

Coût et faisabilité technique des indicateurs

Estimation du **coût d'analyse** et de la **faisabilité technique** pour chaque indicateur (partenaires MicrobioTerre)

| Indicateurs du menu Microbioterre | | <u>Technicité et appareillage</u> 1 : facile à 3 : difficile | <u>Délai analyse</u> 1 : faible délai à 3 : délai élevé | <u>Coût</u> 1 : coût faible à 3 : coût élevé | Sol sec ou brut | Envoi / réception | <u>Norme disponible</u> 1 : Norme 2 : Méthodes publiées mais pas de norme 3 : Différentes méthodes | |
|-----------------------------------|-----------------|---|---|--|-----------------|----------------------|--|---|
| Indicateurs physico-chimiques | Carbone | C org (%) | 1 | 1 | Sol sec | 1 | 1 | |
| | | C 0-50 (%) | 2 | 1 | Sol sec | 1 | 1 | |
| | | C 50-200 (%) | 2 | 1 | Sol sec | 1 | 1 | |
| | | C 200-2000 (%) | 2 | 1 | Sol sec | 1 | 1 | |
| | | C 50-2000 (%) | 2 | 1 | Sol sec | 1 | 1 | |
| | C oxydé (mg/kg) | 1 | 1 | 1 | Sol sec | 1 | 2 | |
| | Azote | N total (%) | 1 | 1 | 1 | Sol sec | 1 | 1 |
| | | N 0-50 (%) | 2 | 1 | 2 | Sol sec | 1 | 1 |
| N 50-200 (%) | | 2 | 1 | 2 | Sol sec | 1 | 1 | |
| N 50-2000 (%) | | 2 | 1 | 2 | Sol sec | 1 | 1 | |
| Indicateurs μbiologiques | Abondances | Biomasse microbienne (mg/kg) | 3 | 2 | 3 | Sol brut | 2 | 1 |
| | | 18S (copies/g) | 2 | 1 | 3 | Sol brut | 3 | 3 |
| | Activités | Protéase (nmol/min/g) | 2 | 1 | 2 | Sol brut | 3 | 2 |
| | | LAP (nmol/min/g) | 2 | 1 | 2 | Sol brut | 3 | 2 |
| | | Arylamidase (nmol/min/g) | 1 | 1 | 2 | Sol brut | 3 | 1 |
| | | ABM (mg/kg) | 1 | 1 | 2 | Sol brut | 2 à 3 | 2 |
| Glucosidase (nmol/min/g) | 1 | 1 | 2 | Sol brut | 3 | 1 | | |

Notation de coût et faisabilité technique :

1 : Coût faible,
faisabilité élevée



3 : Coût élevé,
faisabilité faible

Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

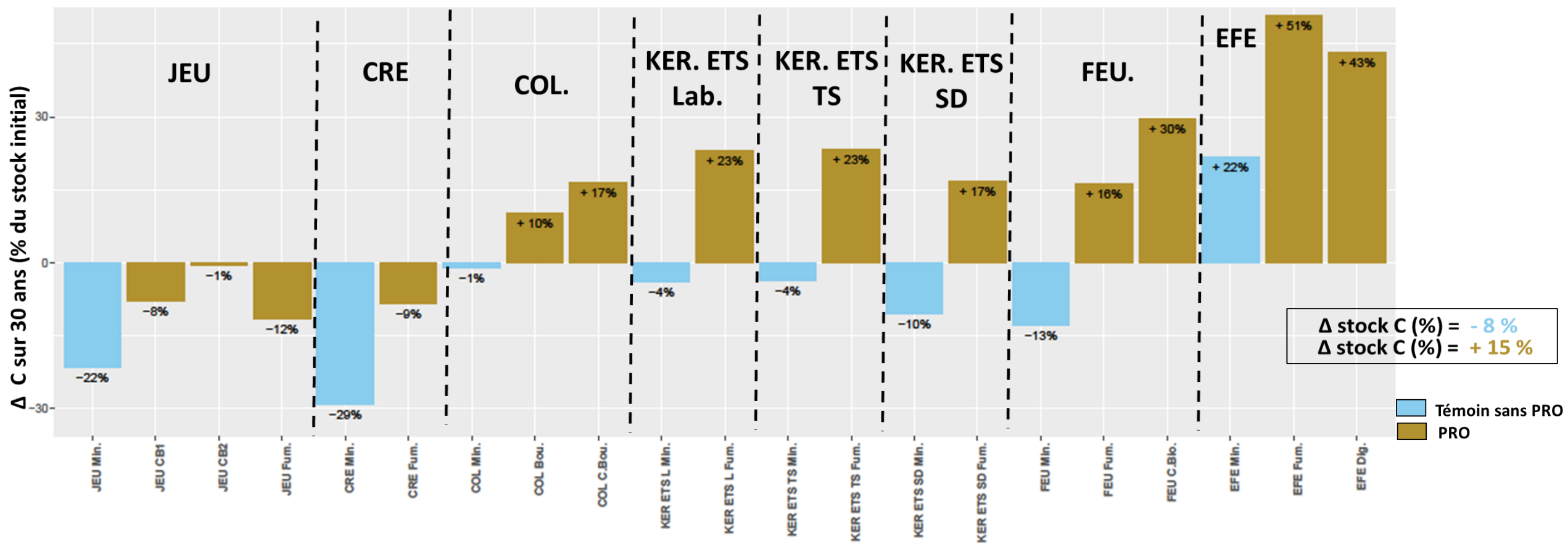
| Démarche du projet Microbioterre | | Méthodologie | |
|---|--|----------------------|--------------------------------------|
| | | Essais Microbioterre | Etude bibliographique / Méta-analyse |
| Choix indicateurs menus Microbioterre | Procédure d'échantillonnage | | |
| | <i>Critères de choix des indicateurs</i> | | |
| | Co-corrélation des indicateurs et redondance de l'information | | |
| | Variabilité spatiale des indicateurs | | |
| | Réponse des indicateurs aux pratiques étudiées | | |
| | Coût acceptable et faisabilité technique | | |
| Guide Microbioterre & conseil agronomique | <i>Conseil en agriculture</i> | | |
| | Fonction stockage C : <i>Modèle AMG</i> Lien indicateurs / fonctions | | |
| | Référentiels d'interprétation des indicateurs | | |
| | Leviers agronomiques possibles | | |

Liens indicateurs / fonction de stockage C

Modèle AMG
(version 6.2)
30 ans - 30 cm

PRO vs. Témoin

- C humifié (t C/ha) > C minéralisé (t C/ha) → $\Delta > 0$: **Stockage C**
- C humifié (t C/ha) < C minéralisé (t C/ha) → $\Delta < 0$: **Déstockage C**



Δ stock C (%) = - 8 %
 Δ stock C (%) = + 15 %

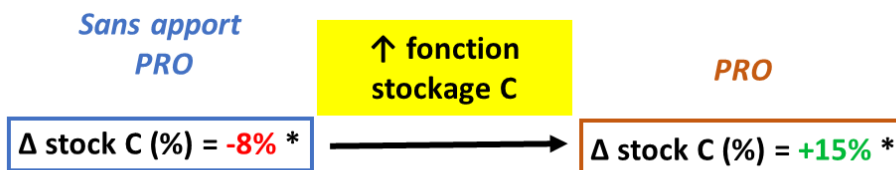
■ Témoin sans PRO
■ PRO

Liens indicateurs / fonction de stockage C

Modèle AMG
(version 6.2)
30 ans - 30 cm

PRO vs. Témoin

Variation niveau de stockage C



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

→ Apport de **PRO** : ↑ niveau stockage C
↑ tous indicateurs *sauf* C et N (%) fraction fine
Méta-analyse de Liu *et al.*, 2014

AMG :

- Indicateurs corrélés positivement au niveau de **stockage C**

Limites de la modélisation :

- Simulation AMG plus ou moins précise (données agros NA)
- Profondeurs différentes (Stock AMG sur 30 cm / mesures sur 20 cm)
- Limite de la corrélation évolution stock ou teneur vs. une mesure

Variation indicateur

| Indicateurs du menu Microbioterre | | | Valeur relative moyenne de l'indicateur |
|-----------------------------------|------------|--------------------------------|---|
| Indicateurs physico-chimiques | Carbone | C org (%) | +16.2% |
| | | C 0-50 (%) | -3.5% |
| | | C 50-200 (%) | +35.4% |
| | | C 200-2000 (%) | +15.7% |
| | | C 50-2000 (%) | +27.4% |
| | | C oxydé (mg/kg) | +32.1% |
| Indicateurs physico-chimiques | Azote | N total (%) | +18.5% |
| | | N 0-50 (%) | -2.6% |
| | | N 50-200 (%) | +40.4% |
| | | N 50-2000 (%) | +34.2% |
| Indicateurs microbiologiques | Abondances | Biomasse microbienne (mg/kg) | +38.1% |
| | | 18S (copies/g) | +82.4% |
| | Activités | Activité protéase (nmol/min/g) | +25.9% |
| | | LAP (nmol/min/g) | +22.3% |
| | | Arylamidase (nmol/min/g) | +36.1% |
| | | ABM (mg/kg) | +36% |
| Glucosidase (nmol/min/g) | +10.5% | | |

Sens variation indicateur :

↑ (vert)
↓ (orange)

Liens indicateurs / fonctions

Etude bibliographique
80 articles

Indicateurs

| |
|--|
| Quantification du carbone microbien après fumigation et mesure TOC |
| Quantification de l'ADN total |
| Quantification de l'ADNr 16S par PCR en temps réel |
| Quantification de l'ergostérol libre et total |
| Quantification de l'ADNr 18S par PCR en temps réel |
| Ratio 18S/16S |
| Hydrolyse de la FDA |
| β -glucosidase |
| Aminopeptidase |
| Protéase |
| Arylamidase |
| APM (extraction tétraborate à chaud) |
| ABM |
| Potentiel de nitrification (incubation avec ajout NH4) |
| Potentiel de minéralisation N |
| Teneur en carbone organique |
| Teneur en azote total |
| Fractionnement granulométrique MO |
| Carbone labile KMnO4 |

Fonctions

| |
|---------------------------------------|
| Ammonification |
| Nitrification |
| Lixiviation |
| Réduction du NO3 (émission N2O) |
| Volatilisation |
| Fixation symbiotique |
| Fragmentation |
| Biodégradation |
| Minéralisation (CO2) |
| Stabilisation chimique / humification |
| Stabilisation physique / protection |
| Agrégation (Macro) |
| Agrégation (Micro) |
| Aération / circulation eau - air |
| Infiltration en eau |
| Rétention en eau |

Recyclage des nutriments

Transformation du carbone

Structure du sol

Flèches pleines : pas d'équation entre I/F
Flèches en discontinu : existence d'équation entre I/F

Relation faible $r < 0,4$
Relation moyenne r entre $0,4$ et $0,8$
Relation forte $r > 0,8$

Bleu : relation positive entre I/F
Rouge : relation négative entre I/F

Référentiels d'interprétation des indicateurs du menu

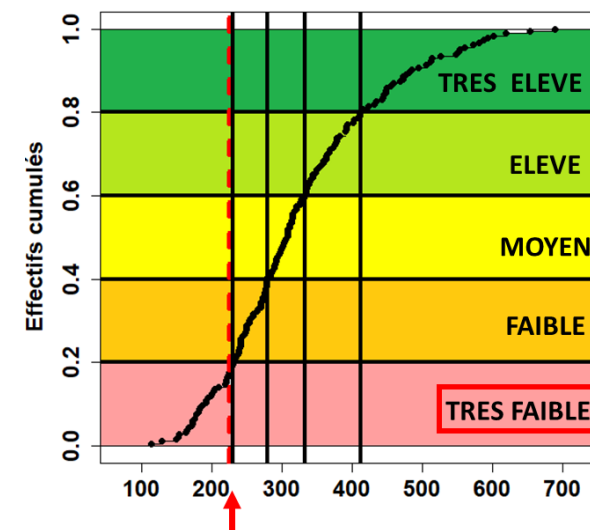
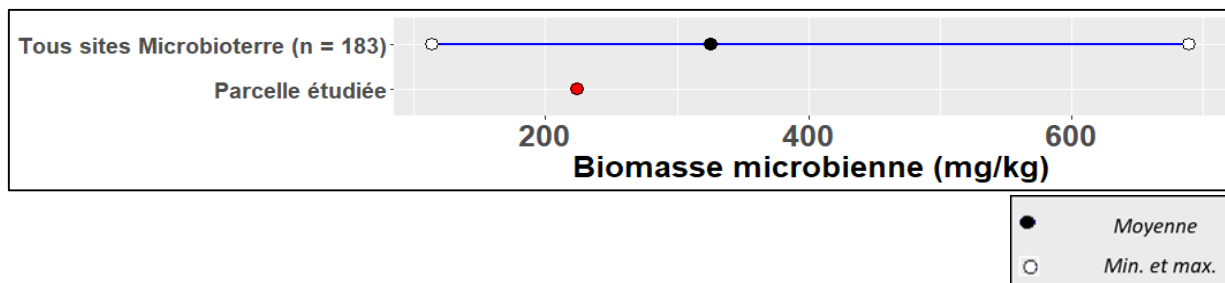
1^{er} niveau d'interprétation : Valeur comprise dans le référentiel MicrobioTerre ?

2^{ème} niveau d'interprétation : Niveau de l'indicateur ?

Exemple d'un indicateur μ biologique : Biomasse microbienne

n = 183 observations

Tous sites – Toutes pratiques culturales



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

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

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

Conseil : Leviers agronomiques possibles

Essais Microbioterre : Valeurs relatives moyennes

Modalité pratique vs. modalité référence

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

Exemple : Indicateur **Corg**

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

PRO > Couverts > Systèmes > Rotations > Travail sol

Pratique culturelle impactant fortement l'indicateur

Pratique culturelle impactant faiblement l'indicateur

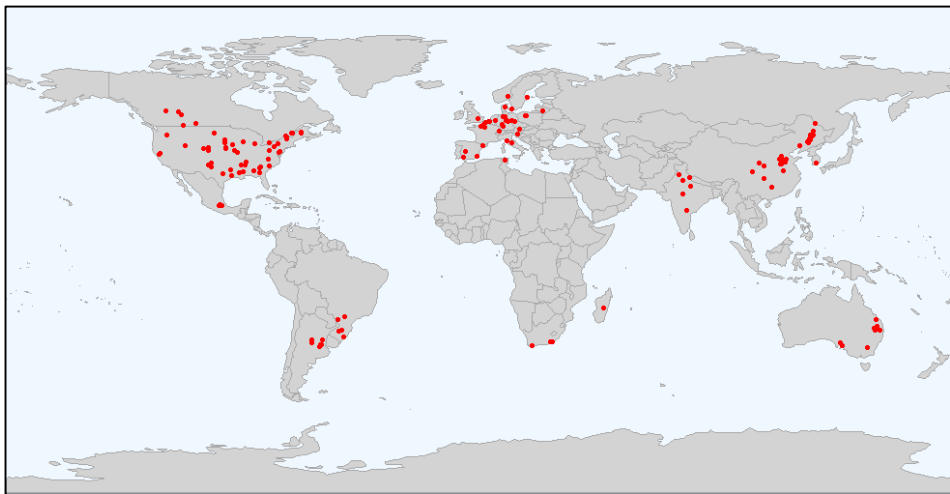
Par indicateur du menu

→ Pratiques : De la + à la – impactante

Proposition de leviers agronomiques en fonction du contexte agronomique

Conseil : Leviers agronomiques possibles

Méta-analyse : Valeurs relatives moyennes
Modalité pratique vs. modalité référence



Localisation des essais étudiés pour la méta-analyse

147 articles

| Indicateurs | Valeur relative moyenne (%) | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------|------|-----------|----------|---------|
| | PRO | Couverts | Wsol | Rotations | Systèmes | Résidus |
| | 41 | 31 | 62 | 25 | 12 | 19 |
| C org | | | | | | |
| Large macroaggregates (>2 mm) | | | | | | |
| Small macroaggregates (0.25 - 2 mm) | | | | | | |
| Microaggregates (<0.25 mm) | | | | | | |
| N total | | | | | | |
| Cox KMnO4 | | | | | | |
| C biomasse microbienne | | | | | | |
| PLFA totaux | | | | | | |
| ADN total | | | | | | |
| 16S | | | | | | |
| PLFA bactérien | | | | | | |
| 18S | | | | | | |
| PLFA fongique | | | | | | |
| Ergostérol | | | | | | |
| FDA | | | | | | |
| LAP | | | | | | |
| Arylamidase | | | | | | |
| Protéase | | | | | | |
| Uréase | | | | | | |
| Azote Biologiquement Minéralisable | | | | | | |
| Azote Potentiellement Minéralisable | | | | | | |
| Béta-glucosidase | | | | | | |

Nombre d'articles / pratique

Pas de données
 Indicateurs étudiés dans Microbioterre

Impact de la pratique sur chaque indicateur +



Outil Microbioterre : Du prélèvement de sol au conseil en agriculture

Prélèvement sol
- Guide : maîtriser prélèvement

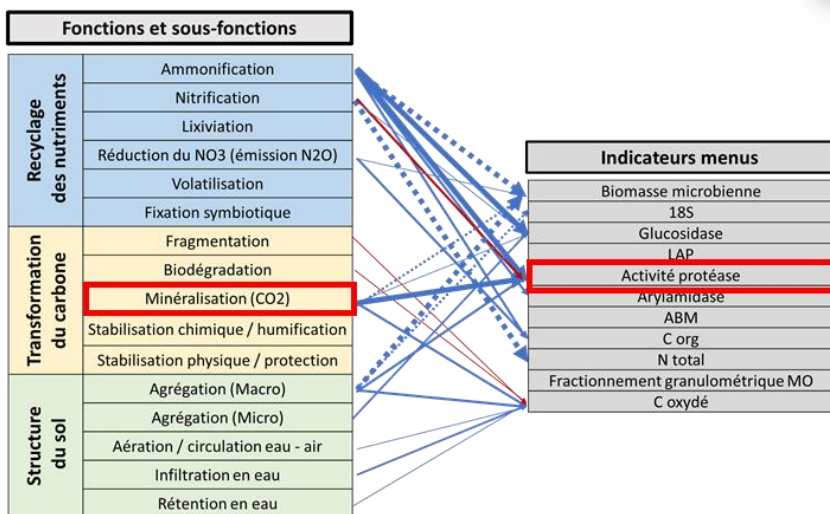


Objectif de l'agriculteur : Fonction à optimiser

Ex : Minéralisation C

Fonctions- Indicateurs

En complément d'indicateurs physico-chimiques :



Fonction à optimiser

Indicateur(s) proposé(s)

Analyses indicateurs
Indicateurs menus

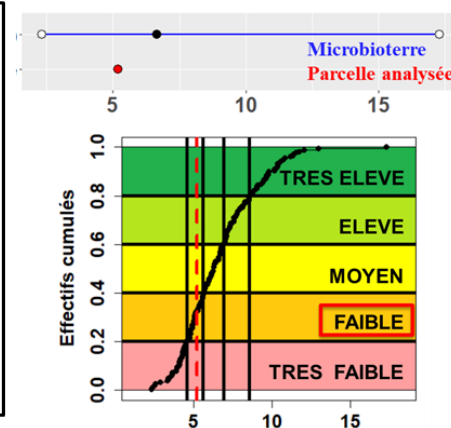


Interprétation & Conseil

Référentiels
n = 183

Leviers agronomiques

Protéase (nmol/min/g)



| 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) | █ | █ | | | █ |
| Activité protéase (nmol/min/g) | █ | █ | | | █ |
| ABM (mg/kg) | █ | █ | | | █ |
| Glucosidase (nmol/min/g) | █ | █ | | | █ |

Communication et diffusion : Déploiement de l'outil Microbioterre

- ❖ **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 formations**



- ❖ **Journée de restitution des résultats Microbioterre** : Prévue en début d'année 2022

Merci de votre attention

Merci aux contributeurs du projet

Riah-Anglet Wassila¹, Cusset Elodie¹, Recous Sylvie², Barbot Christophe³, Bennegadi-Laurent Nadia¹, Bouthier Alain⁴, Deschamps Thibaud⁴, Houot Sabine⁵, Leclerc Blaise⁶, Perrin Anne-Sophie⁷, Roussel Pierre-Yves⁸, Valé Matthieu⁹, Trinsoutrot-Gattin Isabelle¹

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

ARVALIS⁴, ⁵INRAe – AgroParisTech UMR ECOSYS, ⁶ITAB, ⁷TERRES INOVIA, ⁸Chambre d'agriculture de Bretagne, ⁹AUREA AgroSciences,

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien

