

# La santé des sols agricoles au cœur d'une formation par la recherche

**Babacar THIOYE**

Pôle Agronomie – Unité de recherche AGHYLE UniLaSalle

E-mail: [babacar.thioye@unilasalle.fr](mailto:babacar.thioye@unilasalle.fr)

Rencontre RED 2025

Vendredi 11 juillet 2025, 10h30 à 12h20, en ligne  
organisée par le réseau Recherche-Expérimentation-Développement  
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Webinaire **La qualité des sols**

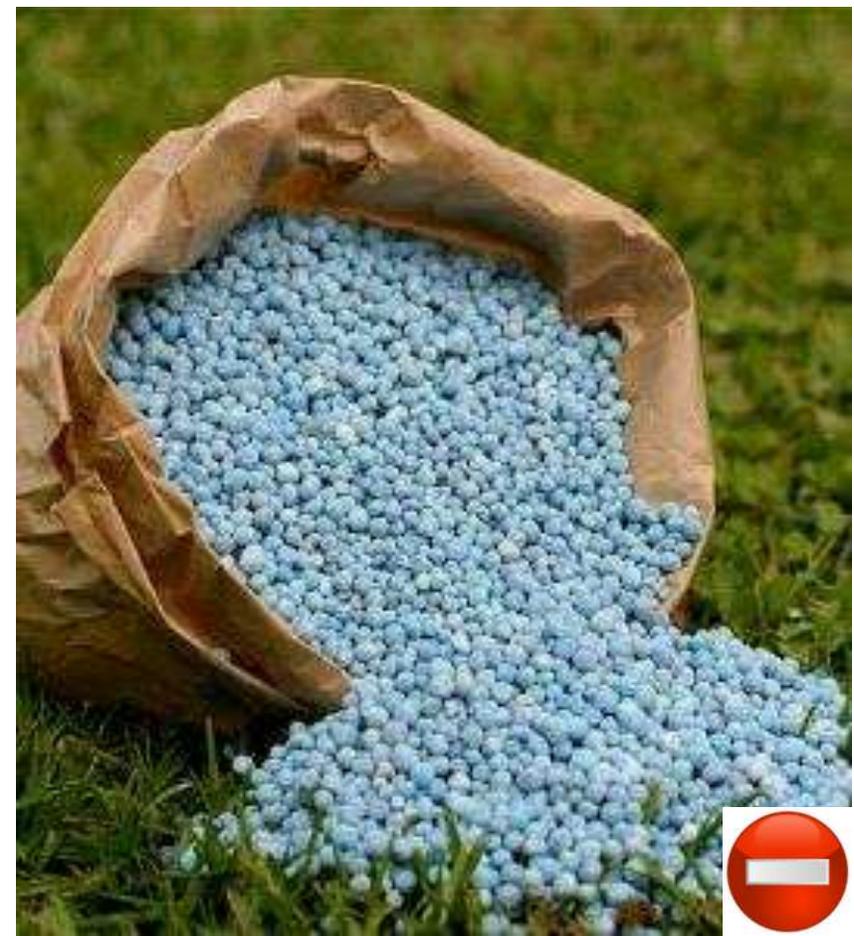


Contexte agricole

Comment nourrir 9,5 milliards d'individus en 2050 ?



ENERGIES FOSSILES



## Contexte agricole

- ❖ Développer des pratiques culturales durables
- ❖ Comprendre le fonctionnement biologique des sols
- ❖ Étudier les interactions entre le sol, la plante et les microorganismes



- ➔ Disposer d'outils pour diagnostiquer l'état des sols
- ➔ Proposer des options pour piloter l'activité biologique



# Les fonctions des organismes associés aux services écosystémiques des sols

## Microorganismes du sol

Fonctions liées aux services d'approvisionnement

Nutrition et stimulation de la croissance des plantes

Stimulation de la défense des plantes

Protection et gestion des stress biotiques et abiotiques



Fonctions liées aux services de régulation

Biodégradation de la matière organique

Fixation de l'azote atmosphérique

Séquestration du carbone et régulation du climat

Fonctions liées aux services de support

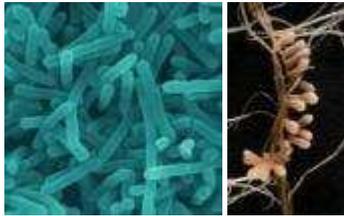
Régulation des pathogènes

Stabilisation du fonctionnement du sol

Gestion de la réserve en eau

# Les communautés microbiennes, indicateurs pertinents de la santé des sols

## 1. Enorme abondance et diversité



$10^9$  bactéries  
 $10^6$  espèces

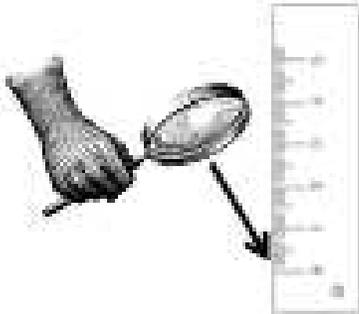
1g sol



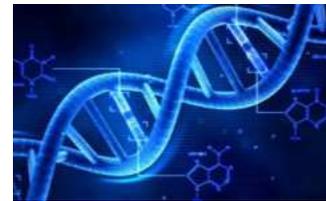
$10^6$  champignons  
 $10^3$  espèces



## 2. Enorme capacité d'adaptation



Petite taille

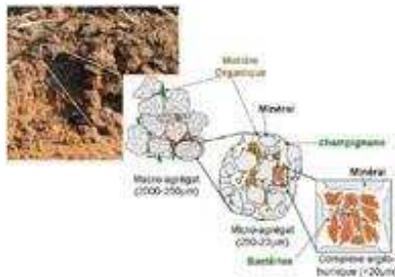


Plasticité du génome



Réponse rapide aux modifications environnementales

## 3. Implications dans de nombreuses fonctions



Structuration du sol



Minéralisation MO, recyclage carbone, nutriments...



Dépollution du sol

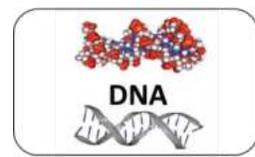
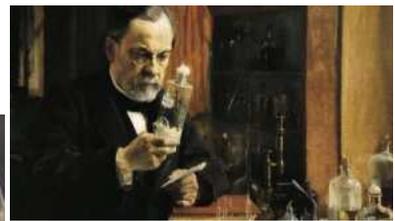


Lutte contre les pathogènes

# Comment mesurer les activités microbiennes dans le sol ?

Une nouvelle voie : l'écologie microbienne

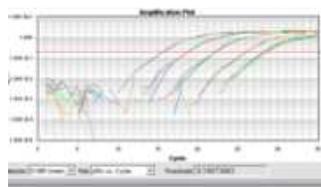
Soil



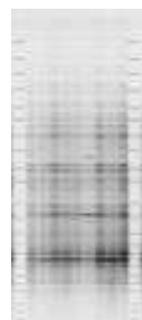
Quantité ADN sol



qPCR 16S/18S rRNA



DNA fingerprint



Inventaire  
Taxonomique  
Séquençage massif

Biomasse moléculaire microbienne

Abondance bactérienne  
Abondance fongique

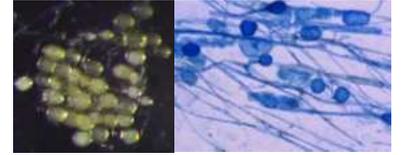
Abondance microbienne

Structure génétique, indice de diversité,  
composition taxonomique

## Quelques indicateurs biologiques des sols

### Mycorhizes

Indicateurs de la présence des mycorhizes basés sur la coloration des racines et des observations microscopiques (taux de mycorhization) ainsi que sur l'extraction des spores du sol (abondance des spores).



### Abondance bactérienne & fongique

Mesure de la densité microbienne du sol à travers la quantification des ADN ribosomiaux 16S (bactéries) et 18S (champignons), permettant d'évaluer l'abondance des communautés microbiennes.



### Activités enzymatiques

Indicateurs biochimiques du fonctionnement du sol, reflétant les processus de minéralisation, de cycle des nutriments et de transformation de la matière organique via l'action d'enzymes spécifiques.



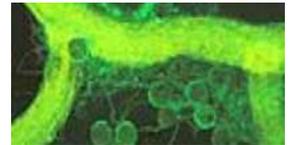
### Biomasse microbienne

La biomasse microbienne **moléculaire** permet de mesurer l'abondance des microorganismes dans le sol, à partir de l'ADN total microbien.



### Glomaline

Glycoprotéine produite par les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Elle stabilise les agrégats du sol et participe à la structuration du sol. Sa quantification permet d'estimer la biomasse de CMA.



### Vers de terre

Organismes du sol appartenant à la macrofaune, ils exercent des fonctions variées dans le sol : création de galeries, production de déjections et dégradation de la matière organique.



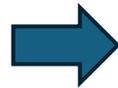
# Objectif de l'étude

❖ Caractériser « sur le long-terme » l'impact de systèmes alternatifs sur le fonctionnement biologique du sol

- 1) Apports de matières organiques exogènes
- 2) Contribution des couverts végétaux avec 2 modalités de destruction
- 3) Réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires



Projet CEGA  
2018-2022



  
TRANSMETTRE  
L'AGROÉCOLOGIE  
TANGGO  
2023-2027

UniLaSalle  
Rouen



CERFRANCE  
SEINE-NORMANDIE



## Objectifs de l'enseignement

1. Appréhender concrètement différents indicateurs biologiques de l'état des sols
2. Comprendre la mise en place d'un design expérimental au champ
3. Se sensibiliser à la complexité de la gestion de données en agronomie
4. Faire le lien entre pratiques culturales vs indicateurs biologiques



## Mode pédagogique

- Learning by doing
- Visite d'exploitation agricole et prélèvement terrain
- Projet participatif avec GIEE « Carbone 'N' Caux » et lycée d'Yvetot
- Expérimentations pointues en laboratoire (5 ateliers)
- Analyses et acquisition de données en laboratoire
- Traitement statistique des données et production de livrables

## Soft skills

- Adaptabilité
- Gestion du temps
- Travail en équipe
- Expérimentation terrain et laboratoire
- Esprit de synthèse
- Rigueur scientifique



Laboratoires AGHYLE



mars/avril



2 semaines



Etudiants Ingénieur Agro 4<sup>ème</sup> année

# Approche systémique & démarche scientifique

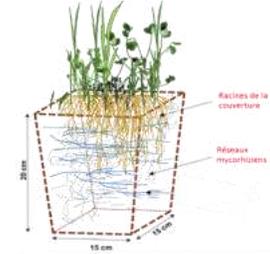
Question  
agronomique

- Impact des pratiques agricoles sur la vie du sol ?



Stratégie  
d'échantillonnage

- Prélèvement de sols à la tarière (0-20 cm)
- Prélèvement de sols rhizosphériques
- Prélèvement de racines du couvert
- 4 points de prélèvement/modalité/parcelle



Informations sur les  
ITK des parcelles

Travail du sol - Implantation/semis de la culture - Apports organiques - Apports minéraux - Interventions phytosanitaires - Couvert végétal - Désherbages mécaniques - Récoltes...



Indicateurs  
biologiques pertinents

- Activité (activités enzymatiques)
- Abondance (bactéries, champignons, vers de terre, densité spores, glomaline)
- Symbiotique (taux de mycorhization)

Analyses et Interprétation  
des données

- Construction de la base de données
- Outils et tests statistiques
- Réponses aux questions agronomiques

Lien  
Enseignement - Recherche

- Intérêt pour les agriculteurs et conseillers
- Intérêt pour la recherche
- Intérêt pour l'enseignement

## Indicateurs mesurés dans cette étude

### Abondance microbienne

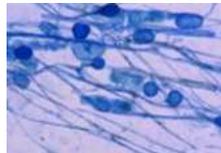
- Abondance bactérienne (nombre copies 16S/g sol sec)
- Abondance fongique (nombre de copies 18S/g sol sec)



*Gangneux et al. 2011*

### Mycorhizes

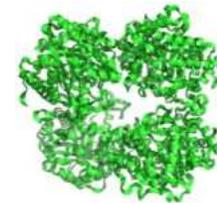
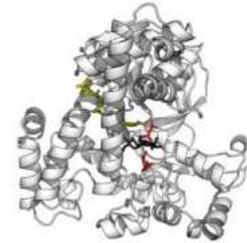
- Taux de mycorhization
- Abondance des spores



*Thioye et al. 2022*

### Activités enzymatiques

- Phosphatase acide (cycle du phosphore)
- N-acétyl-glucosaminidase (cycle de l'azote et du carbone)
- Arylamidase (cycle de l'azote)
- $\beta$ -Glucosidase (cycle du carbone)



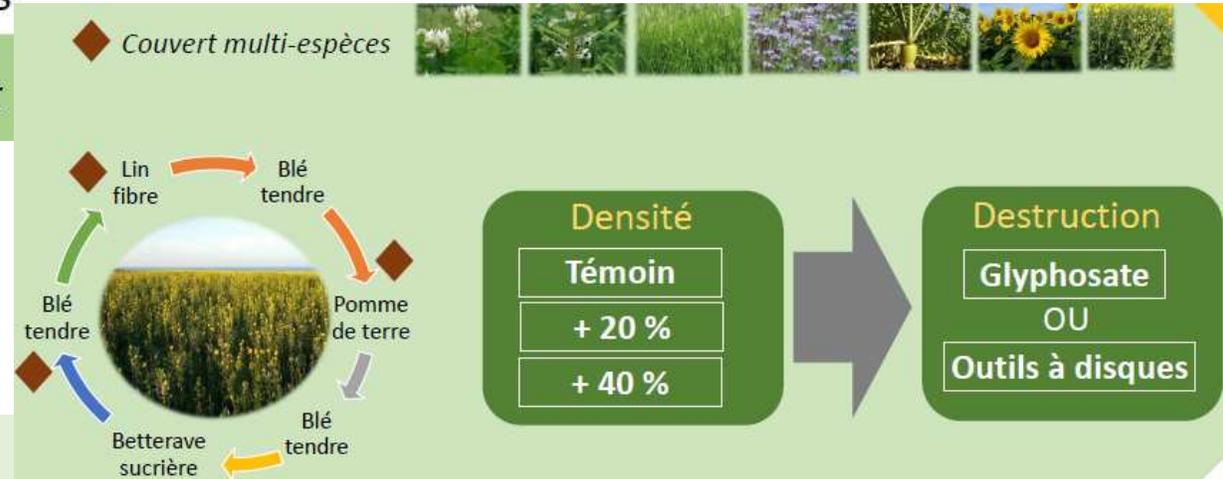
*Cheviron et al. 2021*

# Plateformes d'essais du GIEE Carbon 'N' Caux

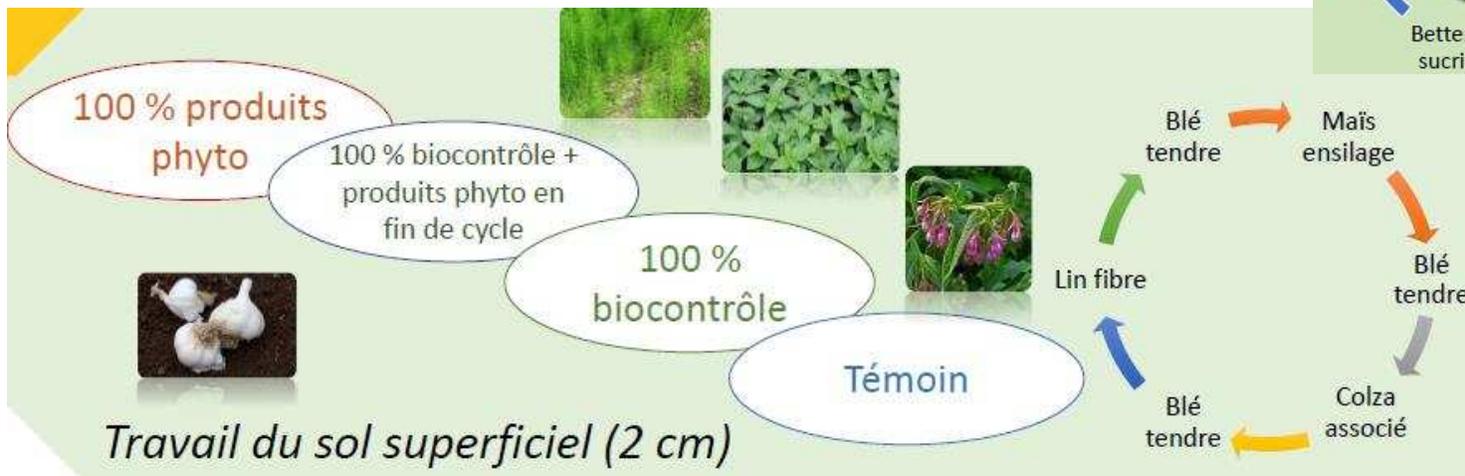
## Gestion de la fertilisation - Apports exogènes de MO



## Couverts et cultures associées



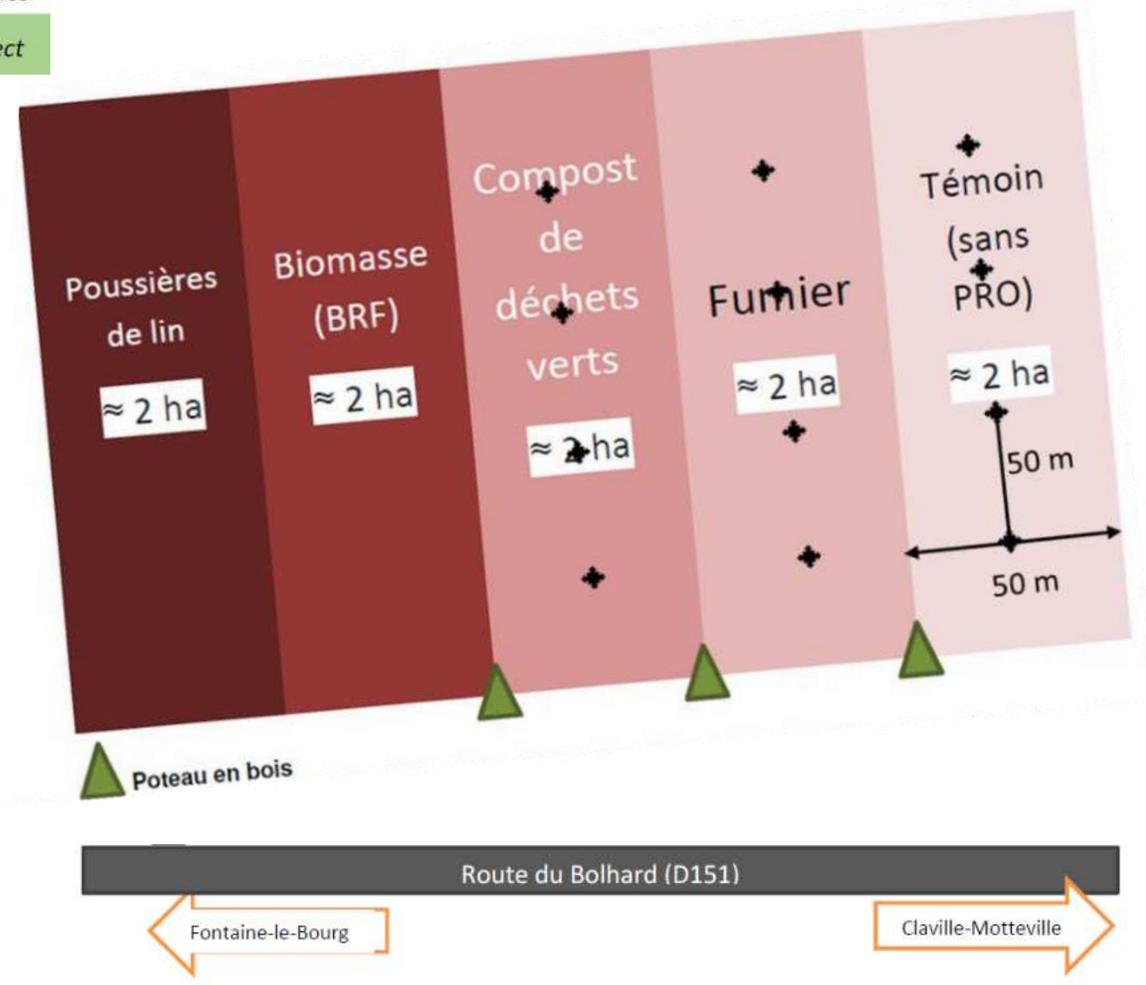
## Réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires



# Apports de matières organiques exogènes

GPS: 49.593482, 1.174125

Suivi : 2020 - 2023



- M1: Compost
- M2: Fumier
- M3: Témoin
- 3 modalités
- 4 répétitions
- 12 échantillons



✦ Point de prélèvement

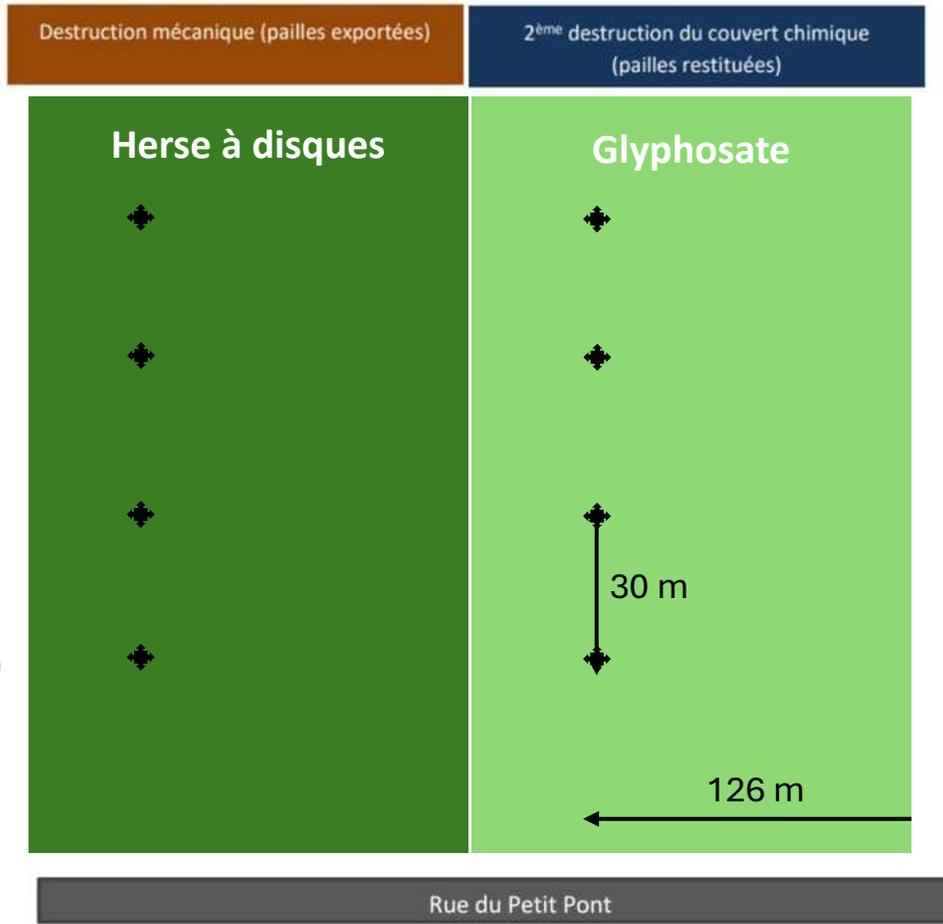


# Contribution des couverts végétaux



M1: Destruction mécanique (Herse à disques)  
M2: Destruction chimique (Glyphosate)  
**2 modalités**  
**4 répétitions**  
**8 échantillons**

Suivi : 2020 - 2023

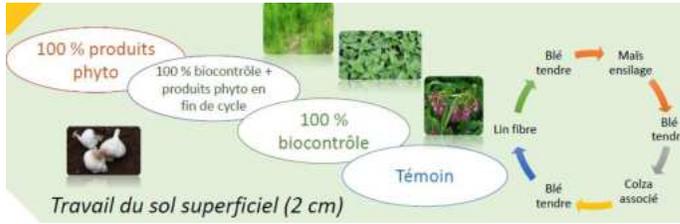


◆ Point de prélèvement



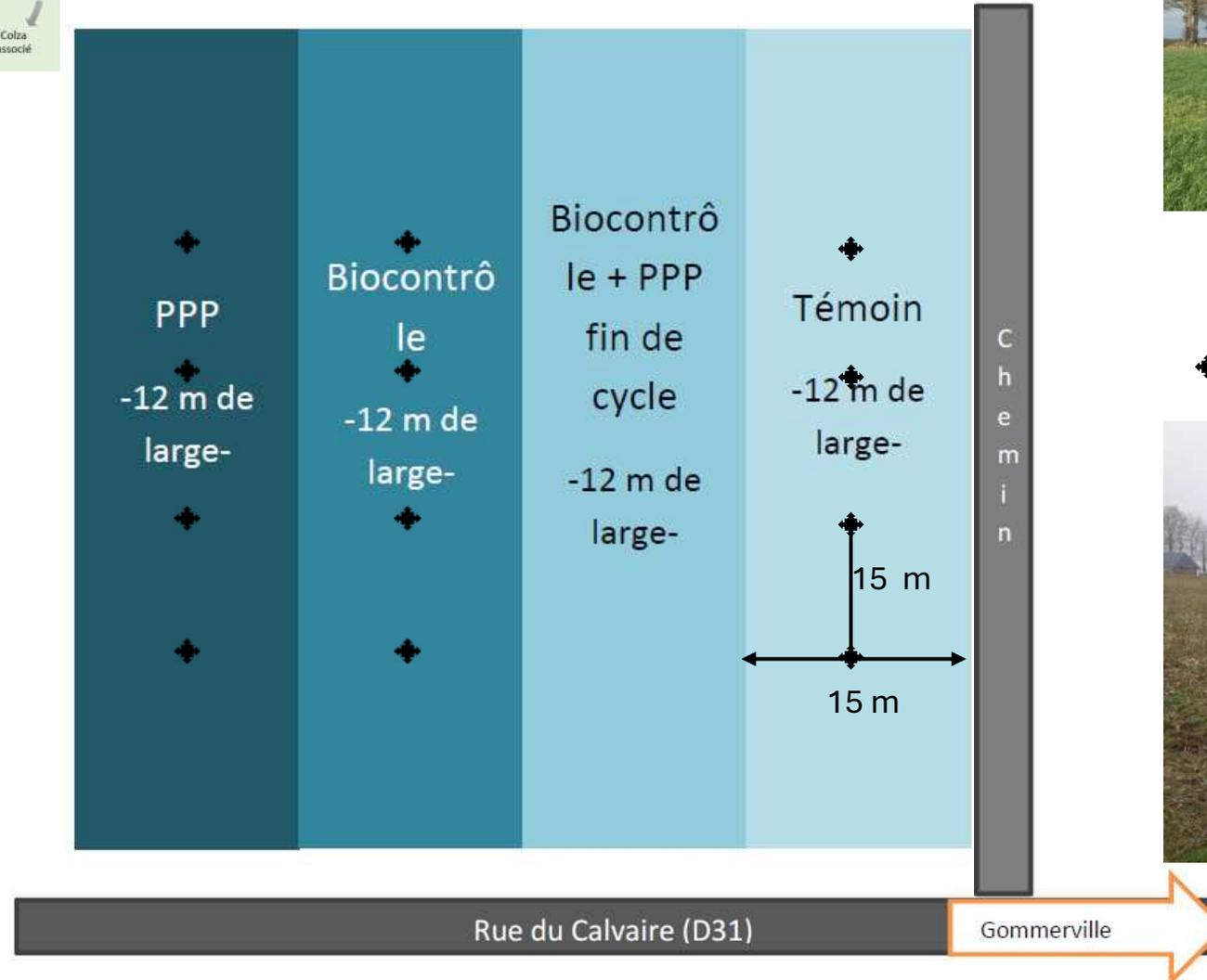
76790 Flamanville

# Réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires via le biocontrôle



- M1: 100% Phyto
- M2: 100% Biocontrôle
- M3: Témoin
- 3 modalités**
- 4 répétitions**
- 12 échantillons**

Suivi : 2020 - 2023

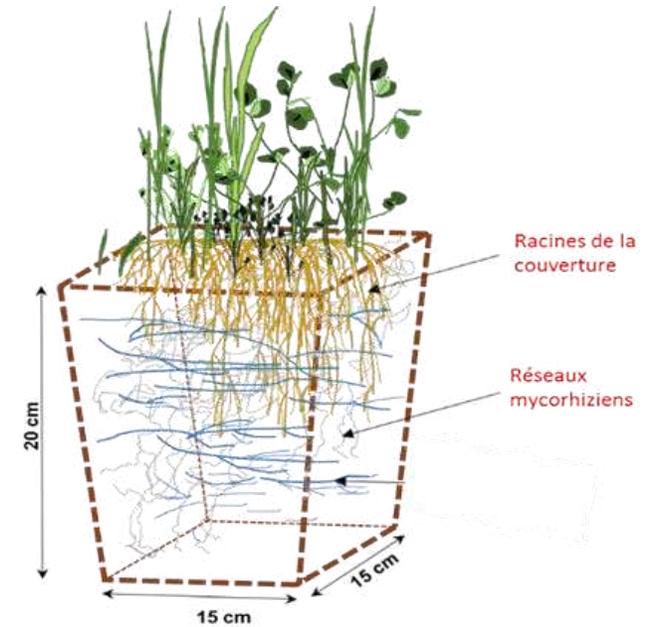


GPS: 49.554521, 0.353664

◆ Point de prélèvement

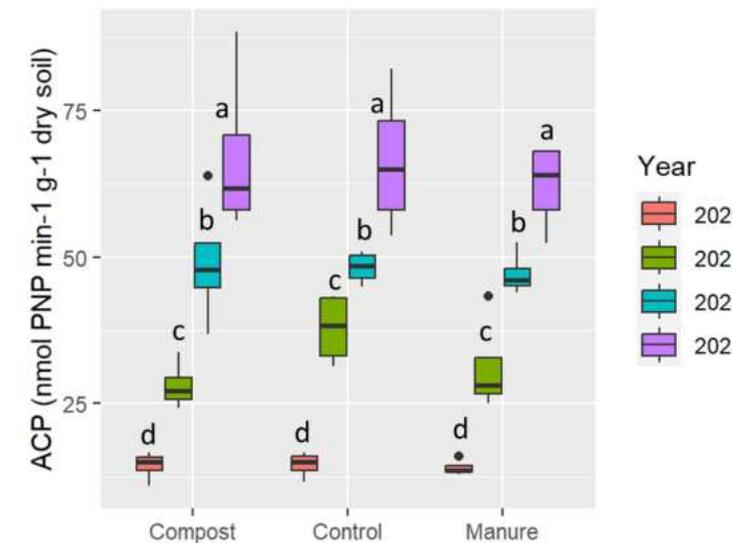
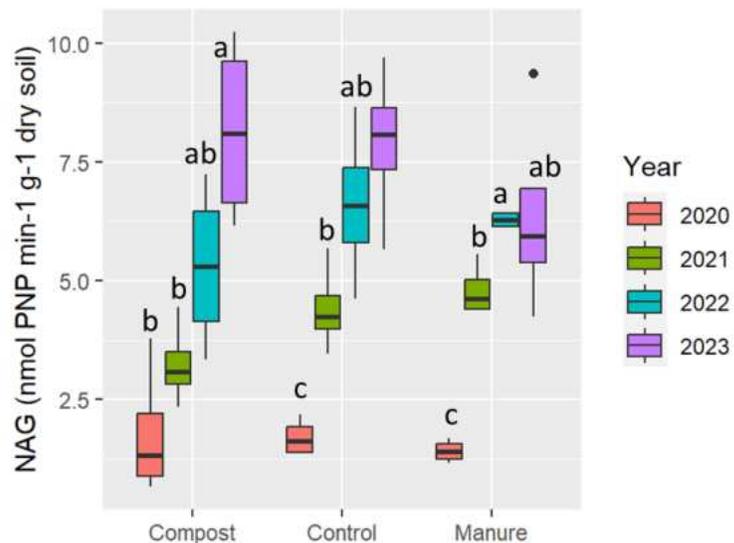
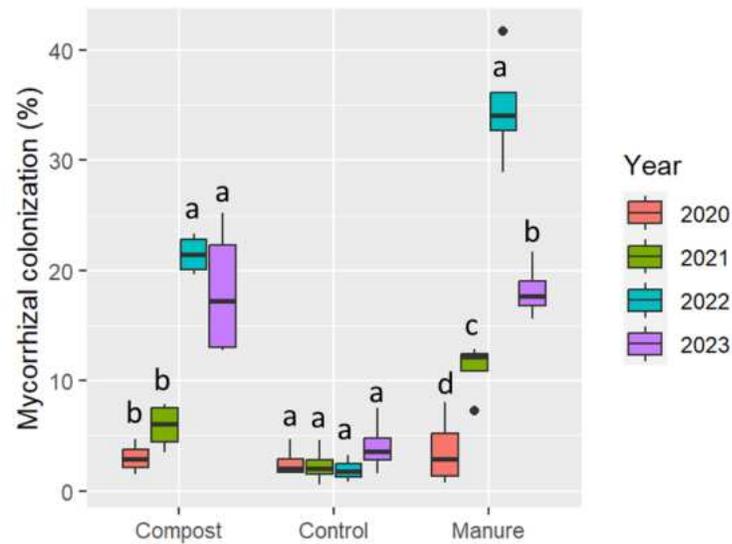
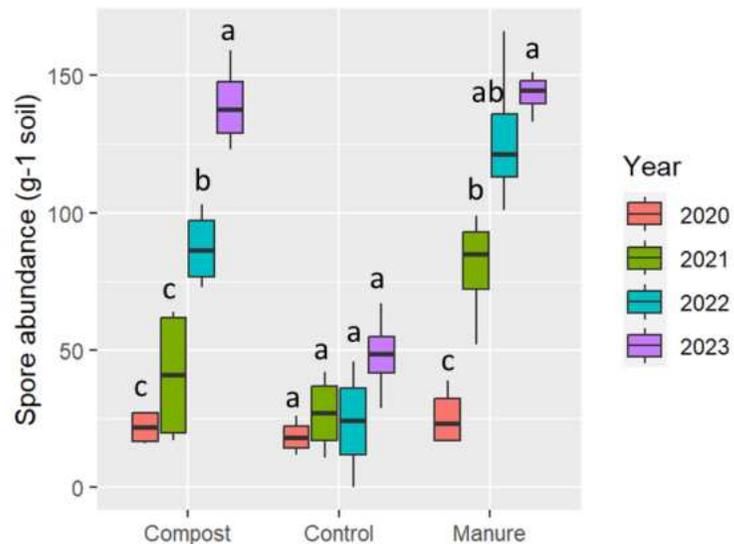


## Prélèvement des échantillons de sol rhizosphérique + racines du couvert



- ❖ Prélèvements réalisés à l'aide d'une bêche-plate (0-20 cm)
- ❖ 4 échantillons de sol + couvert/parcelle
- ❖ 1 point de prélèvement pour les vers de terre: **1 carré/parcelle** (protocole de la moutarde) à *titre informatif*

# Dynamique des apports organiques sur le fonctionnement biologique du sol



- **Effets positifs du fumier et compost :** augmentation significative de l'abondance des spores et de la colonisation mycorrhizienne. **Sol enrichi en carbone labile et nutriments ? Préservation des réseaux mycéliens et la microfaune bénéfique ?**

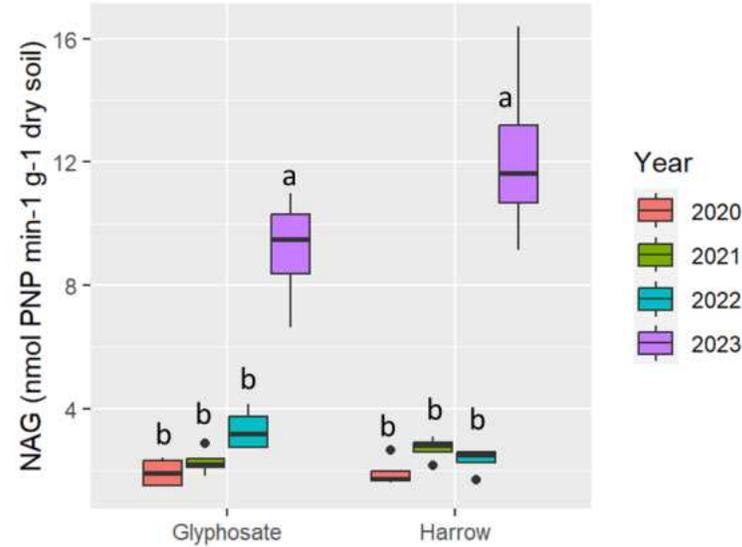
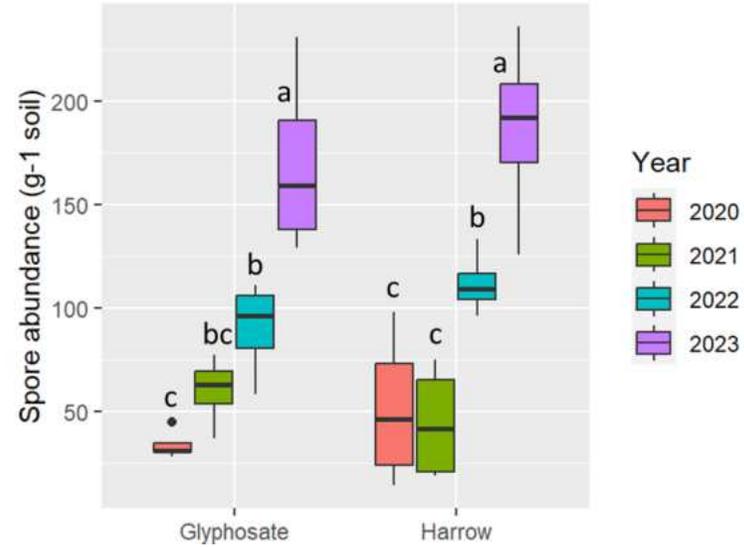
- **Effet année marqué :** des spores et des enzymes NAG et Phosphatase acide de 2020 à 2023

- Pas d'effet sur les activités enzymatiques directement lié aux apports, mais effet global du temps.

- **Synergie année + apports organiques,** surtout avec le fumier.

***une réponse progressive du sol à une gestion durable, notamment via l'accumulation de MO...***

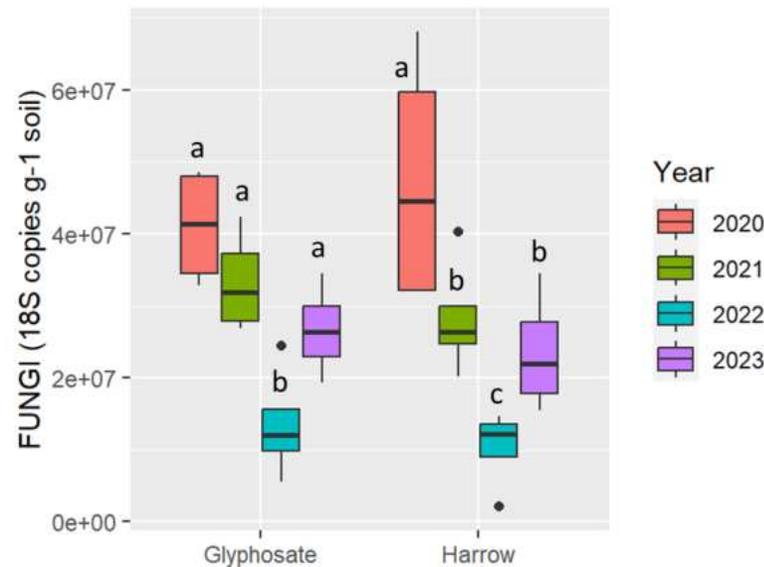
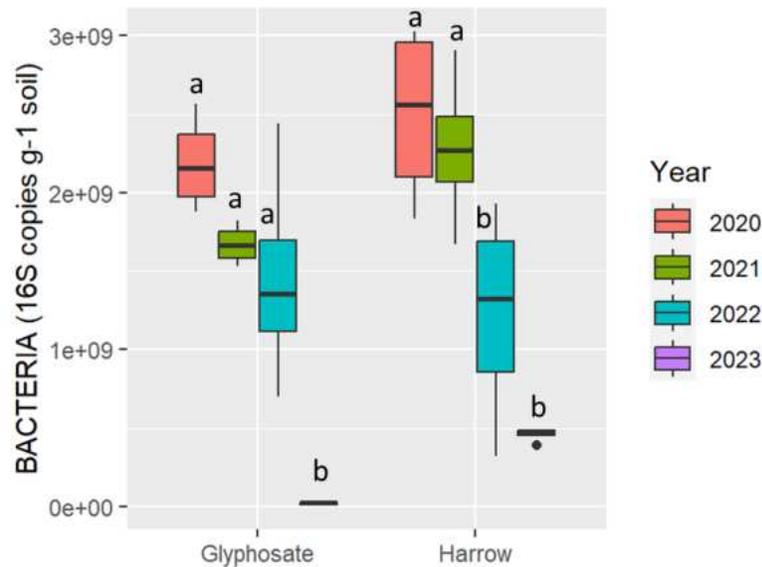
# Dynamique des méthodes de destruction des couverts sur le fonctionnement biologique du sol



•Aucune différence significative entre glyphosate et destruction mécanique sur les spores, NAG, ou abondance bactérienne et fongique.

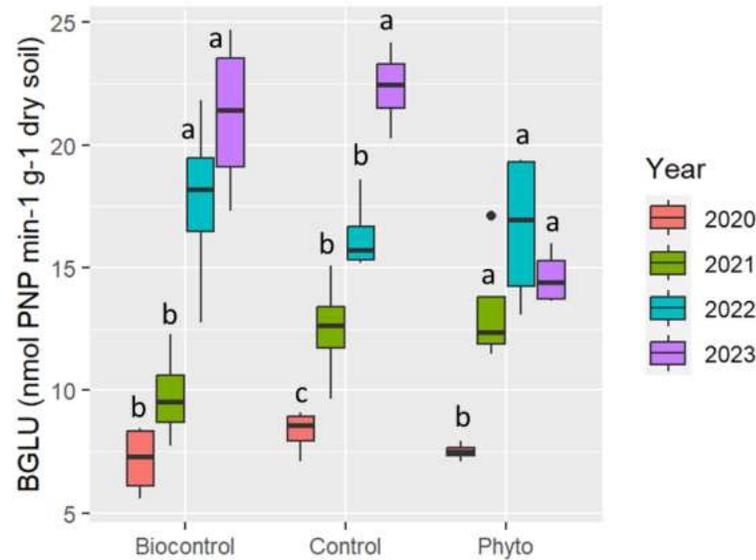
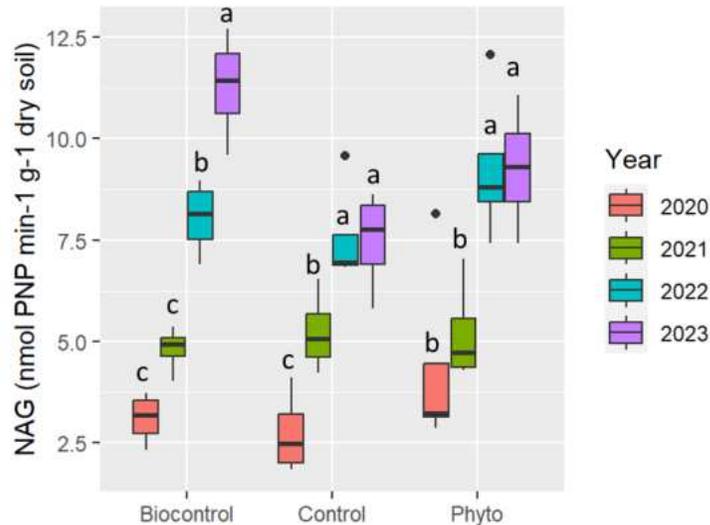
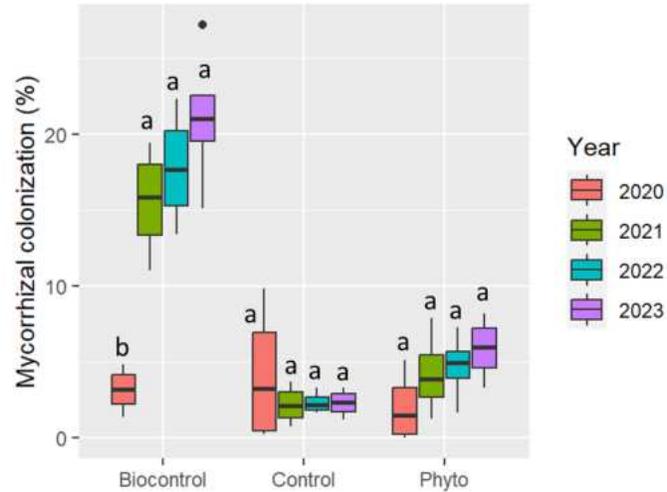
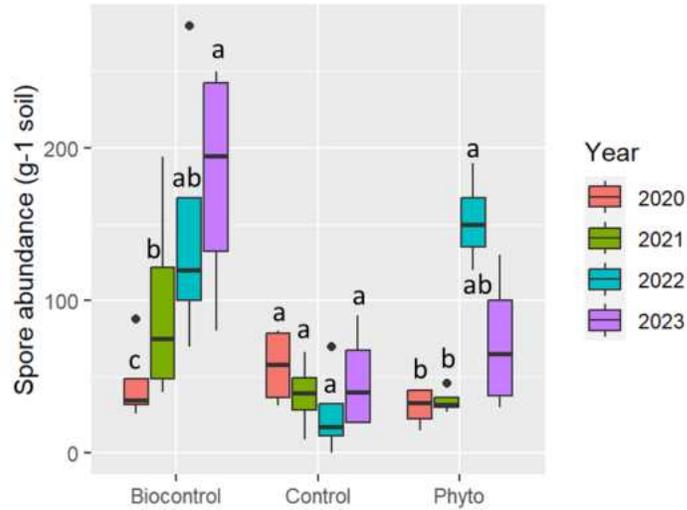
## •Effet année marqué :

- Spores et activité NAG triplés entre 2020 et 2023.
- Mais, baisse globale de l'abondance des bactéries et champignons sur la même période.



***Rotation intensive (pomme de terre, betterave...) et travail du sol fréquent...***

# Dynamique de la réduction des produits phytosanitaires sur le fonctionnement biologique du sol



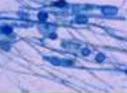
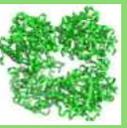
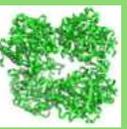
• **Effet positif significatif des produits de biocontrôle** sur la mycorrhization (spores + colonisation 3 fois plus élevées)

• **Pas d'effet de l'année sur la mycorrhization**, ce qui suggère une action directe du biocontrôle.

• **Aucun effet du traitement sur les enzymes**, mais forte **progression temporelle** des enzymes NAG et BGLU ( $\times 4$  en 2023).

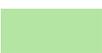
***Impact moindre du biocontrôle (ex. ortie) sur la microflore bénéfique comparé aux fongicides chimiques, accumulation de biomasse végétale et de résidus racinaires (dégradation de la MO...)***

## Corrélations entre paramètres biologiques et chimiques (2020-2023)

Paramètre chimique	Paramètres bio corrélés	Corrélation (Pearson)	Site
Matière organique	Taux de mycorhization	Positive	Claville, Gommerville 
Phosphore (P2O5)	Phosphatase acide	Positive	Claville, Gommerville 
Azote total	NAG	Négative	Flamanville, Gommerville 
Carbone oxydable (POXC)	$\beta$ -glucosidase (BGLU)	Positive	Gommerville 

# Dynamique de la réponse des indicateurs biologiques aux effets des pratiques agricoles

	Claville-Motteville	Flamanville	Gommerville
Mycorhizes (spores + racines)	↑↑ (apports organiques + temps)	→ (méthodes destruction)	↑↑↑ (biocontrôle)
Enzymes (NAG, PAC, B-GLU)	→ (apports) / ↑↑↑ (temps)	↑↑ (temps)	→ (fongicides) / ↑↑↑ (temps)
Abondance microbienne	→	↓↓ (temps)	→

 ↑↑↑ Effet fortement positif  
 ↑↑ Effet fortement modéré

 → Aucun effet significatif  
 ↓↓ Effet négatif modéré

## ***Conclusion***

- ❖ Les pratiques agricoles alternatives (apports organiques, biocontrôle) influencent positivement certains aspects du fonctionnement biologique du sol, en particulier la mycorhization et l'activité enzymatique.
- ❖ Les effets temporels sont souvent dominants, traduisant une dynamique lente mais favorable dans l'évolution de la biologie des sols.
- ❖ Certaines pratiques (destruction des couverts) montrent peu ou pas d'impact différencié à court terme.



Importance d'un suivi pluriannuel pour bien comprendre le fonctionnement biologique des sols

# ***MERCI DE VOTRE ATTENTION***

Gangneux C., Akpa-Vinceslas M., Sauvage E., Desaire .S, Houot S., Laval K. 2011. Fungal, bacterial and plant dsDNA contributions to soil total DNA extracted from silty soils under different farming practices: Relationships with chloroform labile carbon. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 431–437.

Cheviron N., Grondin V., Marraud C., Poiroux F., Bertrand I., Abadie J., Pandard P., Riah-Anglet W., Dubois C., Maly S, MarquesC.R., Valverde Asenjo I., Alonso A., Marquina Diaz D., Mougin C., 2021. Inter-Laboratory Validation Of An ISO Test Method For Measuring Enzyme Activities In Soil Samples Using Colorimetric Substrates. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-517834/v1>

Olson KR, Al-Kaisi M, Lal R, Morton LW (2017) Soil ecosystem services and intensified cropping systems. *Journal of Soil and Water Conservation* 72(3),64A-69A .

Thioye, B., Legras, M., Castel, L., Hirissou, F., Chaftar, N., & Trinsoutrot-Gattin, I., 2022. Understanding Arbuscular Mycorrhizal Colonization in Walnut Plantations: The Contribution of Cover Crops and Soil Microbial Communities. *Agriculture*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010001>