



**HAL**  
open science

## Impacts de systèmes sobres en produits phytosanitaires sur la biologie du sol

Sophie Maillant, Clément Munier, Nathael Leclech, Camille Chauvin, Sarah Guillocheau, Battle Karimi, Latounde Moyede, Marie-Noelle Pons

► **To cite this version:**

Sophie Maillant, Clément Munier, Nathael Leclech, Camille Chauvin, Sarah Guillocheau, et al.. Impacts de systèmes sobres en produits phytosanitaires sur la biologie du sol. Innovations Agronomiques, 2026, 109, pp.151-164. 10.17180/ciag-2026-vol109-art12 . hal-05480193

**HAL Id: hal-05480193**

**<https://hal.inrae.fr/hal-05480193v1>**

Submitted on 27 Jan 2026

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



## Impacts de systèmes sobres en produits phytosanitaires sur la biologie du sol

Sophie MAILLANT<sup>1</sup>, Clément MUNIER<sup>1</sup>, Nathael LECLECH<sup>1</sup>

avec la collaboration de Camille CHAUVIN<sup>2</sup>, Sarah GUILLOCHEAU<sup>3</sup>, Battle KARIMI<sup>4</sup>, Latoude MOYEDE<sup>1</sup>, Marie-Noelle PONS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> CRAGE, 9 rue de la Vologne, 54520 Laxou ; France

<sup>2</sup> ELISOL Environnement, ZA des Tourels, 10 avenue du midi, 30 111 Congénies , France

<sup>3</sup> 7, le Plessis, 56430 Mauron, France

<sup>4</sup>NOVASOL, 64E Rue Sully - Bâtiment HOPE, 21000 Dijon, France

<sup>5</sup> Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, CNRS-Université de Lorraine, 1 rue Grandville, BP 20451, 54001 Nancy cedex, France

**Correspondance** : sophie.maillant@grandest.chambagri.fr

### Résumé :

«En Grand Est, les acteurs agricoles ont conduit, de 2018 à 2024, des expérimentations de systèmes de culture limitant l'usage des produits phytosanitaires. Parmi les systèmes testés figuraient :

- un système sans produits phytosanitaires (0 PP),
- un système en protection intégrée avec -50 % de produits phytosanitaires (PIC),
- et un système en réduction du travail du sol sans glyphosate (AC).

Dans les trois systèmes, des indicateurs de fertilité biologique des sols ont été mesurés afin de déterminer l'impact de ces systèmes sur la biologie du sol. Certains indicateurs biologiques montrent que les trois systèmes sont équivalents, tandis que d'autres mettent en évidence des différences : en particulier, le système 0 PP a favorisé les nématodes et la décomposition du thé rouge. L'abondance des micro-organismes, quant à elle, donne des résultats contrastés selon les méthodes d'analyse utilisées.»

**Mots-clés** : Santé du sol, nématodes, micro-organismes, tea bag index, systèmes, faible IFT

**Abstract** : Little impact of farming practices on soil organisms within systems using very little pesticides.

In the Grand Est French region, agricultural stakeholders conducted experiments between 2018 and 2024 on farming systems with limited use of plant protection products. The systems tested included:

- a system with no plant protection products (0 PP),
- an integrated protection system with 50% fewer plant protection products (PIC),
- and a reduced tillage system without glyphosate (AC).

In all three systems, indicators of biological soil fertility were measured to determine the impact of these practices on soil biology. Some biological indicators showed that the three systems are equivalent, while others highlight differences: in particular, the 0 PP system favored nematodes and the decomposition of teabag. The abundance of microorganisms, on the other hand, gave contrasting results depending on the analysis methods used

**Keywords**: soil health, micro-organisms, tea bag index, farming system, low pesticide use



## 1. INTRODUCTION et ETAT des CONNAISSANCES

Selon le rapport 2024 de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA, 2024), seulement 29 % des eaux de surface et 77 % des eaux souterraines avaient un « bon état chimique » en 2021 alors que l'atteinte d'un bon état de l'ensemble des masses d'eau était fixé pour 2015. Les pesticides et les nutriments utilisés en agriculture sont mis en avant comme principales pressions communes aux eaux superficielles et aux aquifères. En France, près de 20 % des stations de surveillance dépassent les concentrations maximales ou les concentrations moyennes annuelles admissibles dans les eaux de surface pour au moins un pesticide sur la période 2017-2019. Cette proportion atteint 60 à 100 % des stations sur le territoire de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse». (zone de réalisation du projet XPE GE) (Ministère de l'Aménagement du territoire et de la transition écologique, 2022).

C'est dans ce contexte que les acteurs agricoles du Grand Est ont commencé à travailler à partir du milieu des années 2000 à une meilleure gestion de l'azote et des produits phytosanitaires dans les systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage de la région. Les premières expérimentations « systèmes » ont débuté en 2011 avec le projet EXPE Ecophyto Lorrain qui visait à tester une réduction d'au moins 50% des produits phytosanitaires sur les systèmes de cultures lorrains. Le projet s'est poursuivi en 2018 avec XPE-GE qui testait des systèmes en zéro phyto, des systèmes en protection intégrée avec -50% de phyto et un système en réduction de travail du sol sans glyphosate.

L'objectif de ces expérimentations est d'évaluer en conditions réelles des pratiques innovantes permettant de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires par les agriculteurs, d'identifier les freins à leur mise en œuvre et de communiquer sur les résultats de ces pratiques. Parmi les leviers testés figurent : l'allongement des rotations, le désherbage mécanique, le travail du sol, le suivi des bioagresseurs et tous les leviers permettant de diminuer le recours aux produits phytosanitaires. Un grand nombre d'indicateurs a été suivi sur les différents systèmes pendant la durée du projet, ce qui permet d'évaluer leurs performances techniques, économiques, environnementales, ainsi que les impacts sur la qualité de l'eau et des sols. C'est l'impact sur la santé des sols qui est présenté dans cette étude.

Définie comme étant « la capacité continue des sols à fonctionner comme un écosystème vivant et vital qui soutient les plantes, les animaux et l'humanité » par Lehmann et al.,(2020), la santé des sols constitue aujourd'hui un enjeu majeur. Selon Richelle, L., et al.,(2023), plus de 30% des sols mondiaux et 70% des sols européens sont considérés comme dégradés ou en mauvaise santé, en grande partie (80 %) à cause de pratiques agricoles intensives. Beaucoup des fonctions des sols reposent sur les organismes qui vivent dans le sol. Les relations entre organismes vivant dans le sol et bonne santé du sol sont de mieux en mieux connues. Les indicateurs biologiques sont très nombreux et se diversifient encore (étude IndiQuaSols de Cousin et al., 2025). On en tire encore peu de conseil quantitatif concret mais les attentes sont fortes et supposent encore beaucoup d'acquisition de connaissances. Parmi les indicateurs biologiques opérationnels décrits par l'étude IndiQuaSol, la nématofaune, la Biomasse Microbienne Moléculaire, la Biomasse Microbienne par fumigation, et les lombriciens présentent de bonnes capacités à mesurer les effets de la réduction du travail et des phytosanitaires sur le fonctionnement biologique des sols. Dans cette étude, sont questionnées les performances (sensibilité, stabilité, précision...) de ces indicateurs dans des systèmes à faible utilisation de produits phytosanitaires et à intensité variable du travail du sol.

## 2. Caractéristiques de la plateforme expérimentale

### 2.1 Les trois systèmes

Trois systèmes de cultures ont été testés de 2018 à 2024 : zéro Produit Phytosanitaire (OPP), Agriculture de Conservation sans glyphosate (AC) et Protection Intégrée des Cultures (PIC). Chaque terme de la rotation était présent chaque année dans chacun des systèmes et les trois systèmes ont démarré d'un



même niveau initial (même historique de pratiques). Plusieurs leviers étaient actionnés pour répondre à l'objectif de faible utilisation de phytos (tableau 1).

**Tableau 1** : caractéristiques des trois systèmes de la plateforme expérimentale. La réduction de produits phytosanitaires (PP) est exprimée par rapport à l'IFT moyen régional évalué à 5.1 (traitements de semences inclus) d'après l'Enquête SSP Agreste Pratiques culturales en grandes cultures de 2017

	PIC	OPP	AC
<b>Objectif</b>	Minimiser l'impact environnemental et le coût de la lutte sanitaire tout en maximisant les résultats économiques de l'agriculteur, en utilisant les PP en dernier recours	Contenir l'enherbement sans aucun PP tout en maintenant les performances et en utilisant des engrais minéraux	Réduire les consommations d'énergie, favoriser la fertilité du sol, en utilisant des PP en dernier recours et sans glyphosate
<b>Rotation</b>	Colza - blé tendre d'hiver - orge de printemps - pois de printemps - blé tendre d'hiver	Colza - blé tendre d'hiver - orge de printemps - pois de printemps - blé tendre d'hiver	Pois de printemps - colza - blé tendre d'hiver - orge de printemps
<b>Désherbage</b>	Mécanique + chimique	Mécanique	Mécanique + chimique
<b>Mélanges variétaux</b>	Mélanges entre 2 et 4 variétés pour toutes cultures à l'exception de l'orge de printemps semée en pur		
<b>Décalage des dates de semis</b>	Semis tardifs en céréales d'hiver, semis précoces en colza		
<b>Couverture</b>	Colzas associés et implantation de couverts d'intercultures avant cultures de printemps		Colzas associés et implantation de couverts d'intercultures avant cultures de printemps  Couverture permanente envisagée au départ mais difficile en réduction de phyto et sans glyphosate
<b>Travail du sol</b>	Alternance Labour/TCS (labour 2 années sur 5)	Labour (3 années sur 6)	Travail du sol réduit : travail du sol superficiel (moins de 5-7 cm) et semis direct occasionnel
<b>Produits Phytosanitaires</b>	Réduction de dose de produits phytosanitaires (-50% IFT)  IFT moyen de 2.1 sur 6 ans (passage de 2.4 en 2018 à 1.1 en 2024)	Système sans produits phytosanitaire de synthèse (-100% IFT),	Sans glyphosate et en forte réduction de phyto (-50% IFT)  IFT moyen de 2.4 sur 6 ans (passage de 3.2 en 2018 à 1.2 en 2024)
<b>Fertilisation</b>	Engrais minéraux		

## 2.2 Localisation, climat et sol

La plateforme expérimentale est située en bordure ouest de la petite région agricole du plateau Lorrain, à Haroué (54). Elle est intégrée à une ferme de polyculture élevage d'un lycée agricole. Elle est constituée de trois séries de bandes : 4 pour le système AC, 5 pour le système PIC et 6 pour le système 0 PP, chacune d'une surface de 20 ares (24 m × 80 m), au sein d'une parcelle de 6,5 ha. Le sol de cette parcelle est relativement homogène (cartographie par conductivité en 2017 complétée de sondages tarière) et de type CALCOSOL argileux caillouteux issu de marnes à bancs calcaires du Sinémurien (Lias). La granulométrie est très homogène. Les apports de matières organiques ont été réguliers sur cette parcelle avant 2018. Aucun apport n'a été réalisé depuis le début de l'expérimentation. Les analyses (tableau 2) montrent que les bandes OPP sont légèrement plus calcaires et légèrement moins riches en Matières



organiques que les bandes des deux autres systèmes en 2024 (ce qui a été observé aussi en 2022). En 2017, un état initial avant séparation en bandes, a montré que les compartiments des matières organiques étaient correctement équilibrés (84% de MO liée, 16% de MO libre) et leur C/N étaient optimaux (C/N de la MO liée = 8,5 ; C/N de la MO libre= 15,5). Le compartiment microbien était très développé (BM par fumigation = 967mgC/kg représentant 3.6 du Carbone organique).

**Tableau 2** : caractéristiques physico-chimiques des parcelles en 2024 (certaines analyses ont été réalisées dans deux laboratoires différents)

	Teneur en A sans décarbonatation (g/100g) (Novasol)	pH (Novasol)	Teneur en Calcaire total (g/100g)	Teneur en P méthode Olsen (g/kg)	Teneur en C organique (g/100g) Novasol	Teneur en C organique (g/100g) Celesta (moyenne de 3 répétitions)	C/N Novasol	C/N Celesta
<b>PIC blé</b>	51,2	7,7	2,3	0,093	2,5	2,7	9,5	10,2
<b>PIC colza</b>	52,2	7,7	2,5	0,096	2,6		9,7	
<b>AC blé</b>	52,1	7,7	2,7	0,098	2,6	2,6	9,6	10,6
<b>AC colza</b>	50,6	7,6	2,7	0,074	2,6		9,9	
<b>OPP blé</b>	46,5	7,8	7,8	0,074	2,2	2,5	9,0	10,7
<b>OPP colza</b>	51,6	7,7	7,7	0,079	2,2		8,9	

### 3. Protocoles mis en œuvre pour évaluer la fertilité biologique du sol

Les indicateurs sélectionnés pour évaluer la fertilité biologique de la plateforme expérimentale sont de diverses natures : ponctuels ou sur la durée, de laboratoire ou de terrain, disposant de référentiels nationaux ou non, déjà utilisés par les conseillers ou non. Le principe était d'évaluer le statut biologique du sol dans son ensemble, tant sur la diversité des organismes, que sur leur activité et sur les fonctions associées. Toutes les mesures présentées dans cet article ont été réalisées en 2024 (tableau 3).

Les indicateurs issus de mesures de laboratoire (nématofaune, ADN Microbien, Biomasse Microbienne par fumigation) ont été obtenus sur des aliquotes des mêmes échantillons de sol composites constitués de 10 échantillons élémentaires prélevés sur les 0-20 cm de surface début février 2024. Les mesures ont été réalisées sur les parcelles de « blé précédent colza » de chaque système. Un indicateur d'activité biologique au champs (sachets de thé) et une mesure d'abondance et de type de population, en laboratoire (ADN Microbien) ont aussi été mesurés sur des parcelles de colza

En plus des indicateurs biologiques, une évaluation des fonctions « cycle du carbone » et « maintien de la structure » a été réalisée avec le protocole BIOFUNCTOOL® (Maillant et Munier, 2025).

**Tableau 3** : récapitulatif des mesures effectuées par système et par culture (BMF = Biomasse Microbienne par Fumigation) en 2024

	Communautés lombriciennes	Populations de nématodes	ADN microbien	BMF	Sachets de thé
<b>AC blé</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>OPP blé</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>PIC blé</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>AC colza</b>	Non	Non	Oui	Non	Oui
<b>OPP colza</b>	Non	Non	Oui	Non	Oui
<b>PIC colza</b>	Non	Non	Oui	Non	Oui



### **3.1. Indicateurs de biodiversité**

#### **3.1.1 Communautés lombriciennes**

Les communautés lombriciennes ont été quantifiées avec le protocole « Test-bêche » (Université de Rennes, 2023). Les blocs de terre ont été extraits début mars 2024, dans les conditions de température et d'humidité de sol recommandées par l'Observatoire Participatif des Vers de Terre. 5 blocs (pseudo-réplicats) ont été prélevés par parcelle. Tous les lombriciens extraits ont été fixés dans des flacons d'éthanol à 96%. Au laboratoire, les lombriciens ont été comptés, pesés et identifiés morphologiquement, au stéréomicroscope, au niveau taxonomique (Bouché, 1972). L'abondance et la biomasse lombriciennes ont été rapportées au mètre carré avec un facteur multiplicateur de 25 pour chaque bloc.

#### **3.1.2 La nématofaune**

Pour chaque échantillon, les communautés de nématodes ont été analysé selon la norme NF/ISO 23611-4. Entre 150 et 200 nématodes ont été identifiés par échantillon. Après identification, chaque nématode a été assigné à un groupe trophique (bactérovore, fongivore, prédateur, phytophage facultatif, phytoparasite) et à une guildes fonctionnelle en se reportant à Bongers and Bongers., 1998. Ces catégories permettent de définir des indicateurs fonctionnels : Indice de Diversité (Shannon), Indice de Structure (SI), Indice d'Enrichissement (EI) et Indice des Voies de Décomposition (IVD). Les indicateurs sont positionnés dans un Référentiel généré à partir de la base ELIPTO® du laboratoire ELISOL environnement.

#### **3.1.3 Biomasse microbienne par fumigation et par analyse de l'ADN microbien**

La mesure (BMF) a été réalisée selon la méthode NF EN ISO 14240-2 modifiée Chaussod en laboratoire, uniquement sur les parcelles en blé précédent colza, avec 3 répétitions pour chaque système.

L'analyse de l'ADN microbien a été réalisée selon les protocoles développés et standardisés par l'INRAE de Dijon, UMR Agroécologie (pour le détail, voir Karimi et al. 2018 et Djemiel et al. 2024). Pour le blé précédent colza, les réplicats choisis sont ceux dont les valeurs de BMF étaient les plus proches (entre 746 et 768mg/kg de BMF alors que l'ensemble de résultats varie de 602 à 826mg/kg). Pour les échantillons de colza, il n'y a pas de mesures de BMF.

BMF et ADN microbien ont été déterminés sur les échantillons prélevés début février 2024.

### **3.2 Indicateurs d'activité biologique**

#### **3.2.1. Décomposition des Sachets de thé**

Le Tea Bag Index (taux de décomposition de sachet de thé) est une méthode permettant d'estimer l'activité biologique in situ (Keuskamp et al., 2013) à partir de la perte de masse de sachets de thé incubés dans le sol pendant trois mois. Deux types de thé sont utilisés : thé vert et rooibos aussi appelé thé rouge. Le thé rouge étant plus récalcitrant que le thé vert, les mesures permettent d'évaluer à la fois la vitesse de décomposition de la matière organique et l'agressivité des organismes vis-à-vis des matières organiques.

5 sachets de chaque type ont été installés dans les bandes de blé de colza et bandes de colza de chacun des trois systèmes à 8cm de profondeur le 5 février et retirés le 2 mai 2024. En fin d'incubation, les sachets ont été pesés, puis leur contenu a été calciné pour quantifier la quantité de terre ayant adhéré aux particules de thé et la déduire du poids final. Des sachets n'ont pu être retrouvés ou ont été déchirés, mais il restait au moins 3 sachets par modalité.

Pendant la période d'incubation des sachets de thé, les trois systèmes ont reçu de la fertilisation azotée et soufrée ainsi qu'un fongicide (sauf sur OPP). Aucun travail du sol n'a été réalisé dans ce laps de temps.



## 4. RESULTATS

### 4.1. Indicateurs de biodiversité

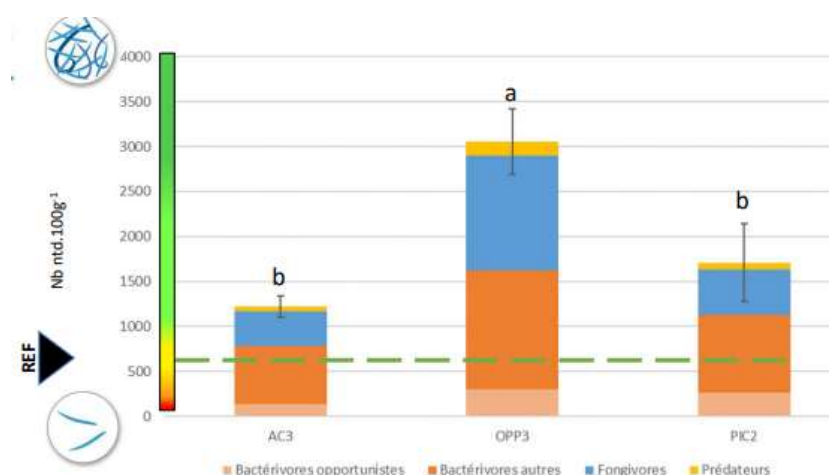
#### 4.1.1. Communautés lombriciennes

L'abondance, la biomasse et la richesse spécifique moyenne de lombriciens ne sont pas significativement différentes entre les 3 systèmes (tableau 4) du fait de fortes variabilités entre les pseudo-replicats et de l'absence de vraies répétitions. Selon le référentiel national de l'Observatoire Participatif des Vers de Terre, l'abondance et la biomasse sont qualifiées de faibles à moyennes. La quasi-totalité de la communauté lombricienne est représentée par les 4 espèces endogées suivantes : *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Murchieona muldali*, *Allolobophora sp.*

**Tableau 4** : résultats des indicateurs biologiques de sol hors nématofaune mesurés en 2024 dans les trois systèmes

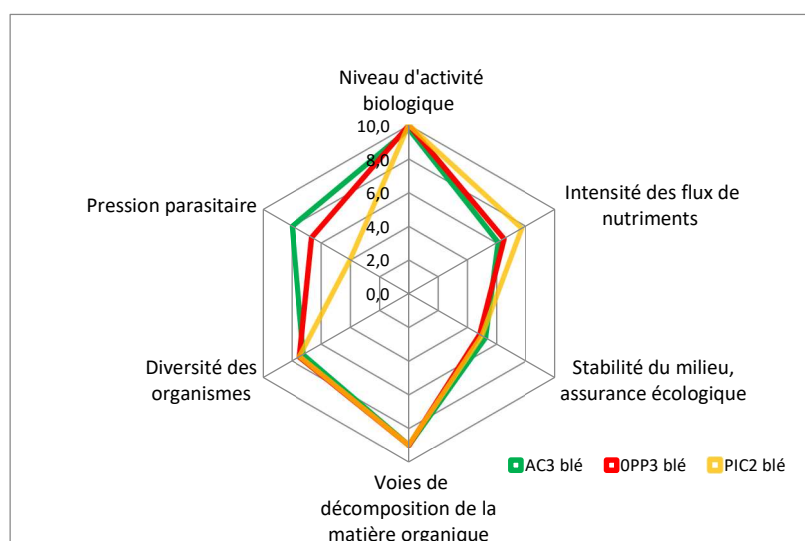
	blé de colza						colza						
	PIC		OPP		AC		PIC		OPP		AC		
	moyenne (ou valeur unique)	ecart- type	moyenne	ecart- type	moyenne	ecart- type	moyenne	ecart- type	moyenne	ecart- type	moyenne	ecart- type	
<b>Lombriciens</b>	abondance (nb/m <sup>2</sup> )	110	107,9	70	18,7	155	111,1						
	biomasse (g/m <sup>2</sup> )	33,9	27,3	24,2	5,15	15,9	19,7						
	richesse spécifique	1,2	0,8	1,2	0,4	2,6	1,0						
<b>Micro-organismes</b>	BM par fumigation (mg/kg)	717	28,6	686	76,7	823	52,4						
	BM/Corganique (%)	2,7	0,2	2,7	0,3	3,1	0,2						
	BM Moléculaire (µg/g)	67,5		77,6		57,4		58,2		62,3		52,5	
	équilibre champignons/bactéries	2,2		2		3		2,6		1,1		2,2	
	Diversité Bactérienne	1891		1771		1865		2000		1635		1741	
	Diversité Fongique	1210		1453		1164		1696		985		1064	
<b>Sachets de thé</b>	taux de décomposition du thé vert (%)	39,3	1,6	42,2	2	40,2	2,2	42,5	5	48,3	6,2	48,7	5,8
	taux de décomposition du thé rouge (%)	5,7	2,7	12,5	3,5	6,1	3,8	11,6	3,1	20,1	3,6	17,2	9,7

#### 4.1.2 Population de nématodes



**Figure 1** : abondance des nématodes libres dans les trois systèmes (nombre de nématodes / 100g de sol sec).

L'abondance des nématodes libres, indicatrice du niveau d'activité biologique des sols, est forte et satisfaisante pour les 3 modalités, au-dessus du niveau de référence national pour les grandes cultures (Figure 1). Cet indicateur est significativement plus élevé en OPP. Les nématodes bactérivores et fongivores qui contribuent à la décomposition des matières organiques dominent dans ces communautés et indiquent un recyclage des nutriments dynamique dans ces sols. La population de nématodes prédateurs est plus abondante en OPP, indiquant des régulations biologiques plus fortes dans cette parcelle.



**Figure 2** : les différents indicateurs de l'analyse de la nématofaune du sol en 2024; Référentiel ELIPTO® Grandes Cultures.

Les 6 paramètres sont notés sur une échelle de 1 à 10, la note de 10 correspond à la valeur la plus satisfaisante y compris pour la « pression parasitaire ». Un score inférieur à 4 indique l'atteinte d'un seuil critique et le risque de dysfonctionnement, un score égal ou supérieur à 6 correspond à fonctionnement correct par rapport à l'usage du sol.

L'analyse de la nématofaune (figure 2) montre un bon état biologique des sols des trois systèmes de culture, caractérisé par : une très forte activité biologique, des flux de nutriments intenses (PIC) à modérés (AC et OPP), des caractéristiques d'un milieu perturbé à peu stable, générant une assurance écologique réduite (assez faible complexité du réseau trophique), une diversité des organismes satisfaisante, des



voies de décomposition équilibrées et un état sanitaire moyen. Les systèmes se différencient essentiellement par rapport à la pression parasitaire (phytoparasites plus abondants dans le système PIC) et au niveau de l'intensité des flux de nutriments (plus intense en PIC).

Il est probable que la combinaison « cultures été et hiver + labour peu fréquent + absence de phytosanitaires » des trois systèmes a été favorable aux nématodes. Les nématicides sensu stricto sont interdits mais d'autres pesticides (fongicides et insecticides notamment) peuvent avoir un effet sur la faune du sol, dont les nématodes (Beumelle et al., 2023) ou indirectement sur la ressource des nématodes (ex: champignon). L'absence complète de ces traitements dans la modalité OPP a pu participer à cet effet positif sur la nématofaune.

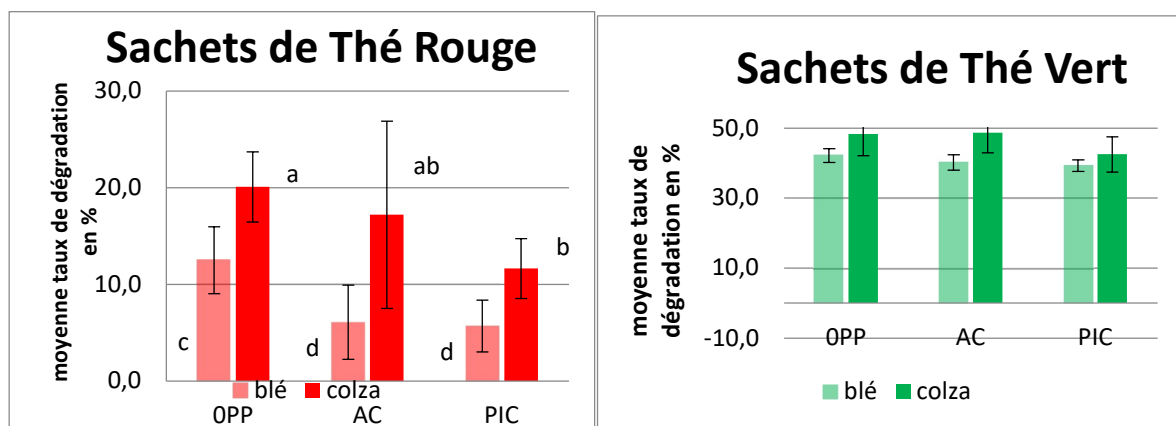
#### 4.1.3 Biomasse Microbienne par Fumigation

Les biomasses microbiennes par fumigation (BMF) varient de 685mg/kg (OPP) à 822 mg/kg (AC). Elle est significativement plus élevée en AC que dans les systèmes PIC et 0 phyto (tableau 4). Ceci peut s'expliquer par les plus fortes restitutions de MO dues aux couverts dans le système AC. On peut noter que la population microbienne a baissé dans les trois systèmes depuis 2017 (967 mg/kg), ce qui peut être dû à l'arrêt des apports de fumier. Ces valeurs sont fortes à très fortes par rapport au référentiel national dans ce contexte pédoclimatique.

#### 4.1.4 L'analyse de l'ADN microbien

Les biomasses microbiennes moléculaires (BMM) varient pour l'ensemble des mesures entre 52 µg/g et 77.6 µg/g (tableau 5), les plus élevées étant en OPP et en PIC. Les biomasses sont en tendance, plus élevées en blé qu'en colza le colza ayant un effet suppressif sur les populations microbiennes. Toutes les valeurs sont considérées comme très faibles par rapport au référentiel national qui prend en compte les caractéristiques du sol, la localisation géographique, l'usage du sol et la teneur en Carbone organique. L'équilibre champignons/bactéries est bon (tableau 4), au regard du référentiel national. La diversité bactérienne varie peu entre les systèmes (tableau 4) tandis que la diversité fongique varie de façon incohérente entre les parcelles (pas de tendance par rapport aux systèmes ni par rapport aux cultures). L'absence de répétition rend difficile l'interprétation de ces résultats.

### 4.2. Indicateur d'activité : décomposition de sachets de thé



**Figure 3a et 3b** : moyenne des taux de dégradation des sachets de thé dans les trois systèmes sous deux cultures

L'activité biologique des systèmes de culture a été évaluée dans deux cultures (blé et colza) pour chaque système. Les litières (thé vert et thé rouge) ont été davantage décomposées dans les parcelles de colza que dans le blé (figures 3a et 3b) mais cet écart n'est significatif que pour le thé rouge : thé rouge 11 à



20 % pour le colza et de 5 à 12 % pour le blé ; thé vert de 42 à 48 % pour le colza et de 39 à 42 % pour le blé)

La décomposition des sachets de thé vert est identique dans les 3 systèmes, même si l'on note une plus faible décomposition dans le système PIC en blé et en colza. La décomposition du thé rouge est significativement plus faible en PIC qu'en OPP, pour le blé et pour le colza. Le taux de décomposition du système AC est similaire à PIC en blé et très variable en colza.

## 5. DISCUSSION

La publication de Cozim-Melges et al, (2024) fait un bilan de 196 publications étudiant l'effet de différentes pratiques (dont la réduction de produits phytosanitaires) sur quatre taxons : nématodes, vers de terre, bactéries et champignons. Outre le faible nombre de travaux étudiant les comparaisons de pratiques pour l'ensemble des taxons, les auteurs mettent en avant l'hétérogénéité des résultats selon les taxons et selon les contextes. Ils montrent que les pratiques alternatives (en particulier la suppression des produits phytosanitaires) ont généralement un effet positif sur la richesse spécifique et sur l'abondance des groupes fonctionnels des populations bactériennes, de la nématofaune et des lombriciens. La majeure partie des publications analysées montrée une absence d'effet ou un effet positif de la suppression des produits phytosanitaires sur ces quatre taxons mais la suppression de fongicides peut parfois être négatif pour certains organismes.

Les résultats de cette publication rejoignent le bilan de la plateforme en réduction de produits phytosanitaires, où il est difficile de trouver une tendance générale pour tous les taxons et indicateurs étudiés (tableau 5). Cette absence de tendance générale pourrait être due à la persistance de résidus de produits phytosanitaires dans le sol, qui pourraient encore impacter le fonctionnement biologique, mais aussi de différences dans les délais de réponse des différents taxons à la mise en place des systèmes (Froger et al., 2023):

**Tableau 5:** récapitulatif des résultats tendanciels d'après les moyennes des indicateurs (en vert foncé les valeurs les plus élevées, en vert clair les valeurs les plus basses). "++" est indiqué lorsque le résultat est significatif (Mesure sur Blé)

	Indicateurs	PIC	OPP	AC
<b>Lombriciens</b>	Lombriciens (abondance)			
<b>Nématofaune</b>	Nématodes libres (abondance)		++	
	Nématodes phytoparasites (abondance)			
<b>Micro-organismes</b>	BM fumigation (abondance)			++
microorganismes	BM moléculaire (abondance)			
	Equilibre bactérie/champignon			
	Diversité bactérienne			
	Diversité fongique			
	Taux de décomposition thé rouge		++	
	Taux de décomposition thé vert			

### 5.1 . Des systèmes assez ressemblants

Certains indicateurs montrent très peu de différences (ou des différences non significatives) entre les trois systèmes : communautés lombriciennes, indicateurs fonctionnels de la nématofaune (figure 2), taux de décomposition du thé vert. Ceci peut s'expliquer par la similarité, entre les systèmes, des principales



pratiques agissant sur les organismes du sol : gestion des matières organiques (pas d'apports exogènes, exportation partielle des pailles), modalités de fertilisation (exclusivement minérale, différences faibles sur les doses et dates d'apport), travail du sol (majorité des interventions mécaniques sur les 5-7 cm dans tous les systèmes, mais différence sur la présence ou l'absence de labour et sur la fréquence des interventions), composition de la rotation (fréquence des céréales, présence de légumineuses, de colza). Certains indicateurs (lombriciens, nématofaune et populations microbiennes) indiquent un milieu peu stable et peu résilient, générant une assurance écologique modérée (réseau trophique peu complexe), qui peut s'expliquer par des facteurs pénalisants communs aux trois systèmes : prise en masse en raison de la texture argileuse, présence de colza dans les rotations, intensité et fréquence du travail du sol.

Les différences entre les trois systèmes portent d'abord sur la quantité et la fréquence des traitements phytosanitaires. D'après les travaux de Pelosi et al (2013), qui montrent un effet bénéfique de la réduction de produit phytosanitaire sur les communautés de vers de terre, on attendait de plus fortes abondances dans le système OPP.

Cependant le plus grand nombre d'interventions mécaniques couplé à la plus faible biomasse des cultures a probablement impacté de façon négative les communautés lombriciennes dans cette plateforme expérimentale davantage que la réduction de phyto, comme dans Diallo et al (2023).

Dans le contexte pédoclimatique de la plateforme, sur la période d'étude et dans des systèmes avec très peu de PP utilisés, ces indicateurs biologiques (communautés lombriciennes, indicateurs fonctionnels de la nématofaune (figure 2), taux de décomposition du thé vert) n'ont pas été sensibles aux différences entre les systèmes en 2024. Il est important de prendre en compte l'ensemble des pratiques agricoles pour évaluer les effets de la réduction des PP sur les organismes du sol et non le seul prisme de celle-ci.

## **5.2. Des indicateurs plus sensibles au travail du sol , d'autres plus sensibles aux PP**

En termes de santé du sol, plus il y a d'organismes vivants, plus le sol est considéré comme en bonne santé. Les travaux de Cozim-Melges et al, (2024) et de Christel et al, (2022) montrent que les pratiques et systèmes alternatifs (Agriculture Biologique, Biodynamie, Agriculture de conservation) sont généralement plus favorables aux organismes du sol que le système conventionnel, même si les réponses varient, probablement selon les conditions climatiques des prélèvements et selon les pratiques précédant les prélèvements. Puissant et al.,(2021) montrent par exemple que c'est l'association des pratiques plus que le mode de production qui influencent l'effet des systèmes de cultures sur la nématofaune.

En 2024, la BMF montre en tendance que le sol le plus favorable est le système AC sans glyphosate (aussi indiqué par des activités enzymatiques NAcetylGlutamate synthase, Phosphatases Acide et alcaline, Aryl Sulfatase, Leucine AminoPeptidase et Carbone réactif « POXC », non présentés). Au contraire, les nématodes libres, la BMM et le taux de décomposition des sachets de thé rouges sont plus élevés en système OPP. Le résultat des sachets de thé est en contradiction avec les résultats obtenus sur des expérimentations long terme en Autriche (Gmach et al., 2024) où le taux de décomposition était plus élevé dans les parcelles recevant le plus de fertilisant azoté et celles en réduction du travail du sol.

La différence de résultats entre BMF et BMM incite à répéter les mesures de BMM en intraparcellaire pour en vérifier la tendance. La variabilité peut aussi venir des dates d'interventions entre les parcelles (travail du sol, traitement, fertilisation), mais aussi des stades de développement des cultures qui sont différents selon les systèmes (Résultats non présentés).

L'ensemble de ces résultats semble indiquer que certains indicateurs, dans le contexte de la plateforme, sont plus sensibles à la réduction du travail du sol, tandis que d'autres seraient plus sensibles à l'absence de PP.



### 5.3 Un effet de la culture

Les sachets de thé montrent une fonction de décomposition des matières organiques plus intense en colza qu'en blé, alors que la BMM montre de plus faibles populations et une plus faible diversité bactérienne en colza. Les mesures d'activité enzymatique n'ont pas montré de différence entre cultures, qui auraient pu expliquer la décomposition des sachets de thé. Soit les populations présentes dans le colza sont plus actives, soit elles ont tiré bénéfice des conditions température/humidité et des pratiques en s'activant après le prélèvement des échantillons de BMM et BMF (réalisé avant l'incubation des sachets).

### 5.4. Un bilan mitigé en comparaison des référentiels nationaux

**Tableau 6** : positionnement de quelques indicateurs dans les référentiels MICROBIOTERRE (Riah-Anglet et al, 2022), ELIPTO® OPVT et RMQS

Référentiel	Indicateur	PIC blé de colza	PIC colza	AC sans glypho blé de colza	AC sans glypho colza	OPP blé de colza	OPP colza
Microbioterre	Teneur en Carbone organique (g/100g)	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	BMF	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	LAP (nmol/min/g)	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
	Beta-Glucosidase (nmol/min/g)	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Très faible	Très faible
ELIPTO®	Nematode libres	satisfaisant		satisfaisant		satisfaisant	
	Diversité nématode	satisfaisant		satisfaisant		satisfaisant	
	Flux de nutriment	satisfaisant		Moyen		Moyen	
	Assurance écologique	Moyen		Moyen		Moyen	
	Pression parasitaire	Moyen		satisfaisante		satisfaisante	
OPVT (Observatoire Participatif des Vers de Terre)	Abondance/biomasse	faible		moyenne		faible	
	Diversité taxonomique	faible		faible		faible	
	Diversité fonctionnelle	faible		moyenne		faible	
RMQS (Réseau de Mesure de la Qualité des sols)	BMM	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
	Richesse Bactérienne	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Richesse Fongique	faible	Moyen	faible	faible	Moyen	faible
	ratio champignons/bactéries	équilibré	équilibré	équilibré	équilibré	équilibré	moyen

Le tableau 6 positionne les résultats dans des référentiels nationaux. Pour 6 indicateurs, ces référentiels permettent de distinguer les performances des 3 systèmes. Les indicateurs de la nématofaune et la BMF montrent que les systèmes sont assez, voire très satisfaisants (tableau 6), avec des organismes nombreux et actifs. Les référentiels de ces indicateurs prennent en compte les pratiques et la texture du



sol. En revanche, lorsque l'on rapporte la population microbienne à la quantité de carbone présent (ratio BMF/Carbone organique (Tableau 4) et référentiel RMQS de l'ADN microbien), les performances ne sont pas si bonnes. Ceci pourrait indiquer la présence d'une contrainte commune aux trois systèmes (manque de couverts, travail du sol, absence d'apports organiques et/ou au contexte pédoclimatique (texture très argileuse, faible réserve en eau du fait de la faible profondeur et de la teneur en cailloux) qui freinerait le développement de ces populations.

Ce bilan mitigé sur le plan de l'activité biologique du sol peut être mis en regard des indicateurs agronomique, technico-économique et socio-économique : globalement, l'enherbement a été bien maîtrisé dans les systèmes avec utilisation de PP, un peu moins en système zéro phyto (sans dégrader le salissement des parcelles à long terme). Les autres bioagresseurs (maladies, insectes) ont été très peu préjudiciables quel que soit le système testé. Les rendements ont enregistré des pertes limitées (entre -7 et -16%), mais les marges brutes sont en retrait de 20-30% en comparaison des références locales. Cela s'explique notamment par davantage de cultures "à risque" et/ou à plus faible valeur ajoutée, mais aussi à l'apprentissage des expérimentateurs pour maîtriser les nouvelles pratiques (publications disponibles sur le portail Ecophytopic et sur le site de la Chambre d'Agriculture Régionale Grand Est). Les résultats de cette étude sur la santé des sols semblent indiquer que dans ce contexte, aucun des trois systèmes n'a été complètement préjudiciable et que les pratiques testées peuvent être prolongées sans risque majeur pour les organismes du sol.

## 6. CONCLUSION

Les résultats présentés ont la double originalité de regrouper plusieurs taxons (nématodes, lombriciens, bactéries et champignons) et d'étudier leur réponse dans des systèmes avec très faible utilisation de produits phytosanitaires. Les résultats montrent une diversité de réponses selon les indicateurs. Il semble qu'aucun des systèmes ne soit très mauvais ou très bon. Le peu de différences significatives entre les résultats montre que dans le contexte de cette plateforme les différents systèmes (notamment l'absence totale de produits phytosanitaires et l'absence de labour) n'ont pas eu d'impact significatif sur la santé du sol. Dans cette temporalité, les caractéristiques communes aux systèmes, le pédoclimat et parfois la culture impactent davantage les organismes du sol que l'utilisation des produits phytosanitaires, déjà très faible dans les systèmes PIC et AC qui en utilisent. Il serait intéressant de reconduire ces mesures sur des temps de différenciation plus long, ou dans d'autres pédo-climats pour confirmer ou infirmer la faible sensibilité de ces indicateurs dans ces systèmes.

### Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

### Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

### Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

### Contributions des auteurs

**Sophie MAILLANT** : conceptualisation, recherche, version originelle. **Clément MUNIER**, conceptualisation, recherche, version originelle. **Nathael LECLECH** : obtention du financement, administration du projet. **Camille CHAUVIN** : recherche, révisions et corrections. **Sarah GUILLOCHEAU** : recherche, révisions et corrections. **Battle KARIMI** : recherche, révisions et



corrections. **Latoude MOYEDE** : visualisation, **Marie-Noelle PONS** : fournitures de ressources, révisions et corrections

### Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

### Remerciements

Les auteurs remercient les laboratoires qui ont réalisé les analyses biologiques pour leurs réflexions et apports concernant les résultats de cet article, ainsi que le LRGP pour les analyses sur les sachets de thé.

### Déclaration de soutien financier

Les travaux ont bénéficié principalement du soutien financier de l'AERM, du programme ECOPHYTO, ainsi que de l'ADEME et la Région Grand Est dans le programme ACSE (Air Climat Sol Energie) 2023-2025, et de l'INRAe pour les analyses d'ADN microbien.

### Références bibliographiques :

Agreste 2017: <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2009/detail/>

Beaumelle, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines, J., Malladi, S., Pelosi, C., Phillips, H. R. 2023. Pesticide effects on soil fauna communities—A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 60(7), 1239-1253.

Bongers, T. & Bongers, M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied soil ecology*, 10(3), 239-251.

Bouché, M. B. 1972. Lombriciens de France. *Ecologie et systématique* (Vol. 72, No. HS, pp. 671-p). Inra Editions.

Christel A., Maron P.-A. et L. Ranjard L., 2022 - Méta-analyse sur l'impact des modes de production agricole sur la qualité écologique du sol - *Étude et Gestion des Sols*, 29, 117-144

Cousin I., Desrousseaux M., Angers D., Augusto L., Ay JS. 2025 Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Rapport d'étude. 780 p. INRAE

Cozim-Melges F., Ripoll-Bosch R., Oggiano P., van Zanten H. van der Putten W., Veen G. 2024, The effect of alternative agricultural practices on soil biodiversity of bacteria, fungi, nematodes and earthworms: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol 379,

Diallo, A., Hoeffner, K., Guillocheau, S., Sorgniard, P., & Cluzeau, D. 2023. Combined effects of annual crop agricultural practices on earthworm communities. *Applied Soil Ecology*, 192, 105073.

Djemiel C., Terrat S., Dequiedt S., Jolivet C., Maron PA., Ranjard L. 2024 Atlas français des champignons du sol. Biotope, Mèze, MNHN, Paris, 304p

Froger, C., Jolivet, C., Budzinski, H., Pierdet, M., Caria, G., Saby, N. P., . Bispo, A. 2023. Pesticide residues in French soils: occurrence, risks, and persistence. *Environmental Science & Technology*, 57(20), 7818-7827

Ecophyto PRO, 2024. [https://www.ecophyto-pro.fr/actualites/lire/1012/pollution\\_des\\_eaux\\_de\\_surface\\_et\\_des\\_nappes\\_phreatiques\\_par\\_les\\_engrais\\_et\\_les\\_pesticides\\_l\\_agence\\_europeenne\\_de\\_l\\_environnement\\_publice\\_un\\_rapport\\_sur\\_l\\_etat\\_de\\_leau\\_en\\_europe/n:201](https://www.ecophyto-pro.fr/actualites/lire/1012/pollution_des_eaux_de_surface_et_des_nappes_phreatiques_par_les_engrais_et_les_pesticides_l_agence_europeenne_de_l_environnement_publice_un_rapport_sur_l_etat_de_leau_en_europe/n:201)

EEA 2024. Europe's state of water. 2024: the need for improved water resilience; EN PDF: TH-AL-24-008-EN-N - ISBN: 978-92-9480-653-6 - ISSN: 1977-8449 - doi: 10.2800/02236



Gmach, M. R., Bolinder, M. A., Menichetti, L., Kätterer, T., Spiegel, H., Åkesson, O., Friedel, J. K., Surböck, A., Schweinzer, A., and Sandén, T.: Evaluating the Tea Bag Index approach for different management practices in agroecosystems using long-term field experiments in Austria and Sweden, *SOIL*, 10, 407–423, <https://doi.org/10.5194/soil-10-407-2024>, 2024

Karimi B., Chemidlin Prévost—Bouré N., Dequiedt S., Terrat S., Ranjard L., 2018. Atlas français des bactéries du sol, Biotope, Mèze, MNHN, Paris, 192p

Keuskamp J., Dingemans B., Lehtinen T., Sarneel J., Heffing M. 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*

Lehmann J., Bossio D., Kogel-Knaber I., Rillig M., 2020. The concept and future prospects for soil health. *Nat Rev Earth & Environ.* 1(10) : 544-553

Maillant S., Munier C. 2025. Poster JES

Ministère de l'Aménagement du territoire et de la transition écologique, 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-des-eaux-superficielles-et-souterraines-en-france-synthese-des-connaissances-en-2021>

Pelosi C, Toutous L., Chiron F, Dubs F, Hedde M, Muratet A, Ponge JF, Salmon S, Makowski D. 2013 Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol 181.

Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., Trap, J. 2021. Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 2021.108383. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108383>

Riah-Anglet W, Laurent N; Cusset E. Tscheiller R. 2022; Référencer des indicateurs de microbiologie des sols et les intégrer dans l'analyse de terre de routine, pour améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage 2017-2021 Analyse de la sensibilité et de la pertinence des indicateurs vis-à-vis des fonctions.

Richelle, L., Brauman A. 2023 La santé des sols : une approche holistique et transdisciplinaire. Dans "science de la durabilité. Comprendre, co-construire, transformer, vol 2. IRD2023. pp70-73

Université de Rennes, 2023. <https://projets.ecobio.univ-rennes.fr/opvt/testb%C3%A0cheversdeterre>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.