

# Mise en place d'un outil de diagnostic d'état des sols agricoles en systèmes de grandes cultures et polycultures élevage (Microbioterre – CASDAR RT 2017-2021)

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

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

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

## Pilote



## Partenaires financés



## Partenaires non financés



## Soutien



# 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
- Volonté des agriculteurs de faire évoluer leur système de culture vers des **systèmes plus durables**

- **Agro-écologie**



ADN microbien  
Champignons/  
bactéries

Fractionnements  
de la MO  
...

Biomasse  
microbienne

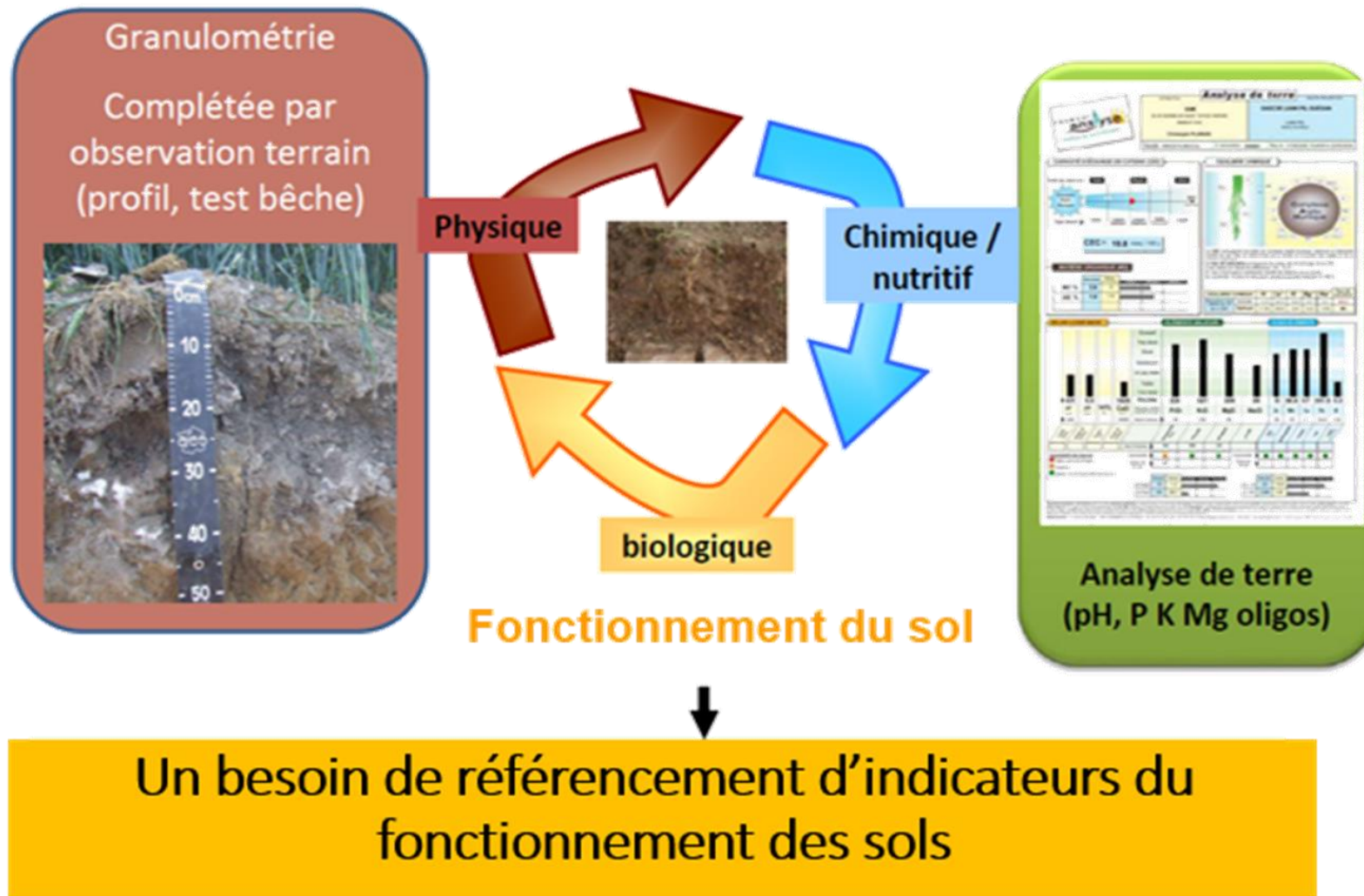
Activités  
enzymatiques

Potentiel de  
minéralisation

C  
N



# 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



# Sites expérimentaux et pratiques culturelles






18 sites

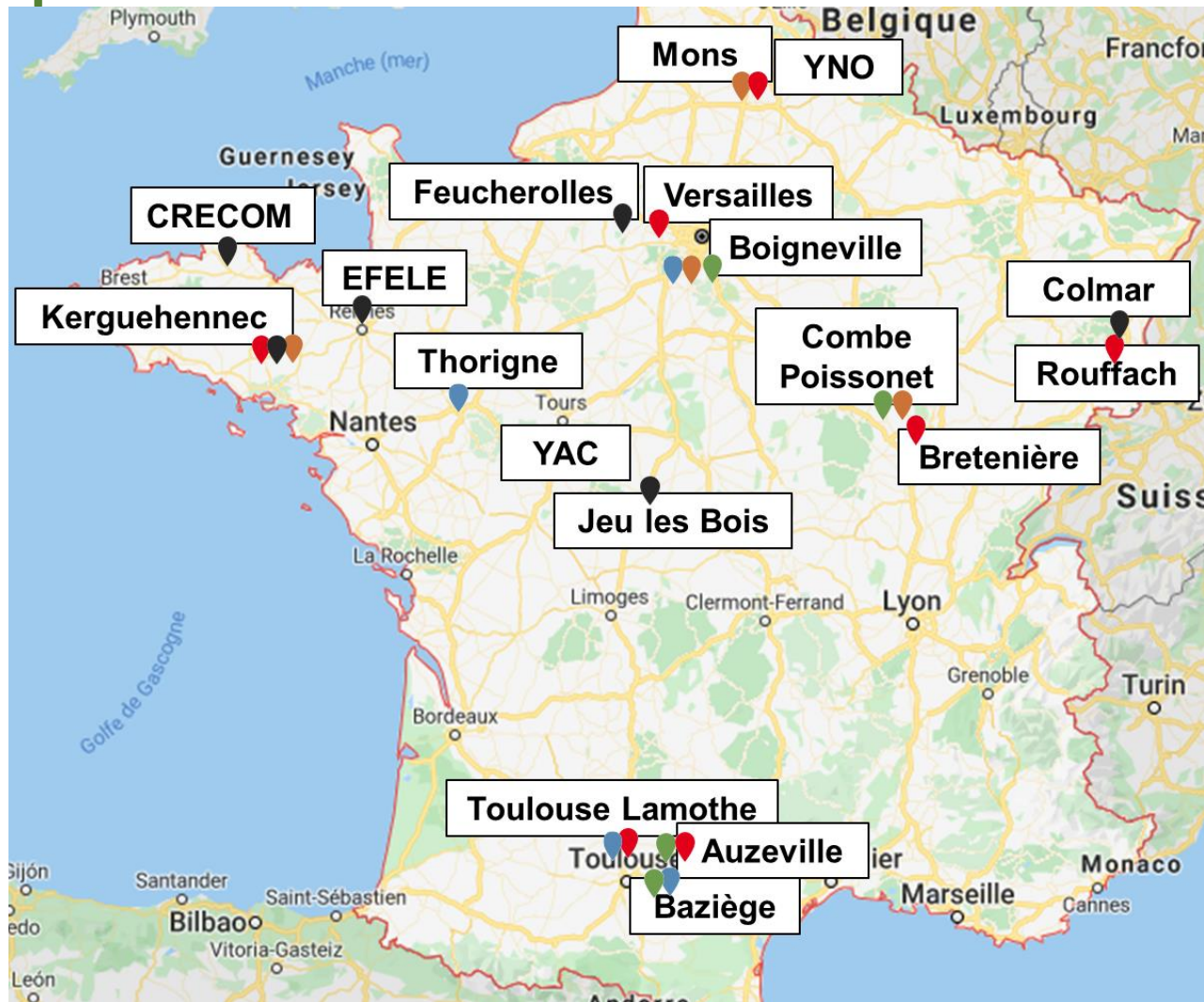
Profondeur de prélèvement

0 – 20 cm

Pratiques culturelles → Mises en place depuis minimum 5 ans

**5 pratiques culturelles :**

- 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.)
- Systèmes de culture**  Syst. Innovant ou bio. vs. Syst. conventionnel (ref.)
- Produits résiduels organiques**  Avec vs. sans apport PRO (ref.)



# Indicateurs physico-chimiques & biologiques mesurés

## Indicateurs physico-chimiques

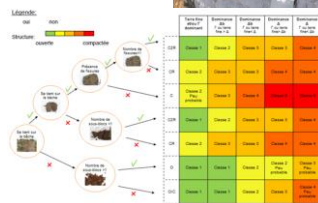
### Observations terrain : Test bêche

- Niveau de compaction
- Taux de couverture du sol
- Taux de cailloux



### Autres Paramètres

- Texture
- CEC
- pH,...



### Fractionnement granulométrique MO

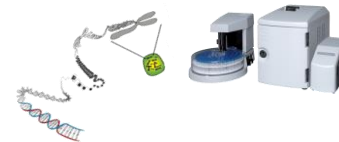
### Fraction stables et Labiles MO

- C & N Tot, C org, C inorg
- C labile KMnO4

## Abondances microbiennes

### Abondance des microorganismes totaux

- Biomasse microbienne (MBC)
- ADN total

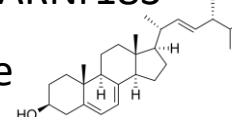


### Abondance des bactéries

- Gènes codant ARNr16S

### Abondance des champignons

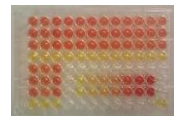
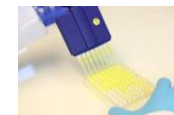
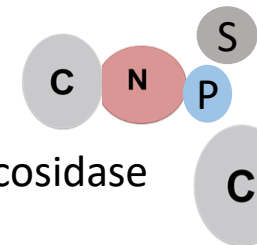
- Gènes codant ARNr18S
- Ergostérol libre
- Ergostérol total



## Activités microbiennes

### Activités enzymatiques in situ

- FDA
- β- Glucosidase
- Leucine aminopéptidase
- Protéase
- Arylamidase



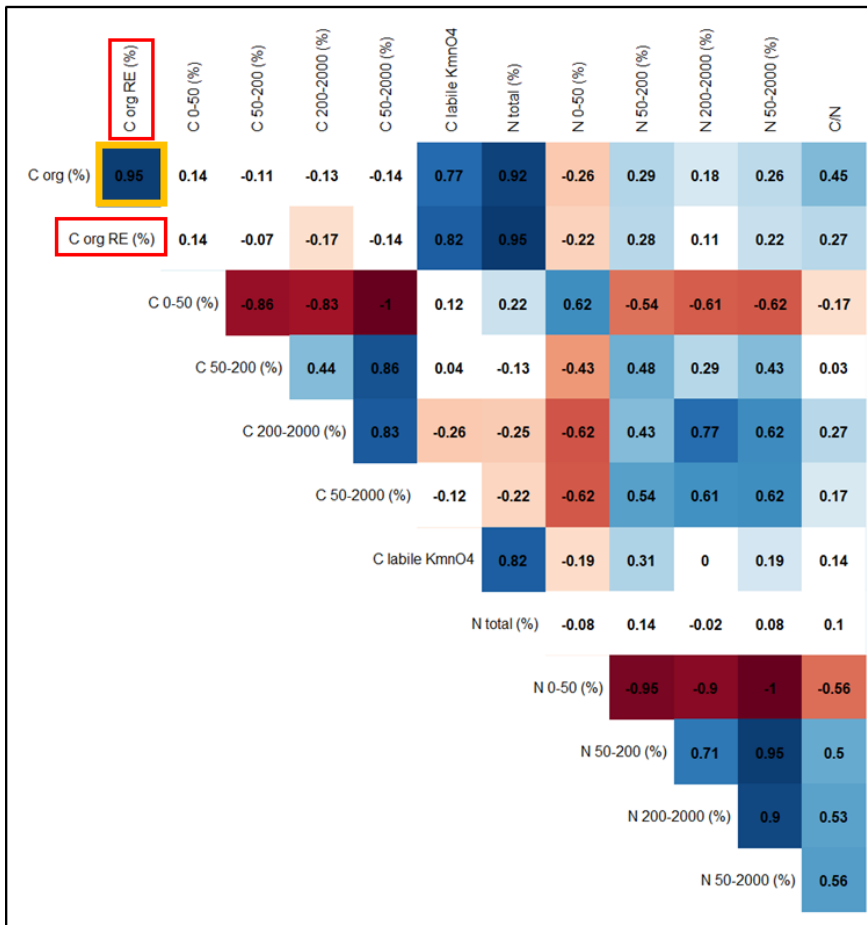
### Minéralisation C & N

- Minéralisation C&N en 28 jours
- Azote potentiellement minéralisable
- Azote biologiquement minéralisable

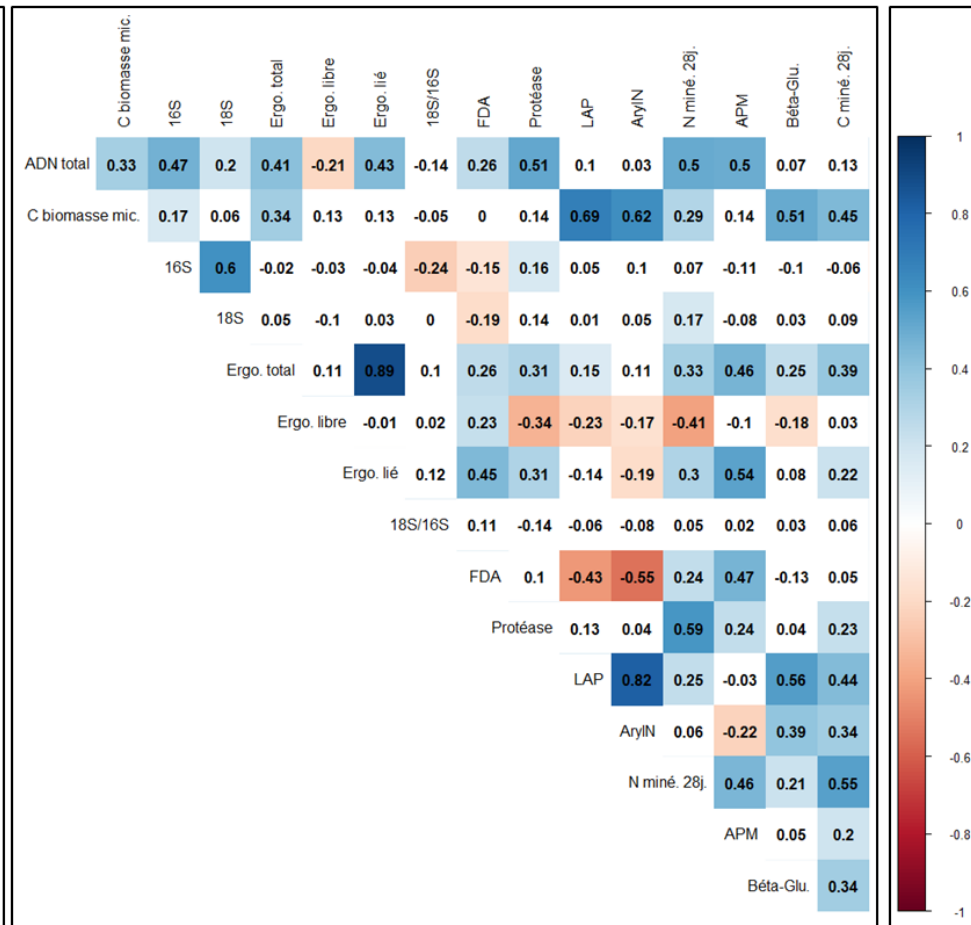


# Co-corrélation des indicateurs et redondance de l'information

Variables physico-chimiques



Variables microbiologiques

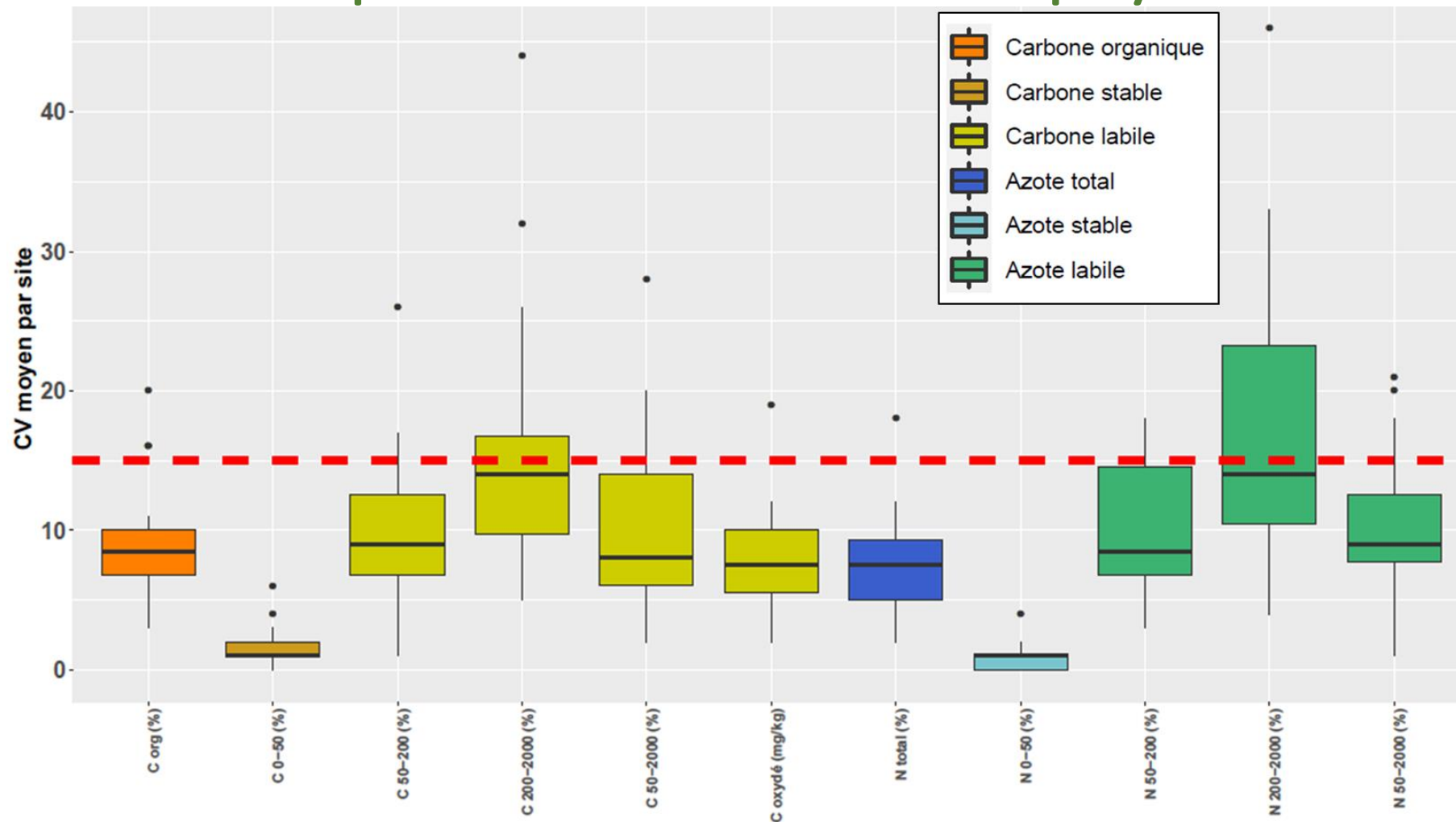


n = 183 obs.

**Règle de décision**  
 Si  $|R| > 0,9$  et même information apportée  
 → Sélection d'une variable (coût)

Carbone Rock-EVAL non retenu

# Variabilité spatiale des indicateurs physico-chimiques



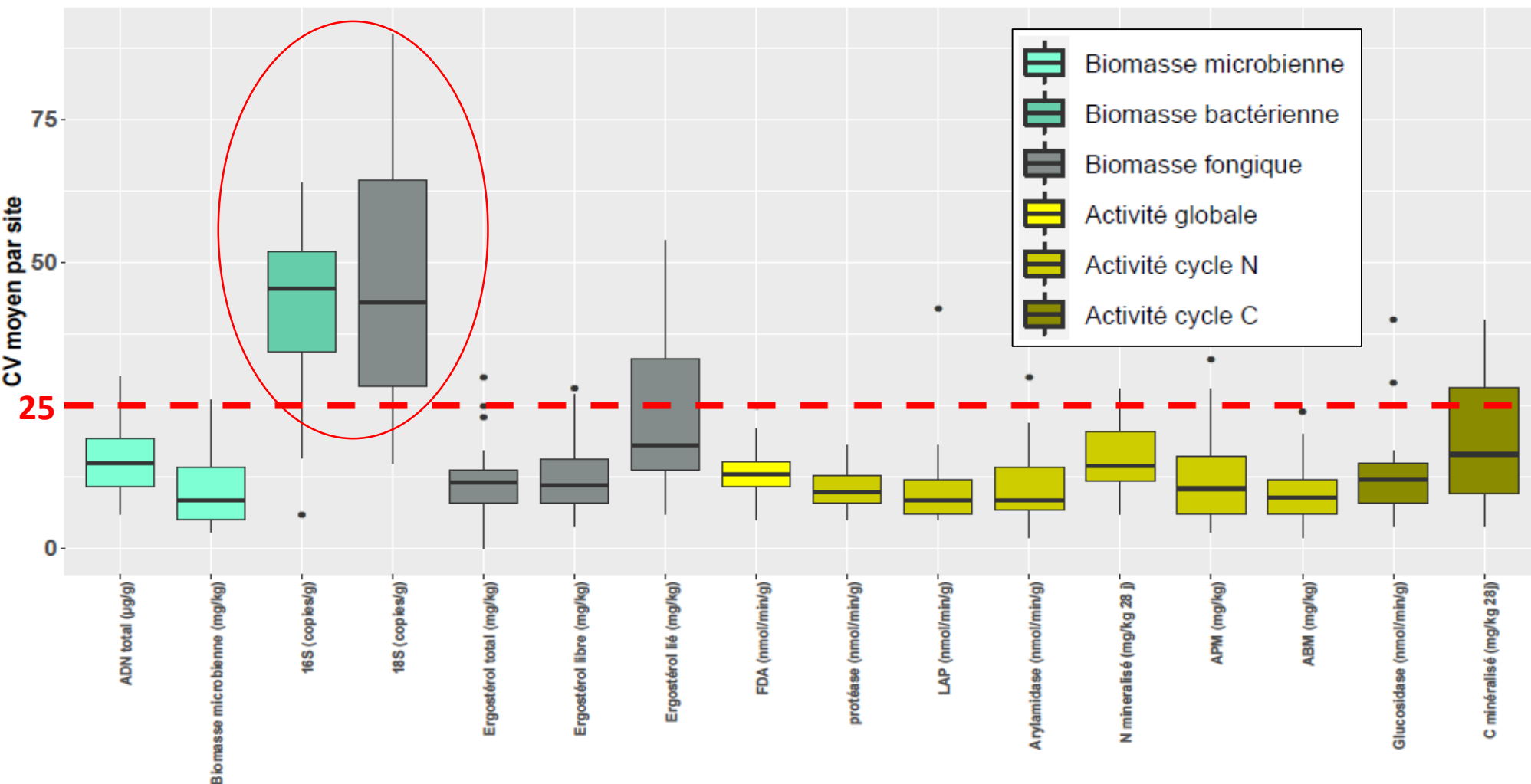
**Règle de décision pour les seuils de CV (%) :**  
CV seuil = 15%

*(Bouthier et al., 2015)*



# Variabilité spatiale des indicateurs microbiologiques

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



(Bouthier *et al.*, 2015)

# Aptitude des indicateurs à discriminer les modalités agronomiques

Quantité C apportée (moyenne sur 5 ans)



Âge essai

+

| PRO                         | Âge des essais<br>Essai      | 6 ans          |        |                |                 |        | 18 ans    |             |           | 20 ans |               | 33 ans | SCORING PRO (5%)   |        |    |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|--------|----------------|-----------------|--------|-----------|-------------|-----------|--------|---------------|--------|--------------------|--------|----|
|                             |                              | JEU LES BOIS   |        |                | EFELE           |        | KER W Sol |             |           | COLMAR |               | FEU    |                    | CRECOM |    |
|                             | Type de PRO                  | 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 28 j)    |                |        | *              |                 |        |           | **          | *         |        |               |        |                    | *      | 4  |
|                             | APM (mg/kg)                  |                |        |                |                 |        |           |             |           |        |               |        |                    | *      | 1  |
| ABM (mg/kg)                 |                              |                |        |                |                 |        | **        | ***         | *         | *      | **            | ***    |                    | 6      |    |
| Glucosidase (nmol/min/g)    |                              |                |        |                |                 |        |           | **          |           |        |               |        |                    | 1      |    |
| C minéralisé (mg/kg 28j)    |                              |                |        |                |                 |        |           |             |           |        |               | **     | **                 | 2      |    |

**Exemple 1**  
**Pratique la plus discriminée : PRO**

- 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

# Aptitude des indicateurs à discriminer les modalités agronomiques

Biomasse couverts (moyenne sur 5 ans)



Âge pratique couverts

+

|                             | 7 ans                        |   | 8 ans           |   | 9 ans                            |                                  | 48 ans (10 ans couverts) |                     | 27 ans                  |                  |                     |                  | SCORING Couverts (5%) |   |
|-----------------------------|------------------------------|---|-----------------|---|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---|
|                             | COMBE                        |   | AUZEVILLE       |   | BAZIEGE                          |                                  | BOI A1                   |                     | BOI ENV                 |                  |                     |                  |                       |   |
| Couverts                    | Leg.* + autres               |   | Leg.* + autres  |   | Rotation courte<br>Leg* + autres | Rotation longue<br>Leg* + autres | Labour<br>Leg* + autres  | SD<br>Leg* + autres | Labour<br>Leg* + autres | Labour<br>Autres | SD<br>Leg* + autres | SD<br>Autres     |                       |   |
|                             | Biomasse moyenne             |   | Biomasse faible |   | Biomasse faible                  |                                  | Biomasse faible          |                     | Biomasse faible         | Biomasse moyenne | 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 (%)                   |   |                 |   |                                  |                                  |                          |                     |                         |                  | b ***               | b ***            | 2                     |   |
|                             | C 50-200 (%)                 |   |                 |   |                                  |                                  | b *                      |                     |                         | a *              | a *                 | a *              | 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 *              | 2                     |   |
|                             | Arylamidase (nmol/min/g)     |   |                 |   |                                  |                                  |                          |                     |                         |                  |                     | a ***            | 1                     |   |
|                             | N mineralisé (mg/kg 28 j)    |   |                 |   |                                  | **                               |                          |                     |                         |                  |                     |                  | 1                     |   |
|                             | APM (mg/kg)                  |   |                 |   |                                  |                                  |                          |                     |                         | b *              |                     |                  | 1                     |   |
| ABM (mg/kg)                 |                              |   |                 |   |                                  |                                  | a *                      |                     |                         |                  |                     | 1                |                       |   |
| Glucosidase (nmol/min/g)    |                              | * |                 |   |                                  |                                  |                          |                     |                         |                  | b ***               | b ***            | 4                     |   |
| C minéralisé (mg/kg 28j)    |                              |   |                 |   |                                  |                                  |                          |                     |                         |                  |                     |                  | 0                     |   |

**Exemple 2**  
**Pratique la plus discriminée :**  
**Couverts intermédiaires**

- 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.

# Indicateurs retenus pour l'outil Microbioterre

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

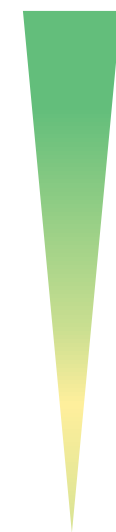


Indicateurs de « référence » mesurés en routine (Benintende *et al.*, 2014)



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

Aptitude à discriminer les pratiques



Aptitude élevée

Aptitude faible