-	Faible
--	Très faible
	ND

# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

## 3. Résultats des mesures au laboratoire

Indicateurs	Valeurs indicateurs	Niveaux indicateurs		Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
		TCS & Fumier de volaille	Référentiel global (n = 209 obs.)	Référentiel breton (n=53 obs.)	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
C org (%)	2,2	Très élevé	Elevé	+	+		+				+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)	83,6	Faible	Faible									+						
C 50-200 µm (%)	10,5	Très élevé	Très élevé								+		+	+				
C 200-2000 µm (%)	5,9	Elevé	Elevé								+		+					
C 50-2000 µm (%)	16,4	Elevé	Elevé															
C KMnO4 (mg/kg)	1110,0	Très élevé	Elevé				+		-	-	+			+		+	+	+
N total (%)	0,22	Très élevé	Elevé	+	+	+												
N 0-50 µm (%)	85,9	Très faible	Très faible															
N 50-200 µm (%)	9,1	Très élevé	Très élevé	+	+													
N 50-2000 µm (%)	14,1	Très élevé	Très élevé															
C microbien (mg/kg)	449,9	Très élevé	Très élevé	+			+				+			+				
18S (copies/g)	3,8E+12	Très élevé	Très élevé											+				
Protéase (nmol/min/g)	10,6	Très élevé	Très élevé	+	-						+			+				
LAP (nmol/min/g)	10,0	Moyen	Elevé															
ARYLN (nmol/min/g)	4,7	Moyen	Très élevé	+														
ABM (mg/kg)	26,7	Elevé	Elevé	-				+						+				
B-Glu (nmol/min/g)	30,3	Très élevé	Très élevé	+	+						+				+			



# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

## 4. Pour aller plus loin, vers un diagnostic agronomique

Indicateur	Référentiel régional	VALEUR	Référentiel régional	Référentiel national	Optimum à viser	commentaires
C/N		9.77	Faible	Elevé	10	Valeur correcte pour la région. Il y a un bon équilibre entre minéralisation des MO et humification
C/N 0-50 (µm)		9.50	Faible	Elevé	8-10	Humus évolués fonctionnels qui minéralisent bien
C/N 50-2000 (µm)		11.37	Très faible	Très faible	10-15	Energie biologique disponible avec consommation potentiellement rapide (à entretenir), minéralisation de N normale
C oxydé KMnO4 / C org (%)		5.11	Elevé	Faible	?	Proportion de carbone labile élevée pour la région, mais faible en référence nationale due au fort taux de MO
C microbien / C org (%)		2.07	Elevé	Faible	>2-3%	La taille du compartiment microbien est à un niveau élevé pour la région, faible en référence nationale. Eviter les pratiques délétères (tassement, contaminants. ...)

Etats souhaitables (optimums) qui doivent encore être définis en exploitant le lien entre indicateurs et fonctions

Recommandations de leviers à mettre en place, pour atteindre l'état souhaitable qui doivent être automatisées, en intégrant les objectifs de l'agriculteur



# Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

## 5. Synthèse et plan d'action agriculteur

- Synthèse :
  - Nombreux indicateurs présentent une valeur élevée dans le référentiel
  - Point d'attention : fournitures N élevées → perte potentielle N par lixiviation
- Plan d'action selon les objectifs de l'agriculteur : remplacer apports fumier par couverts végétaux ?
  - Couvert court entre blé et colza
  - Couvert associé avec colza (trèfle blanc) qui resterait pour le blé (si SD)
  - Viser davantage de biomasse en interculture longue ou double couvert



# Synthèse et perspectives du projet Microbioterre

- De réelles avancées :
  - Indicateurs évalués sur grandes cultures (2018 et 2021)
  - Référentiel pour le positionnement relatif établi
  - 47 relations indicateurs / fonctions et manques identifiés
  - Relations indicateurs / pratiques établies
- Perspectives :
  - Etoffer le référentiel d'interprétation
  - Relations indicateurs / fonctions à approfondir
  - Etat souhaitable à poursuivre

# SAVE the DATE

Jeudi 13 janvier  
2022

**UniLaSalle**  
Terre & Sciences  
**CAMPUS**  
**Rouen**  
« Présentiel uniquement »



**Microbioterre** 

Séminaire de restitution du projet

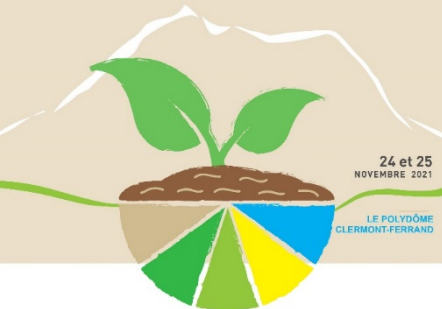
**Projet Casdar Microbioterre : intégrer des indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre de routine des parcelles agricoles**



\* sauf évolution contraire de la situation sanitaire

# 15<sup>È</sup> RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE  
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée



## Merci de votre attention

**Bennegadi-Laurent Nadia<sup>1</sup>, Cusset Elodie<sup>1</sup>, Barbot Christophe<sup>2</sup>, Bouthier Alain<sup>8</sup>, Houot Sabine<sup>3</sup>, Leclerc Blaise<sup>4</sup>, Perrin Anne-Sophie<sup>5</sup>, Recous Sylvie<sup>6</sup>, Riah-Anglet Wassila<sup>1</sup>, Roussel Pierre-Yves<sup>7</sup>, Soenen Baptiste<sup>8</sup>, Trinsoutrot-Gattin Isabelle<sup>1</sup>, Valé Matthieu<sup>9</sup>**

<sup>1</sup>UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, <sup>2</sup>Chambre d'agriculture d'Alsace, <sup>3</sup>INRAe – AgroParisTech UMR ECOSYS,

<sup>4</sup>ITAB, <sup>5</sup>TERRES INOVIA, <sup>6</sup>INRAe – URCA UMR FARE, <sup>7</sup>Chambre d'agriculture de Bretagne, <sup>8</sup>ARVALIS, <sup>9</sup>AUREA AgroSciences

### Pilote



### Partenaires financés



### Partenaires non financés



### Soutien

