

15^È RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée



Bennegadi-Laurent Nadia¹, Cusset Elodie¹, Barbot Christophe², Bouthier Alain⁸, Houot Sabine³, Leclerc Blaise⁴, Perrin Anne-Sophie⁵, Recous Sylvie⁶, Riah-Anglet Wassila¹, Roussel Pierre-Yves⁷, Soenen Baptiste⁸, Trinsoutrot-Gattin Isabelle¹, Valé Matthieu⁹

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

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

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien



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

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



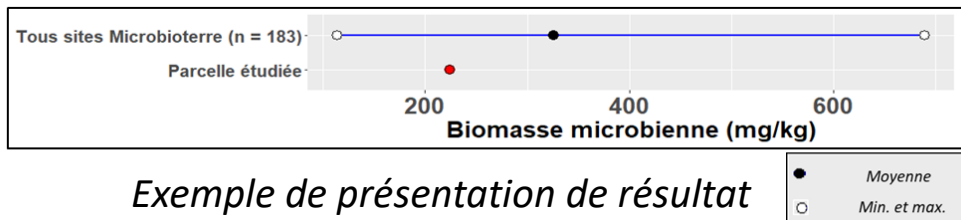
Aptitude
élevée

Aptitude
faible

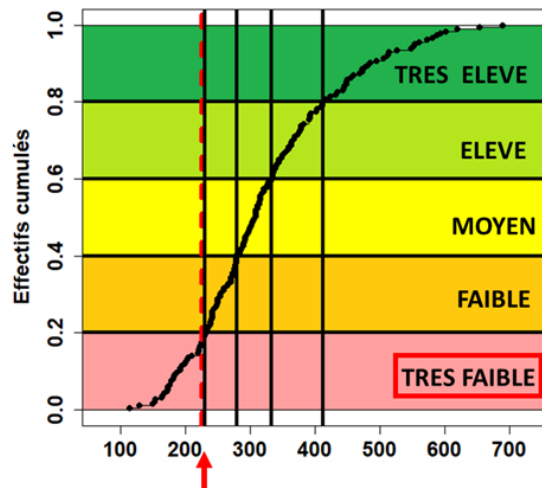
Source : analyse statistique des 183 mesures réalisées dans 20 essais agronomiques

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 NO ₃	Volatilisation	Fragmentation	Biodegradation	Minéralisation (CO ₂)	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 KMnO ₄ (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 culturelle impactant *fortement* l'indicateur

Pratique culturelle 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. Connaître 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	Maintien 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	
Travail du sol après semis	Nb de passages de travail du sol entre récolte précédent et semis compris	3	2	2	2	Introduction du désherbage mécanique sur maïs ?
	Type	aucun	aucun	aucun	aucun	
	Nombre de passages					
Culture principale	Type d'organe récolté	Grain	Grain	Grain	Grain	Exportation/valorisation extérieure des pailles ?
	Rendement récolte (t/ha ou 1 MS/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 (2Tms/ha)		Faible (1Tms/ha)	Faible (1.5Tms/ha)	
	Date de levée	1/9		5/8	5/8	
	Date de 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	Manque de disponibilité du fumier de volaille à moyen terme. Echange paille/fumier à renégocier.
	Type de PRO	fumier volaille	fumier volaille	fumier volaille	fumier volaille	
Produits résiduels organiques (PRO) : produit 1	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
	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 ₂ O ₅ (kg/ha)	0	0	0	0	
	K ₂ O (kg/ha)	0	0	0	0	

- Historique des pratiques culturales
- Objectifs de l'agriculteur



Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

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 Γ	% de mottes Δb	% de mottes Δ	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	Rétention 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 KMnO ₄ / 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



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^È RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée



Bennegadi-Laurent Nadia¹, Cusset Elodie¹, Barbot Christophe², Bouthier Alain⁸, Houot Sabine³, Leclerc Blaise⁴, Perrin Anne-Sophie⁵, Recous Sylvie⁶, Riah-Anglet Wassila¹, Roussel Pierre-Yves⁷, Soenen Baptiste⁸, Trinsoutrot-Gattin Isabelle¹, Valé Matthieu⁹

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

⁴ITAB, ⁵TERRES INOVIA, ⁶INRAE – URCA UMR FARE, ⁷Chambre d'agriculture de Bretagne, ⁸ARVALIS, ⁹AUREA AgroSciences

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien



Merci de votre attention