

# Séminaire de restitution du projet Microbioterre

9h00-9h15 - Mot d'accueil de la Direction d'UniLaSalle-Campus de Rouen/ Présentation du déroulé de la journée

9h15-12h05- Présentation du projet Casdar Microbioterre

- 9h15 : Génèse du projet – *Arvalis*
- 9h30 : Sites échantillonnés – *Terres Inovia*
- 9h45 : Indicateurs physico-chimiques et biologiques suivis – *UniLaSalle*
- 10h10 : Stratégie d'échantillonnage – *Aurea*

10h20 : Temps d'échanges

10h40-10h55 : Pause

- 10h55 : Résultats : Choix du menu Microbioterre – *UniLaSalle/INRAE*  
- Résultats « Liens indicateurs/ fonctions »      - Résultats « Liens indicateurs pratiques »

11h40 : Temps d'échanges

12h00 - 13h30 : Pause déjeuner

13h30- 16h30 - L'outil Microbioterre

- 13h30 : Recommandations pour le prélèvement des échantillons – *Aurea*
- 13h40 : Construction & évaluation du référentiel d'interprétation Microbioterre – *UniLaSalle*

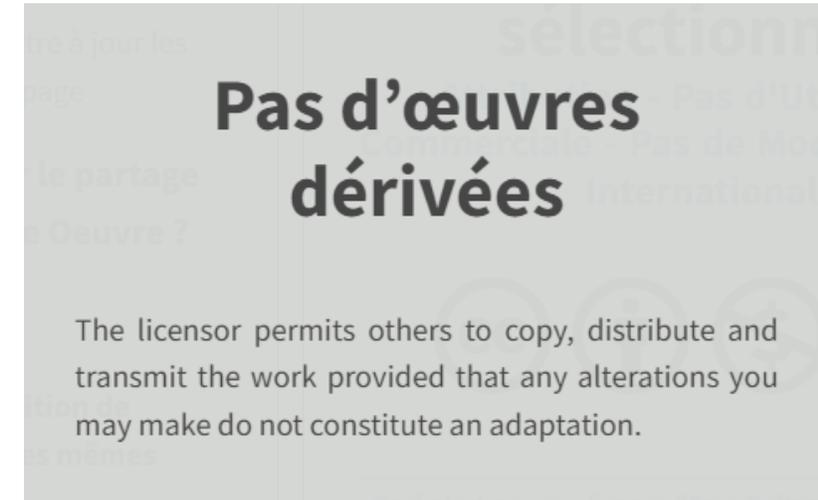
14h20 : Temps d'échanges

- 14h30 : Présentation de cas d'étude – *CA de Bretagne/ CA d'Alsace*
- 15h30 : Communication & Diffusion – *Arvalis*

15h40: Temps d'échanges

16h20-16h30 : Conclusion et Perspectives

16h30 : Clôture du séminaire



## Des indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre de routine

### « Présentation du projet Casdar Microbioterre »

**Barbot Christophe<sup>1</sup>, Bennegadi-Laurent Nadia<sup>2</sup>, Bouthier Alain<sup>3</sup>, Cusset Elodie<sup>2</sup>, Deschamps Thibaud<sup>4</sup>, Gendre Sophie<sup>3</sup>, Houot Sabine<sup>5</sup>, Leclerc Blaise<sup>6</sup>, Perrin Anne-Sophie<sup>7</sup>, Recous Sylvie<sup>8</sup>, Riah-Anglet Wassila<sup>2</sup>, Roussel Pierre-Yves<sup>9</sup>, Trinsoutrot-Gattin Isabelle<sup>2</sup>, Valé Matthieu<sup>10</sup>**

<sup>1</sup>Chambre d'agriculture d'Alsace, <sup>2</sup>UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, <sup>3</sup>ARVALIS, <sup>4</sup>PUR Projet, <sup>5</sup>INRAE UMR ECOSYS, <sup>6</sup>ITAB, <sup>7</sup>TERRES INOVIA, <sup>8</sup>INRAE, URCA UMR FARE, <sup>9</sup>Chambre d'agriculture de Bretagne, <sup>10</sup>AUREA AgroSciences

#### Pilote



#### Partenaires financés



#### Partenaires non financés



#### Soutien



# Génèse du projet

---

Gendre Sophie *et al.*



# Microbioterre – Génèse du projet

---

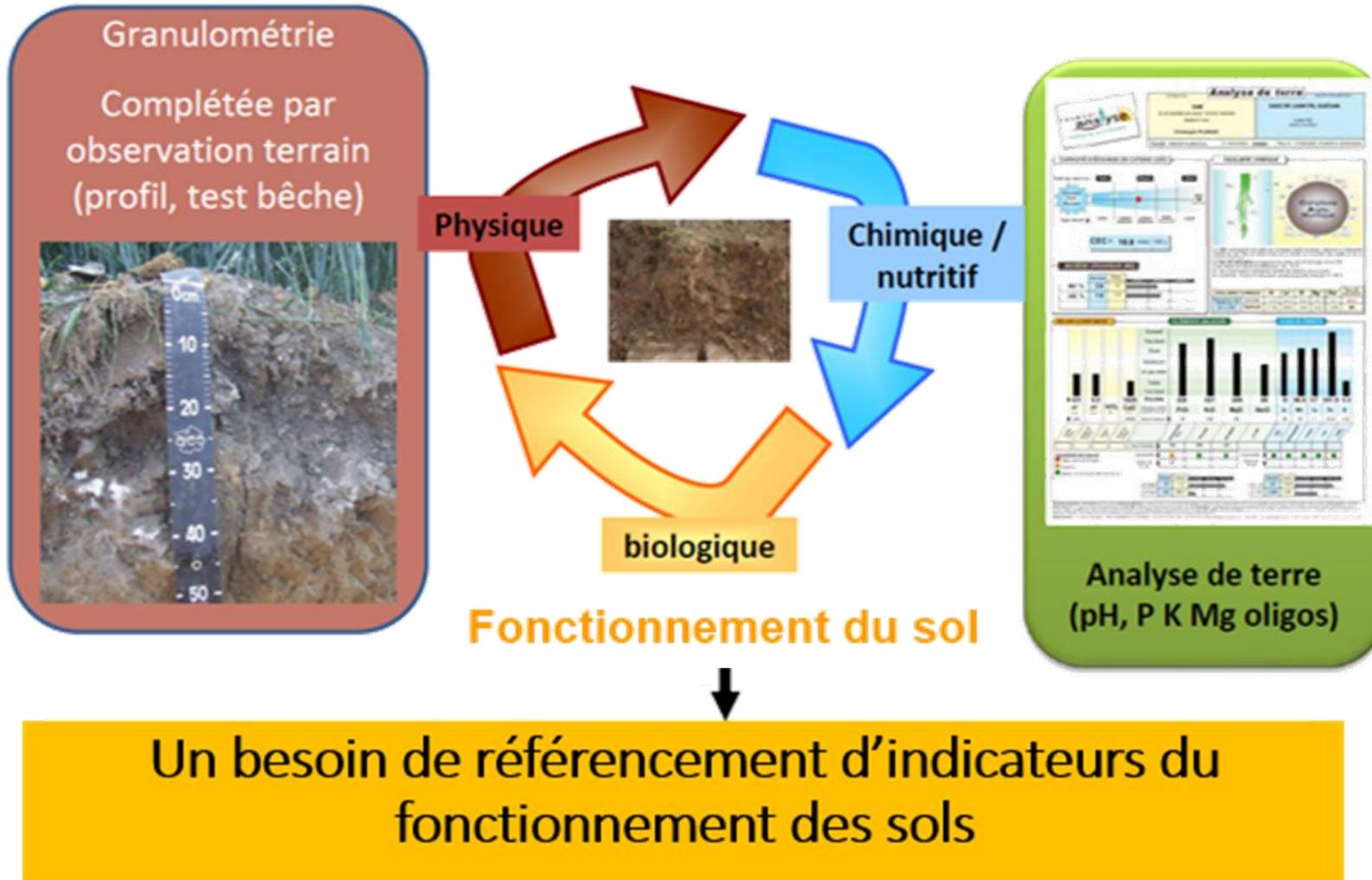
- ❖ Contexte global du projet
- ❖ Objectifs du projet
- ❖ Enjeux & questions du projet
- ❖ Organisation du projet

# Contexte du projet Microbioterre

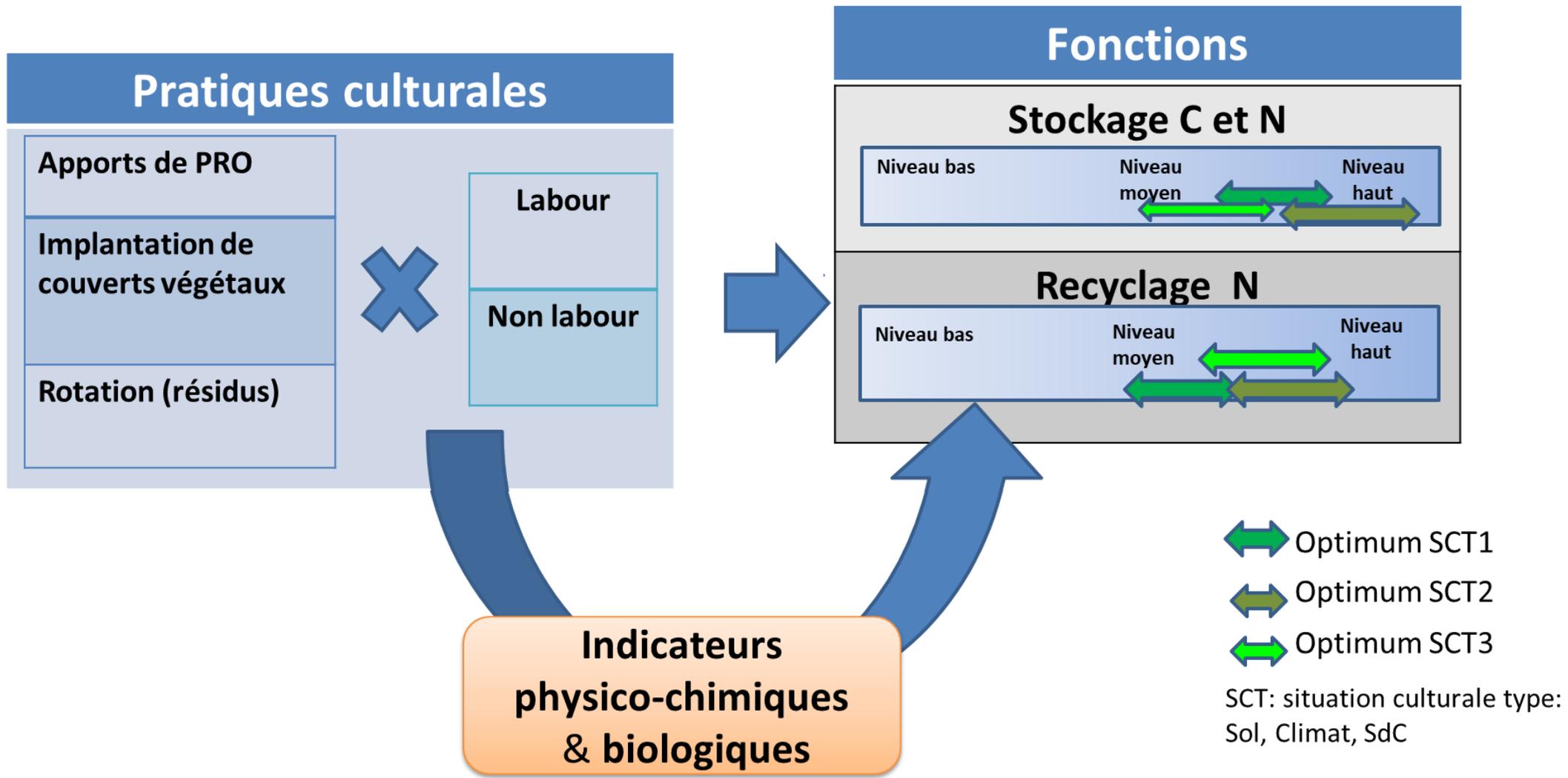
- ❖ Développer des pratiques favorables à un **fonctionnement biologique du sol** qui contribuent à un meilleur recyclage des nutriments, dont l'azote.
- ❖ **Réduction de la dépendance aux engrais minéraux** de synthèse des systèmes
- ❖ Volonté des agriculteurs de faire évoluer leurs systèmes de culture vers des **systèmes plus durables**



# Contexte du projet Microbioterre



# Contexte du projet Microbioterre



# Objectif du projet Microbioterre

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



# Enjeux du projet 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 évaluer et améliorer les fonctions des sols selon les *objectifs spécifiques de l'agriculteur* ?

# Microbioterre: 4 actions structurantes

**1/Valoriser les acquis antérieurs au projet : autres projets, bibliographie, expertise pour caler la démarche de diagnostic**

**2/Etude au champ des « réponses » des bio-indicateurs sur essais de longue durée**

*Référencer des indicateurs de microbiologie des sols en vue de les intégrer dans l'analyse de terre*

**3/Proposition d'un schéma interprétatif complet avec bio-indicateurs retenus et test en parcelle agricole**

**4/Diffusion et transfert des résultats, actions de formation**

# Microbioterre: Détails des actions & tâches

Actions	Tâches	Objet de la tâche	Responsables de tâches
Action 1	Tâche 1	Elaboration du cadre conceptuel du référencement à partir des expériences antérieures	UniLaSalle
	Tâche 2	Mise au point d'un mode opératoire (prélèvement, conservation des échantillons de terre) en vue d'analyses microbiologiques	AUREA-AGROSCIENCES
Action 2	Tâche 1	Construction du dispositif expérimental / plan d'échantillonnage	ARVALIS, CRAB, TERRES INOVIA
	Tâche 2	Acquisition de données sur les essais factoriels et systèmes	AUREA-AGROSCIENCES
Action 3	Tâche 1	Mise en base de données	UniLaSalle , TERRES INOVIA
	Tâche 2	Analyse de la sensibilité et de la pertinence des bioindicateurs vis-à-vis des fonctions retenues	UniLaSalle , ARVALIS
	Tâche 3	Bilan des tests méthodologiques complémentaires	AUREA-AGROSCIENCES
Action 4	Tâche 1	Rédaction d'un guide de diagnostic Microbioterre	CRAB, ARVALIS
	Tâche 2	Communication des résultats du projet	ARVALIS, TERRES INOVIA
	Tâche 3	Création de modules de formation	UniLaSalle

# Stratégie méthodologique

---

**Perrin Anne-Sophie, Bennegadi-Laurent Nadia et Valé Matthieu**



- ❖ Dispositifs expérimentaux étudiés
- ❖ Mesures effectuées
- ❖ Observations de terrain
- ❖ Stratégie d'échantillonnage
- ❖ Construction de la BDD Microbioterre

## Dispositifs expérimentaux étudiés



Perrin Anne-Sophie *et al.*



# Dispositifs étudiés : critères de sélection

- **Prospection des essais agronomiques existants**
- **Cahier des charges :**
  - Essais  $\geq$  5 ans
  - Sols homogènes
  - Essais à 2 ou 3 blocs (sauf exceptions)
  - Essais comportant un système de référence (conventionnel)
  - Connaissance précise de la gestion des matières organiques : restitutions cultures et couverts, quantité de PRO, etc...
  - $\geq$  1 date d'analyses de teneurs en carbone organique & azote total du sol
  - Profondeur de prélèvement et travail du sol le plus profond
  - Analyses physico-chimiques (parcelle ou bloc)
  - Présence d'hydromorphie, drainage
  - Historique simplifié sur 10 ans avant le début de l'essai
  - Années où présence d'irrigation

# Sites expérimentaux échantillonnés

Essais agronomiques  
Campagne 2017 - 2018

- 18 sites (20 essais)
- 61 modalités agronomiques
- Profondeur de prélèvement

0 – 20 cm

## Pratiques culturales :

Mises en place depuis minimum 5 ans

### 5 pratiques culturales :

#### Durée de la rotation

Rotation longue vs. Rotation courte (ref.)

#### Travail du sol

Travail superficiel ou SD vs. Labour (ref.)

#### Couverts Intermédiaires

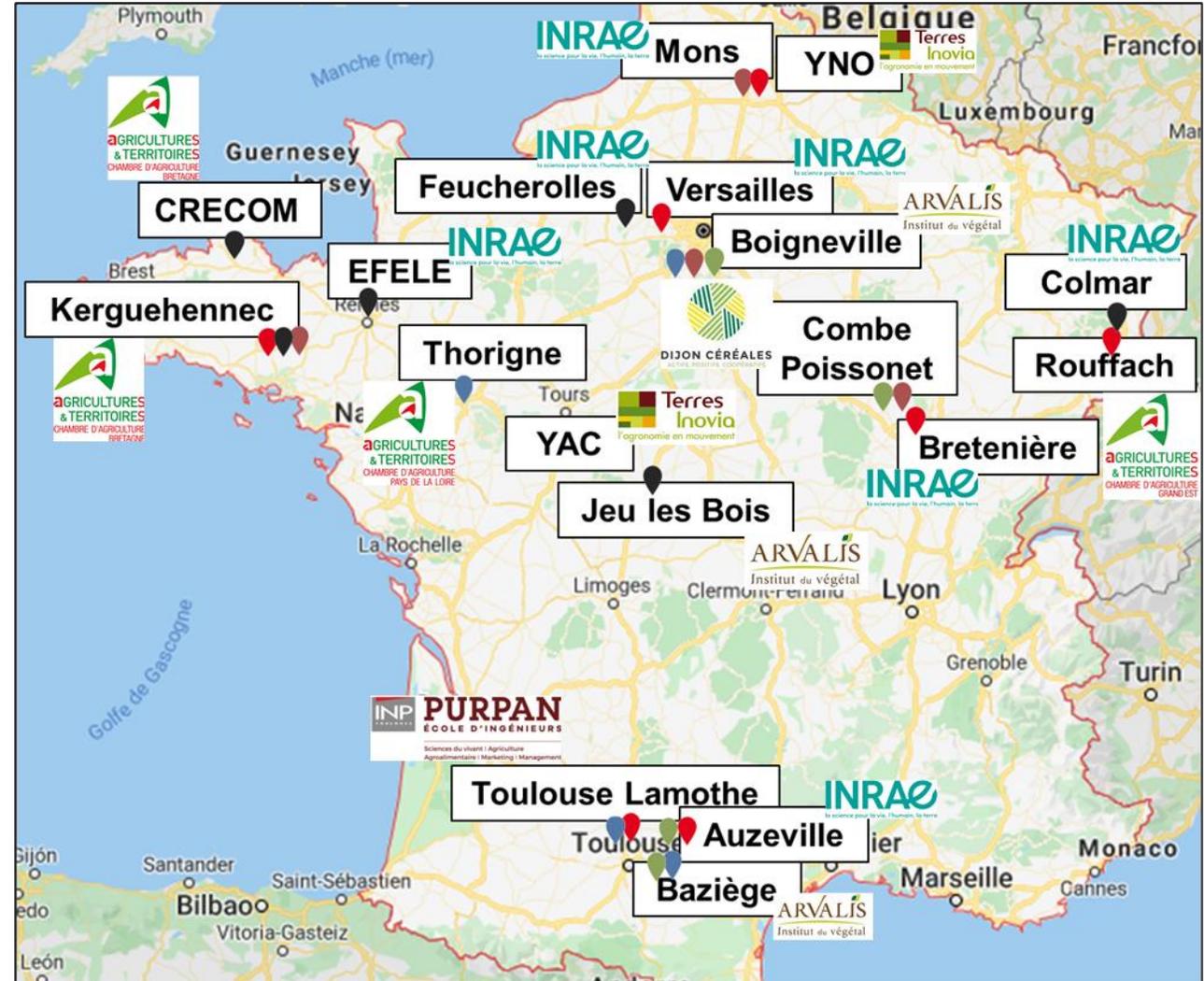
Avec vs. sans couverts (ref.)

#### Produits résiduaux organiques

Avec vs. sans apport PRO (ref.)

#### Systèmes de culture

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



# Sites expérimentaux échantillonnés

**Durée de la rotation**  
Rotation longue vs. Rotation courte (ref.)

- **Boigneville** : limon argileux  
2 ans (BTh, MG) vs 5 ans (Op, Op, BTh, MG, Op)
- **Thorigné** (Rotaleg BIO) : limon sableux  
3 ans (Fh, T, BTh) vs 7 ans (Fh, T, BTh, Luz., Luz, Fh)
- **Toulouse Lamothe** : limon argileux  
1 an MG vs 3 ans (MG, BTh, Soja)
- **Baziège** : limon argileux  
2 ans (BD, T) vs 8 ans (BD, T, Sorg, BD, Colz, Pois, BD, T)



BTh: blé tendre d'hiver, MG: maïs grain, Op: orge de printemps, Fh: féverole d'hiver, T: tournesol, Luz: luzerne, BD: blé dur, Colz: colza

# Sites expérimentaux échantillonnés

## Travail du sol

Travail superficiel ou SD vs. Labour (ref.)

- **Boigneville** : limon argileux  
**Semis direct vs labour**  
Op, Op, BTh, MG, Op
- **Mons** : limon profond  
**Travail superficiel vs labour** (<8cm)  
BTh, Colz, BTh, MG, Op
- **Combe Poissonnet** : argileux  
**Semis Direct (SD) vs labour**  
Op, BTh, Pois h, Oh, Colz, Op
- **Kerguehennec** : limon sableux  
**SD vs superficiel vs labour** (<12cm)  
Colz, BTh, MG, BTh



BTh: blé tendre d’hiver, MG: maïs grain, Op: orge de printemps, Fh: féverole d’hiver, T: tournesol, Luz: luzerne, BD: blé dur, Colz: colza

# Sites expérimentaux échantillonnés

## Couverts Intermédiaires

Avec vs. sans couverts (ref.)

- **Boigneville** : limon argileux  
couverts incluant des légumineuses ou des crucifères  
2 ans (BTh, MG) et 5 ans (Op, Op, BTh, MG, Op)
- **Combe Poissonnet** : argileux  
couverts incluant en majorité des légumineuses  
Op, BT, Pois h, Oh, Colz, Op
- **Auzeville** : limon argileux  
couverts incluant en majorité des légumineuses  
BD, Pois chiche, T, BD, Fh, T, BD, Fh
- **Baziège** : limon argileux  
2 ans (BD, T) vs 8 ans (BD, T, Sorg, BD, Colz, Pois, BD, T)



BTh: blé tendre d'hiver, MG: maïs grain, Op: orge de printemps, Fh: féverole d'hiver, T: tournesol, Luz: luzerne, BD: blé dur, Colz: colza; Sorg: sorgho

# Sites expérimentaux échantillonnés

## Produits résiduels organiques

Avec vs. sans apport PRO (ref.)

- **Colmar** : limon argileux  
**Boues d'épuration & Compost de boues**  
BTh, MG, Op, Bett, BTh, MG
- **Feucherolles** : limon  
**Fumier bovin & compost de biodéchets**  
MG, Op, Seigle, Oh, MG, BTh
- **EFELE** : limon  
**Fumier bovin et digestat origine agricole (liquide)**  
Maïs ensilage, BTh
- **CRECOM** : limon sableux  
**Fumier bovin** - Maïs ensilage
- **Kerguehennec** : limon sableux  
**Fumier volaille** - Colza, BTh, MG, BTh
- **Jeu les Bois** : sablo limoneux  
**Fumier bovin** - Maïs fourrage, BTh



Bett : betterave

# Sites expérimentaux échantillonnés

## Systemes de culture

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

- **Rouffach** : limon argileux  
MG (labour) vs BT, Soja, MG avec couvert (travail réduit)
- **Bretenière** : limon argileux  
BTh, Colz, Oh, BTh, Colz (labour)  
vs BTh, Colz, Triticale+Fh, BTh, soja (SD couvert)
- **Mons** : limon argileux  
BTh, Colz, Pois p, BTh, MG, Op  
labour ou travail superficiel & avec ou sans restitution paille
- **Versailles** : limon  
BTh, Pois h, BTh, Colz, BTh, Pois h (labour)  
vs BTh, Pois h, BTh, Colz, BTh, Pois p (avec luzerne en SD)



BTh: blé tendre d'hiver, MG: maïs grain, Oh ou Op: orge d'hiver/printemps, Fh: féverole d'hiver, T: tournesol, Luz: luzerne, BD: blé dur, Colz: colza; Sorg: sorgho

# Sites expérimentaux échantillonnés

## Systèmes de culture

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

- **CRECOM** : limon sableux  
Monoculture maïs ensilage vs Maïs ens., Ray gras anglais
- **Kerguehenec** : limon sableux  
Conventionnel (BTh, MG)  
vs SdC innovant (Colza, BTh, MG, BTh)  
vs Bio : tritic., Fh, trit.+pois fourr, sarrazin, BTH+Fh, MG, BTh
- **Toulouse Lamothe** : limon argileux  
Monoculture maïs grain vs 3 ans (MG, BT, Soja)
- **Auzeville** : limon argileux  
BD, T, Soj, BTh, Pois, T, BD, Tritical/Fp  
Conventionnel vs Bas intrants vs Couverts



BTh: blé tendre d'hiver, MG: maïs grain, Oh ou Op: orge d'hiver/printemps, Fh: féverole d'hiver, T: tournesol, Luz: luzerne, BD: blé dur, Colz: colza; Sorg: sorgho

# Indicateurs physico-chimiques et microbiologiques mesurés

Bennegadi-Laurent Nadia *et al.*



Laboratoires d'analyses :



## Caractérisation physico-chimique du sol

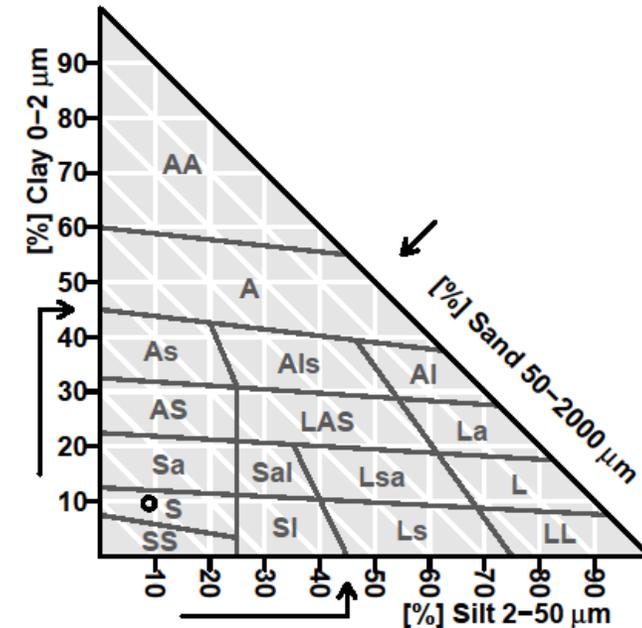
- **Texture** du sol (% sable, limon, argile)
- Teneur en **MO** (% MS)
- Capacité d'Échange Cationique (**CEC**) (meq/100g)
- Taux de **calcaire** (%)
- **pH eau**

## Humidité relative au moment du prélèvement

Niveau d'humidité par rapport au niveau optimal d'humidité

## Classes de texture du sol

Déterminées avec triangle des textures GEPPA



$$\text{Humidité relative au moment du prélèvement} = \frac{\text{Humidité (\% MS)}}{\text{Humidité à la capacité au champ (pF=2,5)}}$$

# Indicateurs physico-chimiques mesurés

Au total 15 indicateurs mesurés :

Variable		Description de la variable	Méthode de mesure ou de calcul	Laboratoire
Carbone C (10 indicateurs)	Carbone Organique	C org. total	Oxydation sulfochromique + spectrophotométrie (NF ISO 14235)	AUREA
	Carbone Organique Rock-Eval		Analyseur thermique Rock-Eval 6 (Vinci Technologies)	IRSTEA
	C fraction 50-200 µm	C org. labile	Fractionnement granulométrique : tamisage sous eau (NF X31-516)	AUREA
	C fraction 200-2000 µm			
	C fraction 50-2000 µm			
	Concentration de carbone labile à 20 ans		Modèle Soucémarianadin <i>et al.</i> (en préparation) (Rock-Eval 6)	IRSTEA
	Carbone actif Rock-Eval *		C org. - C stable 100 ans (Rock-Eval)	
	Carbone oxydé		Oxydation par KMnO4 + spectrophotométrie	SEMSE
	C fraction 0-50 µm	C org. stable	Fractionnement granulométrique : tamisage sous eau (NF X31-516)	AUREA
	Concentration de carbone stable à 100 ans		Modèle Soucémarianadin <i>et al.</i> (en préparation) (Rock-Eval 6)	IRSTEA

**Variable calculée \***

- Fractions labiles de la MO
- Fractions stables de la MO

# Indicateurs physico-chimiques mesurés

Variable		Description de la variable	Méthode de mesure ou de calcul	Laboratoire
<b>Azote N</b> (5 indicateurs)	Azote Dumas	N total	Méthode Dumas (NF ISO 13878)	AUREA
	N fraction 50-200 µm	N fraction labile	Fractionnement granulométrique : tamisage sous eau (NF X31-516)	AUREA
	N fraction 200-2000 µm			
	N fraction 50 2000 µm			
	N fraction 0-50 µm	N fraction stable	Fractionnement granulométrique : tamisage sous eau (NF X31-516)	AUREA
<b>C / N</b>	C/N	Rapports Carbone / Azote Total & fractions		AUREA
	C/N fraction 0-50 µm			
	C/N fraction 50-200 µm			
	C/N fraction 200-2000 µm			
	C/N fraction 50-2000 µm			

Variable calculée \*

- Fractions labiles de la MO
- Fractions stables de la MO

# Indicateurs microbiologiques mesurés

Au total 15 indicateurs mesurés :

Variable		Description de la variable	Indicateur étudié	Laboratoire
<b>Abondances microbiennes</b>	ADN total	<b>Microorganismes totaux</b>	Biomasse moléculaire totale	UniLaSalle
	Biomasse microbienne (TOC)		C Org. total des micro-organismes (NF ISO 14240-2)	AUREA
	Biomasse bactérienne 16S	<b>Bactéries totales</b>	ADN r spécifiques des bactéries	RITTMO / UniLaSalle
	Biomasse fongique 18S	<b>Champignons totaux</b>	ADN r spécifiques des champignons	RITTMO / UniLaSalle
	Ergostérols total (MAE) & libre (GONG)		Biomasse fongique totale & morte	UniLaSalle

# Indicateurs microbiologiques mesurés

	Variable	Description de la variable	Indicateur étudié	Laboratoire
<b>Activités microbiennes</b>	Hydrolyse de la Fluoresceine di-acétate (FDA)	Activité enzymatique globale	Hydrolyse FDA (substrat universel)	SEMSE
	Activité $\beta$ -glucosidase (Glu)	Activités enzymatiques <i>Cycle C</i>	Hydrolyse de liaisons osidiques (ISO 20130:2018)	UniLaSalle
	C minéralisé moyen	Potentiel de minéralisation C	Potentiel de minéralisation C (NF EN ISO 16072)	CELESTA LAB
	Activité protéase	Activités enzymatiques <i>Cycle N</i>	Dégradation de protéines et peptides LAP (ISO/TS 22939:2019) ArylN (ISO 20130:2018)	Université Lorraine
	Activité leucine aminopeptidase (LAP)			Université Lorraine
	Activité arylamidase (arylN)			RITTIMO / UniLaSalle
	Azote Potentiellement Minéralisable	Potentiel de minéralisation N	Double distillation (tampon phosphate borate et KCl) (Giannello et Bremner, 1986) Incubation anaérobie 7 jours, 40 °C Potentiel de minéralisation N (XP U44-163 et NF ISO 14238)	AUREA
	Azote Biologiquement Minéralisable			AUREA
N minéralisé moyen	CELESTA LAB			

## Carbone oxydable au permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ )\*

\*Carbone actif  $\text{KMnO}_4$ , POxC (Permanganate-Oxidizable Carbon)

### Principe

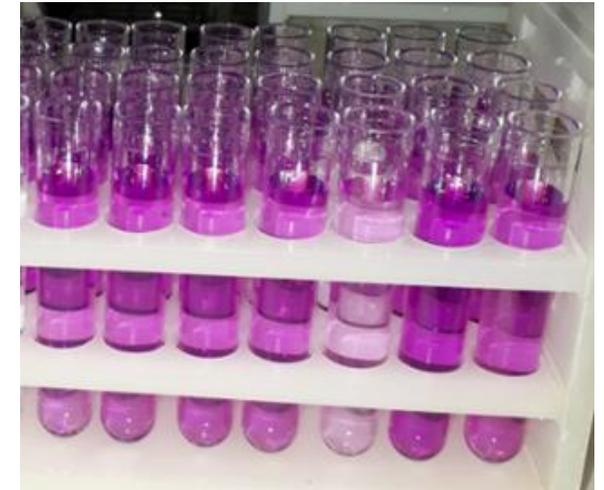
Estimation d'une fraction active (labile) du carbone, par oxydation « douce » et à froid des MO peu condensées  
--> source d'énergie pour les micro-organismes (**ressources microbiennes**)

### Méthode de mesure

- + **simple, rapide, peu couteuse** (extraction de terre séchée tamisée 2 mm avec  $\text{KMnO}_4$ , dosage UV de la décoloration)
- **Pas de norme** (méthode adaptée de Weil et al., 2003 et Culman et al., 2012),
- **Réactif CMR** (cancérogènes, mutagènes pour la reproduction)

### Référencement

- Très utilisée aux USA et en Australie (<https://soilhealth.cals.cornell.edu/> )
- Mobilisée par Biofunctool (<https://agritrop.cirad.fr/596146/> )

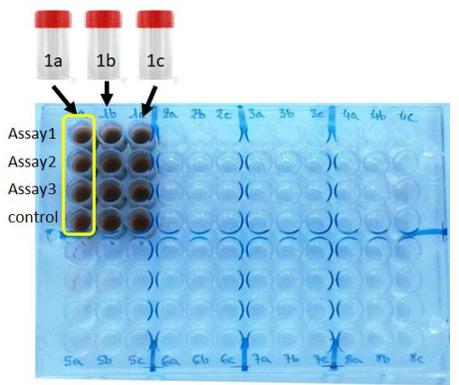
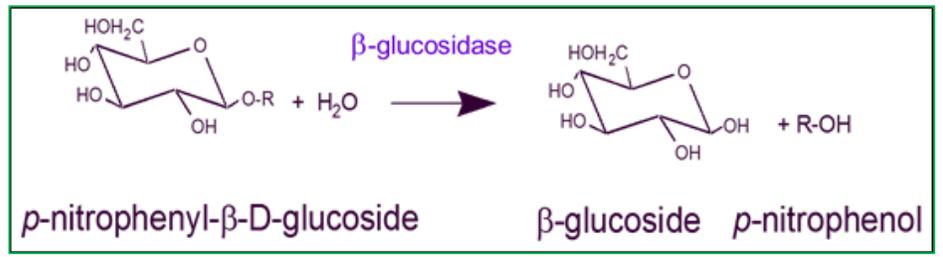


**C  $\text{KMnO}_4$  :**  
entre 500 et 2000 mg/kg, soit  
entre 4 et 10 % du C org

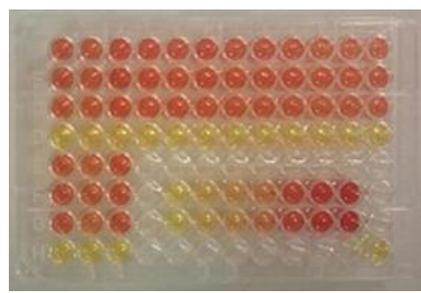
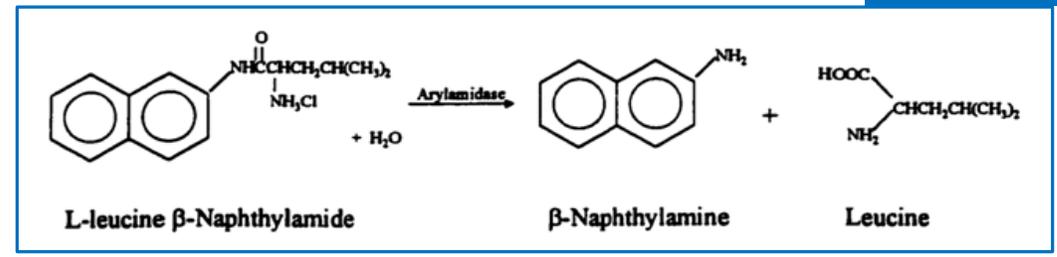
# Focus sur certains indicateurs mesurés

## Mesure des activités enzymatiques des sols *in situ* par spectrophotométrie

### Cycle C *Beta-Glucosidase*



### Arylamidase Cycle N



Weight of samples

ECH	ENZ (env 4g)
SOIL 1	4.1239
	3.9173
	4.0822
SOIL 2	4.1578
	4.1680
	4.0635
SOIL 3	4.1858
	4.0694
	4.0854
SOIL 4	4.1095
	4.0893
	4.1554

Moisture of soils

ECH	weigh of cupule	weigh of cupule and humid soil	weigh of cupule and dry soil	RAPPORT
SOIL 1	22.5	34	33.2	0.930
SOIL 2	21.9	37	36.1	0.940
SOIL 3	18.2	33.2	32.1	0.927
SOIL 4	22.8	37.7	36.1	0.993

Map of the plates with absorbances of standards and samples

RANGE PNP	0,017	0,069	0,141	0,359	0,718	1,075	1,42	1,763
	0	0,07	0,145	0,361	0,722	1,081	1,426	1,778

PHOSPHATASE			ASSAYS		BLANK
SOIL 1	0.694	0.632	0.692	0.194	0.194
	0.66	0.656	0.634	0.194	0.194
	0.655	0.646	0.72	0.184	0.184
SOIL 2	0.882	0.808	0.808	0.174	0.174
	0.592	0.612	0.597	0.185	0.185
	0.63	0.591	0.629	0.168	0.168
SOIL 3	0.649	0.629	0.589	0.186	0.186
	0.555	0.549	0.568	0.2	0.2
	0.549	0.538	0.594	0.171	0.171
SOIL 4	0.624	0.584	0.561	0.176	0.176
	0.539	0.514	0.497	0.19	0.19
	0.549	0.435	0.531	0.182	0.182

$$A = \frac{(Cs - Cb) \times D \times Vss}{RT \times Wds}$$

A	Activité enzymatique en mU/g de sol sec	
Cs	[PNP] formé en nmol/mL	
Cb	[PNP] formé dans le blanc en nmol/mL	
D	Dilution de l'échantillon en microplaque	
Vss	Volume de l'échantillon (en mL)	25
RT	Temps de réaction (min)	60
Wds	Masse de sol sec (g)	4

### Référencement

ISO 20130:2018. Soil quality - measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates

Cheviron et al.-Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17173-3>

## Azote minéralisable

### Principe

Estimation d'une fraction d'azote minéralisable à l'échelle du cycle de culture

### 3 Méthodes de mesure testées

	Méthode	Norme	Préparation	Simplicité	Rapidité	Cout	Référencement
N minéralisé 28 J	Incubation aérobie 28 jours 28°C	XP U44-163 et NF ISO 14238	Sol brut tamisé 5 mm	--	⌚⌚⌚⌚	€€€€	Méthode de référence en France (Bouthier et al, 2015 ; Déplanche, 2021)
<b>APM</b> (Azote Potentiellement Minéralisable)	Double distillation Kjeldahl partielle (KCl et tampon phosphate borate)	Non (Gianello et Bremner, 1986)	Sol séché tamisé 2 mm	-	⌚⌚	€€	Travaux d'In Vivo (Rocca et al, 2013), Réseau Mh / Sol-AID ( <a href="http://geowww.agrocampus-ouest.fr/web/?page_id=2804">http://geowww.agrocampus-ouest.fr/web/?page_id=2804</a> )
<b>ABM</b> (Azote Biologiquement Minéralisable)	Incubation anaérobie 7 jours 40°C	Non (Keeney & Bremner, 1966 ; Schomberg et al., 2009)	Sol brut tamisé 5 mm	++	⌚⌚	€€	Etudes internationales (Clack, 2018 ; Curtin et al, 2017 ; Orcellet et al 2016), réseau Mh



Appareillage de distillation et dosage selon la méthode Kjeldhal pour l'APM



Échantillons en anaérobiose pour incubation de l'ABM

## Modélisation AMG : Evolution du stock de carbone

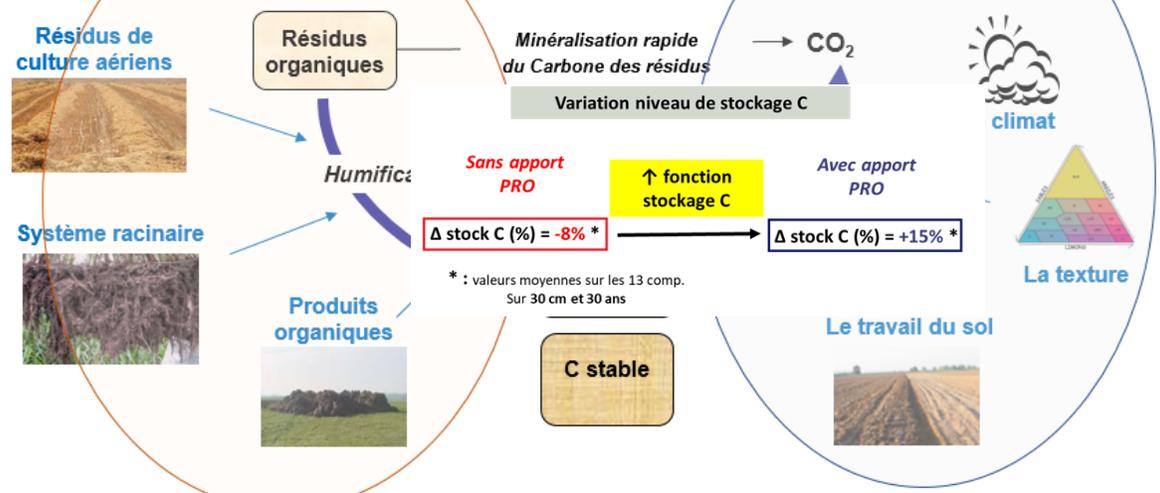
### Le modèle AMG\*

Un modèle simple de calcul de bilan humique à la parcelle

les entrées de Carbone

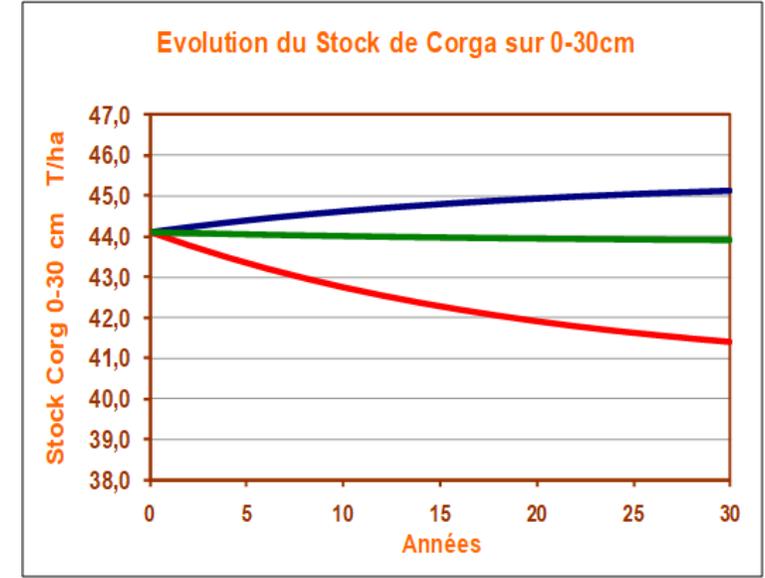
les sorties de Carbone

Les principes du calcul  $dC/dt = k1.m - K.Ca$

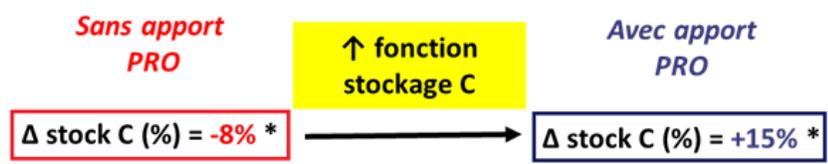


\*AMG, du nom de ses auteurs: Andriulo, Mary, Guérif - INRA de LAON

Simulations avec AMG version 6.2  
Couche 0-30cm  
Sur 30 ans



Variation niveau de stockage C



\* : valeurs moyennes sur les 13 comp. Sur 30 cm et 30 ans

Calcul de la variation de stock de carbone (exemple effet PRO)

A. Duparque, AgroTransfert RT

# Stratégie d'échantillonnage & observations terrain

---

Valé Matthieu *et al*



# Observations terrain au moment du prélèvement

- La microbiologie du sol est impactée par l'état structural au moment du prélèvement (*Bouthier et al, 2015*)

--> ajout d'observation terrain lors du prélèvement

- Caractéristiques pour définir le type de sol
- Etat de surface
- Etat structural sur la couche prélevée (méthode ISARA)
- Infos sur le comportement hydrique
- Photos

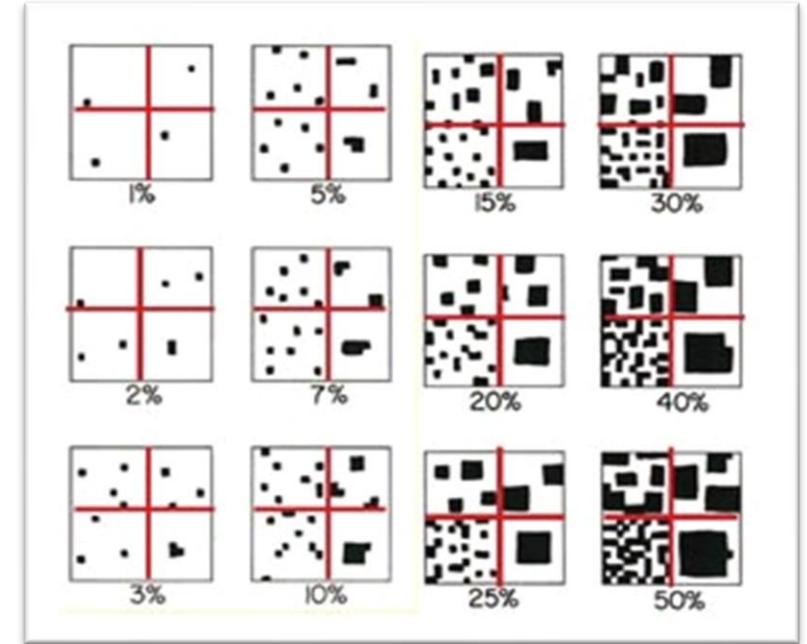


<b>Conditions de réalisation :</b> <small>(sol sec, ressuyé, météo des jours précédents, ...)</small>					
<b>Type de sol de la parcelle élémentaire observée</b>					
<b>Présence de calcaire :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>		<b>Profondeur :</b> < 40 cm <input type="checkbox"/> 40 à 80 cm <input type="checkbox"/> > 80 cm <input type="checkbox"/>			
<b>Texture :</b> Argileux (>30% A <small>(entourer) ou &gt;25% A et &gt;55% S</small> )	Limons-argileux <small>(&lt;55% S et 18%&lt;A&lt;35%)</small>	Limoneux (<55% S <small>&lt;18% A</small> )	Limono-sableux <small>(15%&lt;S&lt;55% et &lt;18% A)</small>	Sableux (>55% S <small>et &lt;15% A</small> )	Sablo-limoneux <small>(&gt;55% S et &lt;25% A)</small>
<b>Pierrosité :</b> < 5 % <input type="checkbox"/> 5 à 15 % <input type="checkbox"/> > 15 % <input type="checkbox"/>			<b>Hydromorphie :</b> non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> Profondeur (cm): _____		
<b>Caractéristiques de la parcelle élémentaire observée</b>					
<b>Sensibilité à la battance :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>		<b>Drainée :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>		<b>Arrivée d'eau en amont :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
<b>Rupture de perméabilité :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>		<b>Irriguée :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>		<b>Concentration de ruissellement :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
<b>Possibilité de saturation en eau des horizons de surface :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>				<b>Proximité cours d'eau / fossé :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <small>(distance inférieure à xx m)</small>	
<b>Date et nature de la dernière intervention :</b> _____				<b>Présence d'une forte pente :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <small>(pente supérieure à xx %)</small>	
<b>Etat de surface du sol (en % de la surface couverte)</b>					
<b>% couverture du sol :</b> _____ % <b>dont :</b> Végétaux : _____ % résidus : _____ % Turricules / macropores : _____ %					
<b>Taille des éléments grossiers &gt;2cm (si présents) :</b> de _____ cm à _____ cm					
<b>Autres observations :</b> Fissures : _____ % Glaçage : _____ % Mottes visibles : _____ %					

# Observations terrain au moment du prélèvement

## Estimations visuelles :

- Profondeur du sol
- Taux de cailloux
- Taux de couverture totale du sol :
  - Végétaux
  - Résidus
  - Turricules / Macropores



Estimation visuelle du % d'éléments grossiers  
Limaux et al., (1998)



# Niveau de compaction du sol : Test bêche



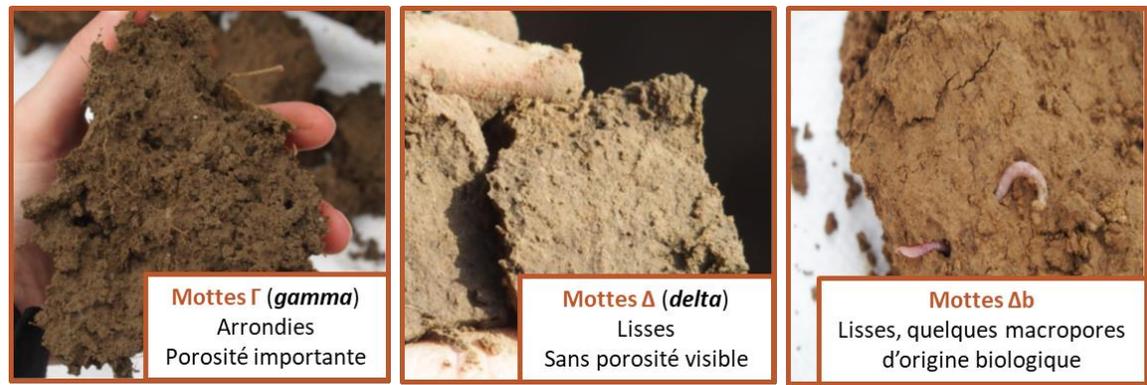
→ Estimation du mode d'assemblage des mottes :



O → O/C → C2R → CR → C

Ouvert Favorable      Fermé Défavorable

→ Estimation des % de chaque type de motte :

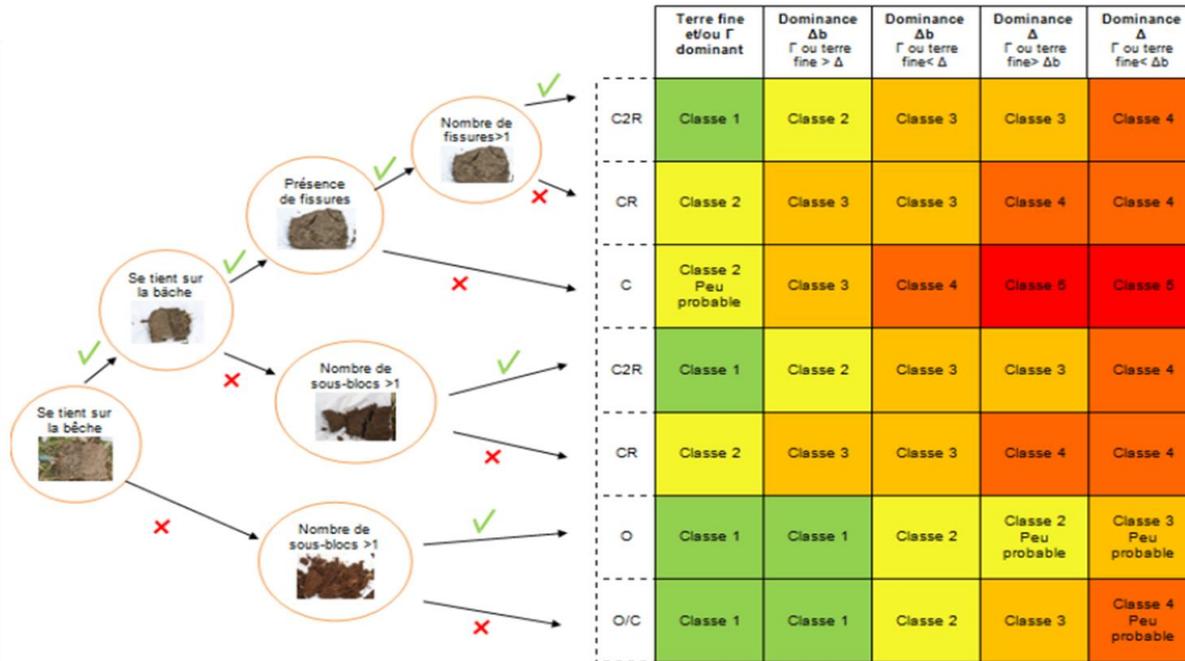


Source : Peigné et al. 2016, Test Bêche Guide d'utilisation (ISARA Lyon)

<https://agriressources.fr/fertisols/diagnostic/diagnostiquer-la-fertilite-physique/evaluer-la-structure-des-sols/>

# Niveau de compaction du sol : Test bêche

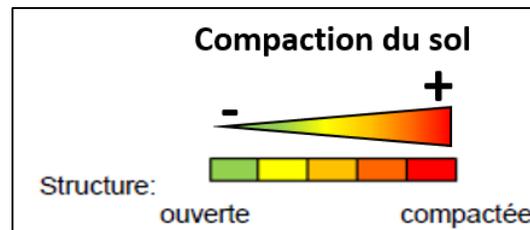
→ Classe de **niveau de compaction** :



Bêche (phase 1)	Observation du bloc de sol			Bêche (phase 2)
Tient sur la bêche : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Tient sur la bêche : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>			
Profondeur du bloc : ___ cm	Nombre de blocs / sous-blocs : ___			
Nombre de blocs / sous-blocs : ___	Rupture franche entre horizons : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> (changement de porosité)			
Présence de racines : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Racines coudées horizontales : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Profondeur (cm): ___			
Présence de résidus : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>				
Structure des mottes et indicateurs de profondeur				
	H1	H2	H3	
Profondeur :	___ cm à ___ cm	___ cm à ___ cm	___ cm à ___ cm	
% terre fine + mottes $\Gamma$ :				
% de mottes $\Delta b$				
% de mottes $\Delta$				
Fissures :	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
% cailloux $> 2$ cm :				
Problème d'enracinement :	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de racines	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de racines	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de racines	
Vers de terre :	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
Traces de rouille :	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
Décomposition satisfaisante des résidus de culture :	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de résidus	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de résidus	oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pas de résidus	
Mode d'assemblage et type dominant :				
Classe :				

Source : Peigné et al. 2016, Test Bêche Guide d'utilisation (ISARA Lyon)

<https://agriressources.fr/fertisols/diagnostic/diagnostic-uer-la-fertilité-physique/evaluer-la-structure-des-sols/>



**186 tests**  
réalisés en 2018

# Contraintes & précaution pour le prélèvement de terre

## Indicateurs physico-chimiques & microbiologiques mesurés :

- **Différents protocoles** de conditionnement, de délai d'envoi labo & de mode de conservation
- Une **harmonisation** nécessaire pour la mise en routine des analyses

## Inventaire des informations disponibles sur les indicateurs :

- Méthode d'analyse
- Paramètres impactant le résultat (**Variabilité spatiale** horizontale et verticale, **variabilité temporelle** *in situ* (effet climat, effet ITK), **effet du mode de conservation** avant arrivée au labo, effets du **mode de préparation**, **variabilité temporelle** en stockage)
- Stratégie d'échantillonnage (choix de la **période** de prélèvement, choix de la **profondeur** de prélèvement, **schéma** d'échantillonnage, **nombre de prises** élémentaires, **quantité** de matière nécessaire, informations de l'**ITK** à collecter, **observations terrain**)
- Conditionnement / conservation / mode et délai d'envoi labo / préparation labo / mode et délai de conservation
- Analyses / Données complémentaires nécessaires

# Contraintes & précaution pour le prélèvement de terre

**Campagne d'échantillonnage 2018** : compromis sur les indicateurs les plus contraignants

## Date de prélèvement

- Date de prélèvement la plus éloignée possible des **apports d'engrais azotés et produits organiques**
- **Sol ressuyé** (ni trop sec, ni trop humide)

## Profondeur(s) de prélèvement

- **0-20 cm** (retenu pour correspondre à la profondeur moyenne des analyses de terre physico-chimiques)
- **0-20 cm & 0-10 cm** (*Boigneville environnement, Kerguéhennec ETS, Toulouse Lamothe*)

## Nombre d'échantillons par bloc

- Toujours **3 échantillons / bloc** de chaque modalité agronomique

## Envoi aux différents laboratoires

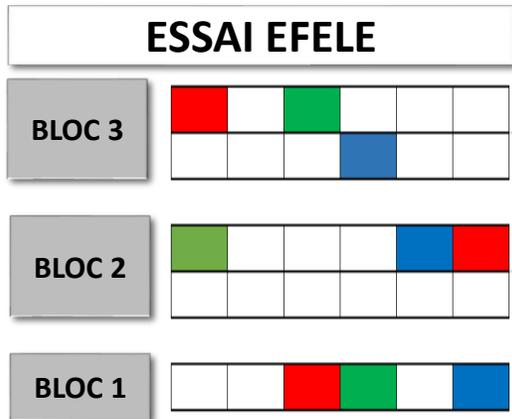
- **Acheminement labo en J+1** (pas de prélèvement le jeudi ou vendredi, envoi en direct aux laboratoires)

# Dispositifs expérimentaux et prélèvements de terre

## 3 types de dispositifs expérimentaux

3 échantillons / modalité  
(0 – 20 cm)

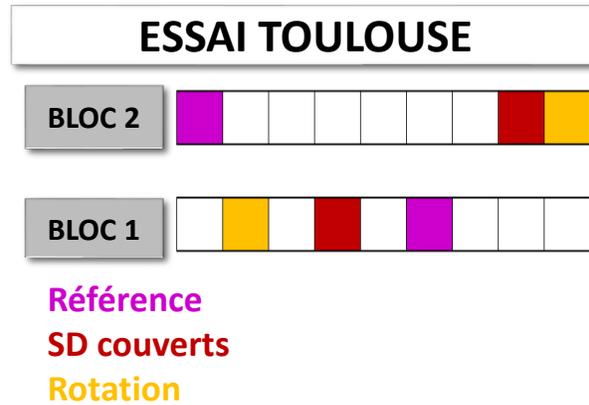
Essais à **3 vrais blocs** :  
B1, B2, B3 (9 essais)



Témoin minéral  
Fumier bovin  
Digestat lisier porc

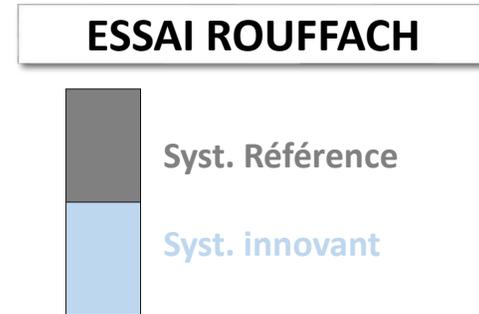
1 prélèvement / bloc  
→ 3 p. / modalité

Essais à **2 vrais blocs** :  
B1, B2, **BR** (8 essais)



1 prélèvement / bloc  
→ 2 p. / modalité  
→ 1 p. composite R

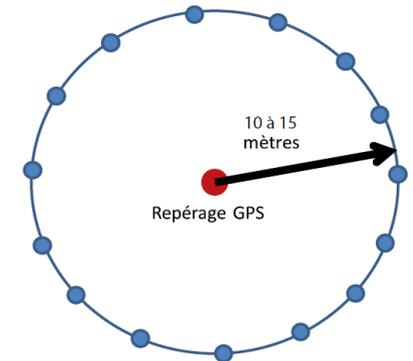
Essais **en bandes** :  
BA, BB, BC (3 essais)



3 prélèvements / bande  
→ 3 p. / modalité

## Schéma de prélèvement parcellaire

- Cercle de 10 à 15 mètres de rayon
- 12 à 15 prises élémentaires



# Procédure de traitement des échantillons de terre

- Indicateurs physico-chimiques
- Indicateurs d'abondances microbiennes
- Indicateurs d'activités microbiennes

Prélèvement 5 à 6 kg de terre

Homogénéisation + élimination des éléments grossiers (tamisage 6 mm)

500 g envoyés le jour même à **UniLaSalle**

500 g envoyés le jour même à **l'Université de Lorraine**

Le reste envoyé le jour même à **Auréa**

Tamisage 4 mm à réception, stockage 4°C ou -80°C

Tamisage 5 mm à réception, stockage 4°C

Tamisage 5 mm à réception, stockage 4°C

**β-glucosidase arylamidase**

**Extraction ADN total**

**Ergostérol libre et total**

**Aminopeptidase, protéase**

**Biomasse microbienne (fumigation)**

Séchage 38°C, tamisage 2 mm / broyage 200 μm

Envoi à **Celesta** → **Potentiels de minéralisation C et N**  
 Envoi à **SEMSE** → **FDA hydrolase et ABM**

**C et N totaux, fractionnement MO, physico-chimique, APM**

Envoi à **RITTMO** → **Abondance bactéries (ADNr 16S) et champignons (ADNr 18S)**

Envoi à **SEMSE** → **Carbone KMno4** Envoi à **ENS** → **Rock-Eval**

# Campagne d'échantillonnage

## Dates de prélèvement des différents sites au printemps 2018

+ sites prélevés en 2016 (Doignies et Villedieu sur Indre) et 2017 (Crécom et Jeu Les Bois)



Collecte d'informations agro-pédoclimatiques et des pratiques culturales

## Caractéristiques générales des essais & variables pédoclimatiques

Caractéristiques générales des essais	Variables météorologiques	Caractéristiques du sol			Variables de taux de couverture du sol
		Texture du sol	Niveau compaction du sol	Autres caractéristiques du sol	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nom de l'essai</li> <li>- Organisme</li> <li>- Thème 1</li> <li>- Thème 2</li> <li>- Lieu</li> <li>- Altitude</li> <li>- Âge de l'essai</li> <li>- Type d'essai</li> <li>- Irrigation</li> <li>- Date prélèvement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temp. moy.</li> <li>- Pluvio.</li> <li>- ETP</li> <li>- Rayonnement</li> </ul>	→ <u>Granulométrie</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Argile (% MS)</li> <li>- Limons fins (% MS)</li> <li>- Limons grossiers (% MS)</li> <li>- Sables fins (% MS)</li> <li>- Sables grossiers (% MS)</li> </ul>	→ <u>Par horizon</u> (H1, H2, H3) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Profondeur sup.</li> <li>- Profondeur inf.</li> <li>- % terre fine + mottes <math>\Gamma</math></li> <li>- % de mottes <math>\Delta b</math></li> <li>- % de mottes <math>\Delta</math></li> <li>- Classe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcaire total (%)</li> <li>- Sol caillouteux, peu caillouteux, non caillouteux</li> <li>- Sol profond, moyennement profond, peu profond</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux <u>couverture totale</u> du sol (%)</li> <li>- Taux <u>couverture végétaux</u></li> <li>- Taux <u>couverture résidus</u> (%)</li> <li>- Taux <u>couverture turricules / macropores</u> (%)</li> </ul>

## Collecte d'informations agro-pédoclimatiques et des pratiques culturales

### Données agronomiques / pratiques culturales

#### Pratiques agronomiques par modalité

Rotations, rendement et devenir des résidus	Travail du sol	Couverts Intermédiaires	Couverts associés à la culture	PRO	Fertilisation minérale
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culture principale</li> <li>- Précédent</li> <li>- Anté-précédent</li> <li>- Rendement moyen (t/ha ou t MS/ha)</li> <li>- Devenir des résidus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail du sol :</li> <li>- Labour</li> <li>- Travail superficiel</li> <li>- Semis Direct</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Type de couverts :</li> <li>- Légumineuse pure</li> <li>- Légumineuse(s) + autres</li> <li>- Autres</li> <li>- Pas de couvert</li> <li>→ Biomasse (t MS/ha) :</li> <li>- <u>Faible</u> (&lt; 2 t MS/ ha)</li> <li>- <u>Moyenne</u> (entre 2 et 4 t MS/ha)</li> <li>- <u>Elevée</u> (&gt; 4 t MS/ha)</li> <li>→ Devenir de la biomasse :</li> <li>- Enfouie</li> <li>- Laisée en surface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type</li> <li>- Biomasse (t MS/ha)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type de PRO</li> <li>- Quantité PRO (t/ha)</li> <li>- C, N et NH4 apportés (kg/ha)</li> <li>- C/N</li> <li>- ISMO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fertilisation minérale N (kg/ha)</li> </ul>

Sur les **20 essais** répartis sur 18 sites

- ✓ 4 900 analyses réalisées entre avril **2018** et septembre **2019**
- ✓ 183 observations terrain
- ✓ 61 modalités agronomiques collectées
- ✓ Données pédo-climatiques

Disponibilité de la BDD : accès restreint aux partenaires financés pendant 3 ans, puis disponible sur demande avec licence selon les utilisations envisagées

# Analyse des données & sélection des indicateurs de l'outil Microbioterre

Recous Sylvie, Cusset Elodie et Riah-Anglet Wassila



# Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

## Choix du menu Microbioterre

### Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (16 sous-fonctions)

Revue bibliographique  
80 articles

### Liens Indicateurs – Pratiques culturales

Articles bibliographiques  
147 articles

Essais agronomiques  
20 essais

Prélèvement  
terre

Construction & évaluation du  
référentiel Microbioterre

Essais agronomiques &  
littérature  
20 essais

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

#### 2 types de données :

-  Données acquises dans le projet
-  Données bibliographiques

# Aptitude des indicateurs à renseigner les niveaux de fonctions

## Fonctions & processus étudiés

3 fonctions du sol étudiées :

Déclinées en  
16 processus biologiques &  
physiques

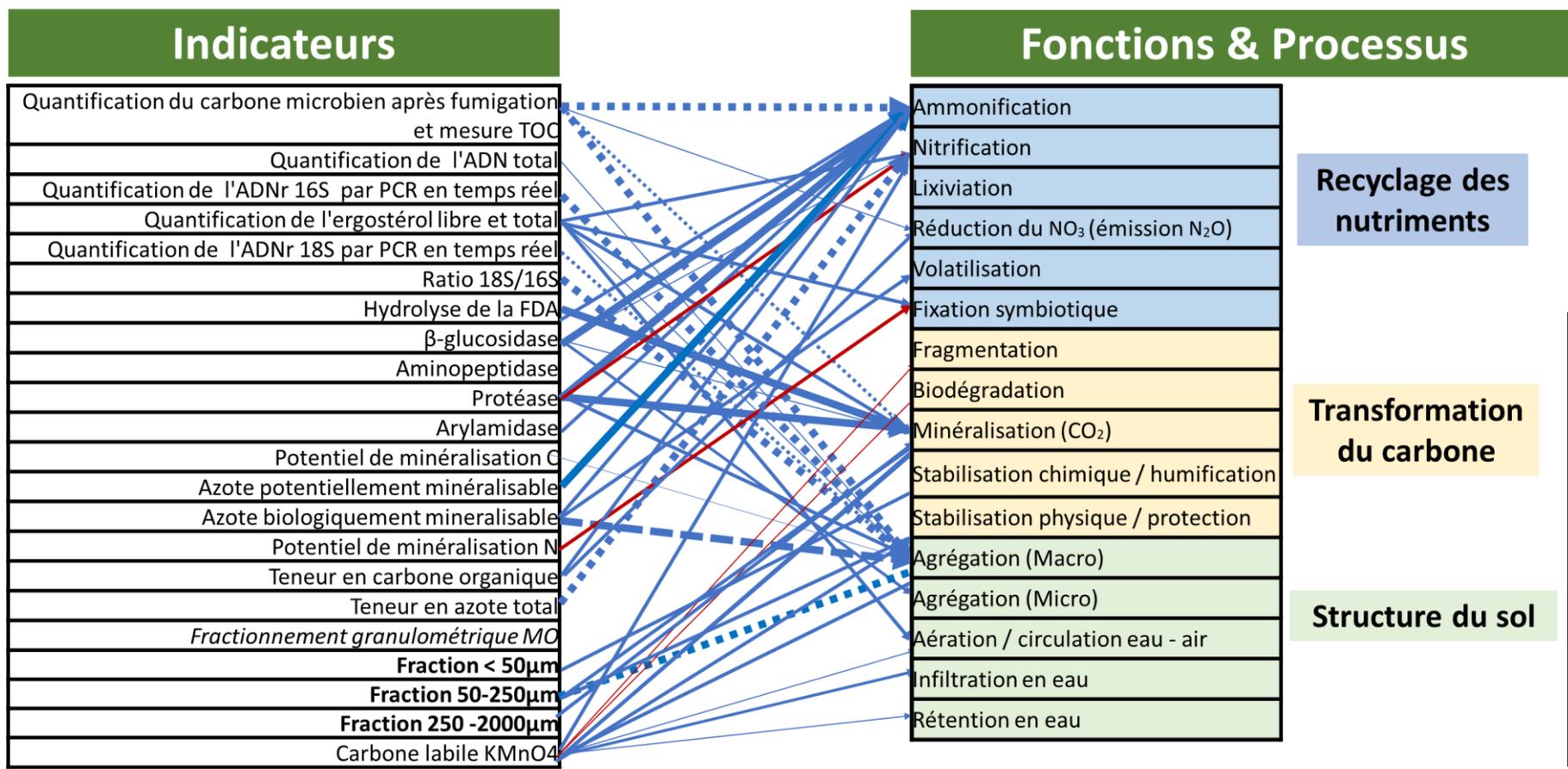
&  
qui *conduisent vers*

3 fonctions du sol	Processus	Processus qui conduit vers
Recyclage des nutriments	Ammonification	<b>Fourniture d'azote</b> (ions NH <sub>4</sub> & NO <sub>3</sub> -)
	Nitrification	
	Fixation symbiotique	
	Lixiviation	<b>Perte d'azote</b> (Percolation, N forme gazeuse)
	Réduction du NO <sub>3</sub> (émission N <sub>2</sub> O)	
	Volatilisation	
Transformation du carbone	Fragmentation	<b>Transformation de la MO</b> (MO particulières & substrats transformés)
	Biodégradation	
	Minéralisation (CO <sub>2</sub> )	<b>Perte de MO</b>
	Stabilisation chimique / humification	<b>Augmentation de MO</b> (Protection par adsorption ou agrégats)
	Stabilisation physique / protection	
Structure du sol	Agrégation (Macro)	<b>Erosion et la battance</b> (Assemblage des particules du sol)
	Agrégation (Micro)	
	Aération / circulation eau - air	<b>Porosité</b> (« Vides » du sol)
	Infiltration en eau	
	Rétention en eau	<b>Stockage d'eau</b>

# Aptitude des indicateurs à renseigner les niveaux de fonctions

## Etude bibliographique (80 articles) Et à dire d'experts

Partenaires  
Microbioterre



**Relations positives I/F**

- Relation positive faible entre I/F ( $r < 0.4$ )
- Relation positive moyenne entre I/F ( $0.4 < r < 0.8$ )
- Relation positive forte entre I/F ( $r > 0.8$ )

**Relations négatives I/F**

- Relation négative faible entre I/F ( $r < 0.4$ )
- Relation négative moyenne entre I/F ( $0.4 < r < 0.8$ )
- Relation négative forte entre I/F ( $r > 0.8$ )

Flèches pleines : Absence d'équation reliant I/F  
Flèches en discontinu : Equation reliant I/F

# Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

## Choix du menu Microbioterre

Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (16 sous-fonctions)

Revue bibliographique  
80 articles

## Liens Indicateurs – Pratiques culturales

Articles bibliographiques  
147 articles

Essais agronomiques  
20 essais

Prélèvement  
terre

Construction & évaluation du  
référentiel Microbioterre

Essais agronomiques  
20 essais

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

### 2 types de données :

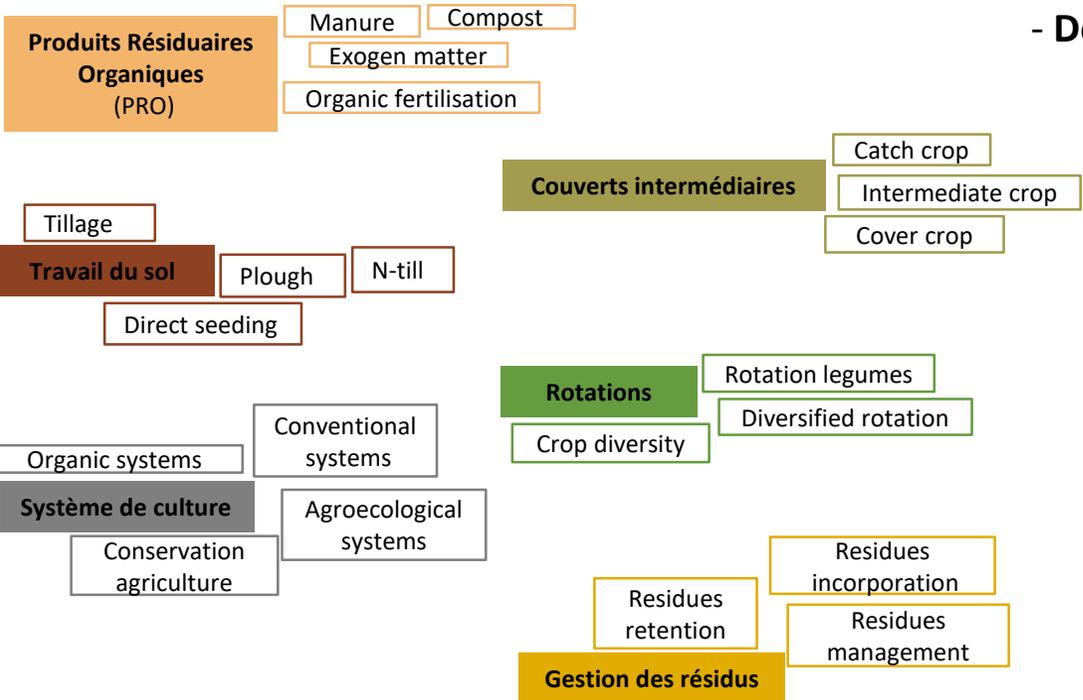
-  Données acquises dans le projet
-  Données bibliographiques

# Réponse des indicateurs aux pratiques culturales

## Méta-analyse : Recherche bibliographique & sélection d'articles

ScienceDirect, Springer, Wiley, Google Scholar

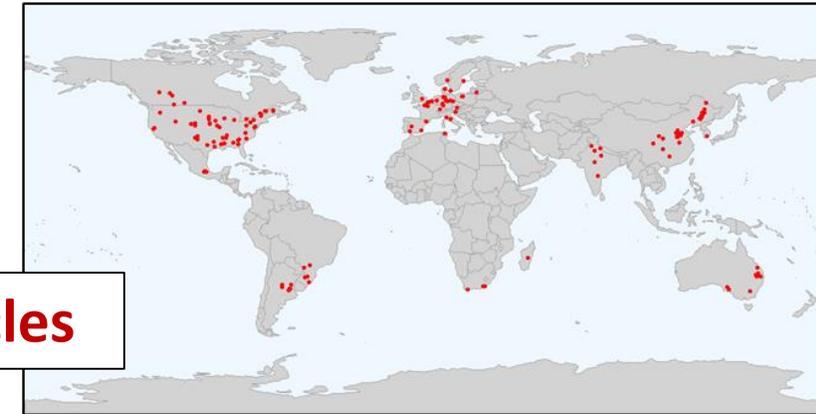
**Mots-clés** : Soil microbial activities, biomass



### Critères de sélection des articles

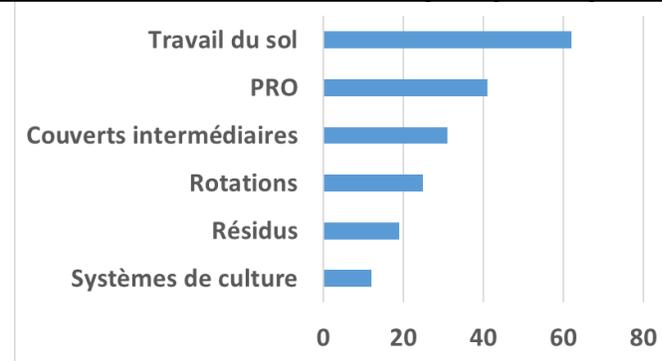
- Publiés entre **2007** et 2021
- Essais **au champ**
- Physico-chimie &  $\mu$ biologie
- **Données quantitatives brutes**

### Localisation des essais étudiés



**147 articles**

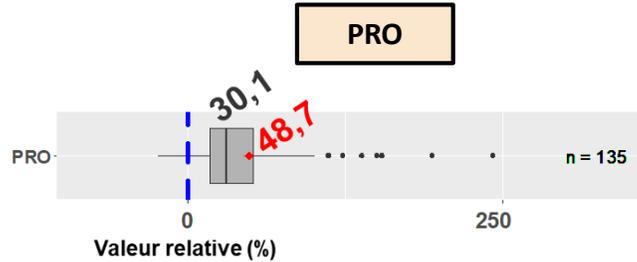
### Nombres d'articles étudiés par pratique culturale





# Réponse des indicateurs aux pratiques culturales

*Méta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien*

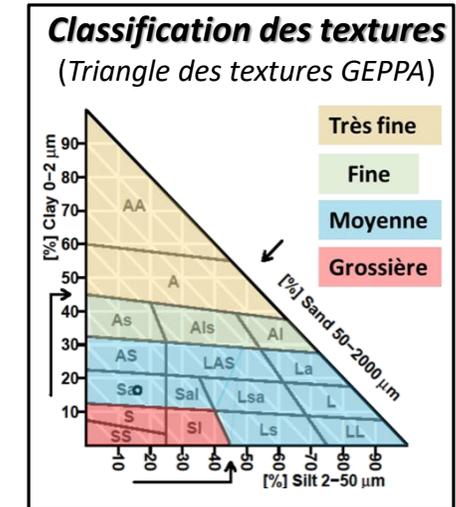
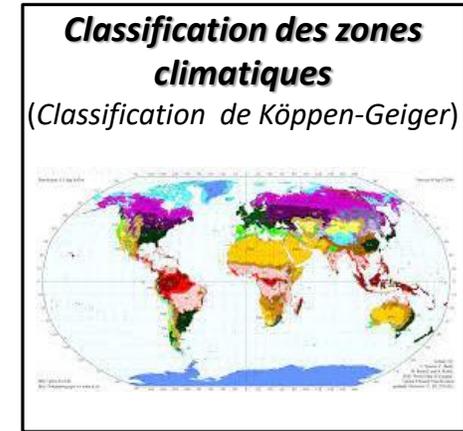
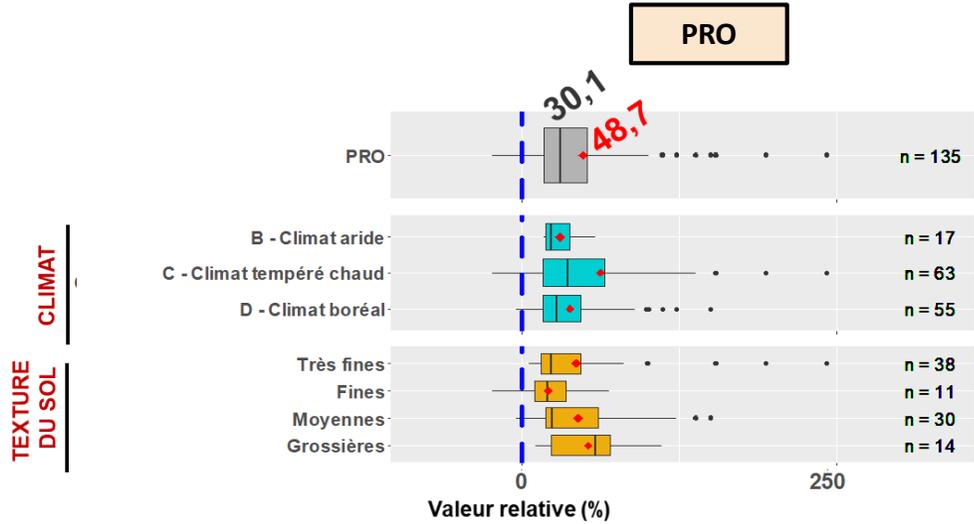


Effets de l'implantation  
de couverts et de l'apport  
de PRO  
 sur le **C microbien**

**PRO**  
 En moyenne **↑ + 48,7 % C mic.**

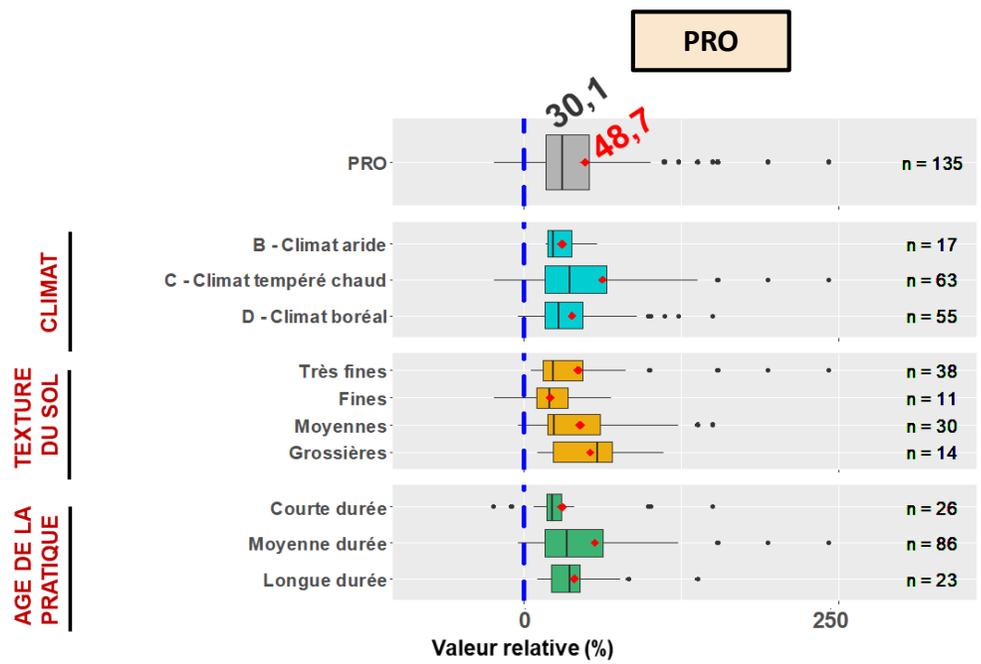
# Réponse des indicateurs aux pratiques culturales

Meta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien



# Réponse des indicateurs aux pratiques culturelles

*Méta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien*

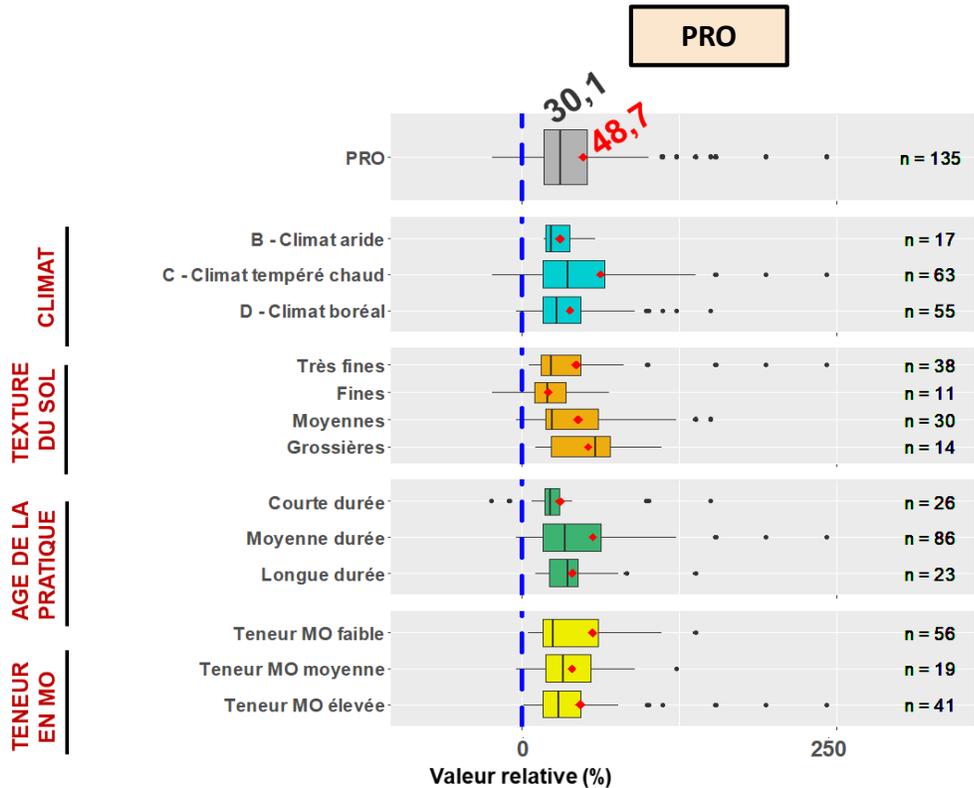


**Classification des âges des pratiques**  
(Dire d'experts)

- < 5 ans  
Pratique récente
- Entre 5 et 15 ans  
Âge intermédiaire
- > 15 ans  
Pratique ancienne

# Réponse des indicateurs aux pratiques culturelles

Meta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien



**Classification des teneurs en MO**  
 (Selon distribution des données)

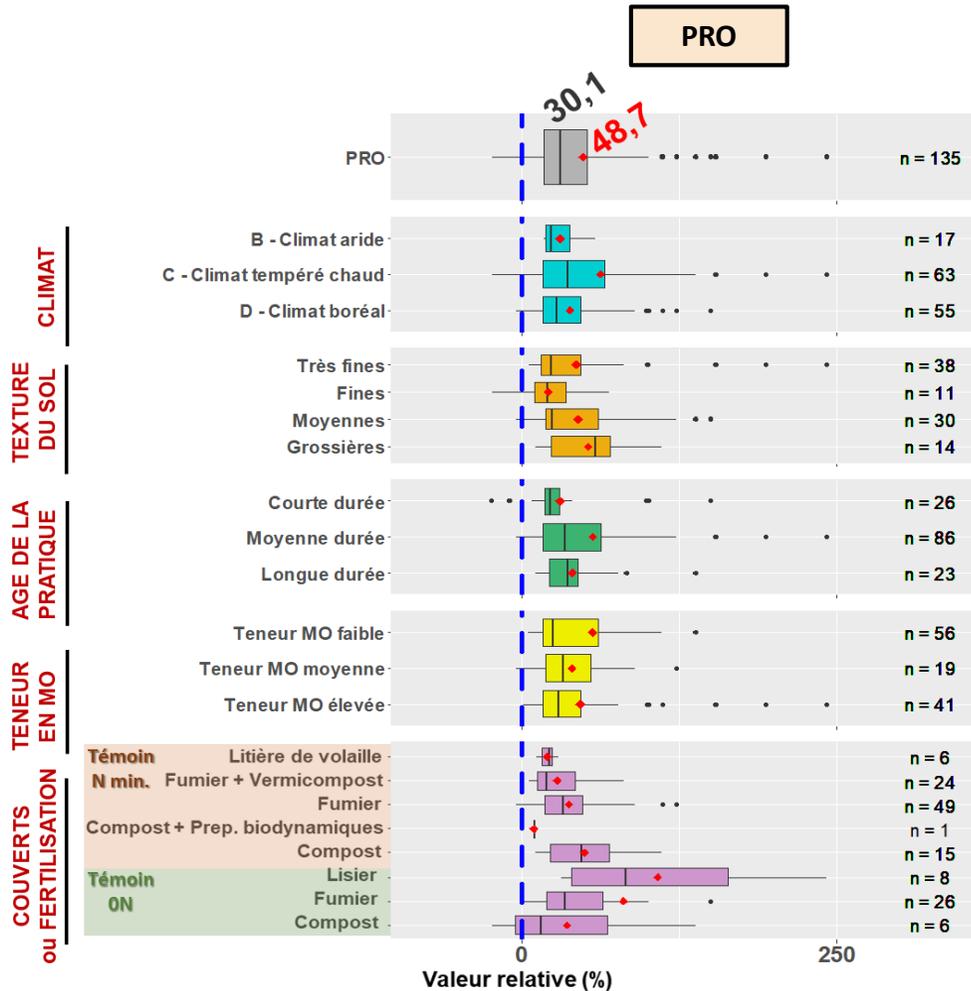
< 1,5%  
 Teneur MO faible

Entre 1,5 et 2,6%  
 Teneur MO moyenne

> 2,6%  
 Teneur MO élevée

# Réponse des indicateurs aux pratiques culturelles

Meta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien



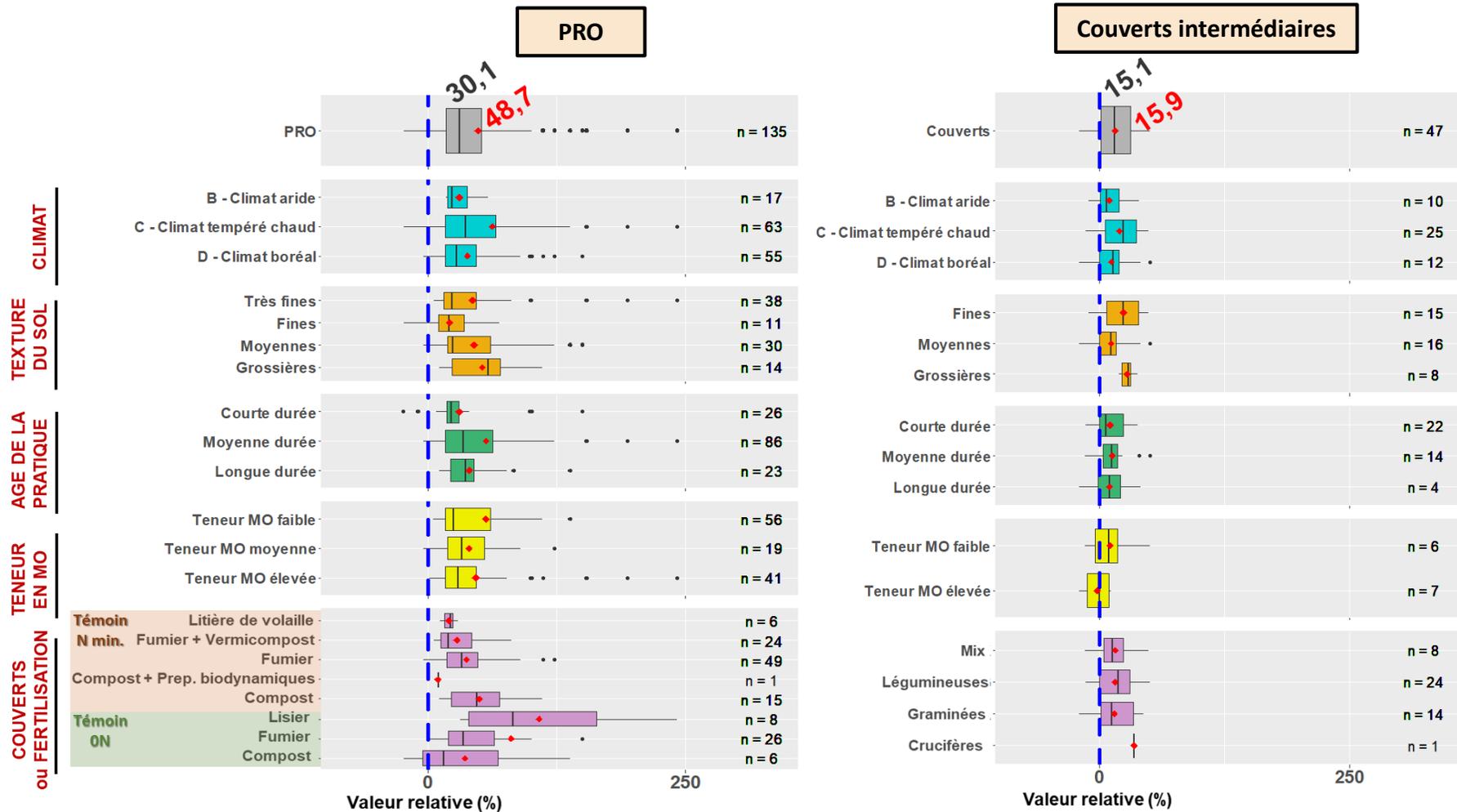
**Classification des types de PRO**

**PRO**

- Témoin : Avec ou sans fertilisation minérale
- Type de PRO

# Réponse des indicateurs aux pratiques culturelles

Méta-analyse – Un exemple de résultat : Effet des pratiques sur l'indicateur C microbien



Effets de l'**apport de PRO** et **implantation de couverts** sur le **C microbien**

**Couverts intermédiaires**  
En moyenne **↑ + 15,9 % C mic.**

**PRO**  
En moyenne **↑ + 48,7 % C mic.**

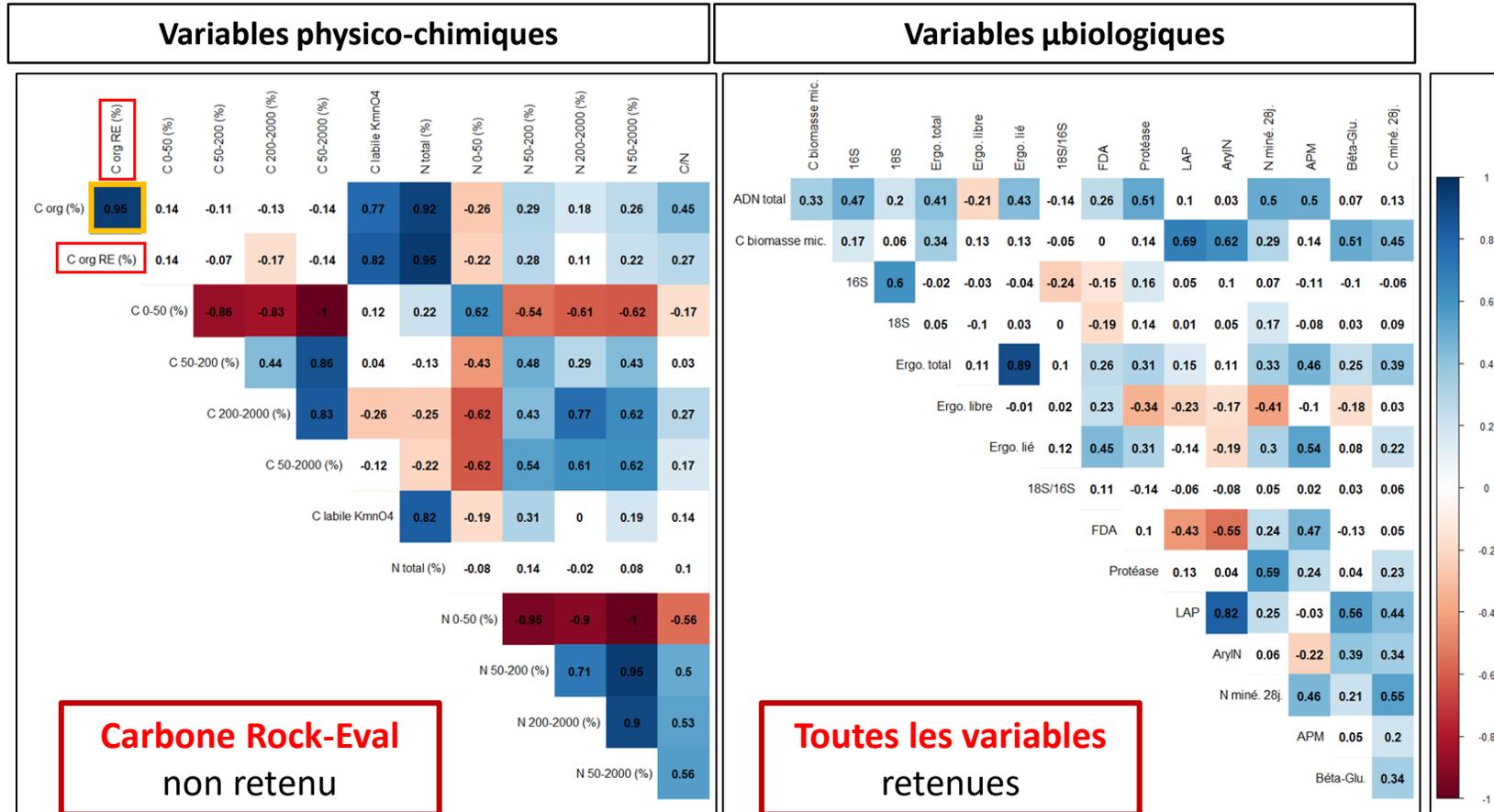
# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Critères de choix des indicateurs du menu analytique MicrobioTerre

- Co-corrélation des indicateurs et **redondance de l'information**
- **Variabilité spatiale** des indicateurs < seuil fixé (dire d'experts : partenaires MicrobioTerre)
- Réponse des indicateurs aux **pratiques culturales étudiées**
- **Coût** acceptable et **faisabilité technique**

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Co-corrélation des indicateurs et redondance de l'information



- Critères de redondance de l'information :

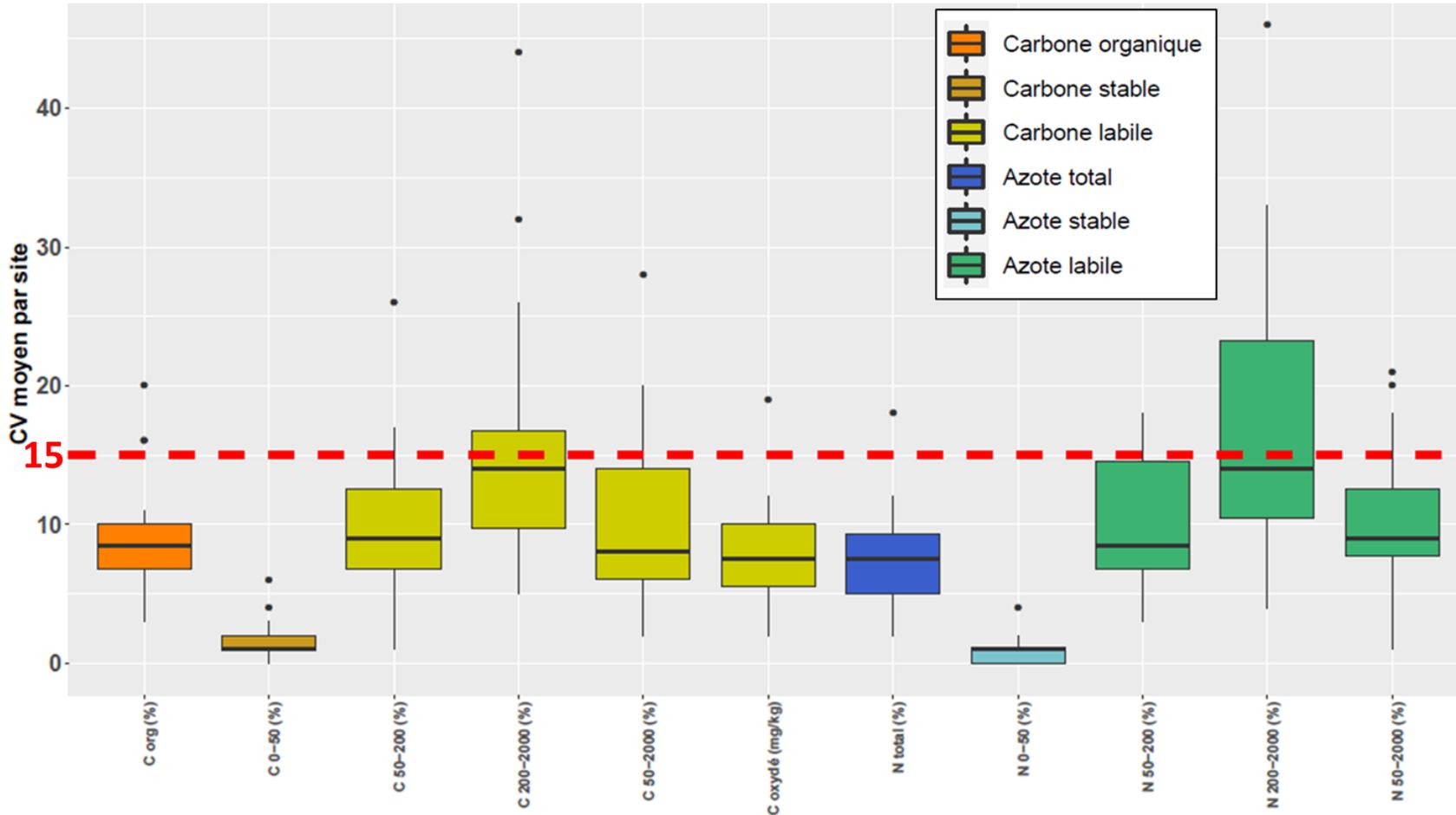
**$|R| > 0,9$  & même information**  
**Redondance entre paire d'indicateurs**

- Choix entre indicateurs co-corrélés :

Sélection d'un indicateur : **Critère de coût & technicité**

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Variabilité spatiale des variables physico-chimiques



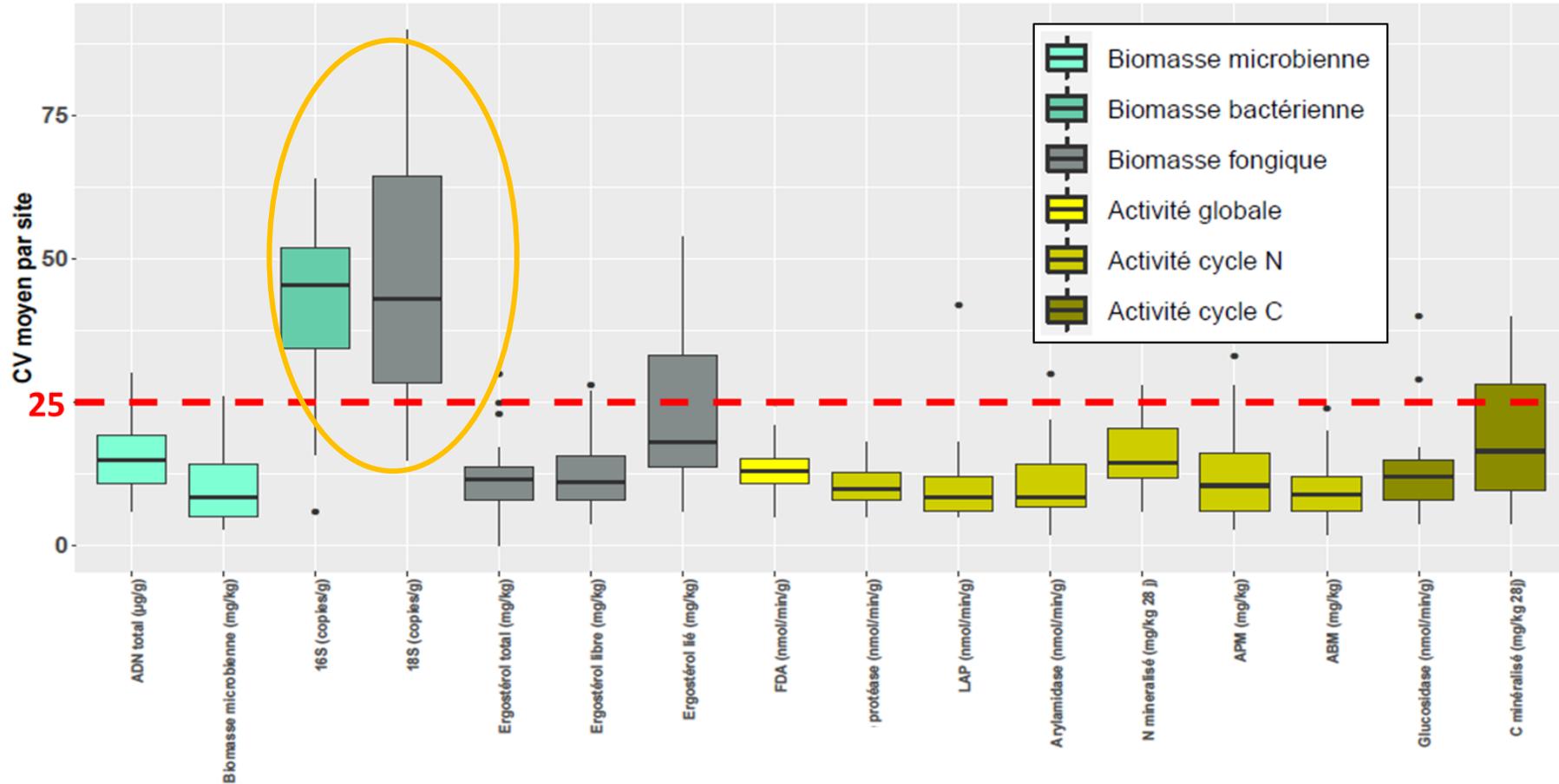
**Règle de décision pour les seuils de CV (%) :**  
CV seuil = 15%

(Bouthier *et al.*, 2015)

Variables physico-chimiques :  
CV médians < seuil CV 15%  
→ **Tous indicateurs retenus**

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Variabilité spatiale des indicateurs microbiologiques



**Règle de décision pour les seuils de CV (%) :**  
CV seuil = 25 %

(Bouthier *et al.*, 2015)

**Variables microbiologiques :**  
CV médians < seuil CV 25%  
Sauf biomasses fongique & bactérienne (Echelles log)  
→ *Tous indicateurs retenus*

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Aptitude des indicateurs à discriminer les modalités agronomiques

Pratique la *plus discriminée* : PRO



PRO	Type de PRO	6 ans			18 ans			20 ans		33 ans	SCORING PRO (5%)				
		JEU LES BOIS	EFELE	KER W Sol	COLMAR	FEU	CRECOM								
Essai		Compost fumier	Fumier	Compost fumier	Digestat lisier	Fumier	SD Fumier	Lab. Fumier	TS Fumier	Boues	Compost boues	Fumier	Compost biodéchets	Fumier	
Variables physico-chimiques	C org (%)	*	*	**								***	***	**	6
	C org Rock-Eval (g/kg)	*		*		*					*	***	***	**	7
	C stable 100 ans (g/kg)												**		1
	C 0-50 (%)						*	**	***	***	***	***	***	*	7
	C 50-200 (%)				*	***	*	*	**	**	**	***	***	***	10
	C 200-2000 (%)				*	*			*	**	*	*	**	**	5
	C 50-2000 (%)						*	**	***	***	***	***	***	*	7
	Carbone actif (g/kg)	**	*	***		*						***	***	*	7
	C oxydé (mg/kg)					*	**	*	*	*	*	***	***	***	9
	C labile 20 ans (g/kg)			**				*				***	***	*	5
	N total (%)		*	**			*	*	*	*	*	***	***	**	7
	N 0-50 (%)						*	*	*	**	***	***	***	*	7
	N 50-200 (%)			*			*	*	*	*	*	***	***	**	9
	N 200-2000 (%)				*	*			*	*	*	**	***	**	5
	N 50-2000 (%)						*	*	*	**	***	***	*	*	7
Variables microbiologiques	ADN total (µg/g)						**					*	*	*	2
	Biomasse microbienne (mg/kg)	*	*				**	**			*	*	**	**	6
	16S (copies/g)					**		***							2
	18S (copies/g)					**		***					*	*	3
	Ergostérol total (mg/kg)	*	*	*				*							3
	Ergostérol libre (mg/kg)	*	*	*				*							1
	Ergostérol lié (mg/kg)		*	*				*							2
	18S/16S						*								1
	FDA (nmol/min/g)										*	*	*	*	1
	Protéase (nmol/min/g)			*	*	**	**	***				*	*	**	5
	LAP (nmol/min/g)			*	*	*	*	*	*	*	*	***	***	**	5
	Arylamidase (nmol/min/g)	**	*	*		**	***	***	***	***	**	**	**	***	8
	N minéralisé (mg/kg 28j)		*	*			**	*	*	*	*	*	*	*	4
	APM (mg/kg)							**	***	*	*	*	*	*	1
	ABM (mg/kg)							**	***	*	*	*	*	***	6
Glucosidase (nmol/min/g)							*	*	*	*	*	*	*	1	
C minéralisé (mg/kg 28j)											**	**	*	2	

- Indicateurs + discriminants dans essais + anciens
- Effet quantité C dans essais récents

■ Indicateur non mesuré

**Indicateurs discriminants**  
 \* : 5%  
 \*\* : 1%  
 \*\*\* : 0,1%

■ ↑ vs. témoin sans PRO  
 ■ ↓ vs. témoin sans PRO  
 □ Non significatif

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Aptitude des indicateurs à discriminer les modalités agronomiques

Pratique la moins discriminée : Couverts intermédiaires

Âge pratique couverts

+

10 comparaisons

	7 ans		8 ans		9 ans		48 ans (10 ans couverts)		27 ans				SCORING Couverts (5%)
	COMBE		AUZEVILLE		BAZIEGE		BOI A1		BOI ENV				
Couverts	Type de couverts		Leg.* + autres		Leg.* + autres		Leg.* + autres		Leg.* + autres		Autres		
	Classe de biomasse couverts		Biomasse moyenne		Biomasse faible		Biomasse faible		Biomasse faible		Biomasse moyenne		
Variables physico-chimiques	C org (%)												0
	C org Rock-Eval (g/kg)												0
	C stable 100 ans (g/kg)												0
	C 0-50 (%)												2
	C 50-200 (%)						b *			a *	b ***	b ***	4
	C 200-2000 (%)										a ***	a **	2
	C 50-2000 (%)										a ***	a ***	2
	Carbone actif (g/kg)												0
	C oxydé (mg/kg)												0
	C labile 20 ans (g/kg)			*									1
	N total (%)												0
	N 0-50 (%)											b *	1
	N 50-200 (%)											a **	1
	N 200-2000 (%)												0
	N 50-2000 (%)											a *	1
Variables biologiques	ADN total (µg/g)												0
	Biomasse microbienne (mg/kg)											a *	1
	16S (copies/g)												0
	18S (copies/g)								a *	a *			2
	Ergostérol total (mg/kg)												0
	Ergostérol libre (mg/kg)						a *						1
	Ergostérol lié (mg/kg)			*									1
	18S/16S												0
	FDA (nmol/min/g)												0
	Protéase (nmol/min/g)									a *			1
	LAP (nmol/min/g)						a *					a *	2
	Arylamidase (nmol/min/g)											a ***	1
	N minéralisé (mg/kg 28 j)				**								1
	APM (mg/kg)								b *				1
	ABM (mg/kg)					a *							1
Glucosidase (nmol/min/g)		*				a *				b ***	b ***	4	
C minéralisé (mg/kg 28j)												0	

- **Indicateurs peu discriminants** quelque soit âge de la pratique
- **Biomasses faibles à moyennes**

**Leg.\*** : Légumineuses

**Classes de biomasses (moyennes sur 5 ans) :**  
 Biomasse **faible** : <2 T MS/ha  
 Biomasse **moyenne** : entre 2 et 4 T MS/ha  
 Biomasse **élevée** : >4 T MS/ha

**Indicateurs discriminants**  
 \* : 5%  
 \*\* : 1%  
 \*\*\* : 0,1%

↑ vs. témoin sans C.I.  
 ↓ vs. témoin sans C.I.  
 Non significatif

# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Coût et faisabilité technique des indicateurs

Variable	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	Autre référentiel accessible (autre que Microbioterre) : oui/non
						1 : norme 2 : méthodes publiées mais pas de norme 3 : différentes méthodes	
<b>Variables physico-chimiques</b>							
C org (%)	1	1 (2 semaines)	1	Sol sec	1	1	oui
C org Rock-Eval (g/kg)	3	3	3	Sol sec	1	2	non
C stable 100 ans (g/kg)	3	3	3	Sol sec	1	2	non
C 0-50 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
C 50-200 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
C 50-2000 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
C 200-2000 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
Carbone actif (g/kg)	3	3	3	Sol sec	1	2	non
C oxydé (mg/kg)	1	1 (2 à 3 semaines)	1	Sol sec	1	2	non (ref. internationales)
C labile 20 ans (g/kg)	3	3	3	Sol sec	1	2	non
N 0-50 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
N 50-200 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
N 200-2000 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
N 50-2000 (%)	2	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol sec	1	1	RMQS (accessible?)
<b>Variables biologiques</b>							
ADN total (µg/g)	1	1	1	Sol brut	3	2	oui
Biomasse microbienne (mg/kg)	3	2	3	Sol brut	2	1	Référentiel Bioindicateurs
16S (nbre copies/g)	2	1	3	Sol brut	3	3	non (dépendant des amorces)
18S (nbre copies/g)	2	1	3	Sol brut	3	3	non (dépendant des amorces)
Ergostérol total (mg/kg)	3	1	2	Sol congelé (-80°C)	3	2	oui
Ergostérol libre (mg/kg)	3	1	2	Sol congelé (-80°C)	3	1	oui
Ergostérol lié (mg/kg)	3	1	2	Sol congelé (-80°C)	3	1	oui
18S/16S	2	1	3	Sol brut	3	3	non (dépendant des amorces)
FDA (nmol/min/g)	1	1	1 à 2	Sol brut	3	2	Oui (Bioindicateurs)
Activité protéase (nmol/min/g)	2	1	2	Sol brut	3	2	non
LAP (nmol/min/g)	2	1	2	Sol brut	3	1	non
Arylamidase (nmol/min/g)	1	1	2	Sol brut	3	1	non
N minéralisé (mg/kg 28 j)	2	3	3	Sol brut	2	1	oui (conversions eq. kg/ha)
APM (mg/kg)	2	2	2	Sol sec	1	2	oui (conversions eq. kg/ha)
ABM (mg/kg)	1	1 (2 à 3 semaines)	2	Sol brut	2 à 3	2	oui (conversions eq. kg/ha)
Glucosidase (nmol/min/g)	1	1	2	Sol brut	3	1	oui
C minéralisé (mg/kg 28j)	2	3	3	Sol brut	2	1	oui (conversions eq. kg/ha)

**Variables physico-chimiques :**

**Variables Rock-Eval** en cours de stabilisation : non retenues

**Variables microbiologiques :**

**Mesures + chères, contraintes sol frais**

**Notion de coût et faisabilité technique :**

1 : Coût faible, faisabilité élevée

3 : Coût élevé, faisabilité faible

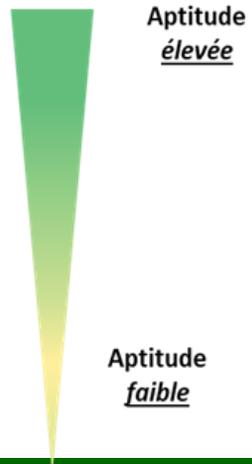
# Choix des indicateurs du menu Microbioterre

## Aptitude des indicateurs à discriminer les modalités agronomiques

 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



	Variables	PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes	Toutes pratiques
Variables physico-chimiques	<b>C org (%)</b>						
	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)						
	<b>N total (%)</b>						
	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)						
	Activité 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)							

# Relations Indicateurs retenus – Fonctions du sol

Indicateurs du menu	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 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 <u>non identifié</u>		

- Globalement, chaque **indicateur** retenu nous renseigne sur **au moins une fonction du sol**

- Résultats valorisés dans le **diagnostic Microbioterre**



# Séminaire de restitution du projet Microbioterre

9h00-9h15 - Mot d'accueil de la Direction d'UniLaSalle-Campus de Rouen/ Présentation du déroulé de la journée

9h15-12h05- Présentation du projet Casdar Microbioterre

*Animatrices* : Sylvie Recous & Wassila Riah-Anglet

- 9h15 : Génèse du projet – *Arvalis*
- 9h30 : Sites échantillonnés – *Terres Inovia*
- 9h45 : Indicateurs physico-chimiques et biologiques suivis – *UniLaSalle*
- 10h10 : Stratégie d'échantillonnage – *Aurea*

10h20 : Temps d'échanges

10h40-10h55 : Pause

*Animateurs* : Matthieu Valé & Pierre-Yves Roussel

- 10h55 : Résultats : Choix du menu Microbioterre – *UniLaSalle/INRAE*
- Résultats « Liens indicateurs/ fonctions »
- Résultats « Liens indicateurs pratiques »

11h40 : Temps d'échanges

12h00 - 13h30 : Pause déjeuner

**13h30- 16h30 - L'outil Microbioterre**

- 13h30 : Recommandations pour le prélèvement des échantillons – *Aurea*
- 13h40 : Construction & évaluation du référentiel d'interprétation Microbioterre – *UniLaSalle*

**14h20 : Temps d'échanges**

- 14h30 : Présentation de cas d'étude – *CA de Bretagne/ CA d'Alsace*
- 15h30 : Communication & Diffusion – *Arvalis*

**15h40: Temps d'échanges**

**16h20-16h30 : Conclusion et Perspectives**

**16h30 : Clôture du séminaire**

# Des indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre de routine

## « L'outil Microbioterre »

Valé Matthieu, Riah-Anglet Wassila, Cusset Elodie et Bennegadi-Laurent Nadia



# Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

## Choix du menu Microbioterre

Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (16 sous-fonctions)

Revue bibliographique  
80 articles

## Liens Indicateurs – Pratiques culturales

Articles bibliographiques  
147 articles

Essais agronomiques  
20 essais

## Prélèvement terre

Essais agronomiques &  
littérature  
20 essais

## Construction & évaluation du référentiel Microbioterre

Essais agronomiques  
20 essais

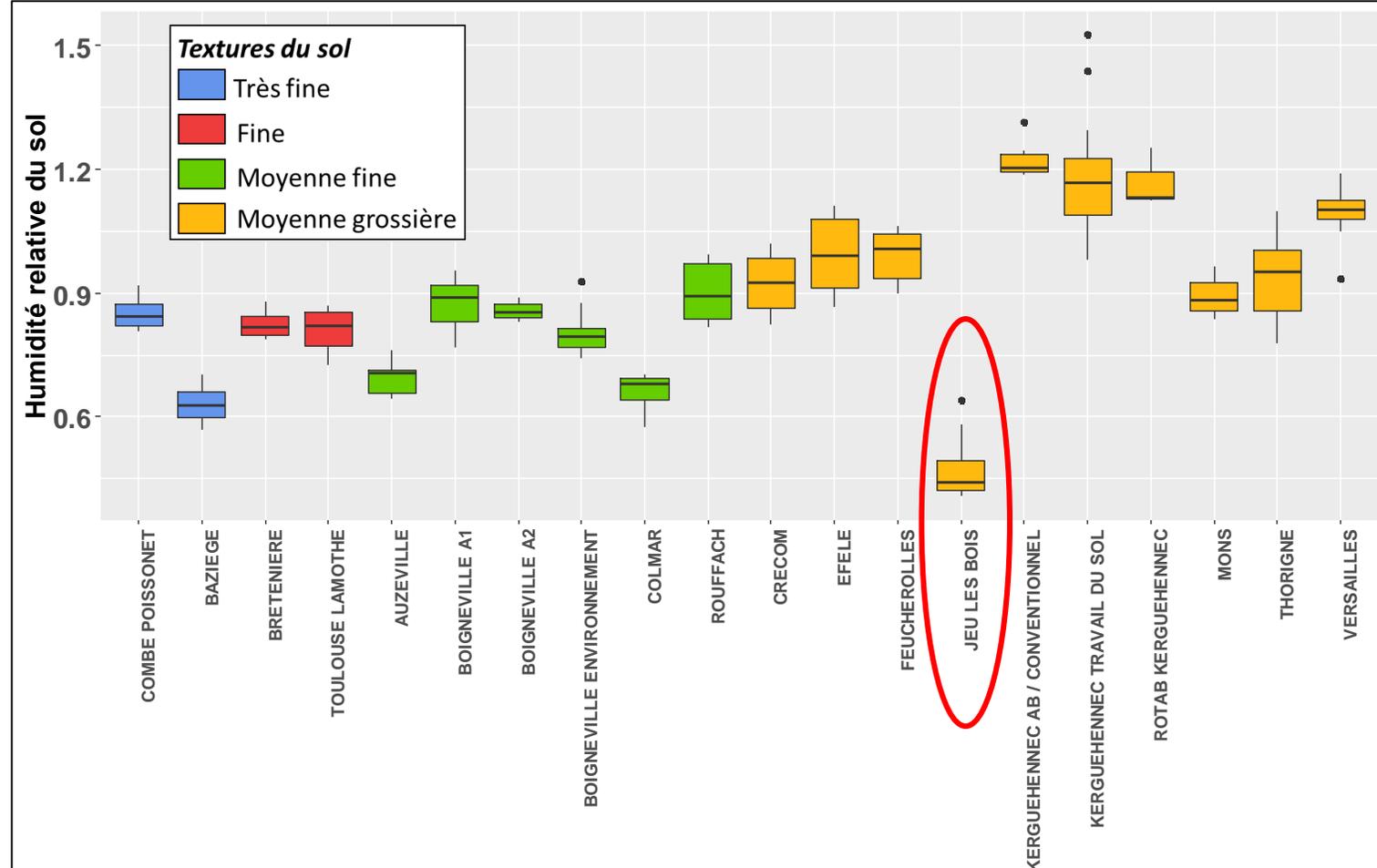
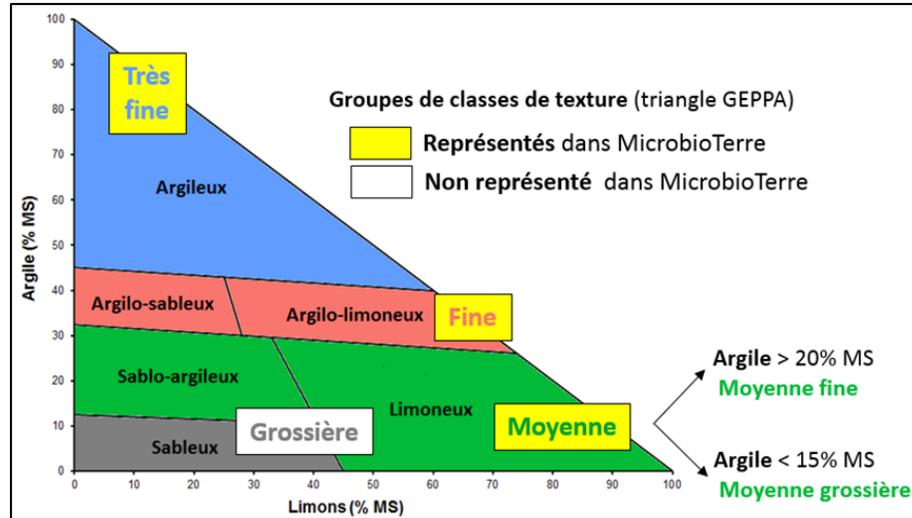
Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

### 2 types de données :

-  Données acquises dans le projet
-  Données bibliographiques

# Prélèvement - Variables pédoclimatiques à prendre en compte

- Humidité relative du sol au moment du prélèvement



## Essai de JEU LES BOIS

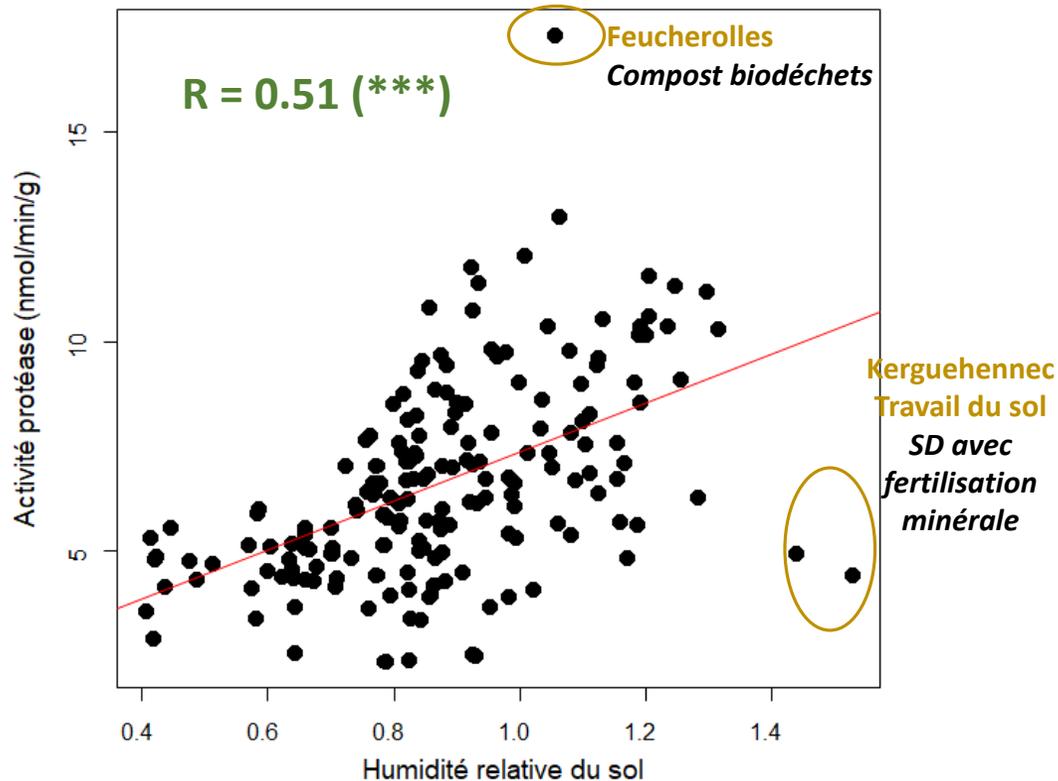
Sol très sec : humidité relative < 0,65

→ Impact sur les indicateurs mesurés ?

# Prélèvement - Variables pédoclimatiques à prendre en compte

- **Corrélation entre humidité relative du sol au moment du prélèvement & variables microbiologiques mesurées**

## Exemple de l'activité protéase



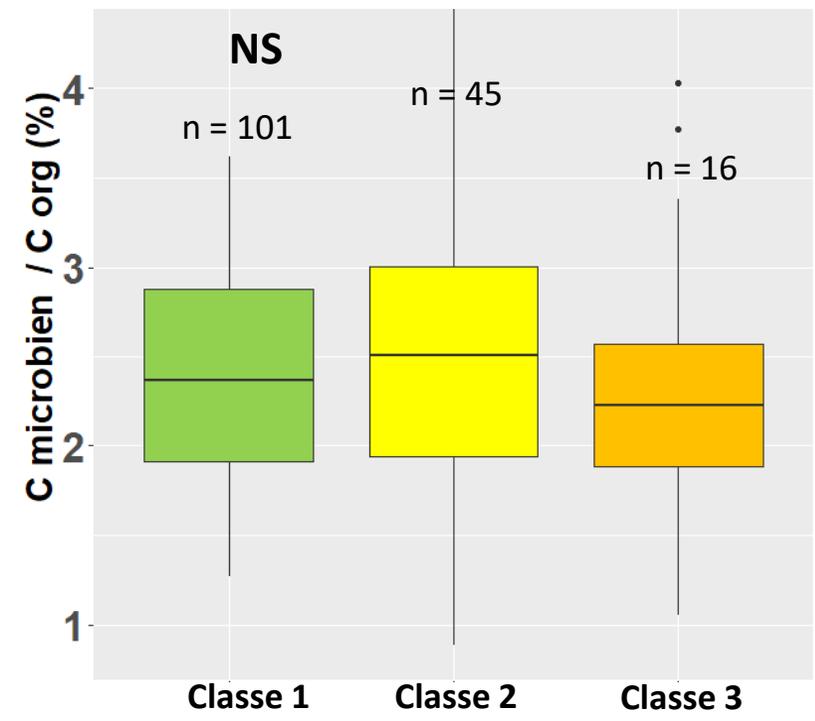
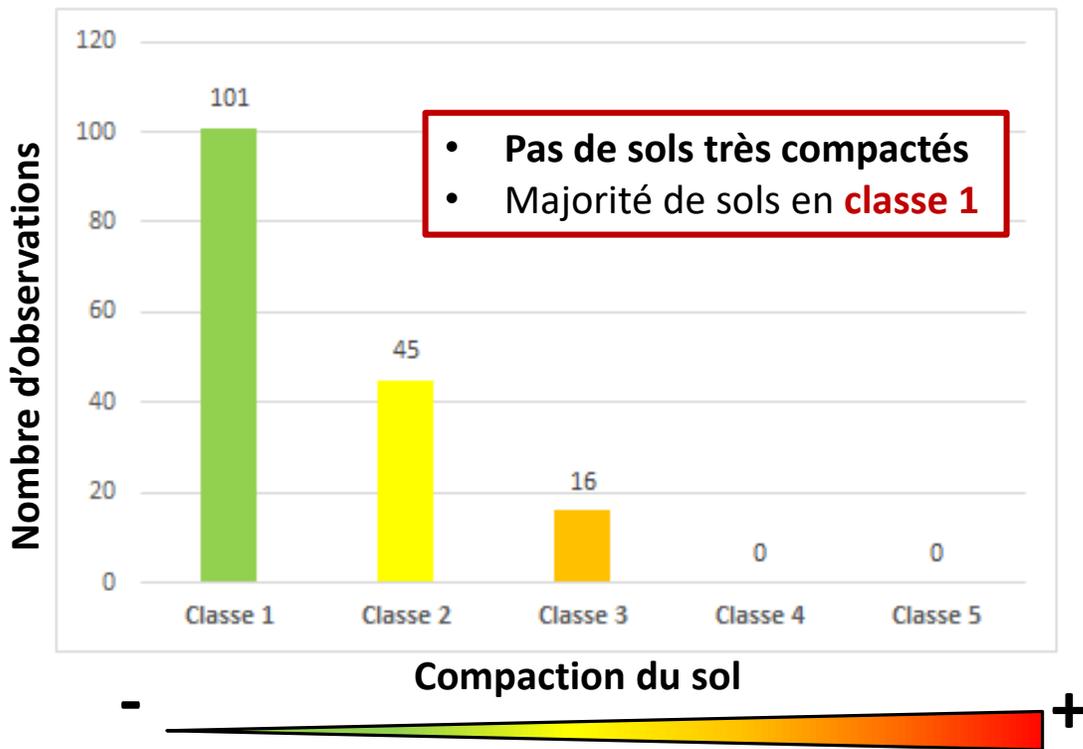
- Relation positive entre **humidité du sol** au moment du prélèvement & **activité protéase mesurée**

--> **Faible humidité du sol : Impact négatif** sur les indicateurs microbiologiques

**Guide Microbioterre**  
**Période de prélèvement : Proscrire le prélèvement sur sol sec**

# Prélèvement - Variables pédoclimatiques à prendre en compte

- Niveau de compaction du sol sur 0-20 cm



**Etudes antérieures :**  
Indicateur C microbien sensible au niveau de compaction du sol (Salducci, 2007)

**Microbioterre :**  
Pas d'effet sur C microbien car *faible variabilité* du niveau de compaction

**Guide Microbioterre - Evaluation de la structure du sol**  
Evaluer la structure du sol au moyen d'un test bêche. Utiliser par exemple la **méthode ISARA ou VESS**

# Prélèvement - Recommandations issues de la littérature

## Température

- ✓ De préférence une température moyenne journalière de l'air supérieure à 8 °C
- ✓ Proscrire le prélèvement sur sol sec ou gelé.

## Opérations culturales

- ✓ **Avant tout apport de carbone au sol** (épandage de produit organique, d'enfouissement de résidus de culture ou destruction de couvert), ou **au minimum 2 mois après** ces opérations culturales,
- ✓ Avant tout apport d'amendement minéral basique, ou au minimum 3 mois après
- ✓ Impérativement **avant un labour ou autre travail profond** et si possible avant un travail superficiel,
- ✓ Après la valorisation de tout apport d'engrais minéral (pluie supérieure à 15 – 20 mm), ou au minimum 4 semaines après l'apport

--> **Éléments regroupés dans le mode opératoire de prélèvement**



# Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

*Choix du menu Microbioterre*

*Prélèvement  
terre*

***Construction & évaluation du  
référentiel Microbioterre***

Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (16 sous-fonctions)

Revue bibliographique  
80 articles

Fonction stockage C : Simulations  
modèle AMG  
18 essais

Essais agronomiques &  
littérature  
20 essais

**Essais agronomiques**  
20 essais

Liens Indicateurs – Pratiques culturales

Articles bibliographiques  
147 articles

Essais agronomiques  
20 essais

**Parcelles agriculteurs**  
26 parcelles

**2 types de données :**

-  Données acquises dans le projet
-  Données bibliographiques

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
*20 essais*

Parcelles agriculteurs  
*26 parcelles*

Quels **facteurs d'entrée** pour le référentiel ?

- **Facteurs pédoclimatiques**
- **Pratiques culturales**

Construction des référentiels

- Référentiel global
- Sous-référentiels *si possible*

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

Déploiement test du menu

Référentiel complété

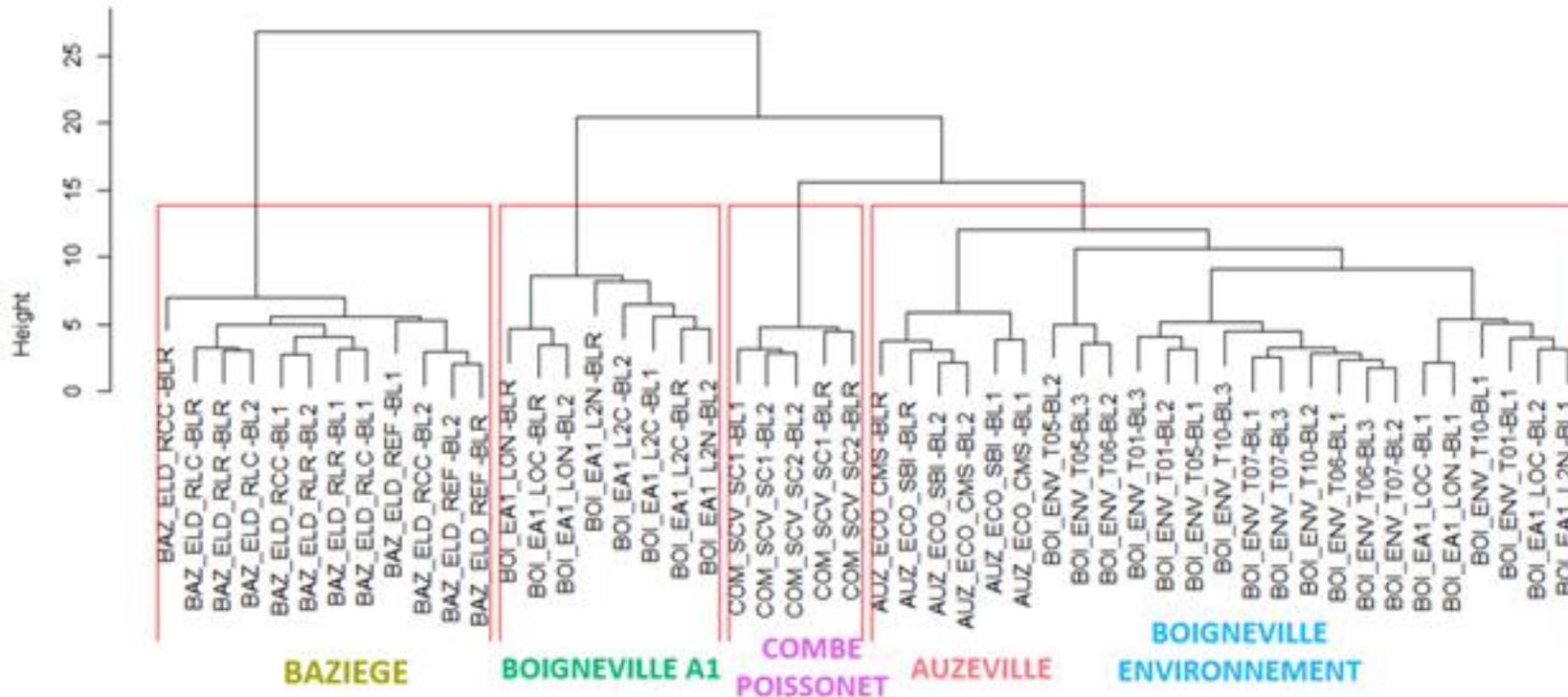


# Quels facteurs d'entrée dans les sous-référentiels ?

Quels facteurs prédominants dans l'explication de la variabilité des indicateurs ?

## Variables physico-chimiques

**Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)** Sites Couverts Intermédiaires



Observations regroupées **par sites**

**Effet pédoclimat (site) >> effet pratiques culturales**

**Facteurs pédoclimatiques prédominants vs. pratiques**

✓ **Pris en compte dans un sous-référentiel**

(Figuerola *et al.*, 2012)

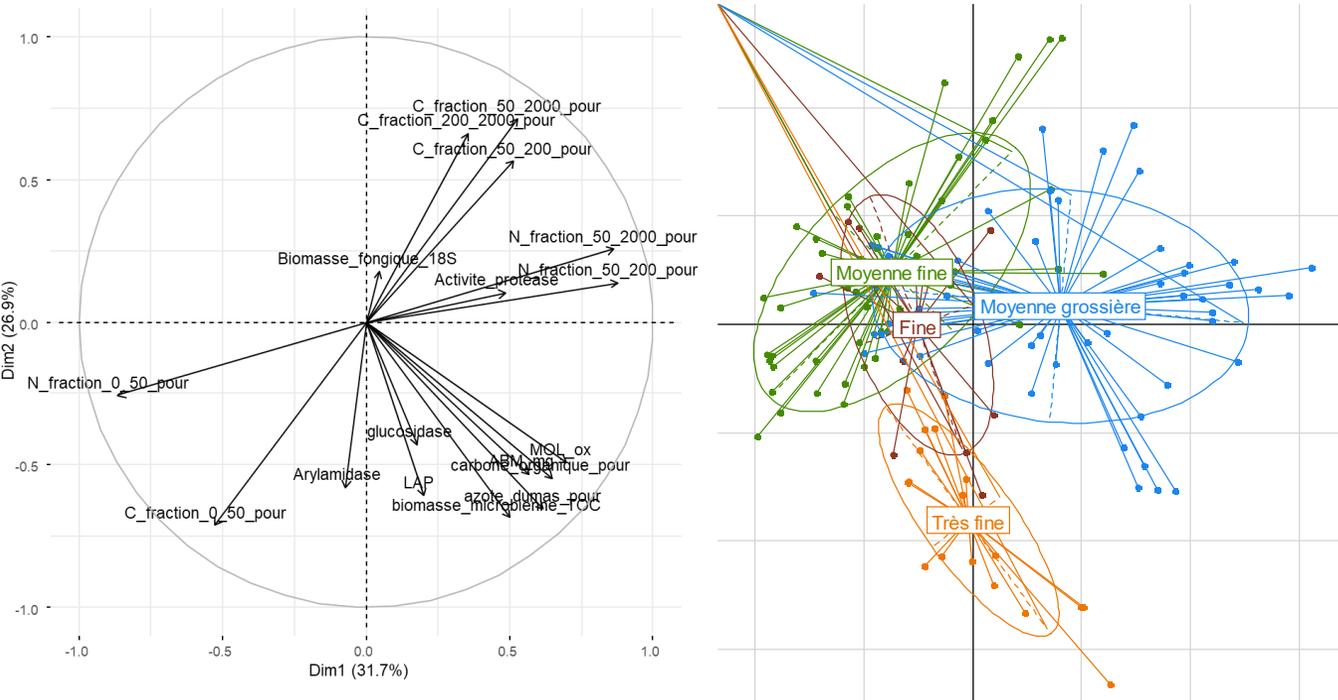
# Quels facteurs d'entrée dans les sous-référentiels ?

Quels facteurs prédominants dans l'explication de la variabilité des indicateurs ?

## Variables physico-chimiques & microbiologiques

Analyse en composantes principales (ACP)

Tous sites - Texture du sol



Zone climatique

### Types de climats France métropolitaine

- Classification proposée par Joly *et al.* (2008) : **8 types de climats**
- Référentiel Microbioterre *par type de climat* : **Pas assez d'observations**

- **Effet texture marqué** sur indicateurs physico-chimiques & microbiologiques
  - ✓ Données d'entrée de sous-référentiels
- **Effet climat** : Pas assez d'observations
  - ✗ Non pris en compte dans les sous-référentiels

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
*20 essais*

Parcelles agriculteurs  
*26 parcelles*

Quels **facteurs d'entrée** pour le référentiel ?

- Facteurs pédoclimatiques
- Pratiques culturales

Déploiement test du menu

Construction des référentiels

- Référentiel global ✓
- Sous-référentiels  
**Par classe de texture**



Référentiel complété

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

# Construction du référentiel global

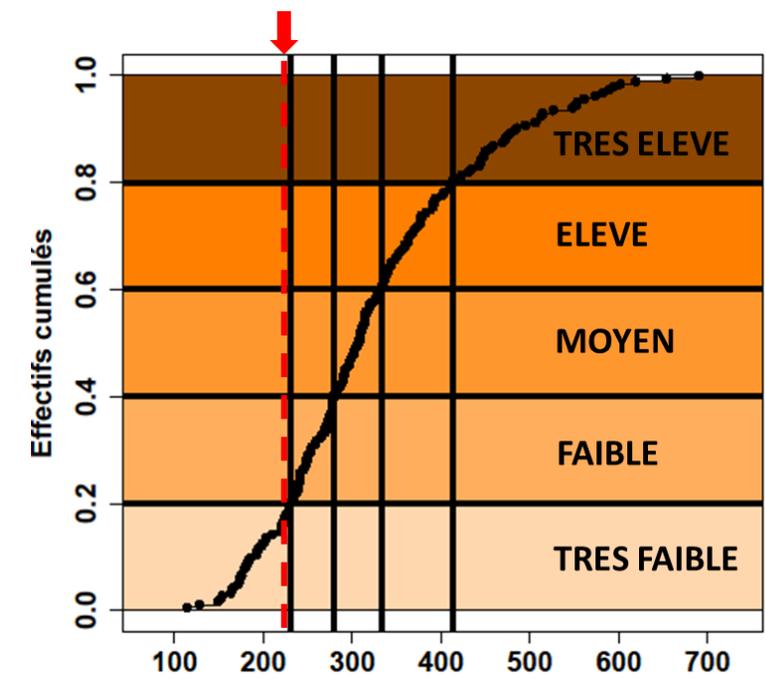
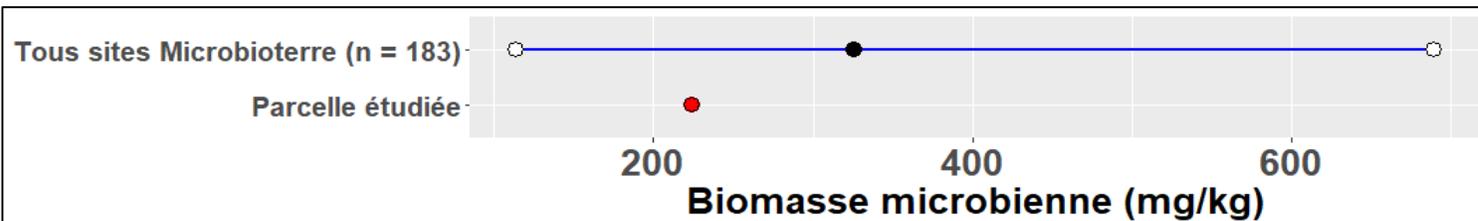
n = 183 observations

Tous sites – Toutes pratiques culturales

**1<sup>er</sup> niveau d'interprétation** : Valeur comprise dans le référentiel MicrobioTerre ?

**2<sup>ème</sup> niveau d'interprétation** : Niveau de l'indicateur ?

Exemple d'un indicateur  $\mu$ biologique : **Biomasse microbienne**



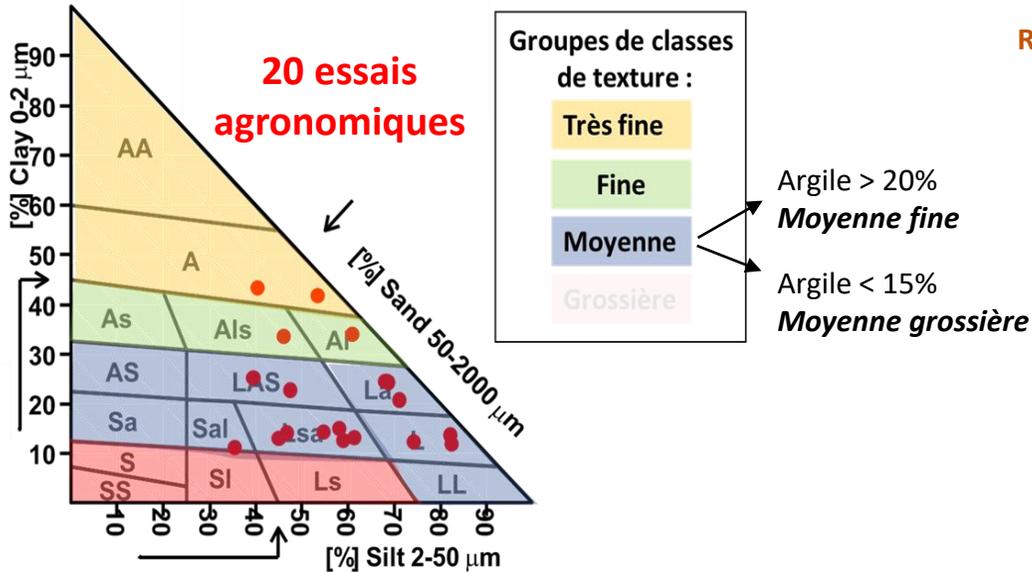
à partir des travaux de l'Université Cornell (2017)

→ **Valeur de biomasse microbienne comprise** dans référentiel Microbioterre

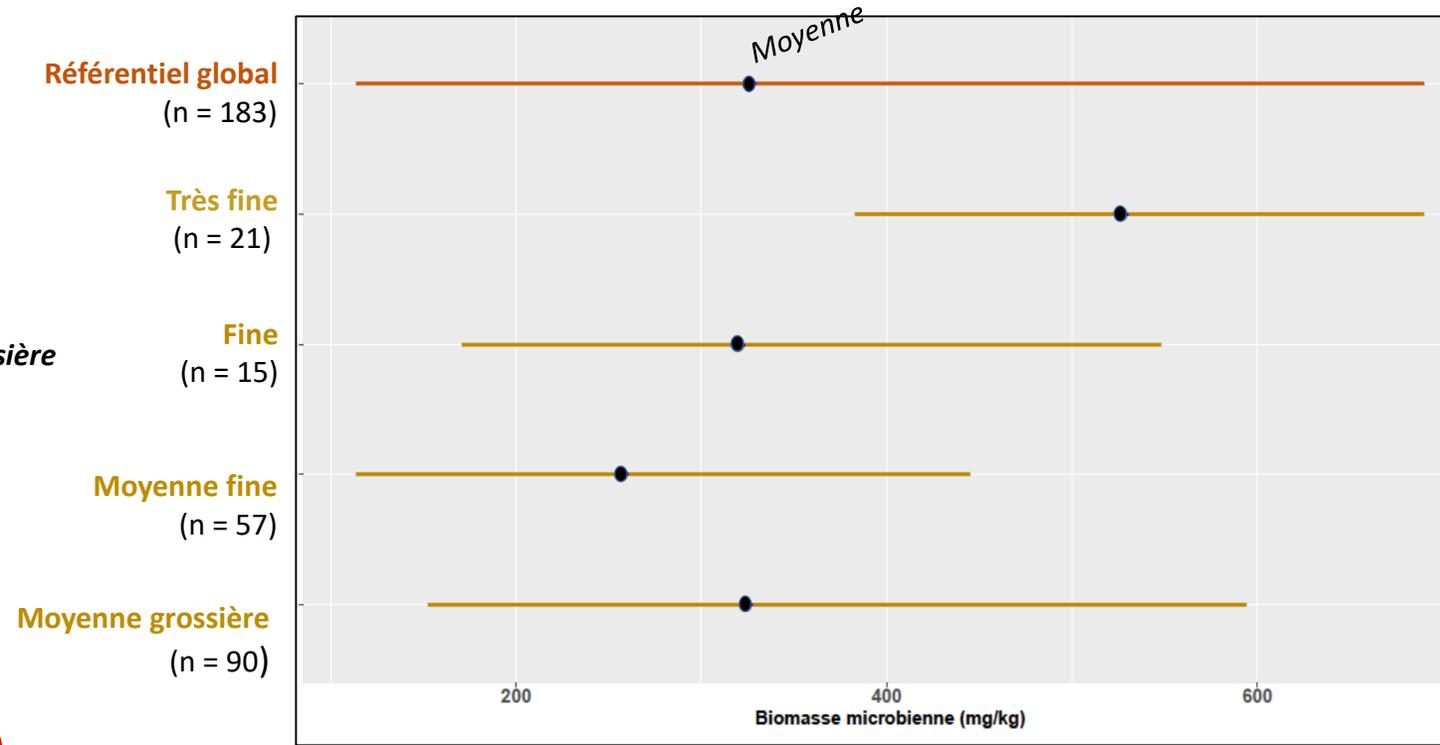
→ **Valeur très faible** de l'indicateur

# Construction des sous-référentiels par classe de texture

Triangle des textures GEPPA



Exemple d'un indicateur  $\mu$ biologique : **Biomasse microbienne**



**Effectifs trop restreints pour constituer les classes**

Pour *certaines* groupes de classes de texture (**Textures très fine & fine**) :  
**Nombres d'observations très faibles**  
 → **Construction des sous-référentiels** par texture *mais* pas encore assez fournis

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

Quels facteurs d'entrée pour le référentiel ?

- Facteurs pédoclimatiques
- Pratiques culturales

Déploiement test du menu

Construction des référentiels

- Référentiel global ✓
- Sous-référentiels *si possible*  
Par classe de texture



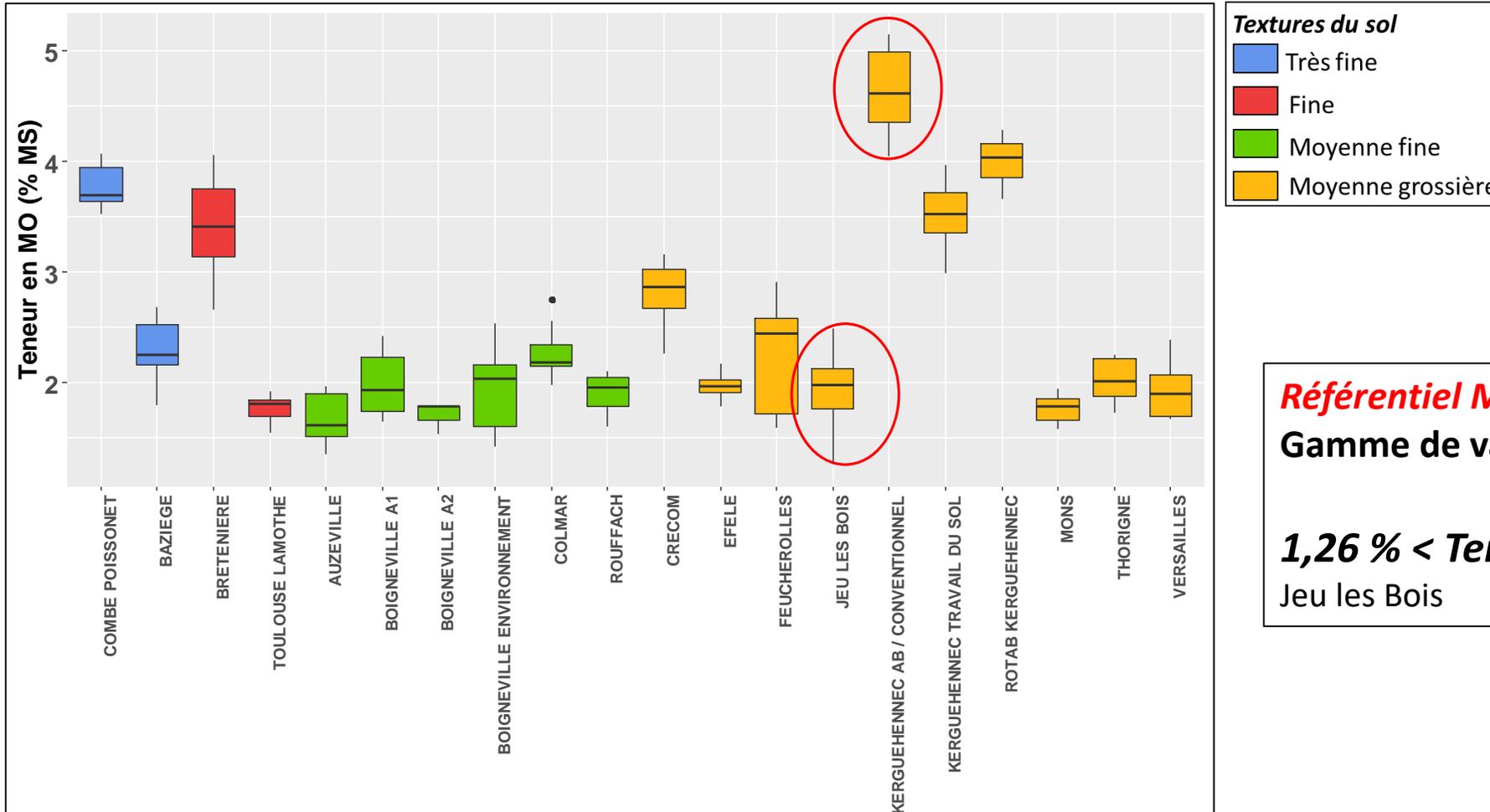
Référentiel complété

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

# Domaines de validité du référentiel Microbioterre

## ○ Teneurs en MO des sols analysés

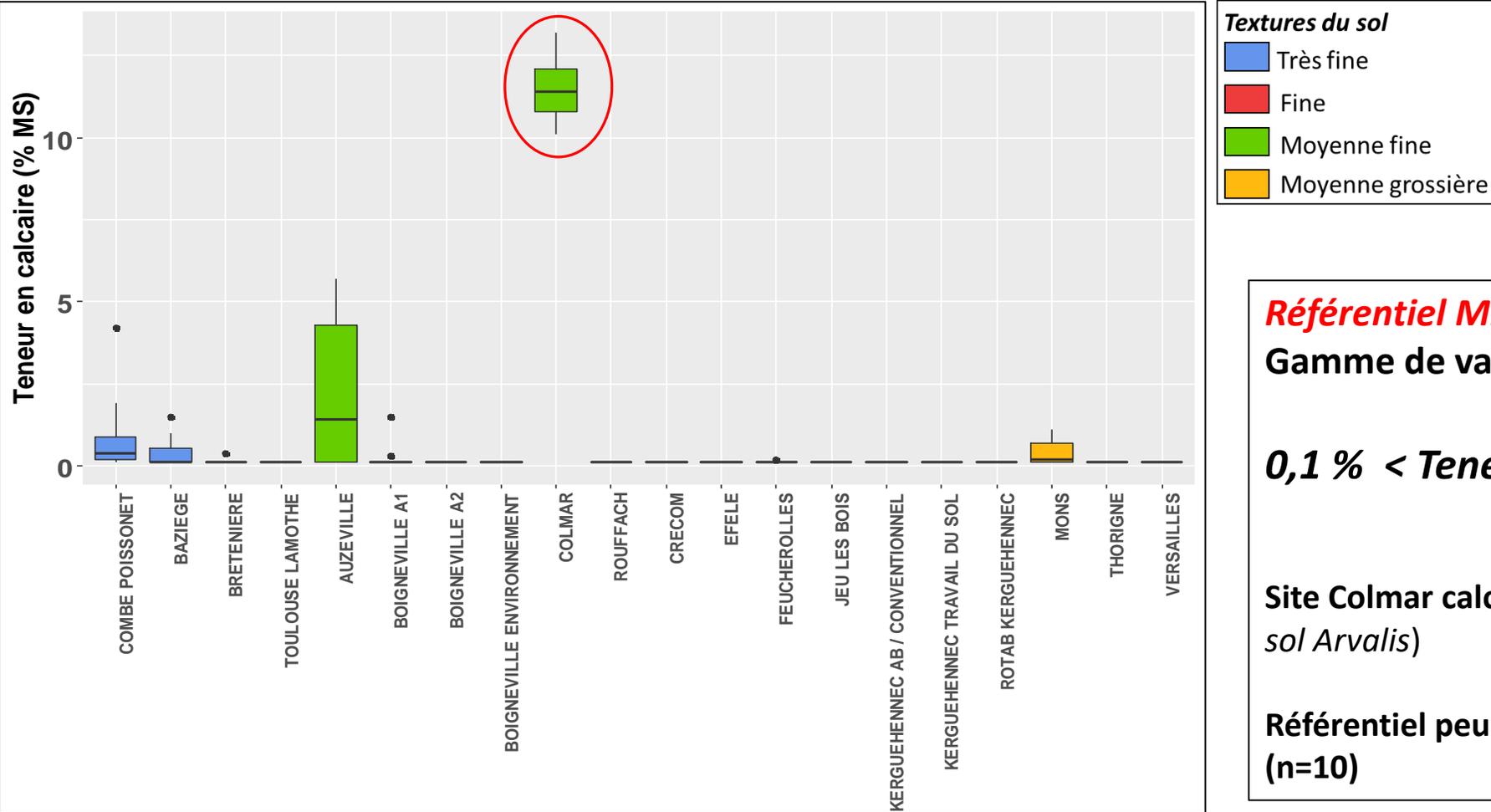


**Référentiel Microbioterre :**  
**Gamme de variation de la teneur en MO**

**1,26 % < Teneur MO (% MS) < 5,15 %**  
 Jeu les Bois Kerguehenneec

# Domaines de validité du référentiel Microbioterre

○ Taux de calcaire des sols analysés



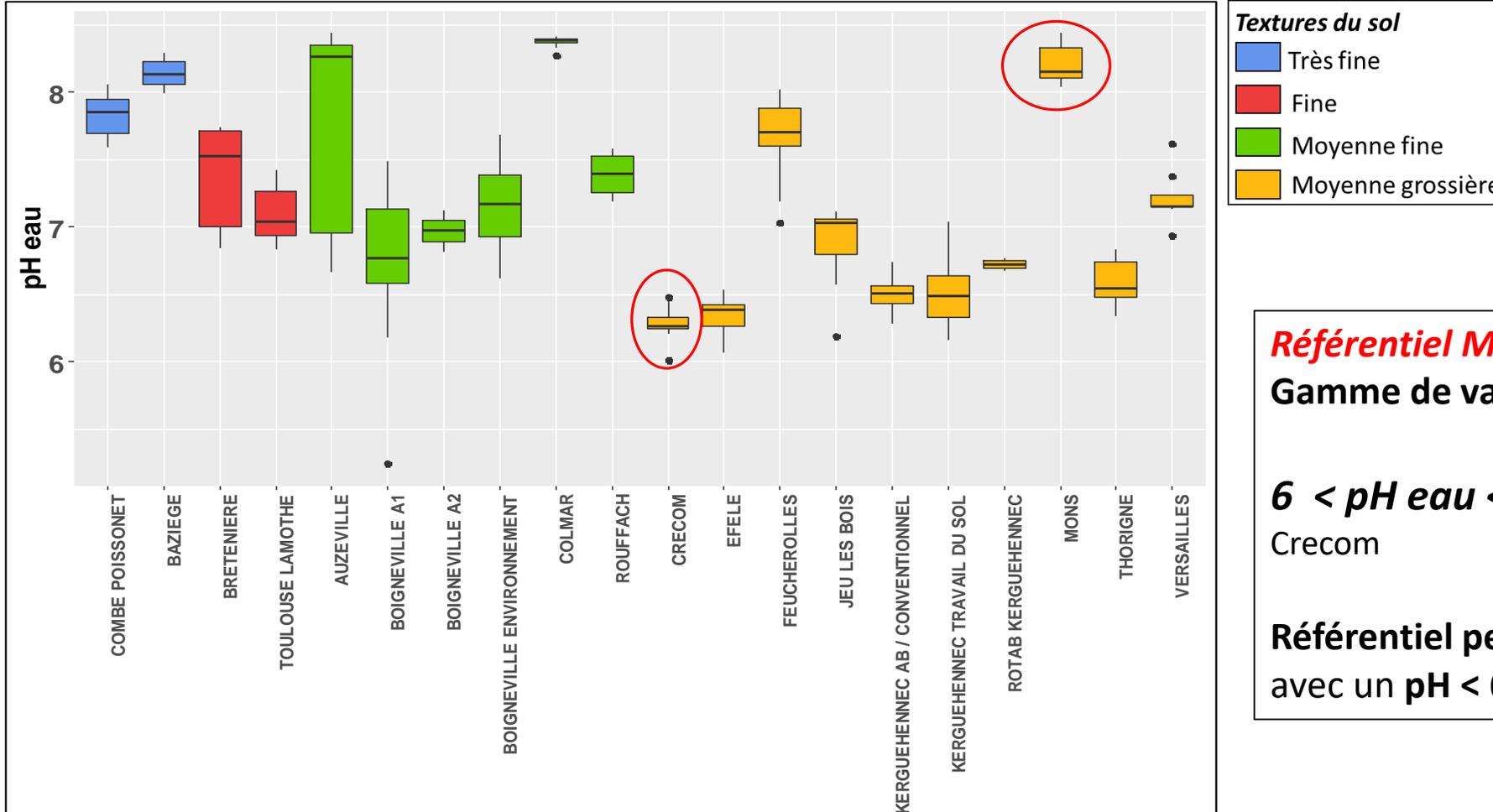
**Référentiel Microbioterre :**  
**Gamme de variation de la teneur en calcaire**  
**0,1 % < Teneur calcaire (% MS) < 13,2 %**  
 Colmar

**Site Colmar calcaire :** taux calcaire > 5% (Seuil base sol Arvalis)

**Référentiel peu robuste pour les sols calcaires (n=10)**

# Domaines de validité du référentiel Microbioterre

## ○ pH eau des sols analysés



**Référentiel Microbioterre :**  
**Gamme de variation du pH eau**

**6 < pH eau < 8,4**  
 Crecom                      Mons

**Référentiel peu robuste pour des sols avec un pH < 6 (n=1)**

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

Quels **facteurs d'entrée** pour le référentiel ?

- Facteurs pédoclimatiques
- Pratiques culturales

Déploiement test du menu

Construction des référentiels

- Référentiel global
- Sous-référentiels *si possible*



Référentiel complété

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

# Pratiques culturelles impactant chaque indicateur

## Leviers agronomiques possibles

**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	Activité protéase (nmol/min/g)	+25.9%	+11.4%	-9%	+7.3%	+15.4%
		LAP (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 1 : 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*

# Pratiques culturales impactant chaque indicateur

## Leviers agronomiques possibles

**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	Activité protéase (nmol/min/g)	+25.9%	+11.4%	-9%	+7.3%	+15.4%
		LAP (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 2 : Indicateur biomasse microbienne**

→ Pratique de la + à la - impactante :

PRO > Rotations > Systèmes > Travail sol > Couverts



Pratique culturelle impactant *fortement* l'indicateur

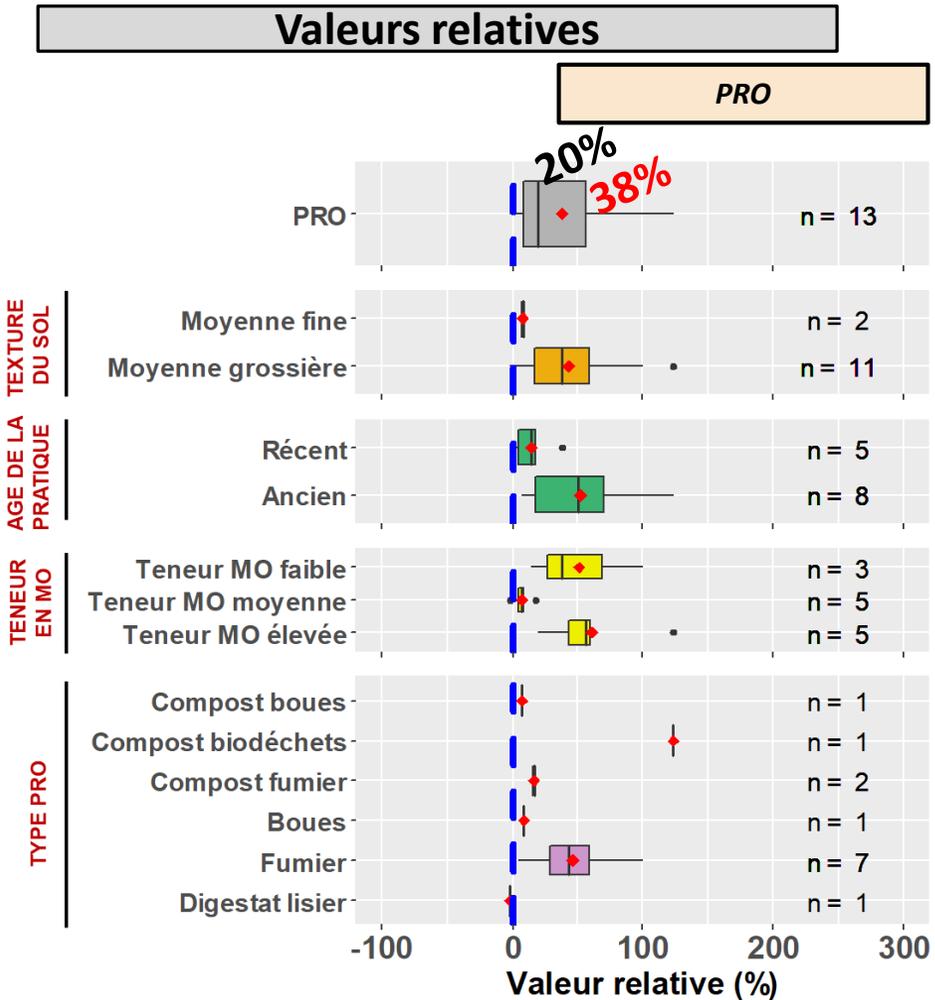
Pratique culturelle impactant *faiblement* l'indicateur

**Par indicateur du menu**

→ Pratiques de la + à la - impactante

Proposition de leviers agronomiques en fonction du *contexte agronomique*

# Pratiques culturales impactant chaque indicateur



Exemple:  
**Biomasse microbienne par fumigation (mg/kg)**

**Classification types de pratiques**

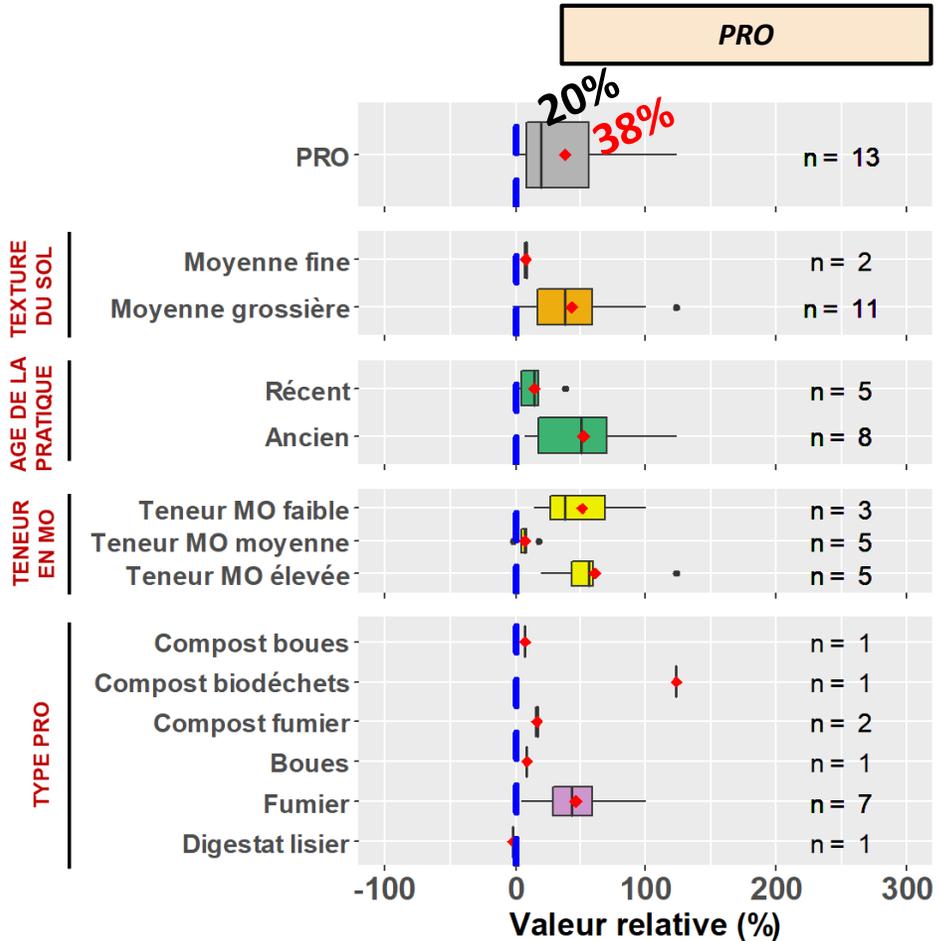
**PRO**  
 6 types de PRO

**Travail superficiel**  
 TS : Travail superficiel  
 SD : Semis Direct

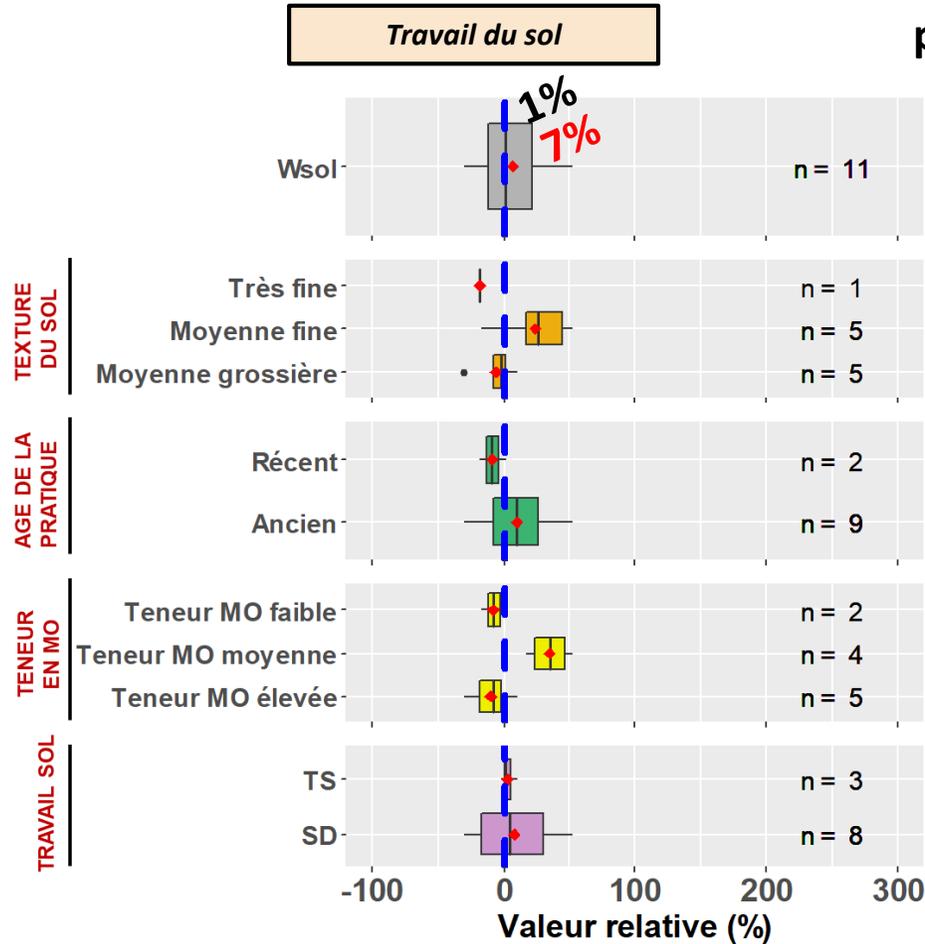
# Pratiques culturales impactant chaque indicateur

## Valeurs relatives

### PRO



### Travail du sol



Exemple:  
Biomasse microbienne par fumigation (mg/kg)

Effets de l'apport de PRO et du type de travail du sol sur le C microbien

**PRO**  
En moyenne ↑ + 38 % C mic.

**Travail du sol**  
En moyenne ↑ + 7 % C mic.

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

Quels facteurs d'entrée pour le référentiel ?

- Facteurs pédoclimatiques
- Pratiques culturales

Déploiement test du menu

Construction des référentiels

- Référentiel global ✓
- Sous-référentiels *si possible*  
Par classe de texture



Référentiel complété

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

# Parcelles agriculteurs échantillonnées



26 parcelles

- Profondeur de prélèvement **0 – 20 cm**
- Dates de prélèvement : Entre fin mars et mai

 **Pratiques conventionnelles**

- Labour

 **Pratiques innovantes ou bio.**

- Travail superficiel du sol
- Semis direct
- Avec couvert permanent
- Apport déchets verts

# Déploiement test du menu MicrobioTerre

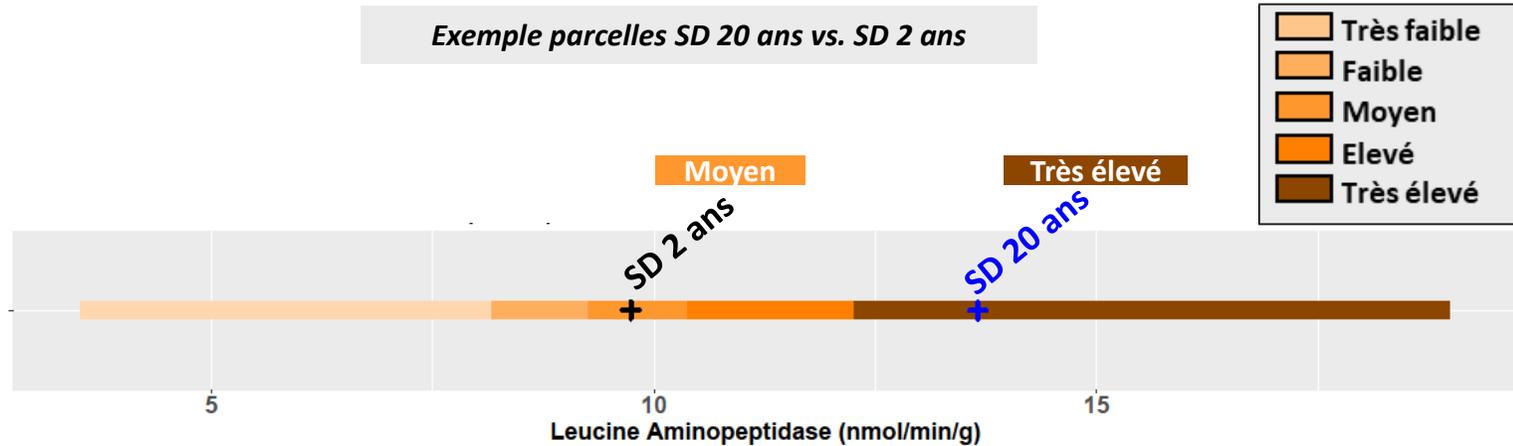
## Parcelles agriculteurs

Mesure des **indicateurs du menu** sur chaque parcelle :

Chaque valeur remplacée dans **référentiel global 2017-2018** (n=183 obs.)

Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)
		C 0-50 (%)
		C 50-200 (%)
		C 200-2000 (%)
		C 50-2000 (%)
	C oxydé (mg/kg)	
	Azote	N total (%)
		N 0-50 (%)
N 50-200 (%)		
N 50-2000 (%)		
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)
		18S (copies/g)
	Activités	Protéase (nmol/min/g)
		LAP (nmol/min/g)
		Arylamidase (nmol/min/g)
		ABM (mg/kg)
		Glucosidase (nmol/min/g)

■ Indicateur non mesuré



Dans cet exemple :

L'indicateur discrimine les pratiques culturelles *entre les 2 parcelles agriculteurs*

→ Aptitude discriminante potentielle des indicateurs :

**Essais agronomiques & parcelles agriculteurs**

# Construction des référentiels d'interprétation

Essais agronomiques  
20 essais

Parcelles agriculteurs  
26 parcelles

Quels facteurs d'entrée pour le référentiel ?

- Facteurs pédoclimatiques
- Pratiques culturales

Déploiement test du menu

Construction des référentiels

- Référentiel global ✓
- Sous-référentiels *si possible*  
Par classe de texture



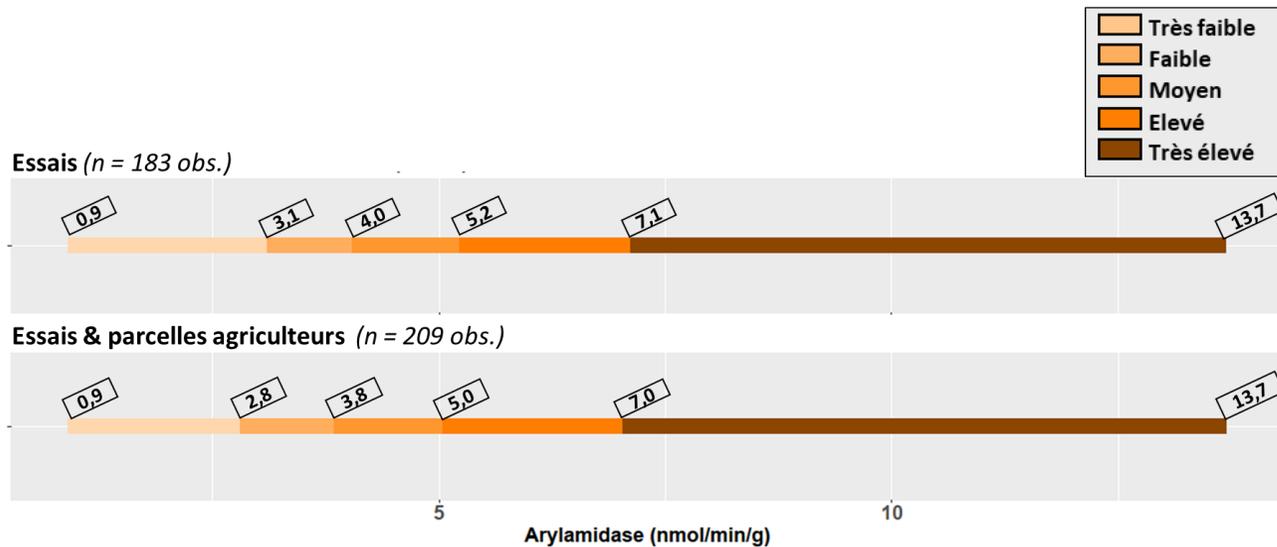
Référentiel complété

Domaines de validité du référentiel

Leviers agronomiques possibles

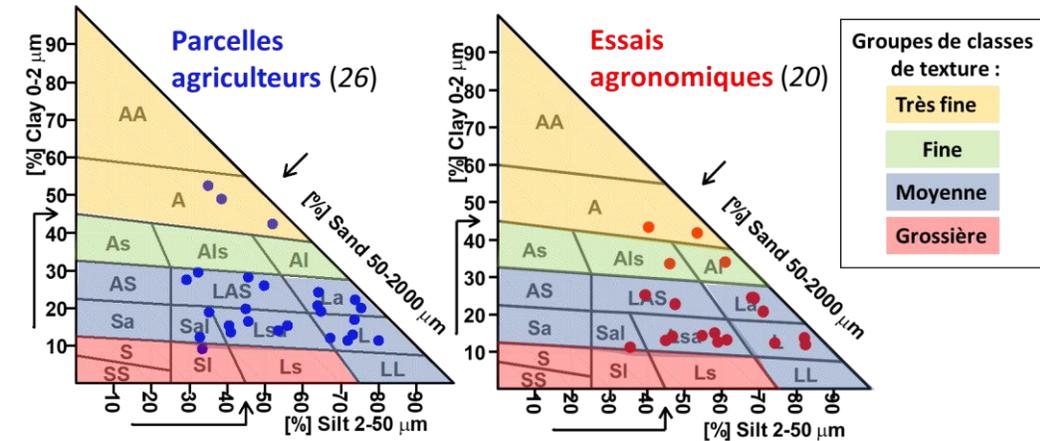
# Déploiement test du menu MicrobioTerre

Exemple d'un indicateur microbiologique : **Activité arylamidase**



**Valeurs indicateurs des parcelles agriculteurs** comprises dans le référentiel Essais

Classes de textures du référentiel



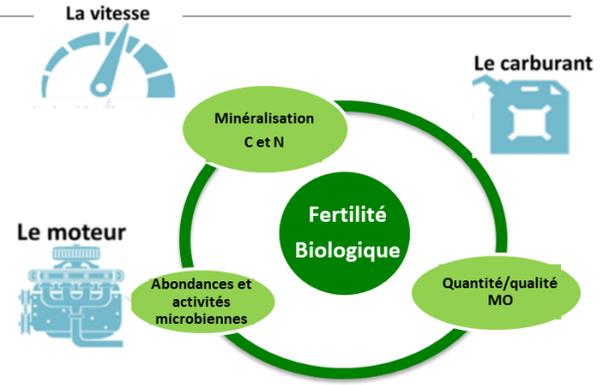
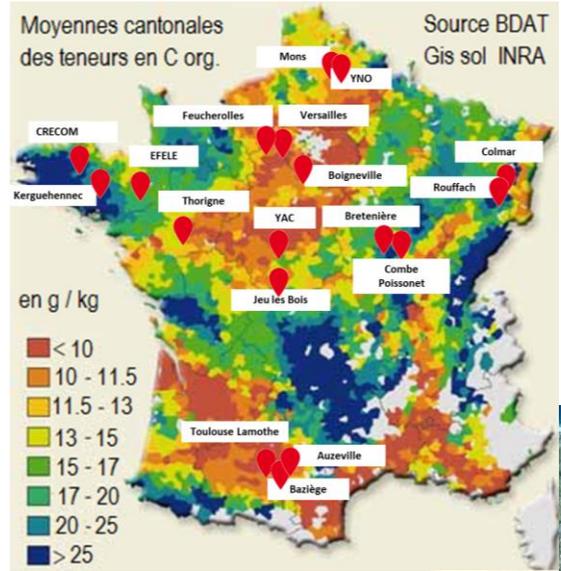
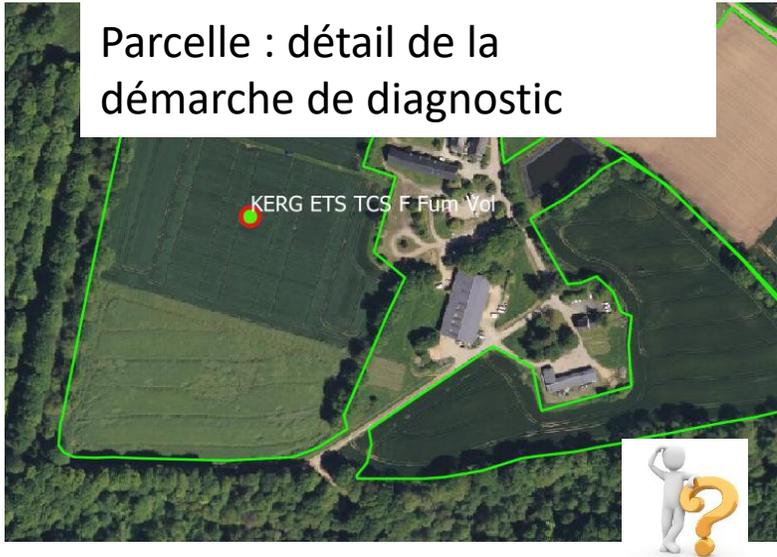
**Texture moyenne** la plus représentée dans le référentiel

# Présentation d'un cas d'étude déroulement du diagnostic

**Roussel Pierre-Yves & Barbot Christophe**

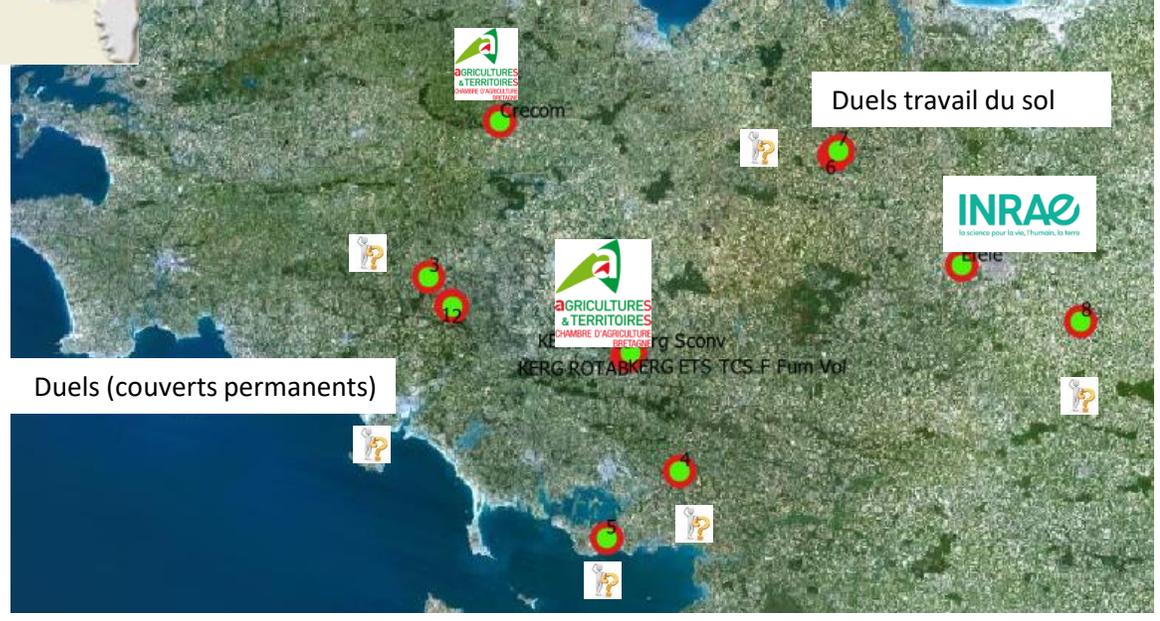
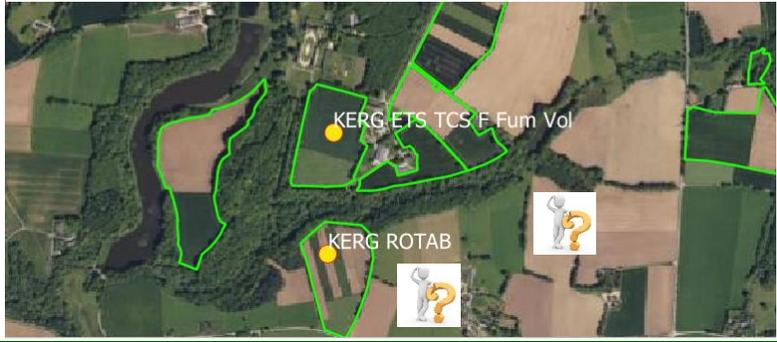


# Cas d'étude: sites Bretagne



Interprétation à l'échelle des sites bretons prélevés

Comparaison systèmes de culture sur un même contexte pédoclimatique



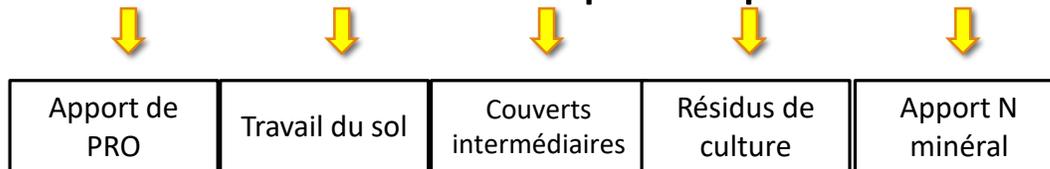


# Cas d'étude: sites Bretagne



## DEROULE DE LA DEMARCHE à la l'échelle d'une parcelle

1. Contexte
2. Pratiques culturales sur la rotation
3. Objectifs de l'exploitant: *évolution de pratiques, état de santé du sol, optimum, état souhaitable*
4. Observation, test bêche, prélèvement
5. Simulation d'évolution Carbone et azote (modèle AMG)
6. Interprétation des indicateurs au regard des pratiques dans le cadre du référentiel national et régional quand il existe
7. Proposition d'indicateurs spécifiques à suivre dans le temps



	Année récolte	n-3	n-2	n-1	n	Objectifs exploitant
	Culture	Mais 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	
Travail du sol après semis	Type d'outil	Canadien	Canadien	Canadien	Canadien	Introduction du désherbage mécanique sur maïs ?
	Nb de passages de travail du sol entre récolte précédente et semis compris	3	2	2	2	
	Type	aucun	aucun	aucun	aucun	
Culture principale	Nombre de passages					Exportation/valorisation extérieure des pailles ?
	Type d'engrais récolté	Grain	Grain	Grain	Grain	
	Rendement récolte (t/ha) au normes	12.3	7.5	2.4	8.9	
	Devenir des résidus	Carres broyées	Paille broyée	Paille broyée	Paille broyée	
CIPAN, CIVE, culture dérivée et repousses	Composition	Moyenne	Non concerné	Paille (1.5Tms/ha)	Repousses de colza	Tester l'introduction de couverts courts
	Estimation de la biomasse	Moyenne (2Tms/ha)		Faible (1.5Tms/ha)	Faible (1.5Tms/ha)	
	Date de levée	1/9		5/8	5/8	
	Date destruction	1/2		4/9	11/10	
	Mode de destruction	Chimique		Chimique	Chimique	
Couvert associé à la culture	Devenir de la biomasse	Résiduelle		Résiduelle	Résiduelle	Augmenter la biomasse du couvert entre blé et maïs en semant plus tôt.
	Mode incorporation dans le sol	Canadien		Canadien	Canadien	
	Couvert ou culture	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	
	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)	9,0	9,0	6,0	8,5	Manque de disponibilité du fumier de volaille à moyen terme.
	% matière sèche (MS)	52,2	50,6	44,4	39,7	
	C total (% MB)	336	392	140	305	
	N total (% MB)	23,9	21,5	21,0	22,8	
	C/N	14,0	18,2	6,6	13,3	
Amendement	mois d'épandage de PRO	avril	mars	septembre	mars	Echange paille/fumier à renégocier.
	Type	Pas d'amendement				
Fertilisation minérale	N (kg/ha)	0	60	90	70	pH entretenu par les apports de fumier de volaille
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	0	0	0	0	
	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	0	0	0	0	
		0	0	0	0	





# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

	Année récolte	n-3	n-2	n-1	n	Objectifs exploitant
	Culture	Maïs grain	Blé tendre hiver	Colza hiver	Blé tendre hiver	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien de la rotation, rendements moyens sur colza (semis plus précoce à prévoir)</li> </ul>
Travail du sol à l'interculture (de la récolte au semis inclus)	Type de travail du sol le plus profond	Déchaumage	Déchaumage	Déchaumage	Déchaumage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien en non-labour. Limitation du nb de passages de travail du sol.</li> </ul>
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction du désherbage mécanique sur maïs ?</li> </ul>
	Nombre de passages					
Culture principale	Type d'organe récolté	Grain	Grain	Grain	Grain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exportation/valorisation extérieure des pailles ?</li> </ul>
	Rendement récolte (t/ha ou t MS/ha) aux normes	12.3	7.5	2.4	8.9	
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tester l'introduction de couverts courts</li> <li>Augmenter la biomasse du couvert entre blé et maïs en semant plus tôt.</li> </ul>
	Estimation de la biomasse	Moyenne (2Tms/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 résiduaux organiques (PRO) : produit 1	Type de PRO	Fumier volaille	Fumier volaille	Fumier volaille	Fumier volaille	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manque de disponibilité du fumier de volaille à moyen terme.</li> <li>Echange paille/fumier à renégocier.</li> </ul>
	Quantité apportée (t/ha de matière brute, MB)	9,0	9,0	6,0	8,5	
	% matière sèche (M.S.)	52,2	50,6	44,4	79,7	
	C total (‰ MB)	336	392	140	305	
	N total (‰ MB)	23,9	21,5	21,0	22,8	
	C/N	14,0	18,2	6,6	13,3	
	mois d'épandage de PRO	avril	mars	septembre	mars	
Amendement	Type	Pas d'amendement				<ul style="list-style-type: none"> <li>pH entretenu par les apports de fumier de volaille</li> </ul>
Fertilisation minérale	N (kg/a)	0	60	90	70	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	0	0	0	0	
	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	0	0	0	0	

## 2 et 3

- Historique des pratiques culturales (échelle rotation)
- Questionnement, objectifs sur les différents leviers/pratiques
- Niveaux actuels, niveaux souhaitables
- Sélection des indicateurs pertinents à analyser.

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

### 4. 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

- Forte proportion de terre fine et de mottes gamma témoin d'une structure aérée, peu tassée.
- Elle est favorable à l'oxygénation du sol et aux activités aérobies des microorganismes ainsi qu'à l'exploration par les racines de colza



## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

5. simulation de l'évolution du carbone sur 30 ans (modèle AMG)

Essais système étudiés	Carbone humifié PRO	Carbone humifié COUVERT	Carbone humifié RESIDUS	Carbone MINERALISE TOTAL	Evolution tx MO 30 ans
TCS fumier volaille	51		4	87	 0.8

- L'apport de fumier de volaille sur chaque culture,
  - La restitution systématique des résidus de culture,
  - Les rendements corrects de la parcelle (productions racinaires),
- sont **les 3 leviers à l'origine d'un stockage additionnel de carbone**

# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Résultats et lien avec les fonctions

Indicateurs	Valeurs indicateurs	Niveaux indicateurs	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	TCS & Fumier de volaille	Référentiel global (n = 209 obs.)	Fourniture N			Perte N		Transformation 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	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)	83.6	Faible							+								
C 50-200 µm (%)	10.5	Très élevé							+		+	+					
C 200-2000 µm (%)	5.9	Elevé							+		+						
C 50-2000 µm (%)	16.4	Elevé															
C KMnO4 (mg/kg)	1110.0	Très élevé				+		-	-	+			+		+	+	+
N total (%)	0.22	Très élevé	+	+	-												
N 0-50 µm (%)	85.9	Très faible															
N 50-200 µm (%)	9.1	Très élevé	+	+													
N 50-2000 µm (%)	14.1	Très élevé															
ABM (mg/kg)	26.7	Elevé	+				+						+				
C microbien (mg/kg)	449.9	Très élevé	+			+			+				+				
18S (copies/g)	3.8E+12	Très élevé											+				
Protéase (nmol/min/g)	10.6	Très élevé	+	-					+				+				
LAP (nmol/min/g)	10.0	Moyen															
ARYLN (nmol/min/g)	4.7	Moyen	+														
B-Glu (nmol/min/g)	30.3	Très élevé	+	+					+					+			

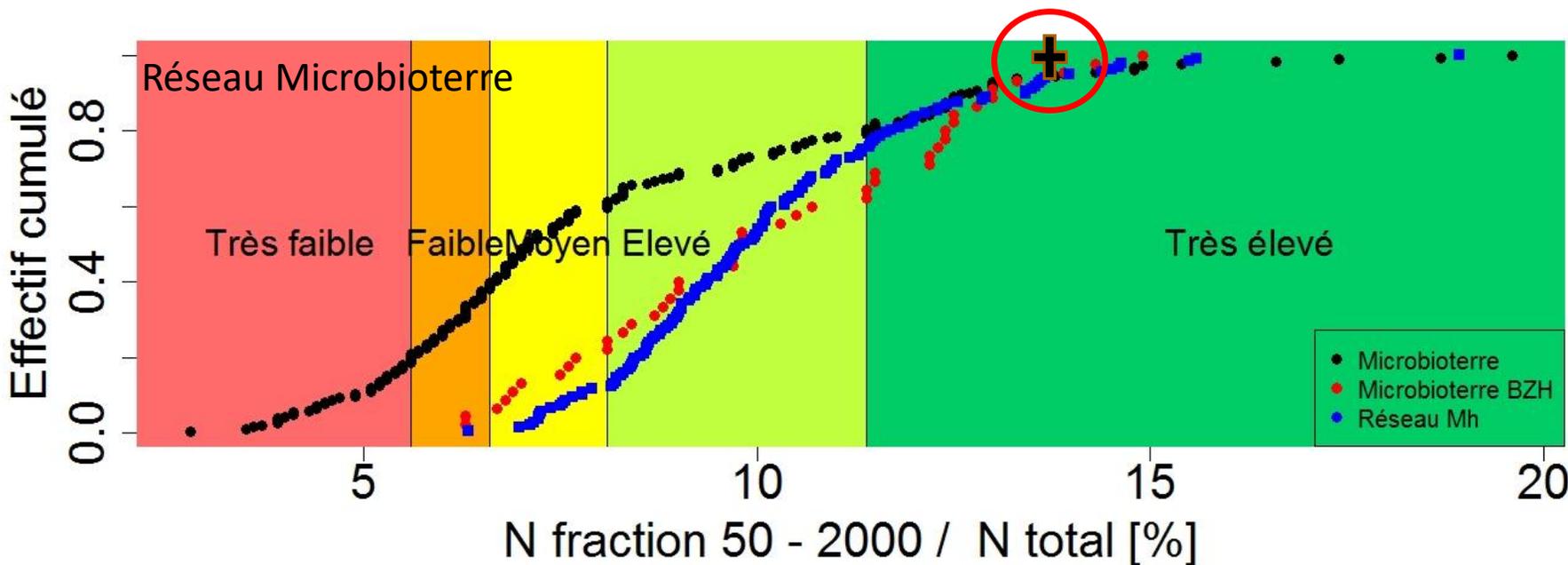
L'ensemble des indicateurs est à un niveau élevé

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		

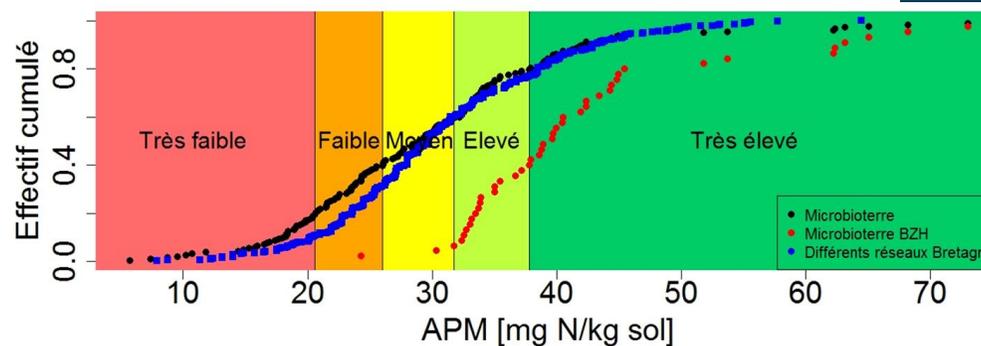
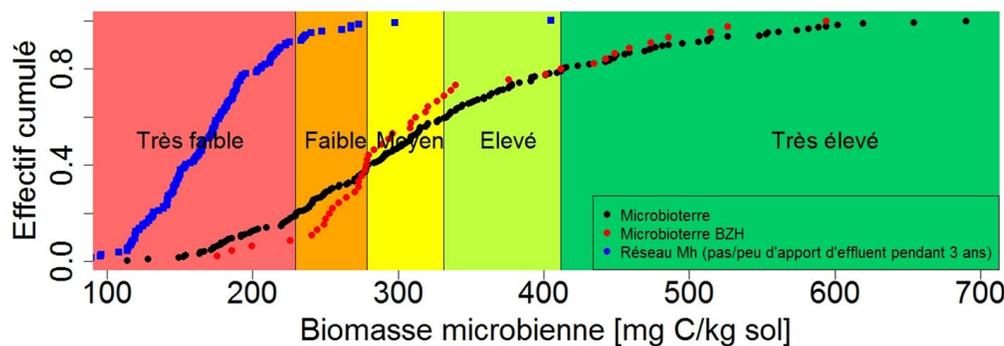
# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehennec

### 6. Résultats et référentiel



Le Réseau Mh (CRAB/INRAE):  
un référentiel de 137  
parcelles en Bretagne



## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Résultats et lien avec les fonctions

#### • Diagnostic de base

Indicateurs	Valeur absolue	Niveaux indicateurs		Recyclage des nutriments		Transformation du carbone			Structure du sol		
		Référentiel global (n = 209 obs.)	Référentiel breton (n=53 obs.)	Fourniture N	Perte N	Transformation MO	Perte MO	Augmentation MO	Erosion Battance	Porosité	Stockage d'eau
C microbien par fumigation (mg/kg)	450	Très élevé	Très élevé	++	++		++		++		
C oxydé KMnO4 (mg/kg)	1110	Très élevé	Elevé	++	++	--	++		++	++	++
ABM (mg/kg)	26.67	Elevé	Elevé	+	+				+		

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

### 6. Résultats et lien avec les fonctions

Indicateurs	Valeurs indicateurs	Niveaux indicateurs	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	TCS & Fumier de volaille	Référentiel global (n = 209 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	+	+		+				+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)	83.6	Faible									+						
C 50-200 µm (%)	10.5	Très élevé								+		+	+				
C 200-2000 µm (%)	5.9	Elevé								+		+					
C 50-2000 µm (%)	16.4	Elevé															
C KMnO4 (mg/kg)	1110.0	Très élevé				+		-	-	+			+		+	+	+
N total (%)	0.22	Très élevé	+	+	-												
N 0-50 µm (%)	85.9	Très faible															
N 50-200 µm (%)	9.1	Très élevé	+	+													
N 50-2000 µm (%)	14.1	Très élevé															
ABM (mg/kg)	26.7	Elevé	+										+				

	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		

#### Fractionnement:

- fraction libre, labile est en proportion élevée: réservoir de nutriments facilement accessibles
- Stabilité structurale et circulation de l'eau et de l'air potentiellement élevées

# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Résultats et lien avec les fonctions

Indicateurs	Valeurs indicateurs	Niveaux indicateurs	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	TCS & Fumier de volaille	Référentiel global (n = 209 obs.)	Fourniture N			Perte N		Transformation 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	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)	83.6	Faible								+							
C 50-200 µm (%)	10.5	Très élevé							+		+	+					
C 200-2000 µm (%)	5.9	Elevé							+		+						
C 50-2000 µm (%)	16.4	Elevé															
C KMnO4 (mg/kg)	1110.0	Très élevé				+		-	-	+			+		+	+	+
N total (%)	0.22	Très élevé	+	+	-												
N 0-50 µm (%)	85.9	Très faible															
N 50-200 µm (%)	9.1	Très élevé	+	+													
N 50-2000 µm (%)	14.1	Très élevé															
ABM (mg/kg)	26.7	Elevé	+				+					+					
C microbien (mg/kg)	449.9	Très élevé	+			+			+			+					
18S (copies/g)	3.8E+12	Très élevé										+					

	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		



**L'abondance microbienne est très élevée**

- fourniture en azote, une minéralisation de la MO élevées,
- stabilité structurale potentiellement élevées.
- Pertes potentielles en azote élevées (émission de N2O) si les apports d'azote ne sont pas bien ajustés



# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Résultats et lien avec les fonctions

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		

Indicateurs	Valeurs indicateurs	Niveaux indicateurs	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
			Fourniture N			Perte N		Transformation MO		Augmentation MO			Erosion Battance		Porosité		Stockage eau
			Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Bio dégradation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Agrégation (Macro)	Agrégation (Micro)	Aération/Circulation eau - air	Infiltration en eau	Rétenion en eau
C org (%)	2.2	Très élevé	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+	
C 0-50 µm (%)	83.6	Faible							+								
C 50-200 µm (%)	10.5	Très élevé						+		+	+						
C 200-2000 µm (%)	5.9	Elevé						+		+							
C 50-2000 µm (%)	16.4	Elevé						+		+							
C KMnO4 (mg/kg)	1110.0	Très élevé				+	-	-	+			+		+	+	+	
N total (%)	0.22	Très élevé	+	+	-												
N 0-50 µm (%)	85.9	Très faible															
N 50-200 µm (%)	9.1	Très élevé	+	+													
N 50-2000 µm (%)	14.1	Très élevé															
ABM (mg/kg)	26.7	Elevé	+										+				
C microbien (mg/kg)	449.9	Très élevé	+			+			+			+					
18S (copies/g)	3.8E+12	Très élevé											+				
Protéase (nmol/min/g)	10.6	Très élevé	+	-					+			+					
LAP (nmol/min/g)	10.0	Moyen															
ARYLN (nmol/min/g)	4.7	Moyen	+														
B-Glu (nmol/min/g)	30.3	Très élevé	+	+					+				+				

Les activités enzymatiques sont à des niveaux moyens à élevés.

**Les activités cycles N - LAP & ARYLN:** moyen et protéase : très élevée ce qui traduit une fourniture potentielle d'azote élevée

**Activité cycle C- B-Glu** très élevé: fourniture de carbone élevée



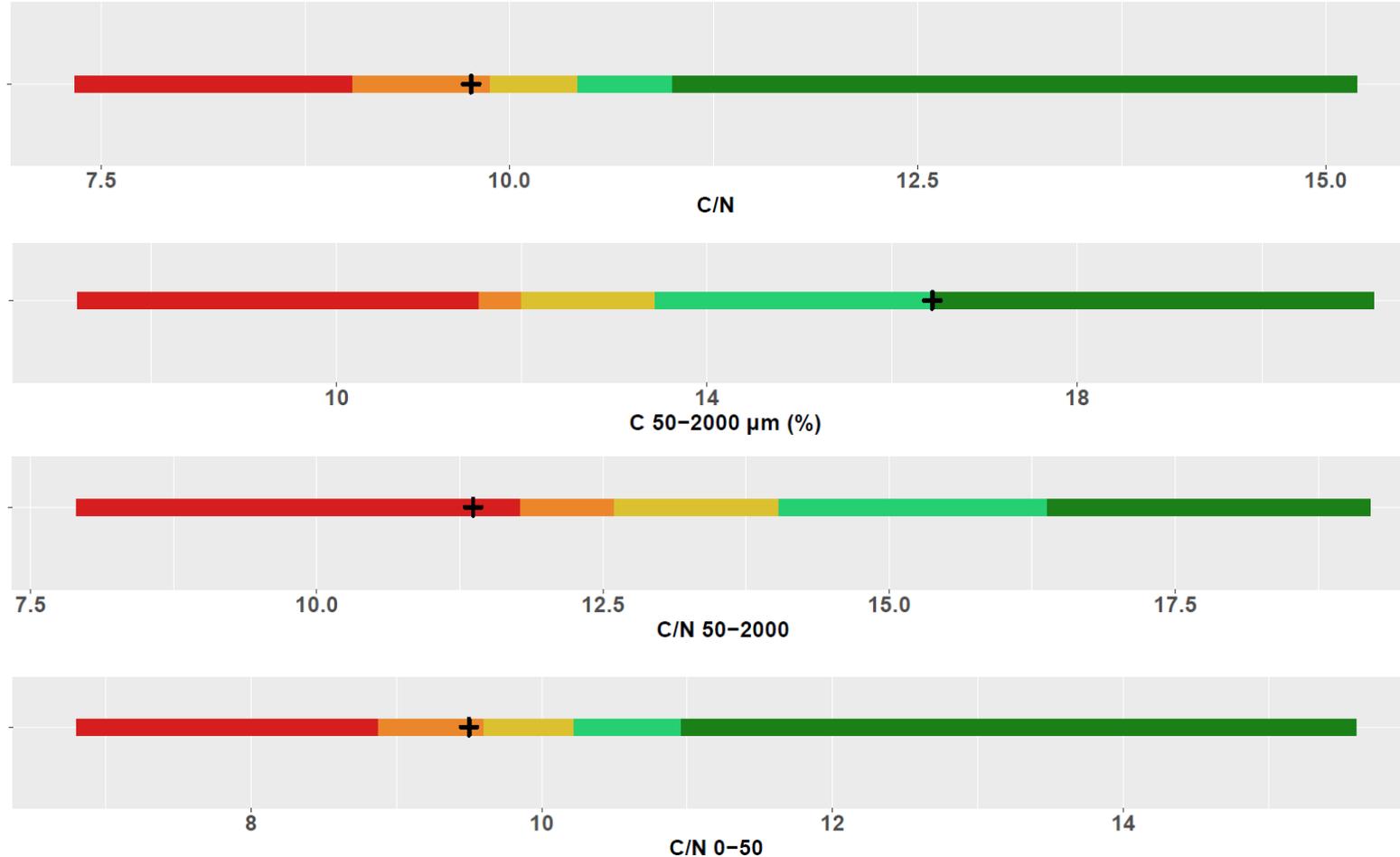
# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Analyse des ratios

Site KERGUEHENNEC Wsol – Modalité TCS et Fumier de volaille  
Référentiel : Microbioterre Bretagne (n=53)

Référentiel sites bretons (n=53)



Référentiel sites bretons (n=53)

- C/N global faible
- Proportion élevée de MO fraîche à C/N bas
- Fraction stable à C/N faible

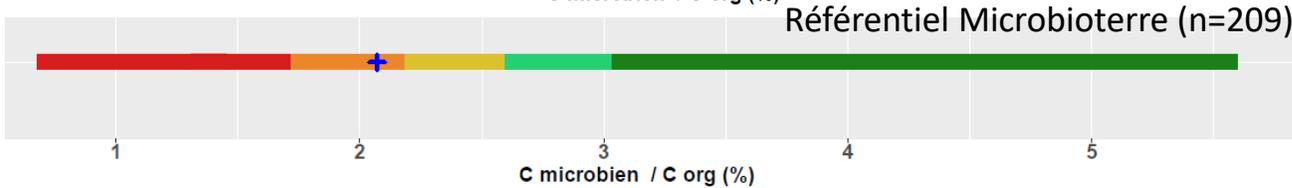
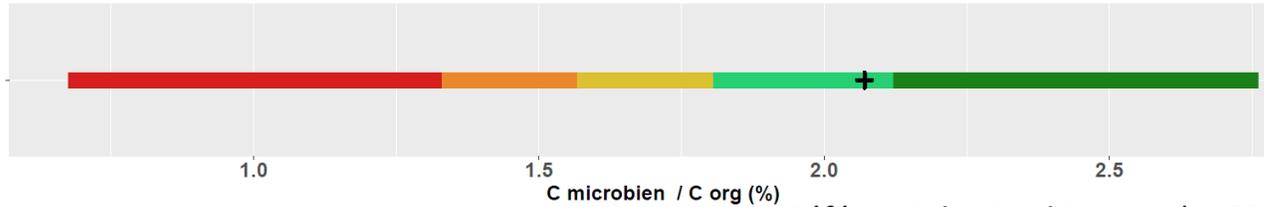
# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Analyse des ratios

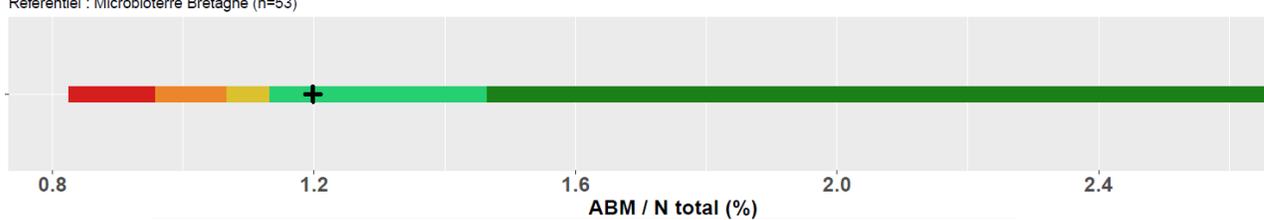
Site KERGUEHENEC Wsol – Modalité TCS et Fumier de volaille  
Référentiel : Microbioterre Bretagne (n=53)

Référentiel sites bretons (n=53)

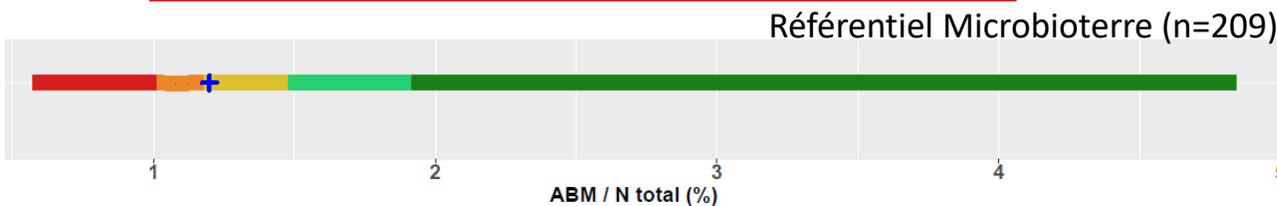


Site KERGUEHENEC Wsol – Modalité TCS et Fumier de volaille  
Référentiel : Microbioterre Bretagne (n=53)

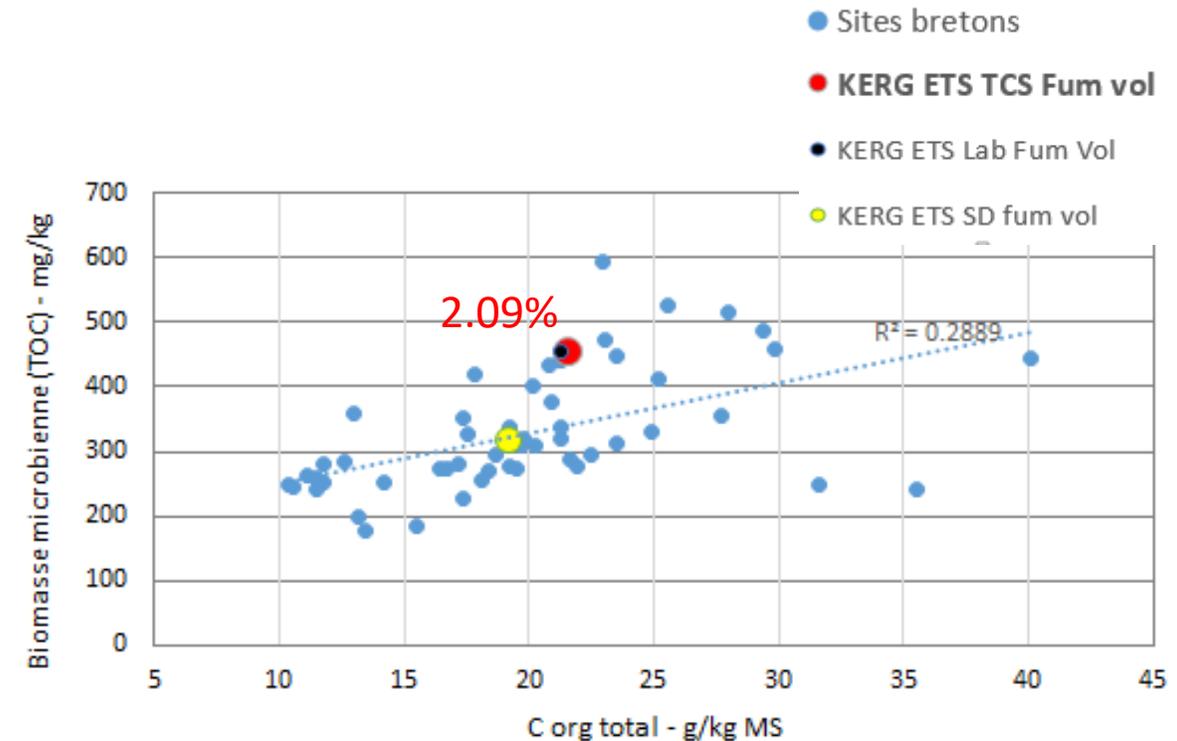
Référentiel sites bretons (n=53)



- Fourniture d'azote élevée



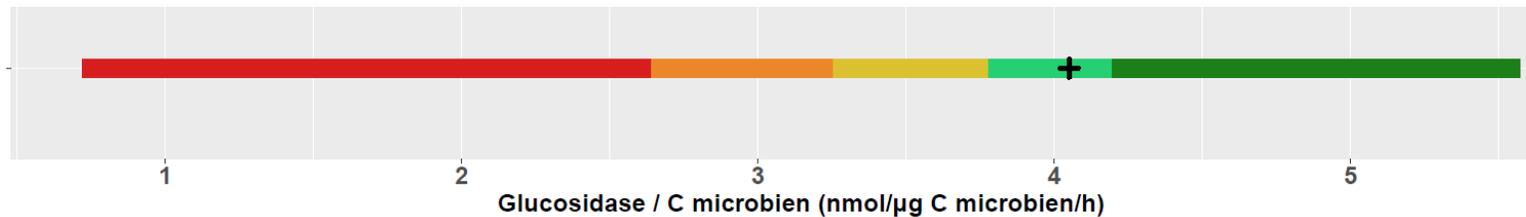
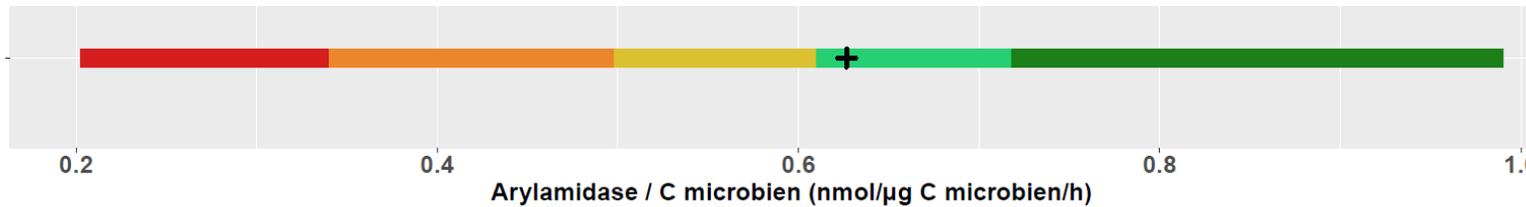
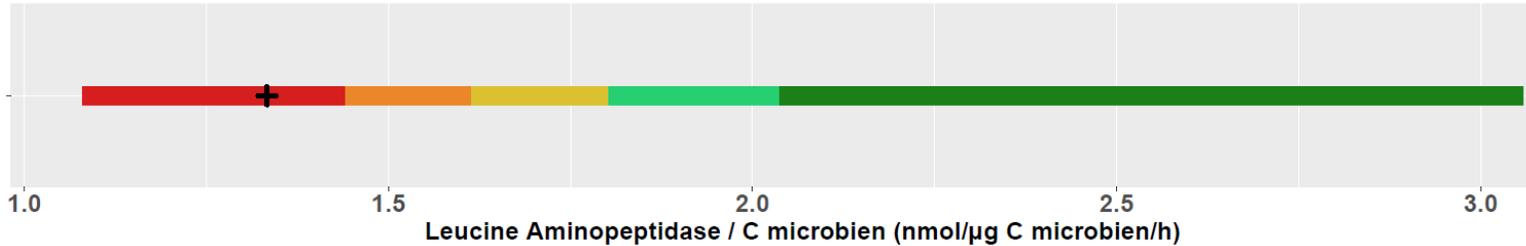
- Biomasse microbienne élevée



### 6. Analyse des ratios

Site KERGUEHENEC Wsol – Modalité TCS et Fumier de volaille  
Référentiel : Microbioterre Bretagne (n=53)

Référentiel sites bretons (n=53)



- Biomasse microbienne efficace dans la production des deux enzymes B-Glu & ARYLN comparativement à la production de l'enzyme LAP

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 6. Analyse des ratios

Indicateur	Référentiel sites bretons	VALEUR	Référentiel sites bretons	Référentiel global Microbioterre	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		9.50	Faible	Elevé	8-10	Humus évolués fonctionnels qui minéralisent bien
C/N 50-2000		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, ...)



# Cas d'étude: sites Bretagne

## Exemple de démarche – Parcelle Kerguehenec

### 7. Synthèse

- L'ensemble des fonctions de recyclage des nutriments, transformation du carbone et structure du sol sont activées
- Point d'attention : fournitures N élevées → perte potentielle N par lixiviation

### Plan d'action selon les objectifs de l'agriculteur

Option: 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.

	Année récolte	n-3	n-2	n-1	n	Objectifs exploitant
	Culture	Mais 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	
	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 t MS/ha) aux normes	12,3	7,5	2,4	8,9	
	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 • Augmenter la biomasse du couvert entre blé et maïs en semant plus tôt.
	Estimation de la biomasse	Moyenne (2Tms/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	
Couvert associé à la culture	Couvert ou culture	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	
	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)	9,0	9,0	6,0	8,5	• Manque de disponibilité du fumier de volaille à moyen terme. • Echange paille/fumier à renégocier.
	% matière sèche (M.S.)	52,2	50,6	44,4	79,7	
	C total (% MB)	336	392	140	305	
	N total (% MB)	23,9	21,5	21,0	22,8	
	C/N	14,0	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 fumier de volaille • 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
	N (kg/ha)	0	60	90	70	
Fertilisation minérale	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	0	0	0	0	
	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	0	0	0	0	



# Cas d'étude: sites Bretagne Comparaison de systèmes

ITK

Essais système étudiés	Rotation	Corg (g/kg)	Fréquence apport PRO	Type PRO	Couvert	Travail du sol		Résidus aériens cultures	Fréquence restitution résidus
						Nb labour	Nb passages travail du sol/an		
TCS Fumier volaille	Maïs grain / Blé / Colza / Blé / Couvert	21.7	1	fumier volaille (6-8T)	0.25	0	2.2	colza et maïs restitués, blé exporté	0.67
ROTAB	Féverole P / Triticale / Couvert / Maïs Grain / Blé-féverole / Couvert / Sarrasin / Triticale-pois / Couvert	23.2	0.17	fientes humides poules pondeuses (6T)	0.5	1	3.6	toutes les pailles restitués	1
EFELE fumier bovin	Maïs ensilage / Blé / Couvert	11.5	0.5	fumier bovin (50T)	0.5	1	3.5	maïs exporté plante entière, blé exporté	0

Simulation AMG

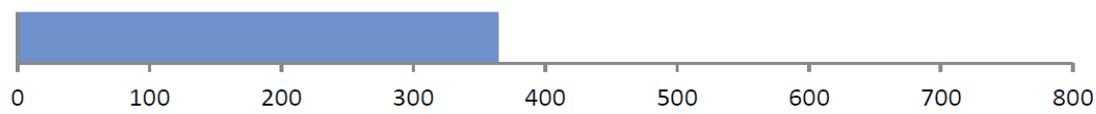
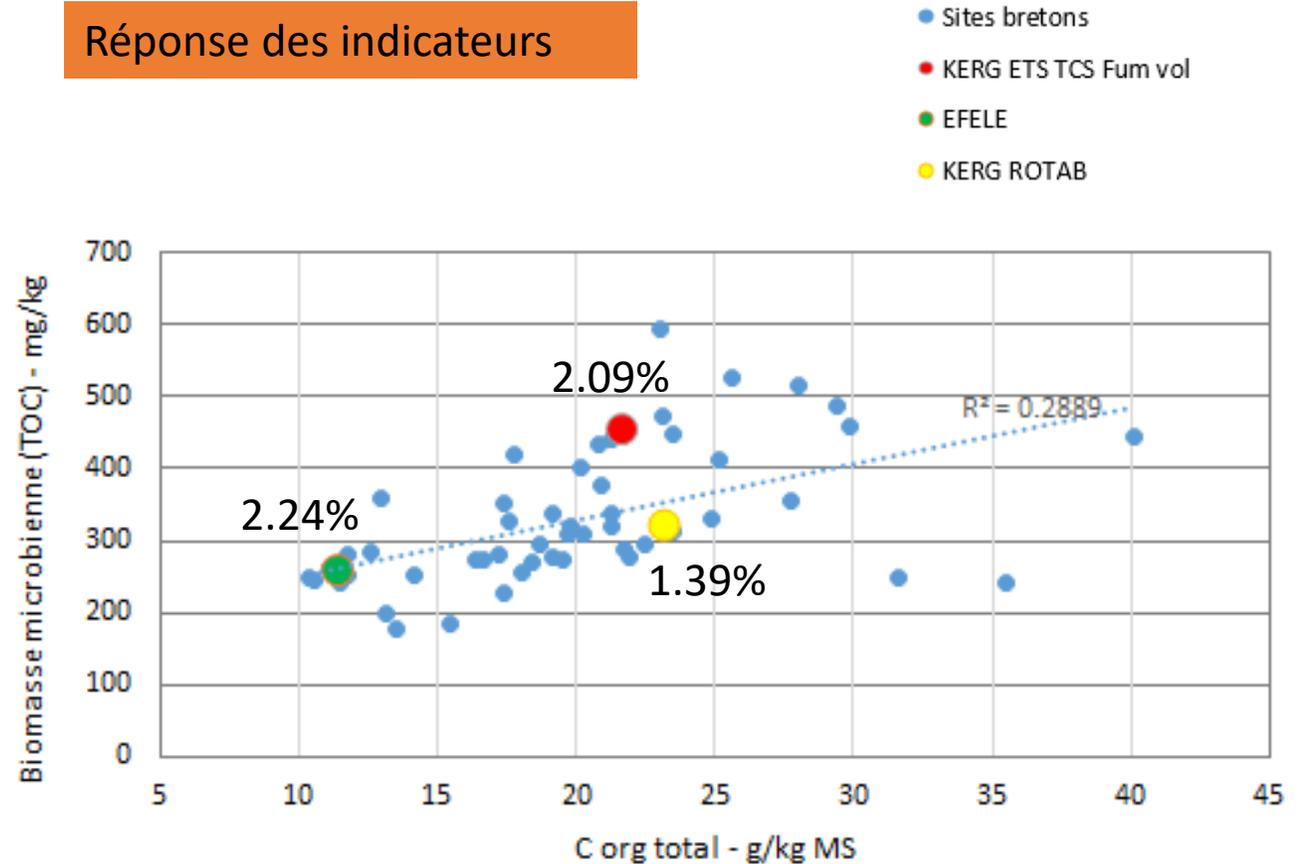
Essais système étudiés	Carbone humifié PRO	Carbone humifié COUVERT	Carbone humifié RESIDUS	Carbone MINERALISE TOTAL	Evolution tx MO 30 ans	Classe test bêche	C/N
TCS Fumier volaille	51		4	87	↑ 0.8	1 horizon classe 1	9.78
ROTAB					↓ - 0.7	1 horizon classe 1	10.68
EFELE fumier bovin			47		↑ 1.0	1 horizon classe 1	8.96



# Cas d'étude: sites Bretagne Comparaison de systèmes

Référentiel MicrobioTerre 2017-2018	EFELE - Fumier		ROTAB		TCS fumier de volaille	
	Valeur	Niveau	Valeur	Niveau	Valeur	Niveau
MO / Argile (%)	16.60	Elevé	27.65	Très élevé	25.69	Très élevé
C org (%)	1.20	Moyen	2.32	Très élevé	2.17	Très élevé
N total (%)	0.13	Moyen	0.22	Très élevé	0.22	Très élevé
C/N	8.93	Faible	10.67	Très élevé	9.77	Elevé
C 0-50 µm (%)	87.80	Moyen	83.17	Très faible	83.57	Très faible
N 0-50 µm (%)	92.60	Moyen	87.60	Très faible	85.93	Très faible
C/N 0-50	8.47	Faible	10.17	Très élevé	9.50	Elevé
C/N 50-2000	14.70	Moyen	14.50	Faible	11.37	Très faible
C oxydé KMnO4 (mg/kg)	700.00	Moyen	1074	Très élevé	1110	Très élevé
ABM (mg/kg)	NA	NA	23.61	Elevé	26.67	Très élevé
C microbien par fumigation (mg/kg)	268	Faible	321	Moyen	450	Très élevé
ADN total (µg/g)	8.61	Moyen	17.91	Très élevé	13.29	Très élevé
Biomasse fongique 18S (copies/g)	1.41E+12	Moyen	4.66E+11	Très faible	3.83E+12	Très élevé
Arylamidase (nmol/min/g)	4.03	Faible	4.03	Faible	4.71	Moyen
Arylamidase / C microbien (nmol/µg C microbien/h)	0.91	Moyen	0.75	Faible	0.63	Faible
Leucine Aminopeptidase (nmol/min/g)	10.46	Elevé	9.64	Moyen	10.00	Moyen
Leucine Aminopeptidase / C microbien (nmol/µg C microbien/h)	2.35	Elevé	1.80	Moyen	1.33	Très faible
Protéase (nmol/min/g)	8.54	Elevé	9.74	Très élevé	10.57	Très élevé
Béta-Glucosidase (nmol/min/g)	18.12	Moyen	28.36	Très élevé	30.33	Très élevé

## Réponse des indicateurs



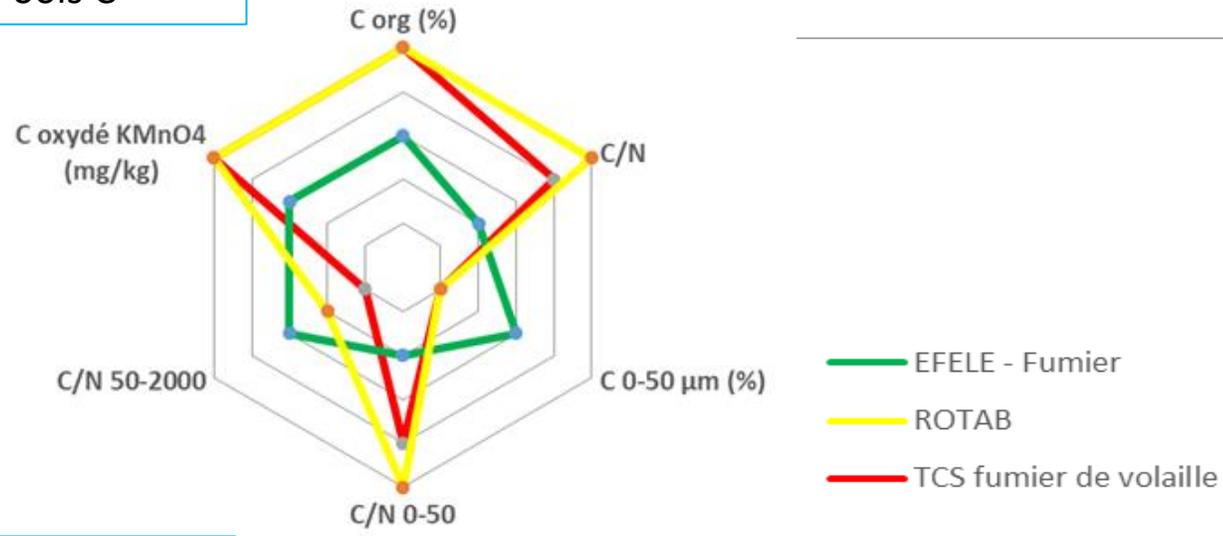
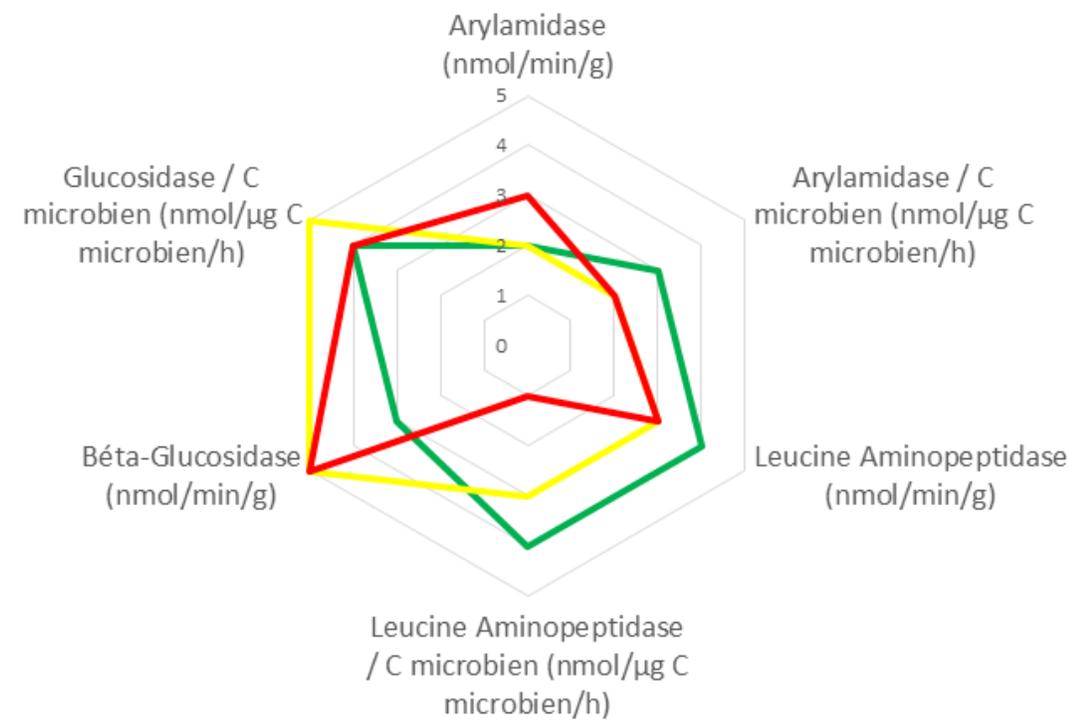
BM: 364 mg/kg fort Analyse 2013 ROTAB (Celesta-lab)

Biomasse Microbienne (mg C/kg de terre sèche)

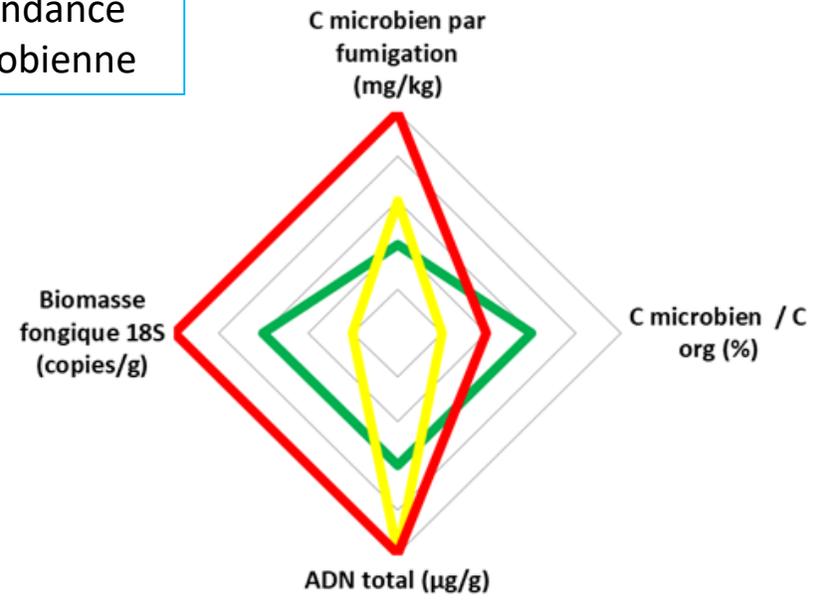
# Cas d'étude: sites Bretagne

## Comparaison de systèmes

### Activités enzymatiques



### Abondance microbienne





# Cas d'étude: 4 parcelles au Nord de Strasbourg (2021)

2 Non-Labours avec couverts végétaux multi-espèces **VS.** 2 Labours

## Mundolsheim \_ collines de loess



Lieu	Parcelle agriculteur	Type de sol	Système	Pratique 1	Pratique 2	Pratique 3
Mundolsheim (67)	P. Ehrhardt	Limons loess	TCS depuis 12 ans MG/BTH/BS/Soja	Pas de déj anx, Digestats 2e année Couvert après blé	TCS	Couvert multi-espèces
Mundolsheim (67)	G. Jenner	Limons loess	Labour Maïs-Betteraves-Blé	Pas de déjections animales,	Labour	sans CIMS
La Wantzenau (67)	F. Metz	Limons argilo-sableux du Rhin	SD ACS depuis 5 ans; TCS 10 ans MG/BTH/Moutarde/Soja	Pas de déjections animales Couvert après blé	SD-Strip-till	Couvert multi-espèces
La Wantzenau (67)	F. VIX	Limons argilo-sableux du Rhin	Labour Maïs-Maïs-Maïs-M.	Pas de déjections animales	Labour	sans CIMS

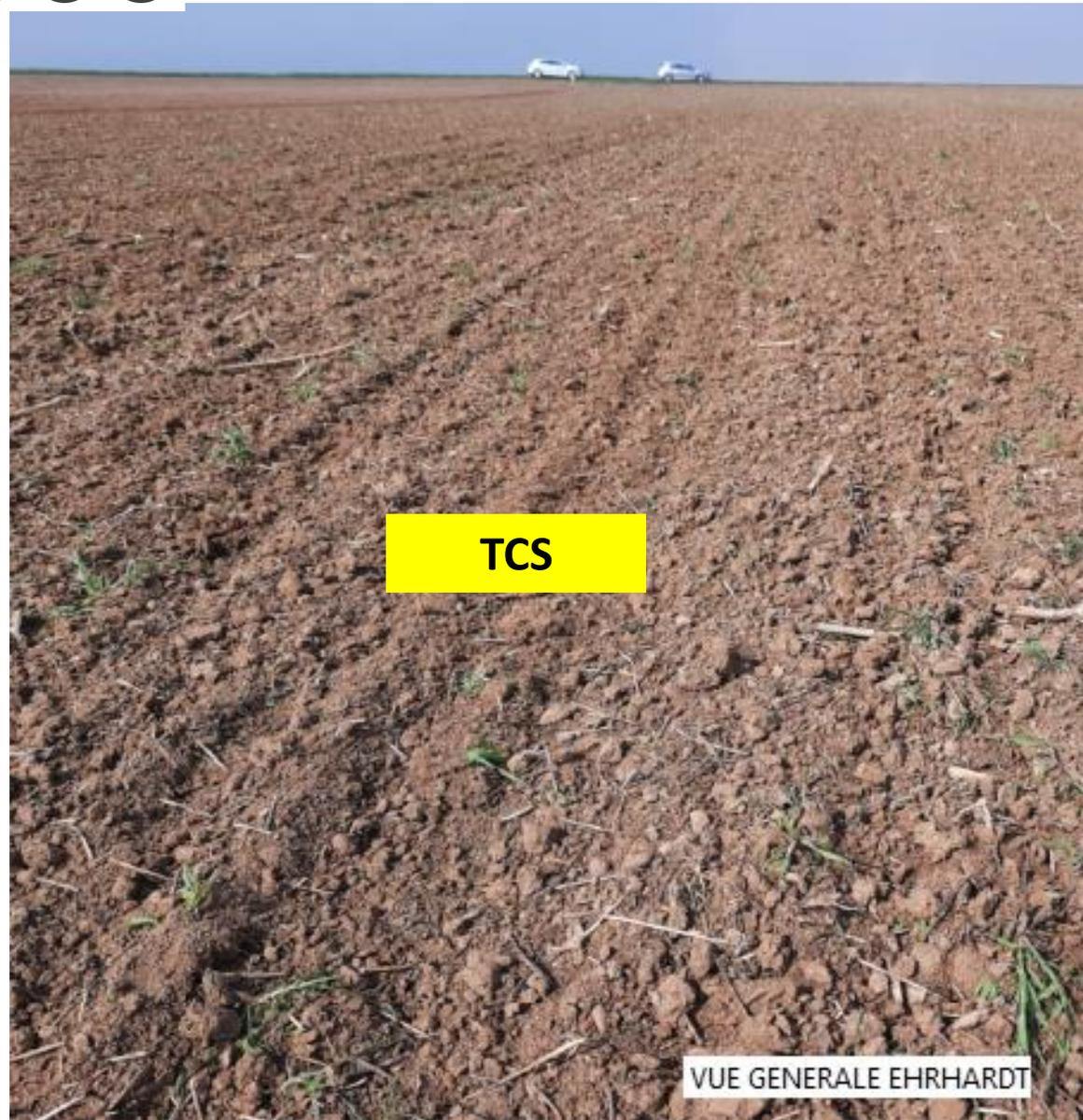


## La Wantzenau \_ limons d'alluvions du Rhin



Microbiotopes dans l'analyse de terre de routine des parcelles agricoles





**TCS**

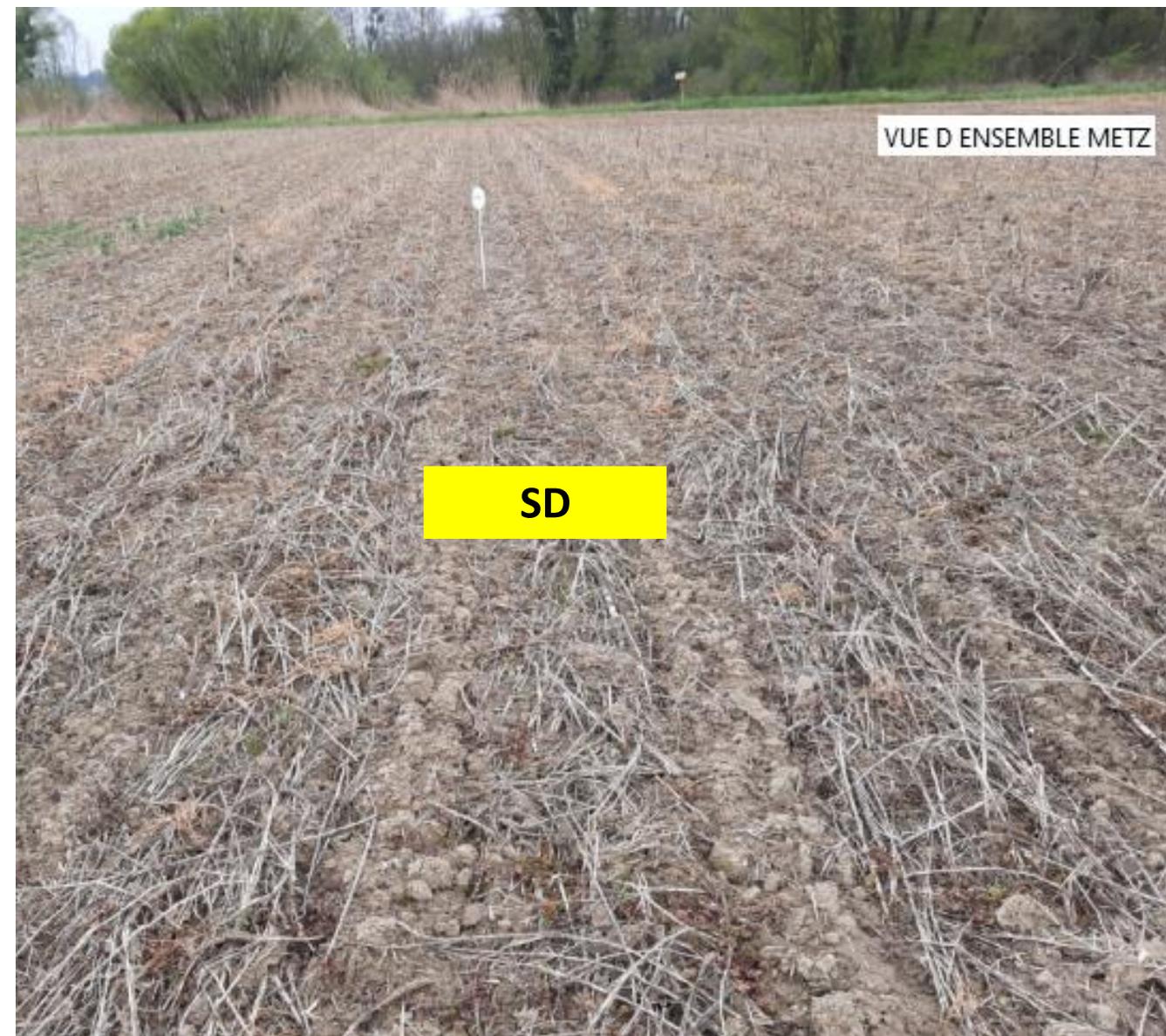
VUE GENERALE EHRHARDT



VUE GENERALE JENNER

**MUNDOLSHEIM**

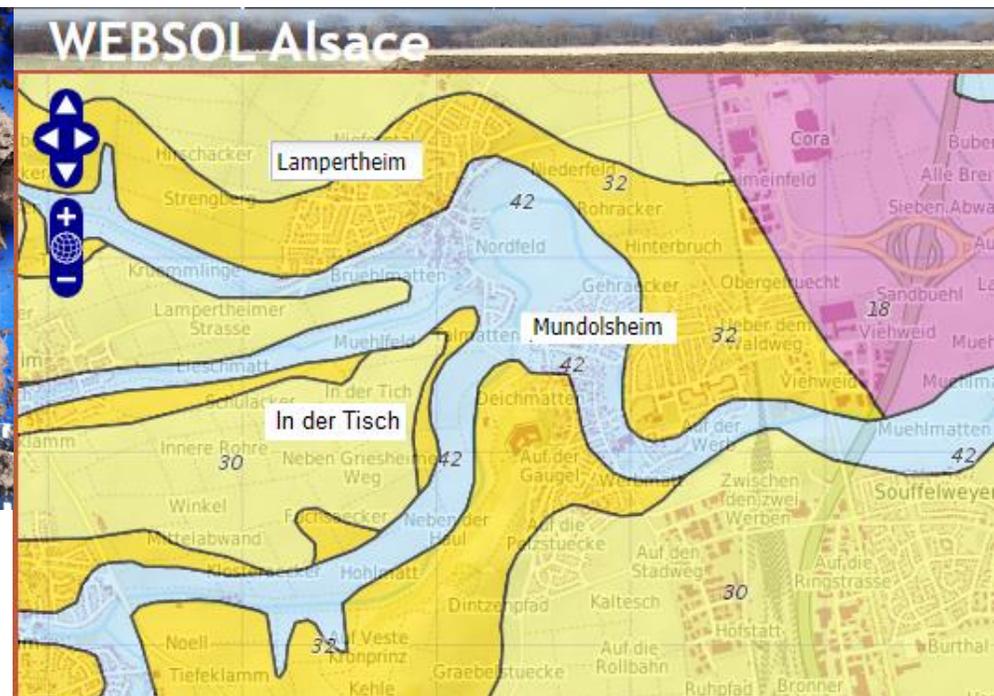
**Labour**



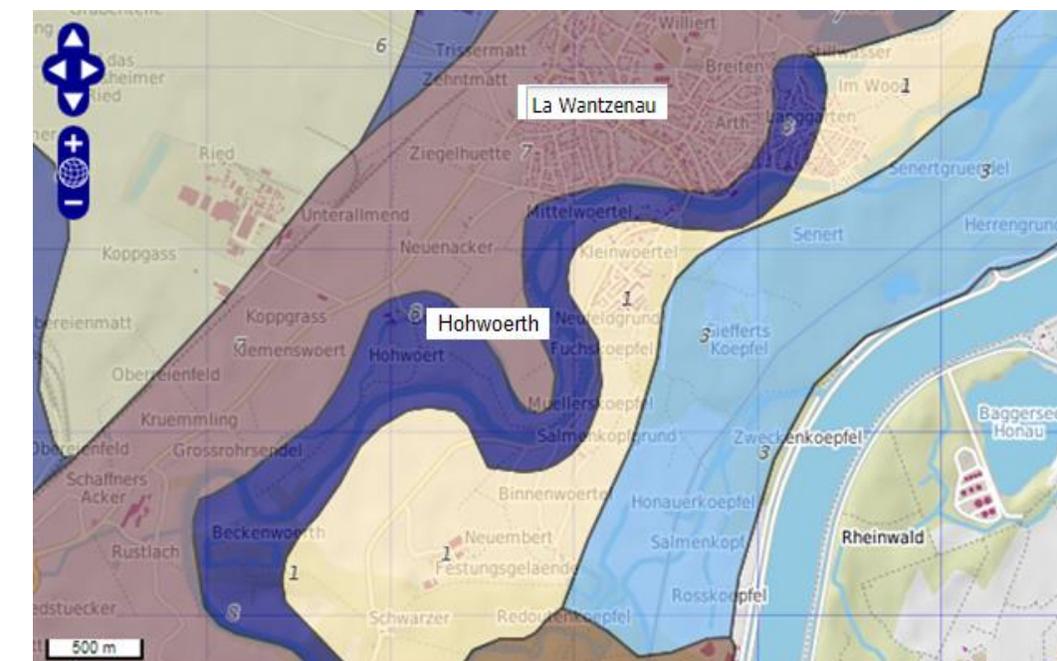


## Etude de 4 parcelles au Nord de Strasbourg.

REF. ECHANTILLON	Date prélèvement de sol	Humidité Brute % Terre	Calcaire total %	
HOHWOERT (SD) LA-WANTZENAU	19/04/2021	17,54	21,7	calcaire sols alcalins
HOHWOERT (LABOUR) LA-WANTZENAU	19/04/2021	18,27	15,9	Calcaire sols alcalins
IN DER TISCH (TCS) MUNDOLSHEIM	20/04/2021	15,94	0,8	peu calcaire sols alcalins
IN DER TISCH (LABOUR) MUNDOLSHEIM	20/04/2021	17,18	1,3	peu calcaire sols alcalins



Des limons peu argileux, toutes les 4 parcelles



Argile %	Limons Fins % 2-20 µm	Limons grossiers % 20-50 µm	Sables fins % 50-200 µm	Sables grossiers %	pH eau	pH KCl
15,0	14,3	19,7	22,7	4,2	8,46	7,88
21,3	18,7	22,0	16,3	3,4	8,48	7,77
19,4	34,0	39,2	3,4	1,1	8,42	7,58
21,5	30,6	40,9	3,1	0,8	8,28	7,66

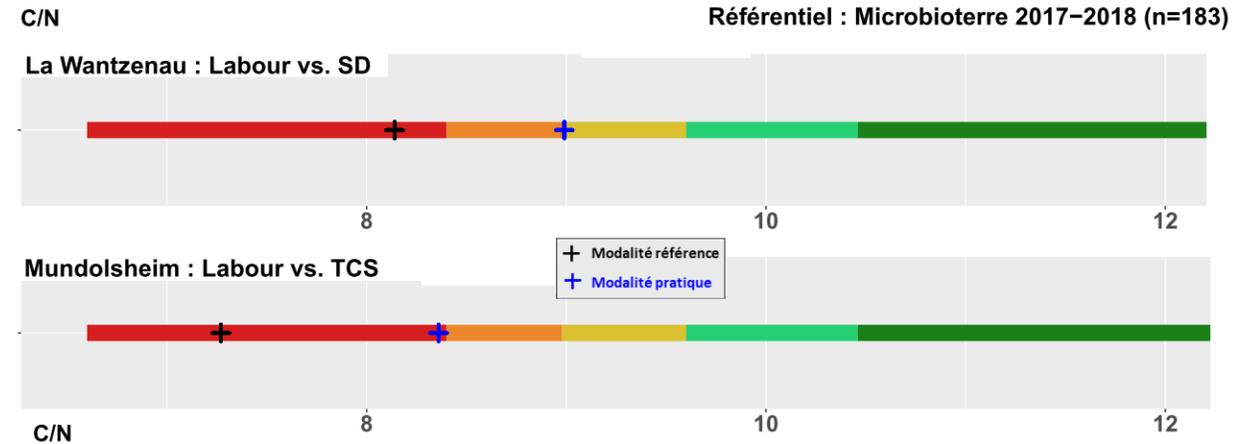
(8) Alluvions calcaire hydromorphes, limono-argilo-sableux, du Rhin

(30) Sol brun calcaire, limono-argileux, sur loess



## Etude de 4 parcelles au Nord de Strasbourg : analyse C.E.C. Carbone (MO) et Azote (N)

	CEC Metson méq/100g		Matière Organique ,724 xC	Carbone 1 organique %	C/N global du sol	Azote Total (Dumas) %
METZ La Wantzenau	10,53	(SD)	2,44 %	1,42	9,0	0,158
VIX La Wantzenau	13,65	Labour	2,47 %	1,44	8,1	0,177
EHRHARDT Mundolsheim	14,40	(TCS)	2,10 %	1,22	8,4	0,146
JENNER Mundolsheim	13,68	Labour	1,88 %	1,09	7,3 **	0,150



On note une capacité d'échange **CEC Moyenne** autour de 13 /100g sur ces 4 parcelles limoneuses calcaires.

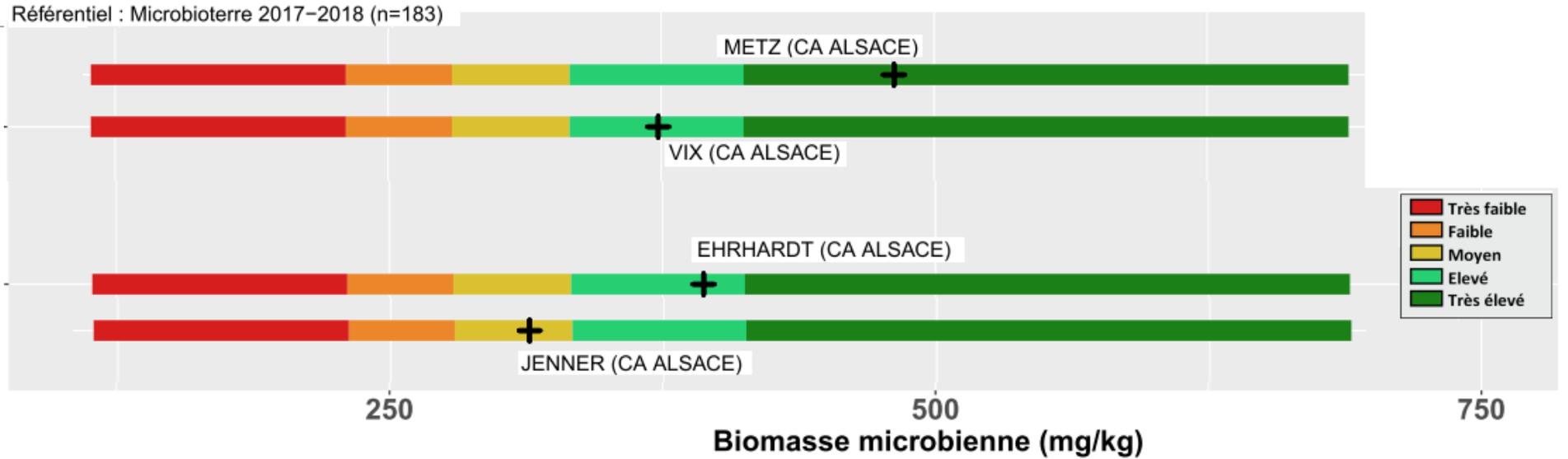
### Teneur en Matière Organique : l'améliorer pour monter au-delà de 3% MO ( structure stable du sol)

La conduite TCS a une teneur en MO + élevée à Mundolsheim, et influence des anciennes prairies '70 à La-Wantzenau.  
La conduite Labour déstocke plus qu'elle ne fabrique de carbone stable, visible surtout à Mundolsheim (\*\*).

**C/N global du sol** : les 2 parcelles Sans-Labour avec couverts ont 1 point de C/N en + : elles minéralisent moins rapidement ou elles humifient plus fortement...

**Conseil pour la durabilité du système** :« on peut s'améliorer et se rapprocher de C/N =10 » (pour équilibrer Min/hum et moins déstocker) avec des entrées organiques en plus ( Apports de composts / Rotations avec des Méteils / BRF ? ) ...

## Le moteur microbien



La quantité microbienne est + forte en TCS et SD que en LABOUR (+25-30%)

Objectif Cmic/Corg = 3% c'est mieux !

	C microbien fumigation mg C/kg	Ratio C microbien / C org.	
METZ (SD) La Wantzenau	481,6	3,4%	1,29
VIX (LAB) La Wantzenau	373,7	2,6%	
EHRHARDT (TCS) Mundolsheim	393,8	3,2%	1,26
JENNER (LAB) Mundolsheim	313,5	2,9%	

# Qualité des Mat. Organiques carburants



## Le rapport C/N des 2 fractions Carbone

### (1) Carbone Lié



**6 < C/N < 8**

Humus anciens qui fournissent peu



**8 < C/N < 10**  
( ( 7 < C/N < 9 ) )

Humus évolués qui minéralisent bien  
( ( optimum maraîchage ) )



**10 < C/N < 12**  
( ( 12 < C/N < 15 ) )

Humus non fonctionnels qui minéralisent +/- moyen  
( ( ou humus médiocres = blocages ! ) )

Commune	Parcelle	C/N de MO "liée" (fr. 0-50 µm) (1)	MO Stable de qualité ?	C/N de MO libre (fr. 50-2000 µm) (2)	MO Labile
La Wantzenau	(SD)	8,7	OK	11,1	OK
La Wantzenau	Labour	7,7*	faible	13,4	OK
Mundolsheim	(TCS)	8,1	à améliorer	11,1	OK
Mundolsheim	Labour	7,4*	faible	5,8	à revoir

\*La qualité des MO stables traduit des apports anciens d'humus

### (2) Carbone Libre



Énergie biologique faible  
**Minéralisation de N aisée**  
( ( Matières organiques « âgées » ) )

On gagne en vitesse !

**C/N < 10** ( ( < 9 ) )

Énergie biologique disponible !  
**Minéralisation N normale**  
( ( # ou minéralisation ralentie ) )

On maintient le rythme...

**10 < C/N < 15** ( ( # 15 < C/N < 20 ) )



Énergie indisponible  
**Immobilisation**  
Réorganisation certaine de N  
( ou % possible de N si valeur forte de Carbone Microbien )

On ralentit de vitesse !

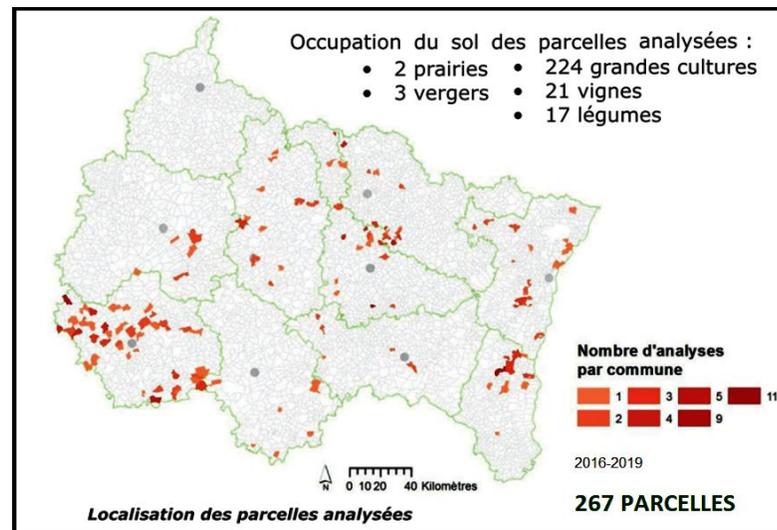
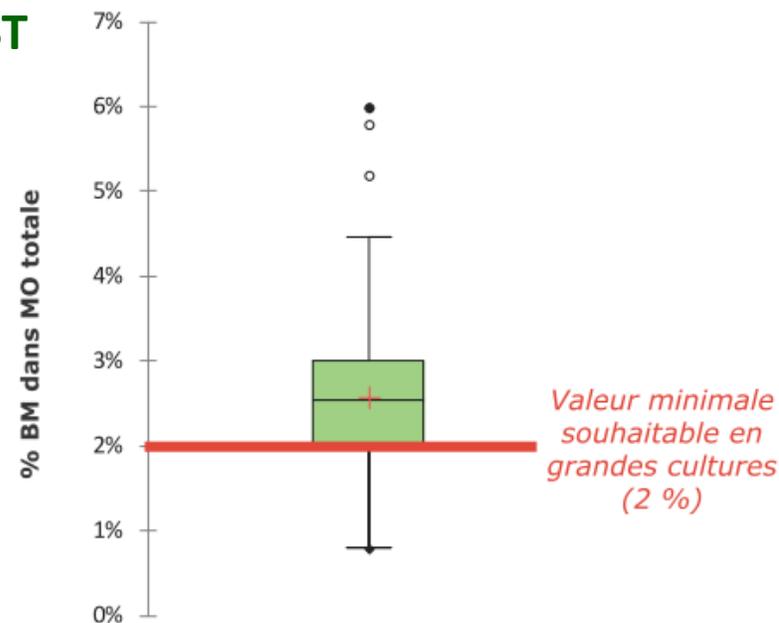
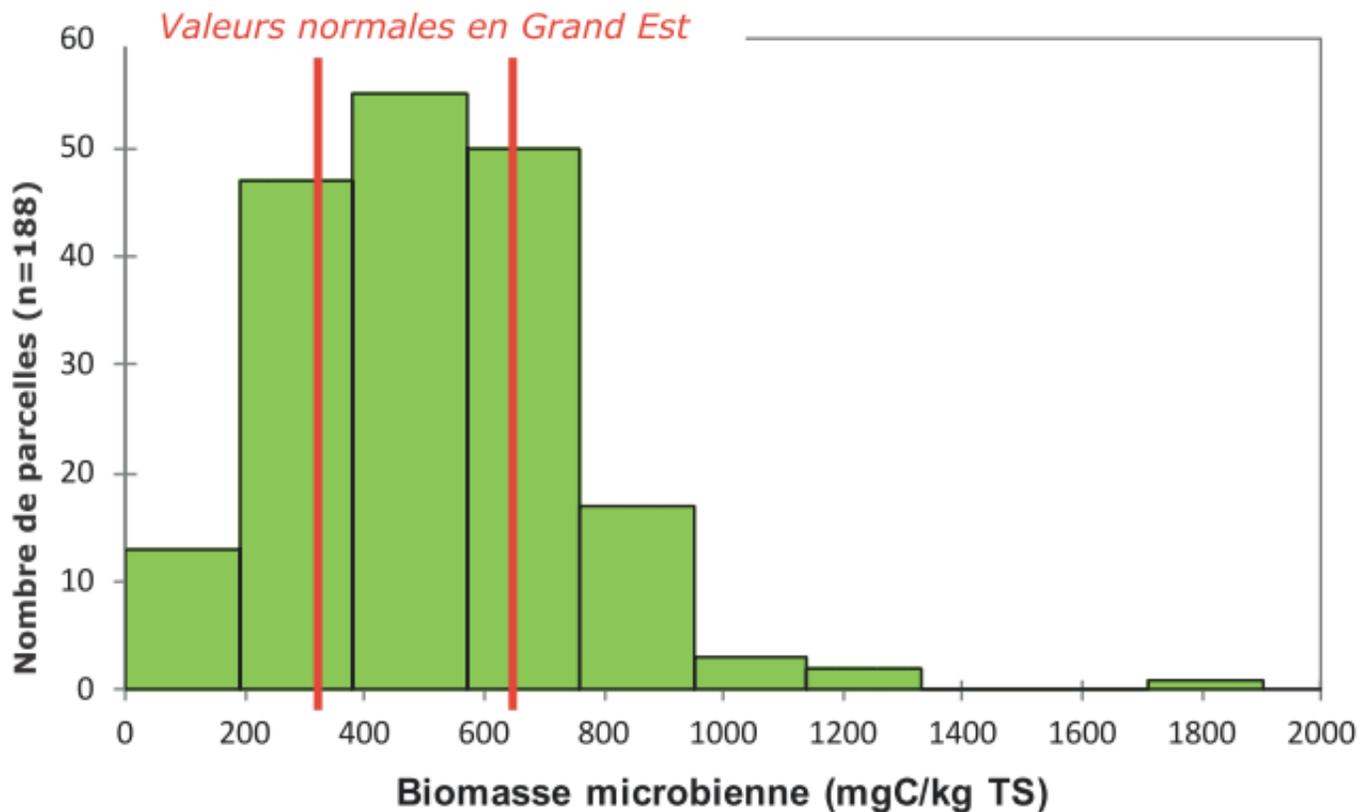
**C/N > 25** ( % C/N > 20 )



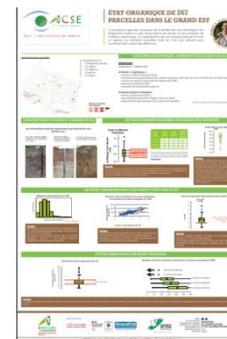
# REFERENTIEL BIOLOGIQUE DES CHAMBRES DANS LE GRAND EST

## 267 PARCELLES analysées avec le Menu Celesta-lab

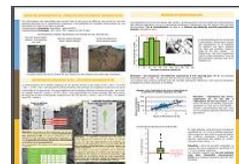
Part de la Biomasse Microbienne dans la MO (n=188)



Poster ACSE



Fiche Technique



### 188 PARCELLES analysées avec Carbone Microbien fumigation.

*Résultats : des biomasses microbiennes supérieures à 340 mgC/kg pour 75 % des parcelles échantillonnées (n=188) : ces sols sont bien pourvus en micro-organismes.*

<https://bit.ly/267analyses>

<https://bit.ly/poster-analyses-267>

# La proportion des types de matières organiques ( les Fractions granulométrique des MO)

	Carbone « lié » humus Fraction 0-50 µm % C org total	Carbone libre fraction 50-2000 µm % C org total
METZ (SD) La Wantzenau	86,8 %	13,2 %
VIX (LAB) La Wantzenau	87,2 %	12,8 %
EHRHARDT (TCS) Mundolsheim	90,6 %	9,4 %
JENNER (LAB) Mundolsheim	95,1 %	4,9 %

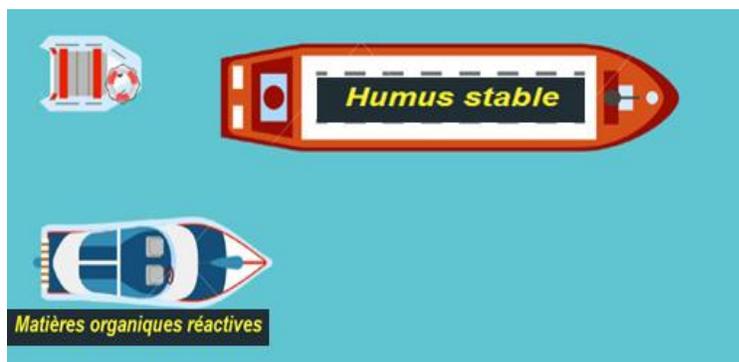
la conduite Sans Labour avec couverts a 0,4 point de Carbone Libre en+ à LA WANTZENAU c'est peu.

la conduite Sans Labour avec couverts a 5 point de Carbone Libre en + à MUNDOLSHEIM.

Pour ces 4 parcelles **le Carbone libre** est trop faible (idéal > 22 % à 25% en sol calcaire et 18-20% pour les autres sols)

**Conseil :** des apports par couverts végétaux et des composts fermentés jeunes et restitution des pailles de blé qui apporteront du C Labile.

les 4 Parcelles sont en manque de MO riches en énergie pour les microbes, et particulièrement les parcelles de Mundolsheim.



Des Matières carbonnées  
Pour un moteur lent ou rapide ?  
Début ou fin de saison climatique ?



versus



**ABM** Azote Biologiquement Minéralisable et carbone **POxC**

La vitesse



test ABM :

Parcelles	Azote ABM (mg/kg MS)	Ecart-type ABM	Ratio ABM / N total
METZ (SD)	<b>45,3</b>	1,4	2,9 %
VIX (LAB)	<b>26,1</b>	3,0	1,5 %
EHRHART (TCS)	<b>39,8</b>	0,9	2,7 %
JENNER (LAB)	<b>23,9</b>	0,8	1,6 %

La minéralisation azotée s'essouffle sur les 2 parcelles Labour comparé aux 2 Parcelles Couverts+Non Labour ( à 60% des parcelles sans labour )

**Conseil :** la capitalisation d'azote stable dans les sols est favorisée par les cultures de légumineuses, et le compostage d'effluents organiques.

**Etude de 4 parcelles au Nord de Strasbourg.**



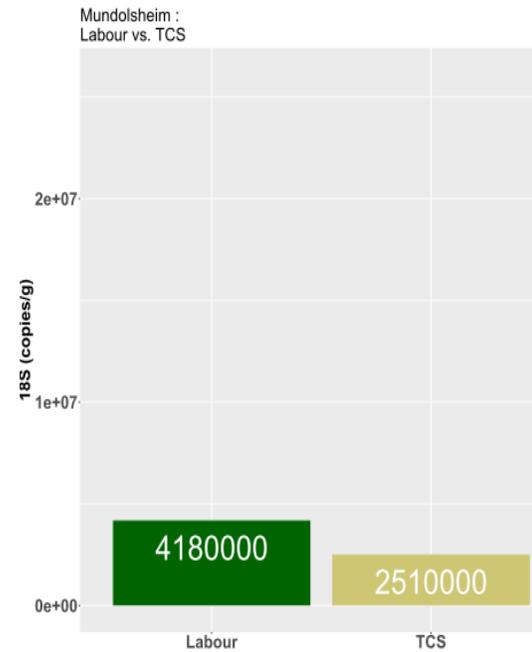
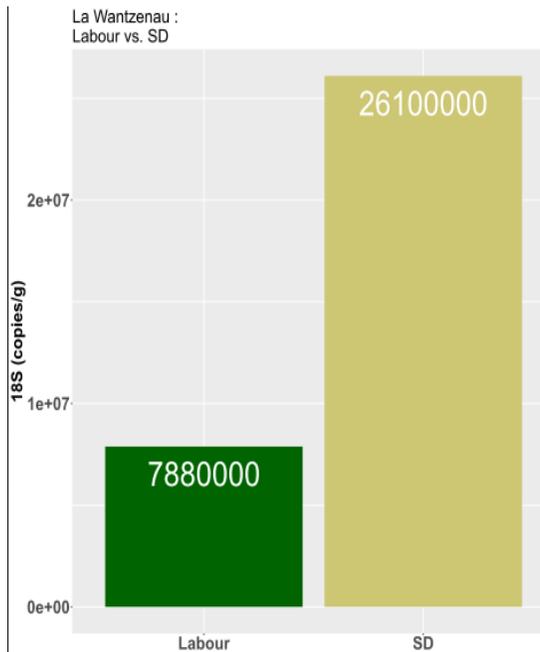
Carbone ACTIF très labile \_ \*POxC

Parcelles	Carbone actif * oxydable au permanganate	C KMnO4 mg/kg 390< 780 >1450 MBT 2018	Ratio POxC / C org
METZ (SD)	834	(SD)	5,9 %
VIX (LAB)	858	Labour	6,0 %
EHRHART (TCS)	783	(TCS)	6,4 %
JENNER (LAB)	727	Labour	6,7 %

Le C très labile est un peu en retrait sur Labour à LA WANTZENAU.

**Conseil :** La répétition des couverts engrais verts peut apporter du Carbone Actif aux parcelles. A favoriser dan dès que possible dans la rotation culturale.

## La chaîne trophique Eucaryotes : dosage de l'acide ARN ribosomique 18S



fungi eucaryotes

	ARN r 18s (milliers de copies gènes / g MS)	
METZ La Wantzenau	26131	(SD)
VIX La Wantzenau	7877	Labour
EHRHARDT Mundolsheim	2505	(TCS)
JENNER Mundolsheim	4181	Labour

**ARN-r-18S** : On note des valeurs très faibles pour (LAB) Mundolsheim & (TCS) Mundolsheim, et légèrement supérieures pour La-Wantzenau (LAB) et (SD)

La pratique depuis plus de 10 ans de non-labour/couverts végétaux multi-espèces et de semis direct dans la variante SD La Wantzenau conduit à une présence plus forte des Eucaryotes « champignons ».

Problème de l'étendue du référentiel ARN 18S à explorer par système de culture et par petite région agricole....

# Que retenir avec ce diagnostic de sol ?

Parcelles Labour / SD à La-Wantzenau et Labour/ TCS à Mundolsheim (2021)

**Sols basiques très calciques** adapter pour les oligo-éléments et **zéro** chaulage !

**Des entrées supplémentaires de Carbone Labile sont nécessaires** pour la bonne biologie du sol, surtout sur les 2 parcelles Labour, mais les efforts sont à maintenir sur les parcelles en non-labour.

**La teneur en MO du sol est à travailler** : à peine satisfaisante sur les alluvions du Rhin à Wantzenau et un fort rattrapage est à prévoir dans les limons des collines à Mundolsheim : Composts déchets verts jeunes (et déjections avec litière fermentée), pailles à restituer... Les CIVE et méteils sont une piste.

**La quantité d'azote organique stable** est à augmenter sur ces parcelles, surtout par la rotation culturale (Soja, CIMS, Luzerne, Pois...) pas évident pour des non-éleveurs.

**Ces sols limoneux auto-tassants** : **Attention** au trafic des bennes et des machines, veillez à la portance des sols (ressuyage) et soigner les apports organiques. La stabilité structurale est à améliorer (engrais verts...).

DES LIGNES DE CONDUITE



# Communication & Diffusion

---

**Gendre Sophie *et al.***



# Les livrables



## Agriculteurs

### Diagnostic standard :

- Analyse
- Guide interprétation



## Laboratoires

### Liste des bio-indicateurs + méthodes :

- Mode Op
- Guide Interprétation

## Pour tous :

Vidéo de 3 minutes

Supports de présentation des résultats

Articles : Comifer, Innovations Agronomiques



## Conseillers

### Diagnostic approfondi :

- Guide interprétation
- Formation continue

## Scientifiques

### Synthèse sur les bio-indicateurs et des fonctions liées C et N :

- Communications scientifiques
- BDD

## Gestionnaires des sites expérimentaux

- Journée de discussion sur les résultats
- Résultats d'analyses

# Guide Microbioterre & formations

- ❖ **Un guide de diagnostic et conseil « Microbioterre »** sera mis à disposition des conseillers agricoles et des agriculteurs
  - **Un diagnostic standard** pour que son usage soit adopté par le plus grand nombre d'agriculteurs
  - **Un diagnostic approfondi** qui constituera un outil de formation et d'animation de groupes basé sur la mesure de plusieurs paramètres microbiologiques.
- ❖ **Modules de formation :**

Formation continue

Professionnels agricoles

Formation initiale

Etudiants BTS Agricoles  
& élèves Ingénieurs

# Livrables

Livrables	Actions du projet	Accès
Livrets des résumés sous forme d'acte de colloque et compte rendu des retours d'expérience et résultats des projets antérieurs, d'intérêt pour Microbioterre	Action 1	Diffusion restreinte (3 ans) puis libre
Fichier Excel d'inventaires de publications et pdf des publications		
Mode opératoire utilisé dans le cadre du projet	Action 2	Libre
Liste des essais et des modalités retenues par essai		
Fichier des résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques du projet		
Fichier des données (itinéraires techniques, mesures et analyses sur les sols et les plantes) antérieures au projet sur les essais valorisés dans le projet	Action 3	Propriété des organismes tiers expérimentateurs
Base de données de l'ensemble des résultats		
Rapport des résultats des tests méthodologiques		
Mode opératoire du prélèvement et transfert échantillon vers laboratoire	Action 4	Diffusion restreinte (3 ans) puis sur licences
Guide de diagnostic accompagné de son mode opératoire		
Dossier de presse, poster et communications colloques		
Modules de formation initiale Modules de formation continue		Diffusion restreinte le temps de l'ajustement du module (6 mois)

# Où trouver les résultats ?

---

- Vidéo GIS : <https://www.youtube.com/watch?v=85Copm9Bwvc>
- COMIFER 2019 : <https://comifer.asso.fr/fr/evenements/rencontres-precedentes/actes-14emes-rencontres-de-2019/15-rencontres/247-les-presentations-orales-des-14e-rencontres-2019.html#session4>
- COMIFER 2021 : en cours de rédaction
- Innovations Agronomiques : en cours de rédaction
- Vidéo du séminaire et supports seront envoyés à tous les participants

# Conclusions & perspectives

---

**Gendre Sophie** *et al.*



## Outil Microbioterre : Du prélèvement de sol au conseil en agriculture

**Prélèvement sol**  
- Guide : maîtriser prélèvement



**Objectif de l'agriculteur : Fonction à optimiser**

*Ex : Minéralisation C*

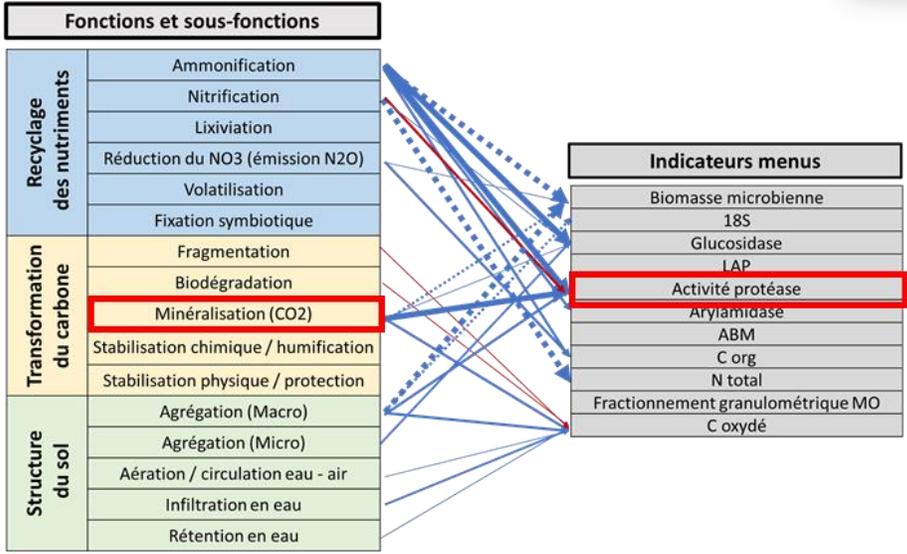
**Fonctions- Indicateurs**

**Analyses indicateurs**  
Indicateurs menus



**Interprétation & Conseil**

*En complément d'indicateurs physico-chimiques :*

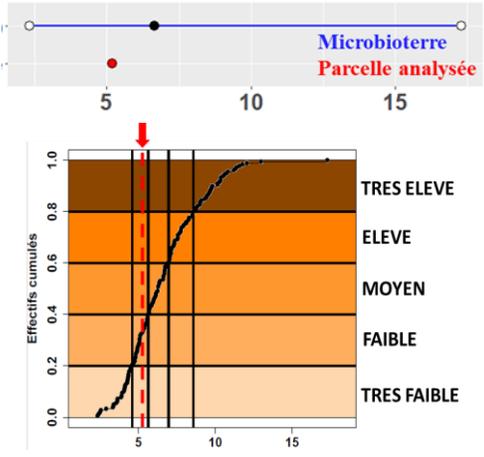


**Référentiels**  
n = 183

**Leviers agronomiques**

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

**Protéase (nmol/min/g)**



- ❖ **Identification des indicateurs physico-chimiques et microbiologiques à mesurer** pour *évaluer la fertilité biologique* des sols en lien avec les fonctions de dégradation des matières organiques et le recyclage de nutriments
- ❖ **Interprétation de la valeur des indicateurs mesurés**: mise en place d'un *référentiel d'interprétation des indicateurs*
- ❖ **Identification des leviers agronomiques (pratiques) à mettre en œuvre pour améliorer les fonctions** des sols selon les *objectifs spécifiques de l'agriculteur*
  - **Liens indicateurs - fonctions** :
    - Prise en compte objectif(s) agriculteurs
  - **Liens indicateurs – pratiques** dans conditions pédoclimatiques variées :
    - Diagnostic possible dans différents contextes
    - Propositions de leviers agronomiques

## Indicateurs physico-chimiques & microbiologiques mesurés

- Prise en compte uniquement d'**indicateurs physico-chimiques et microbiologiques**
- **Cycles N et C** : Cycles P, S... non étudiés
- Pas de **suivi temporel** des indicateurs mesurés
- **Référentiels à consolider** (*Textures diversifiées; Types de pratiques agricoles étudiés sur plusieurs sites; Référentiels régionaux*)

## Effet des pratiques culturales

- Poursuivre l'étude de l'impact d'implantation de **couverts intermédiaires** (*fréquence et biomasse du couvert*)

## Relations indicateurs – fonctions du sol

- **Relations indicateurs – fonctions** à approfondir (*seules 7 équations identifiées*)
- Notion d'**états souhaitables** à consolider : *Quelle teneur en MO souhaitable par ex. ?*

## MERCI POUR VOTRE ATTENTION

## MERCI A TOUS LES CONTRIBUTEURS DU PROJET

Pilote	Partenaires financés	Partenaires non financés	Soutien

### Gestionnaires des dispositifs expérimentaux

### Prestataires