

➤ Séance 3 : Biodiversité – santé des sols

14 : 00- 15 :10 - Séance 3 - Biodiversité – santé des sols

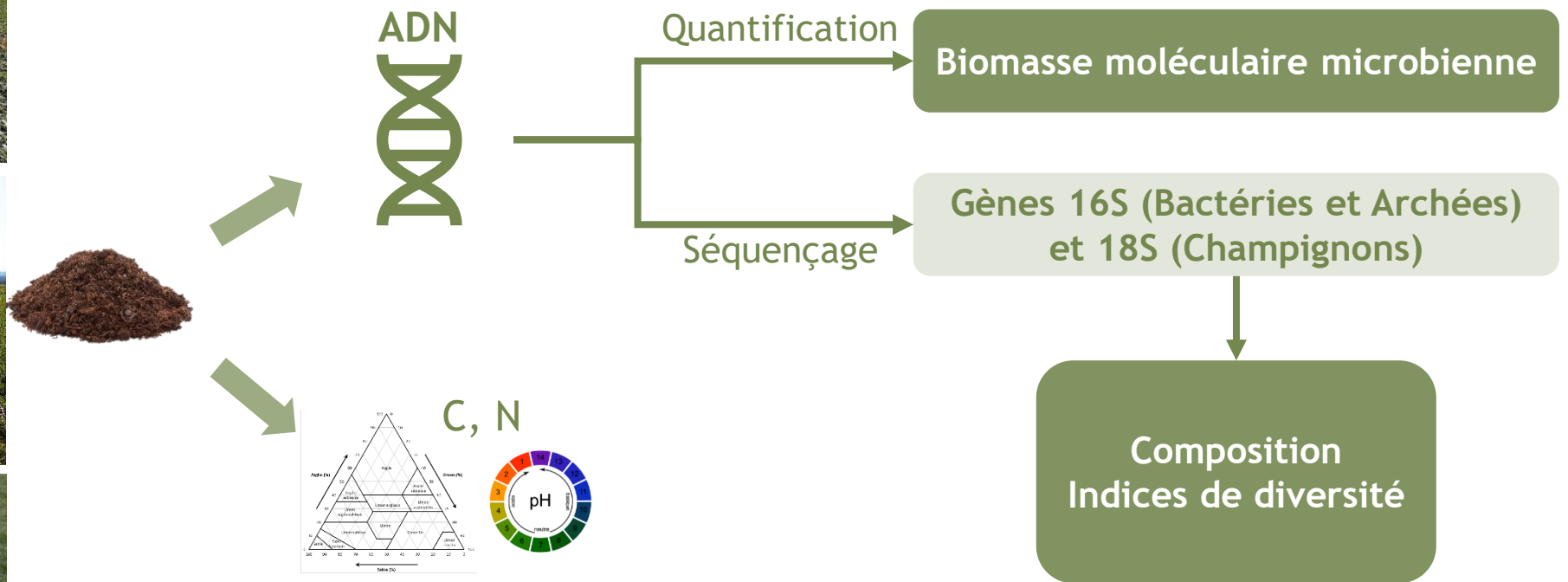
- Introduction de la séance :
 - **Microbiologie** – S. Bourgeteau
 - Activités enzymatiques : J. Nikolic
 - Macrofaune : G. Pérès, K. Hoeffner
- Animateurs : C. Mougin, K. Hoeffner.

➤ Effet d'un apport répété d'amendements organiques sur les communautés microbiennes du sol

Séminaire EFELE
Juillet 2026

➤ Objet d'étude

Evaluation de l'impact des amendements organiques sur la communauté microbienne des sols?



Physico-chimie

LAS (Laboratoire d'Analyses des Sols)

INRAE

➤ Approche ponctuelle ou temporelle



Site expérimental dédié à la caractérisation à long terme de l'effet d'applications répétées de produits organiques résiduaux (PROs) sur la qualité des sols.



 Digestat
 Lisier porcin
 Fumier bovin
 Minéral
Ø Témoin sans fertilisation

10 ans d'apports répétés

PRO fertilisant  C/N 4.0
PRO amendant  5.2
 15.2

Block 4					
Block 3 - 4					
Block 3					
Block 2					
Block 1 - 2					
Block 1					

Parcelles 109 m² (12.5m X 8.7m)
4 blocs complets

Raisonnement
des apports

1^{er} élément limitant, le **phosphore**, avec pour objectifs de ne pas dépasser le seuil d'un apport annuel de 100 kg P₂₀₅/ha an

1^{er} apport du digestat : 2012
Type du digestat : 100% lisier porcin

➤ Problématique

Évaluer au champ l'effet d'un apport répété de digestat sur les communautés microbiennes du sol

Comment cet effet évolue-t-il au fil du temps ? Est-il différent de celui de la matière organique non digérée ou de stratégies de fertilisation plus classiques, telles que l'apport d'engrais minéral ou de fumier ?

Prélèvement de sol annuel 

Évaluation des impacts sur les communautés microbiennes du sol

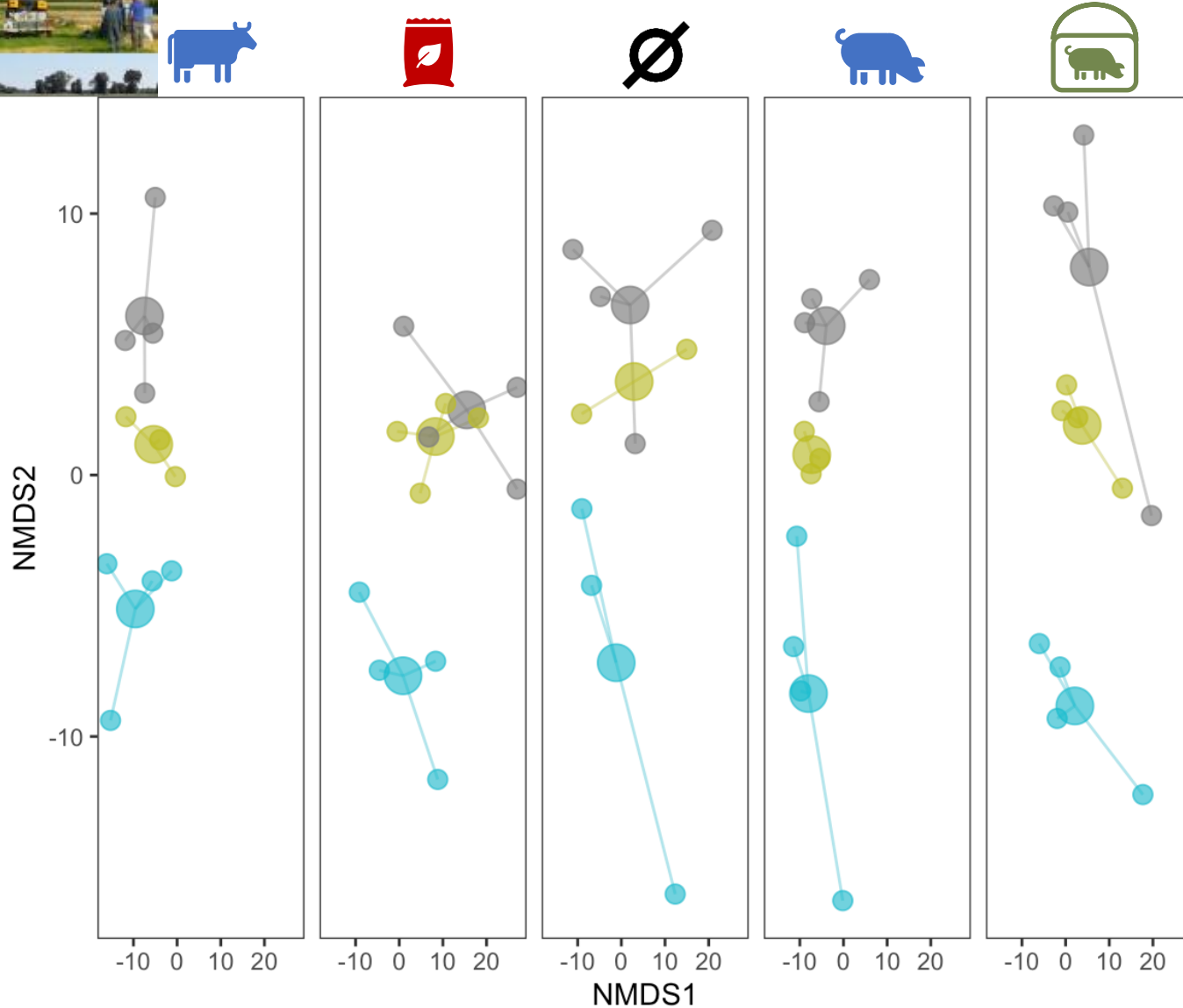


Degré de maturité

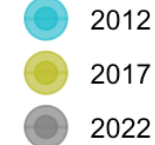
Structure bactéries

Partition de variance

Le facteur temporel «année» explique 21,3 % de la variance. En revanche, les C/N des apports expliquent 11,8 % de la variation.



Years



Pairwise comparison	P-value
2012 vs 2017	0.001
2012 vs 2022	0.001
2017 vs 2022	0.001

Stress = 0.1647

➤ Verrous

Mesurer des fonctions au champs



Lien diversité - Fonction

➤ Séance 3 : Biodiversité – santé des sols

14 : 00- 15 :10 - Séance 3 - Biodiversité – santé des sols

- Introduction de la séance :
 - Microbiologie – S. Bourgeteau
 - **Activités enzymatiques : J. Nikolic**
 - Macrofaune : G. Pérès, K. Hoeffner
- Animateurs : C. Mougin, K. Hoeffner.



Monitoring of Soil Biochemical Indicators within the EFELE Experimental Platform

Jasna Nikolić Chenais, Erell Naslain, Thérèse de Caldas, Françoise Poiroux, Jean-Pierre Pétraud, Amélie Trouvé, Axelle de Pauw, Christian Mougin



Context : Develop operational indicators to assess environmental (soil) health (agroecology, ecotoxicology...)

Strategy

- Identify and select indicators associated with soil functions (i.e. nutrient provisioning)
- Develop and apply ISO-standardized assay methods (i.e. ISO 20130:2018)
- Organise data for the development of reference frameworks (characteristic values)
- Combine metadata and develop models (i.e. mapping)



Distribution of b-1,4-glucosidase activity in metropolitan France.
A. Wadoux – *article in preparation*

Technology

- For soils assays, automated measurement line (60 samples per a day)



Standardized and automated workflows ensuring high analytical accuracy



Measuring Biochemical Indicators within the EFELE Experimental Platform

Biochem-Env's primary objective was to assess biochemical indicators, with a focus on **enzymatic assays**.

Analysis of five key enzyme activities driving soil C, N, P and S cycling

Average RMQS values in the agricultural fields (mU/g dry soil)

- Phosphatase 8.3
- β -glucosidase 15.8
- Arylsulfatase 6.8
- Urease 8.3
- Arylamidase 9.3



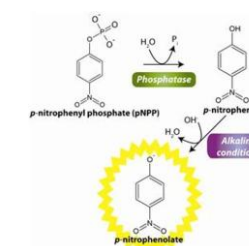
Sample collection in the fields



Sieving (0.5cm)



Dividing into three replicates and diluting under agitation



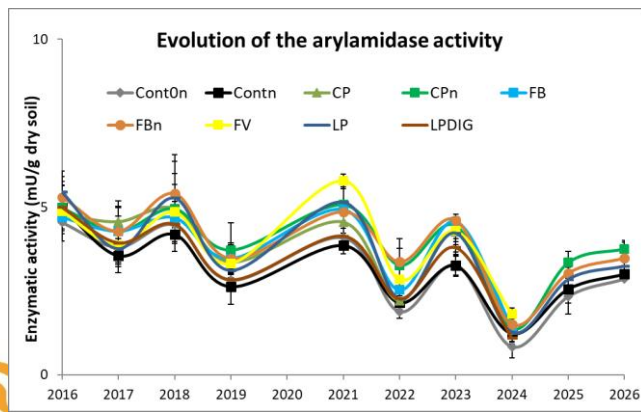
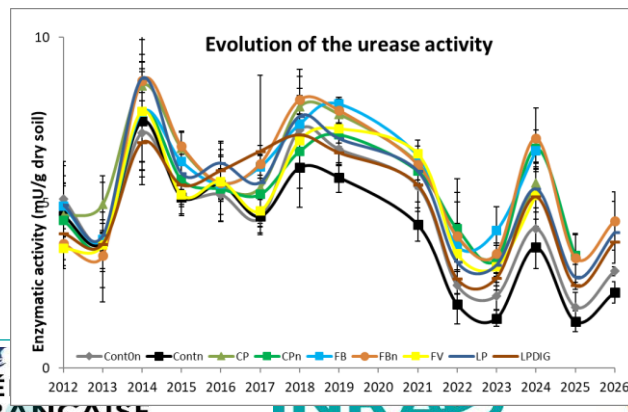
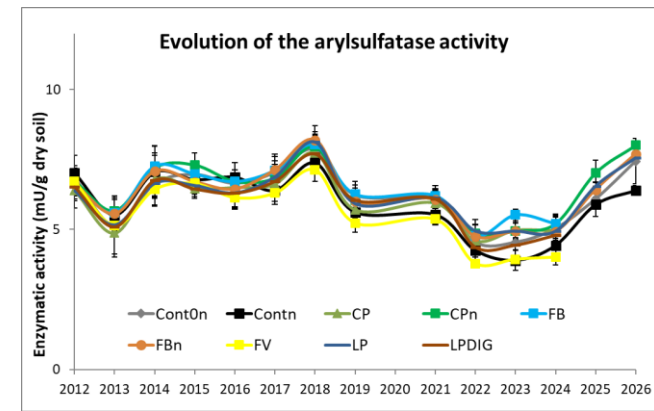
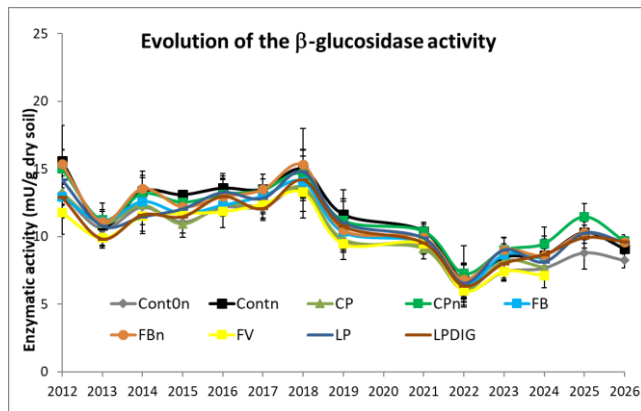
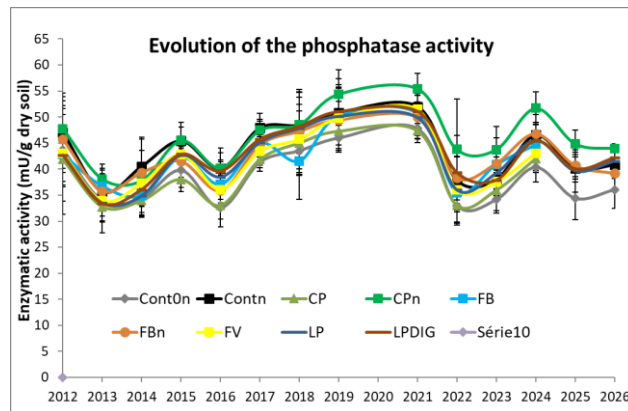
Conducting the enzymatic assays

Obtaining 9 values for quantifying enzymatic activity (+3 values for the reaction controls!)

Results from the EFELE Experimental Platform

EFELE experimental platform was analyzed in continuation since 2012

Tests PROs: Comparative study of (1) fertilization with the livestock-derived organic fertilizers, compared to a (2) control plot with mineral nitrogen fertilizer, and a (3) control plot without mineral nitrogen fertilizer.

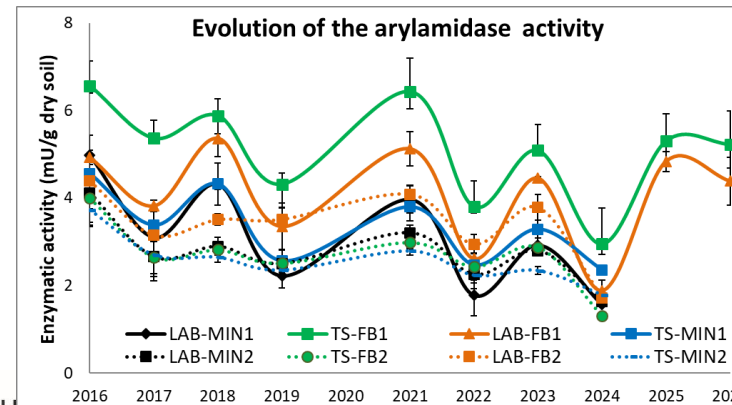
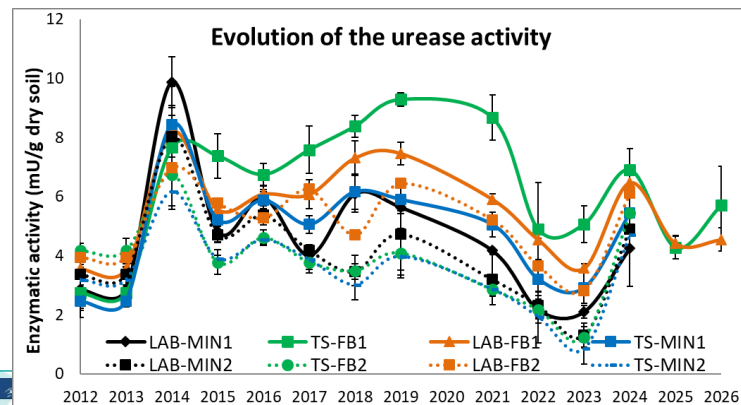
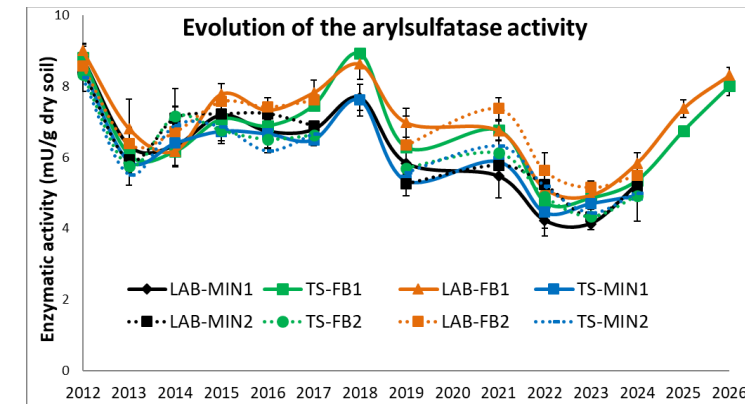
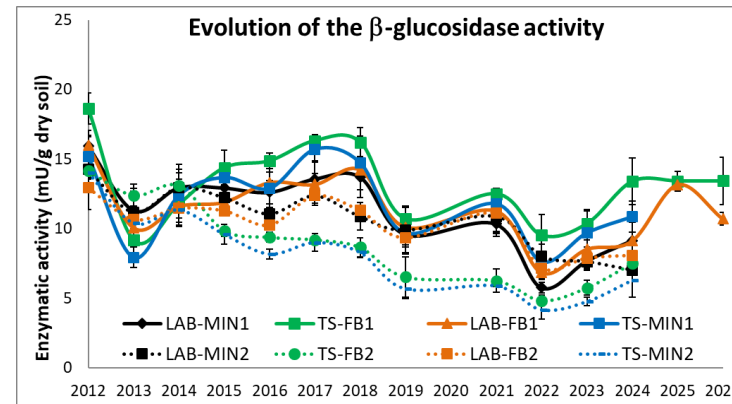
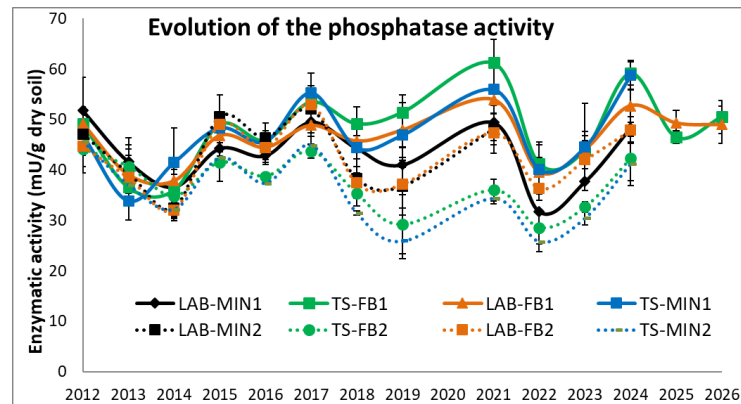


- ContOn - control plot without mineral nitrogen fertilizer
- Contn - control plot with mineral nitrogen fertilizer
- CP - plot with pig manure compost
- CPn - plot with pig manure compost and mineral nitrogen fertilizer
- FB - plot with cattle manure
- FBn - plot with cattle manure and mineral nitrogen fertilizer
- FV - Plot with poultry manure
- LP - plot with pig slurry
- LPDIG - plot with pig slurry methanization digestate

Results from the EFELE Experimental Platform

EFELE experimental platform was analyzed in continuation since 2012

Tests TS/MO: Two soil management practices—plowing at 25 cm and shallow soil tillage at <10 cm (conventional and reduced tillage)—crossed with two fertilization strategies



FB - plot with cattle manure
MIN - control plot with mineral nitrogen fertilizer

1 - 0-15 cm sampling
2 - 15-25 cm sampling

LAB - conventional tillage
TS - reduced tillage

Next steps with the EFELE experimental platform

- **Temporal approach**

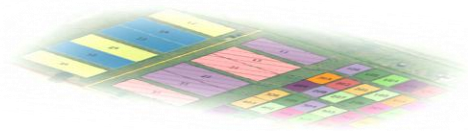
study conducted in continuity since 2012 > to be continued

- **Research problem / research question**

- Which of the employed management practices best sustain soil biochemical activity over the long term?

- **Level of maturity, bottlenecks/constraints, and perspectives – future with EFELE**

- Unlocking the value of long-term soil monitoring
- Integrating enzymatic and (1) genomic (microbiology) / (2) physicochemical datasets for deeper insights and determination of the main factors of site's health/functioning





Merci pour votre attention !

contact-biochemenv@inrae.fr

➤ Séance 3 : Biodiversité – santé des sols

14 : 00- 15 :10 - Séance 3 - Biodiversité – santé des sols

- Introduction de la séance :
 - Microbiologie – S. Bourgeteau
 - Activités enzymatiques : J. Nikolic
 - **Macrofaune : G. Pérès, K. Hoeffner**
- Animateurs : C. Mougin, K. Hoeffner.



Communautés lombriciennes

Guénola Pérès (Institut Agro Rennes-Angers, UMR SAS),
Kevin Hoeffner (INRAE, UMR SAS),
Marc Roucaute (INRAE, UMR SAS),
Daniel Cluzeau (Université de Rennes, UMR Ecobio)



Séminaire EFELE 1 juillet 2026

➤ Objet d'étude - protocole - timing



Méthode : extraction chimique (1m²) + tri bloc de sol (1/16eme m²)
 ➔ Une méthode qui permet d'avoir accès à une bonne image de la communauté lombricienne

Bloc 4	X 404	X 405	X 406	X 407	X 408	X 409
Blocs 3-4	X 307	X 308	X 309	X 401	X 402	X 403
Bloc 3	X 301	X 302	X 303	X 304	X 305	X 306
Bloc 2	X 204	X 205	X 206	X 207	X 208	X 209
Blocs 1-2	107	108	109	X 201	X 202	X 203
Bloc 1	101	102	103	104	105	106

1 point/parcelle élémentaire

	Labour	Travail simplifié
Bloc 3	X X 33	X X 34
	X X 31	X X 32
Bloc 2	X X 23	X X 24
	X X 21	X X 22
Bloc 1	X X 13	X X 14
	X X 11	X X 12

3 points/parcelle élémentaire

	03-2012	03-2016	11-2017	03-2021	11-2022	03-2025
Programme	Monitoring	Monitoring	SoilMan	Monitoring	Minotaur	Monitoring

➤ Questions de recherche



Essai PROs :

Réponses des communautés lombriciennes à un apport répété d'apports organiques :

→ quel type d'apport permet d'améliorer la communauté lombricienne (globale, fonctionnelle)

Effet de la forme des apports (digestat vs apport d'origine)

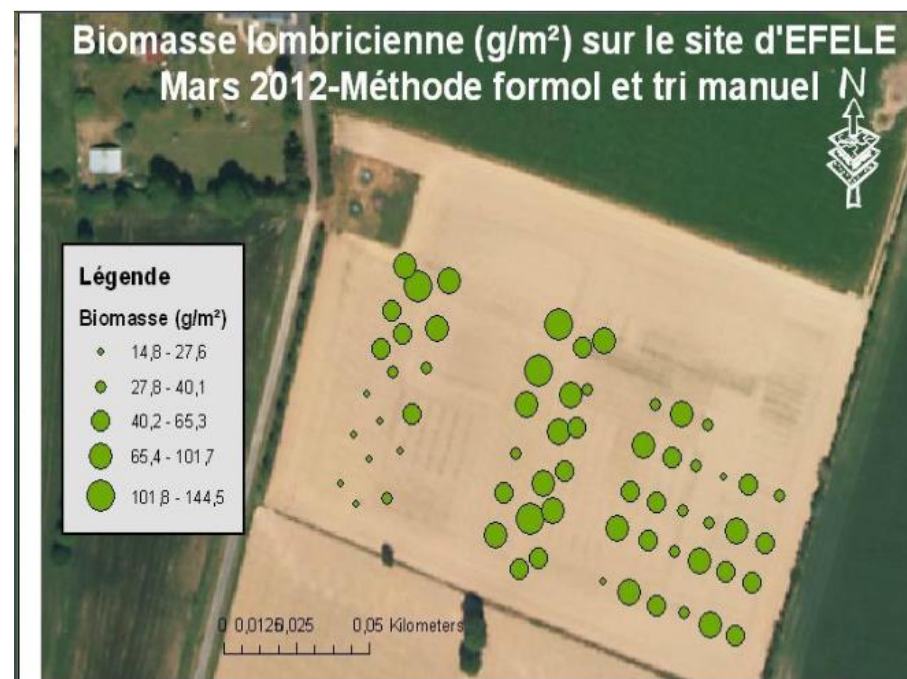
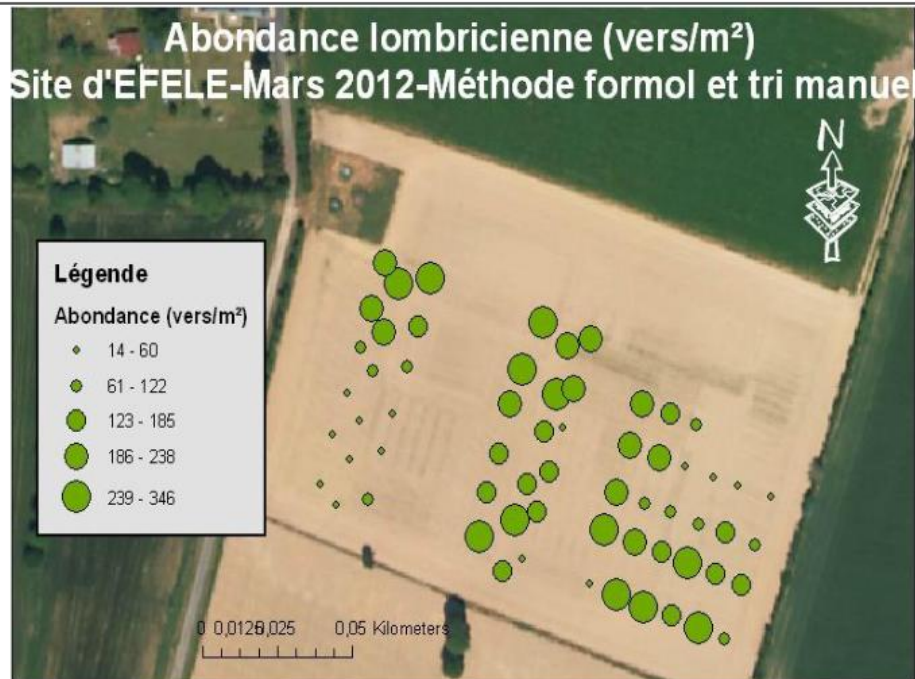
Effet de la complémentation en minéral

Essai TS/MO :

Réponses des communautés lombriciennes au travail du sol, à la fertilisation, au couplage de ces deux leviers agroécologiques

→ quelle pratique (réduction travail du sol ou fertilisation ou couplage) est-elle la plus favorable au développement des communautés lombriciennes

➤ Premier élément : variabilité spatiale



Très forte variabilité spatiale au T0 (2012)

Essai PROs : variabilité interbloc

Essai TS/MO : variabilité très importante où zone « labour » présente des abondances et biomasses supérieures à la zone en Travail superficiel

➤ Essai PROs - Synthèse après 14 ans d'apports

- Bon état des communautés lombriciennes sur l'essai
 - Des valeurs (AB, BM, structure écologique et spécifiques des communautés) en accord avec valeurs de références (Cluzeau et la., 2012)
- Un effet année significatif
 - Valeurs significativement plus importantes en 2021 : rupture des pratiques
- Pas d'effet de la complémentation minérale
 - Pas d'effet significatif de la complémentation minérale : fumier Porc Composté (CP vs CP+N) ; Fumier bovin (FB vs FB+N)
- Pas d'effet significatif de la forme des PROs
 - Digestat de Lisier Porc vs Lisier Porc → pas d'effet ni positif ni négatif des digestats
- Un seul traitement améliore les communautés lombriciennes
 - Fumier de porc composté +N → plus-value vs MIN ou Control (0N)

➤ Essai PROs - Synthèse après 14 ans d'apports

- Malgré des différenciations, très peu de réponses significatives des communautés lombriciennes aux apports des PROs
 - Variabilité intra-parcellaire/échantillonnage (1 point par bloc)
 - Importance de la rotation culturale (prélèvement sous moutarde)
 - Importance de la date de fertilisation (prélèvement 2 ans après derniers apports, sauf en 2021)

Perspectives

➔ mise en regard des données physiques, chimiques, biologiques, agronomiques ...

➤ Essai TCS/MO - Synthèse après 10 ans d'essai (2021)

• Effet traitements

- Pas d'effet significatif sur abondance
- Effet sur biomasse : TS-FumierBovin >> Lab-Minéral.
- Effet sur catégories écologiques (anéciques, épi-anéciques, mais pas sur endogés)
 - ➔ effet de la réduction du travail du sol combiné à la fertilisation sur les communautés lombriciennes (biomasse, structure fonctionnelle)

Perspectives

- ➔ analyse des données 2025
- ➔ analyse de la dynamique temporelle en prenant compte de l'hétérogénéité spatiale initiale
- ➔ mise en regard des données physiques, chimiques, biologiques, agronomiques ...
- ➔ maintenir l'implication dans le monitoring et proposer le site dans programmes de recherche à venir



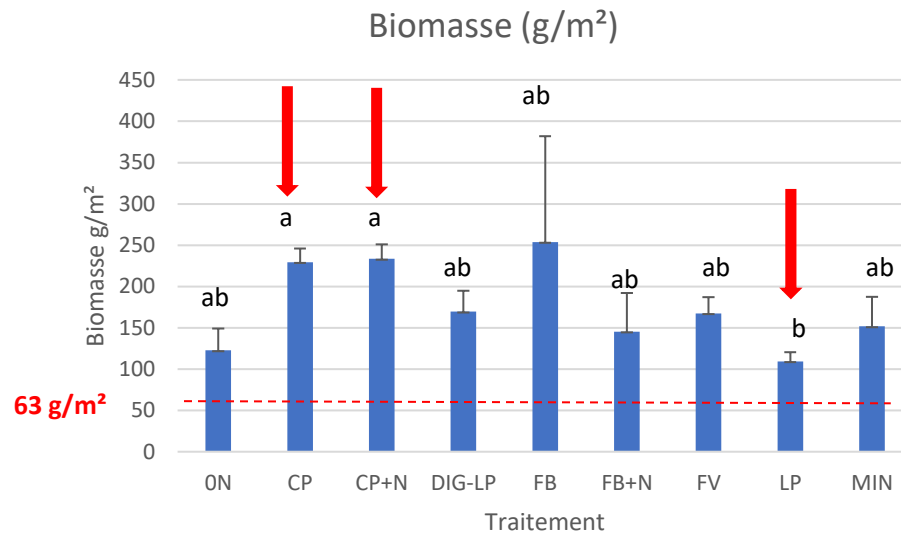
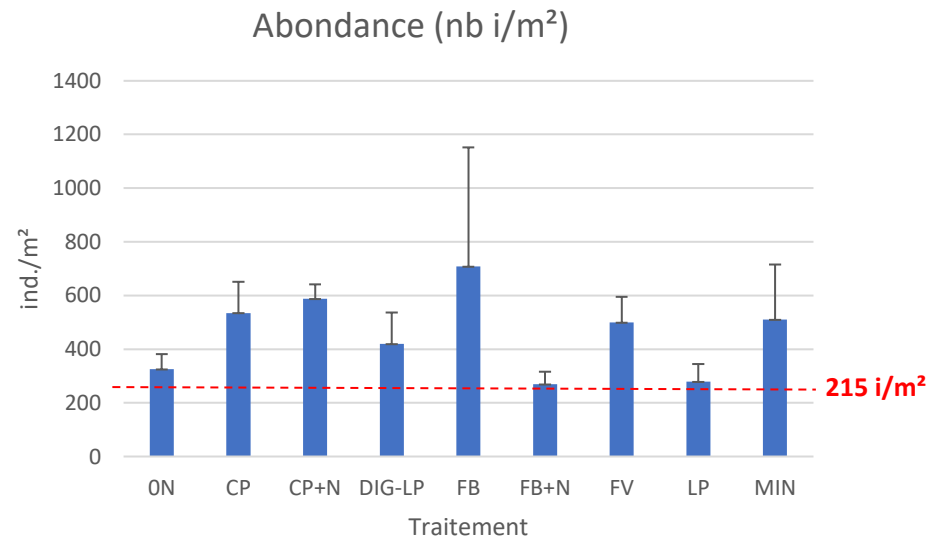
MERCI POUR VOTRE ATTENTION

➤ Modifiez le style du titre



➤ Réponse des communautés lombriciennes après 10 années d'apports

❖ Abondance (nb i/m²) et biomasse (g/m²) - campagne 2021



* Valeur d'**Abondances** (nb i/m²) > valeur de référence en milieux cultivés en Bretagne (215 i/m²) (Cluzeau et al., 2012)

→ état macrobiologique correct quel que soit le traitement.

* Pas d'effet traitement significatif sur abondance

* Valeur **Biomasse** (g/m²) > valeur de référence en milieux cultivés en Bretagne (63g/m²) (Cluzeau et al., 2012) → état macrobiologique correct quel que soit le traitement.

* Effet traitement : **effet négatif** du **Lisier de Porc (LP)** vs **Fumier Porc composté CP, CP+N** (avec ou sans complémentation minérale)

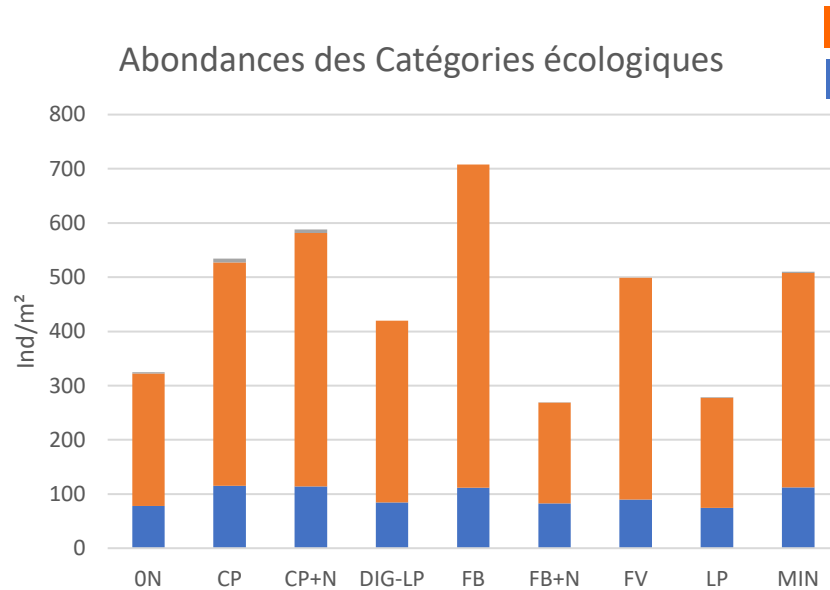
* **Abondance et biomasse**

→ Pas d'effet significatif de la forme : digestat Lisier Porc (DIG-LP) vs Lisier Porc

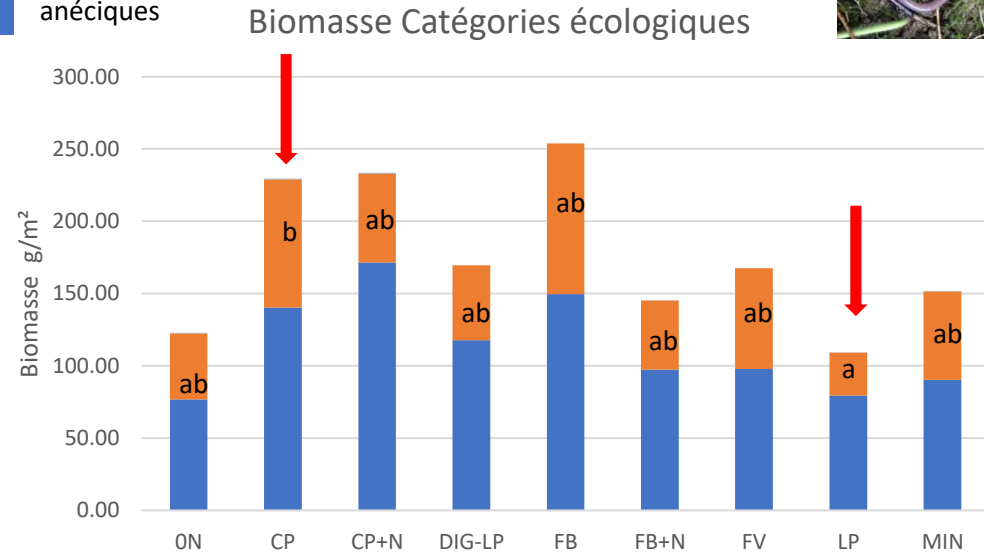
→ Pas d'effet significatif de la complémentation minérale : fumier Porc Composté (CP vs CP+N) ; Fumier bovin (FB vs FB+N)

➤ Réponse des communautés lombriciennes après 10 années d'apports

❖ Structure écologique des communautés - campagne 2021



endogés
anéciques



Abondances des catégories écologiques

- quel que soit le traitement, très forte domination des endogés (73-84% de la communauté), puis des anéciques (16-31%), quasi absence d'épigés
- structure écologique classiquement observée en milieu cultivé (Pérès et al., 2011).
- quel que soit le traitement, valeurs moyennes > valeurs références en milieu cultivés (endogés : 160 i/m² ; anéciques : 30 i/m² ; Cluzeau et al., 2012)

Aucun effet traitement et ce quelle que soit la catégorie écologique

→ pas d'effet significativement structurant des abondances lombriciennes par les apports organiques

Biomasses des catégories écologiques

→ effet structurant des apports organiques sur la biomasse **des endogés** (mais **pas anéciques**)

Endogés

→ Effet **négalif** du Lisier de Porc vs Fumier de porc composté (-66%)

→ Les autres traitements ne se différencient pas entre eux

* **Abondance et biomasse des catégories écologiques**

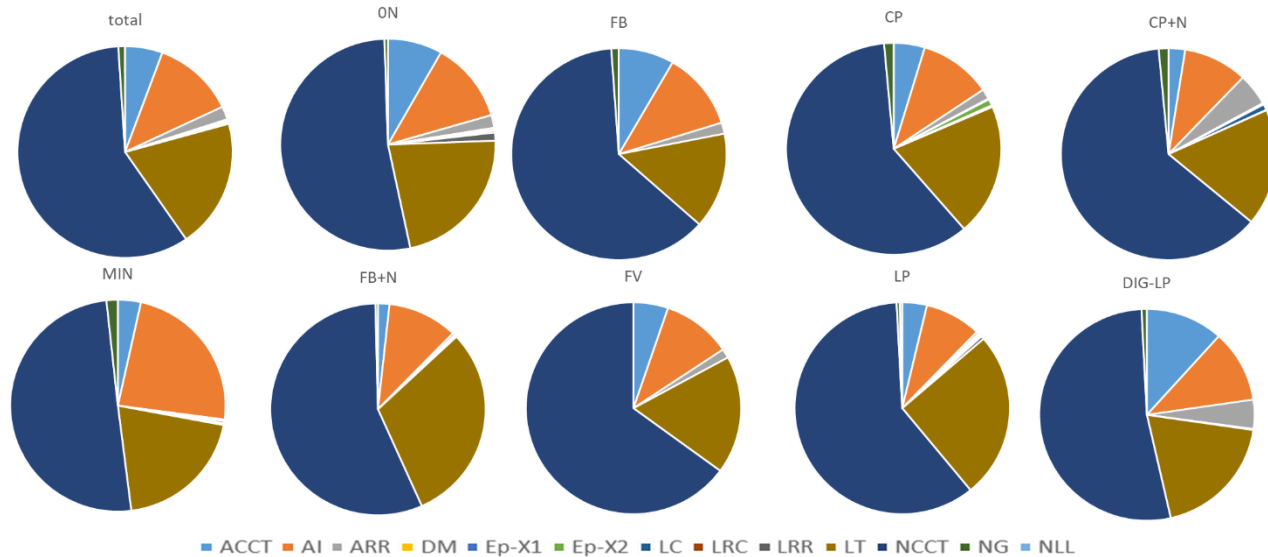
→ Pas d'effet significatif de la forme : digestat Lisier Porc (DIG-LP) vs Lisier Porc

→ Pas d'effet significatif de la complémentation minérale : fumier Porc Composté, Fumier bovin

➤ Réponse des communautés lombriciennes après 10 années d'apports

❖ Structure spécifique des communautés - campagne 2021

➔ 13 espèces sur le site



Liste des espèces

ACCT: Allolobophora c. chlorotica (Endogée)

AI: Allolobophora ictorica (Endogée)

ARR : Allolobophora r. rosea (Endogée)

DM : Dendrobaena mammalis (Epigée)

LC : Lumbricus castaneus (Epigée)

LRC : Lumbricus rubellus castenoides (Epigée)

LRR : Lumbricus rubellus rubellus (Anécique)

LT : Lumbricus terrestris (Anécique)

NCCT : Aporectodea c. caliginosa (Endogée)

NG : Aporectodea giardi (Anécique)

NL : Aporectodea longa (Anécique)

Quelque soit le traitement, communautés lombriciennes dominées par :

- **Aporrectodea caliginosa** (NCCT) (50% de la communauté (MIN) - 65% (FV)),
- **Lumbricus terrestris** (LT) (15% de la communauté (FB) - 30% (FB+N))
- **Allolobophora ictorica** (AI) (8% (LP) - 24% (MIN)).

Ces 2 premières espèces lombriciennes (NCCT, LT) sont classiquement observées en milieux cultivés.

FV (Fumier volaille) : richesse spécifique, diversité les plus faibles

ON, MIN : richesse et diversité équivalentes aux autres traitements

Modalités	Richesse spécifique (S)	(ET)	Diversité « Shannon » (H)	(ET)
ON	6,7	2,1	3,2	0,8
CP	7,3	1,2	3,2	0,1
CP+N	6,3	0,6	3,0	0,3
DIG-LP	6,0	0,0	3,6	0,5
FB	6,0	0,0	3,1	0,9
FB+N	6,3	0,6	2,7	0,5
FV	4,3	0,6	2,6	0,4
LP	7,0	1,7	2,8	0,5
MIN	6,7	1,5	3,4	0,1

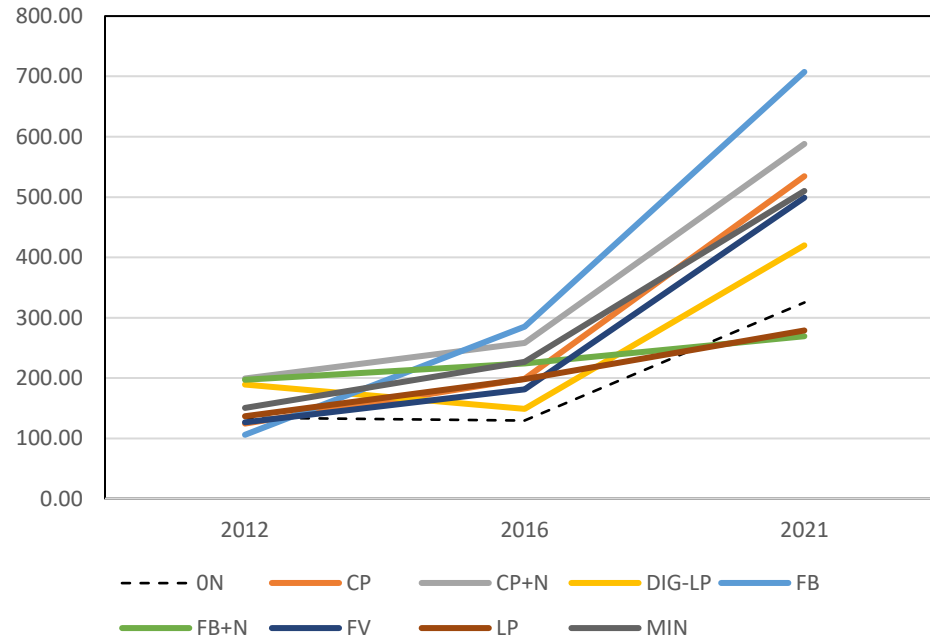
➔ **Aucun traitement** organique, ou minéral, n'aboutit à une modification significative de la structure des communautés comparé au témoin sans fertilisation (ON).

➤ Dynamique temporelle des communautés lombriciennes

❖ Abondance (nb i/m²) et biomasse (g/m²)

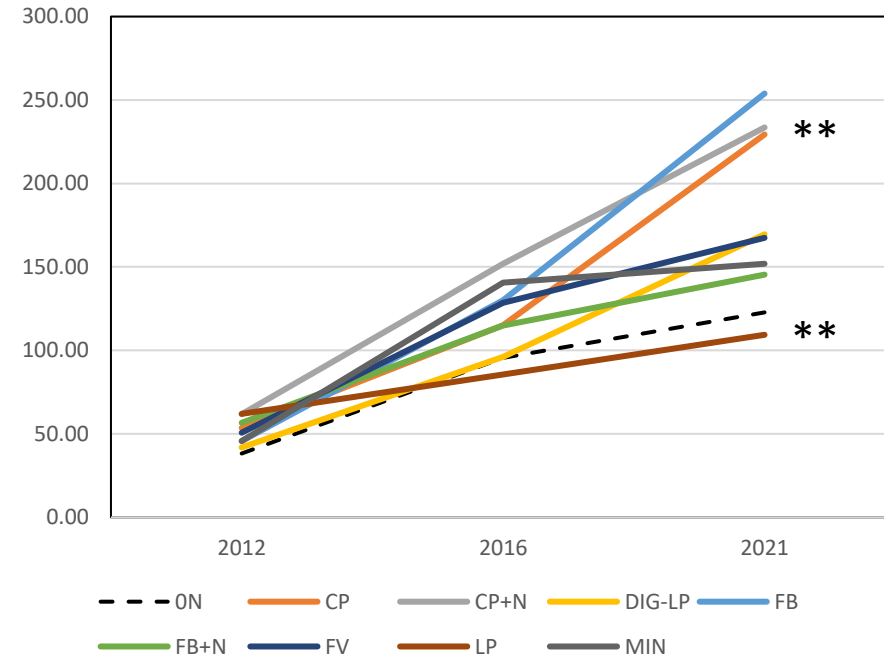


Abondance moyenne (nb i/m²)



- Différenciation qui se met en place après 4 ans, qui s'accroît après 10 ans (tendance)
- Pas de différence significative entre traitements

Biomasse moyenne (g/m²)

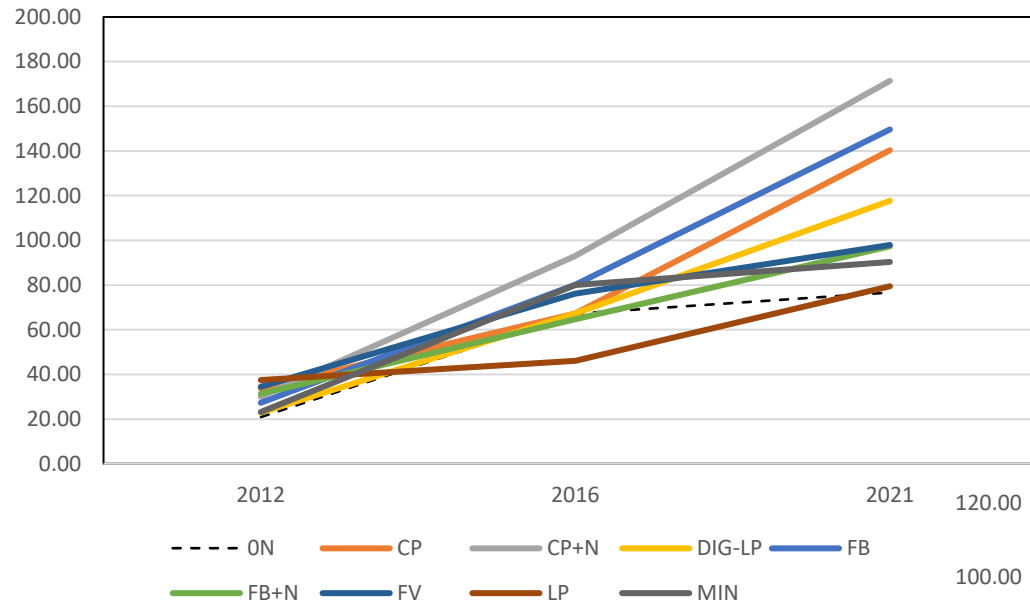


- Différenciation qui se met en place dès 4 ans, qui s'accroît après 10 ans (significatif)
 - ➔ Effet négatif du lisier de porc
 - ➔ Effet positif des fumiers, brut ou compostés

> Dynamique temporelle des communautés lombriciennes

❖ Biomasse (g/m²) des catégories écologiques

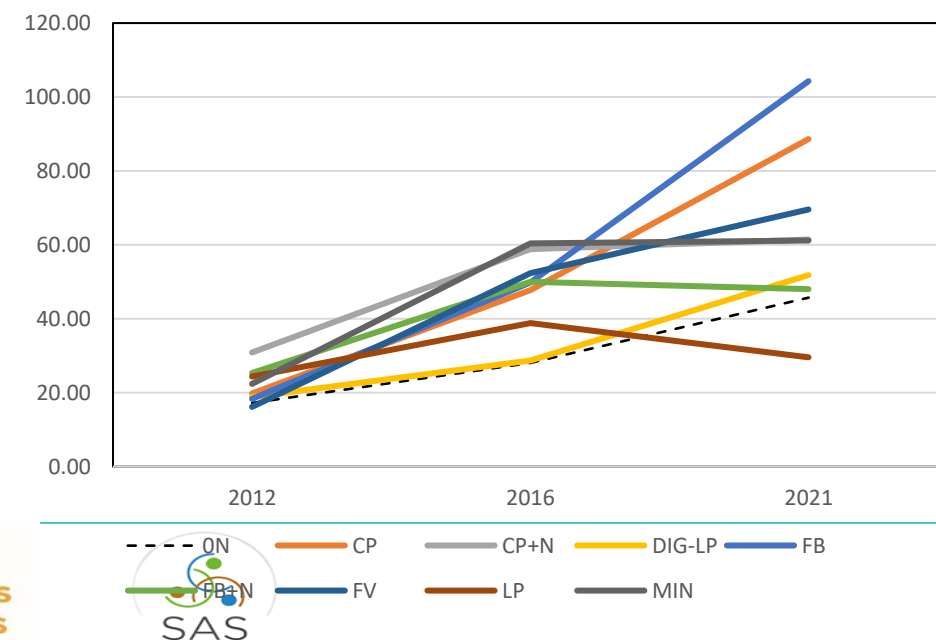
Biomasse anéciques (g/m²)



Anéciques

- Différenciation qui se met en place après 4 ans, qui se renforce après 10 ans (tendance)
- Pas de différence significative entre les traitements

Biomasse endogés (g/m²)



Endogés

- Différenciation qui se met en place après 4 ans, qui se renforce après 10 ans (significatif)
- Effet négatif du lisier de porc

➤ Dynamique des communautés lombriciennes – après 14 ans

Effet significative de l'année ($p < 0,001$):

- 2012, la plus faible (AB, BM), 2021 la plus élevée

Des résultats fortement liés à 2 espèces

- ***Lumbricus terrestris*** (très faibles biomasses en 2012 vs 2016 et 2021) ; espèce qui explique la différence entre 2021 et 2025
- ***Aporectodea caliginosa*** (très faibles biomasses en 2012 vs 2016, 2021, 2025)

Effet traitement

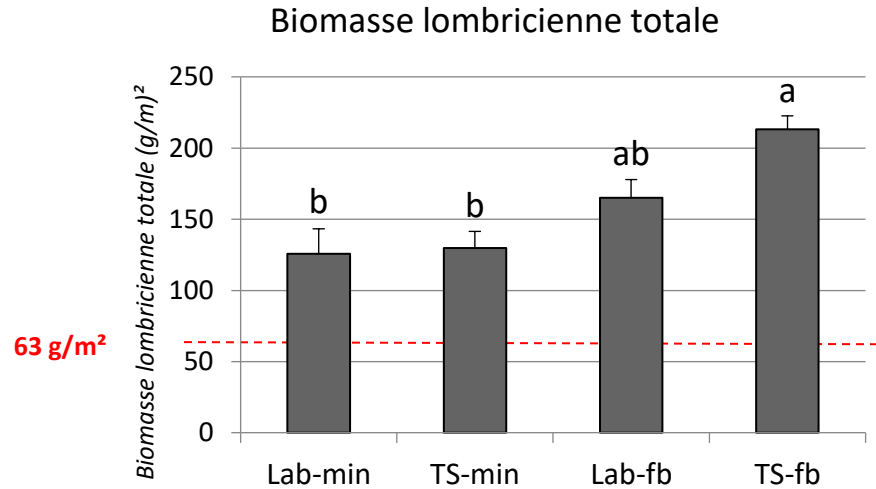
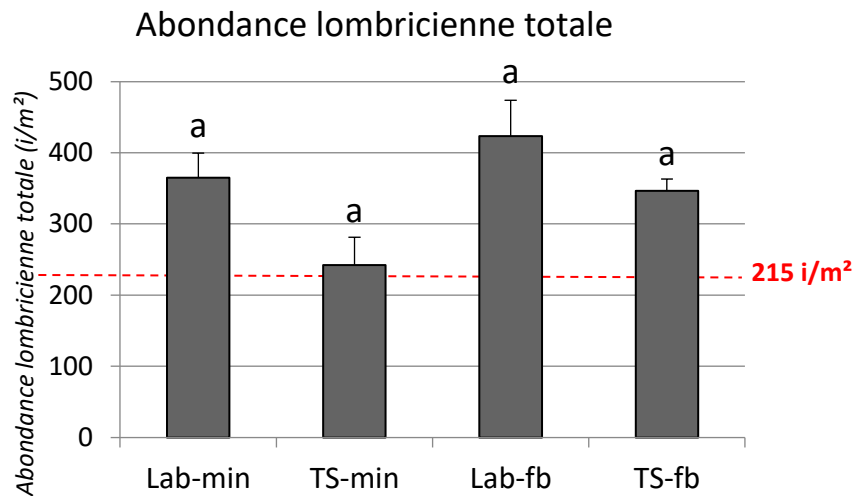
- Aucun effet traitement significative en 2012, 2016 et 2025.
- En 2021 : effet traitement (sans pouvoir toujours mettre en évidence d'effet entre traitements)
 - Abondance des communautés : **CPigM+N >> 0N ($p=0,021$)**
 - Biomasse des communautés
 - Abondance et biomasse des endogés
 - Biomasse des anéciques strictes (i.e. genre *Aporrectodea*) : **CPigM+N >> MIN ($p=0,009$)**
 - Biomasse de *Lumbricus terrestris* **CPigM+N >> MIN ($p=0,023$)**
 - Abondance d' *Aporrectodea caliginosa*.



Essai TS/MO

➤ TS-MO- Réponse des communautés lombriciennes après 10 années d'essai

❖ Abondance (nb i/m²) et biomasse (g/m²) - campagne 2021



* Valeur d'**Abondances** (nb i/m²) > valeur de référence en milieux cultivés en Bretagne (215 i/m²) (Cluzeau et al., 2012)

→ état macrobiologique correct quel que soit le traitement.

* Pas d'effet traitement significatif sur abondance

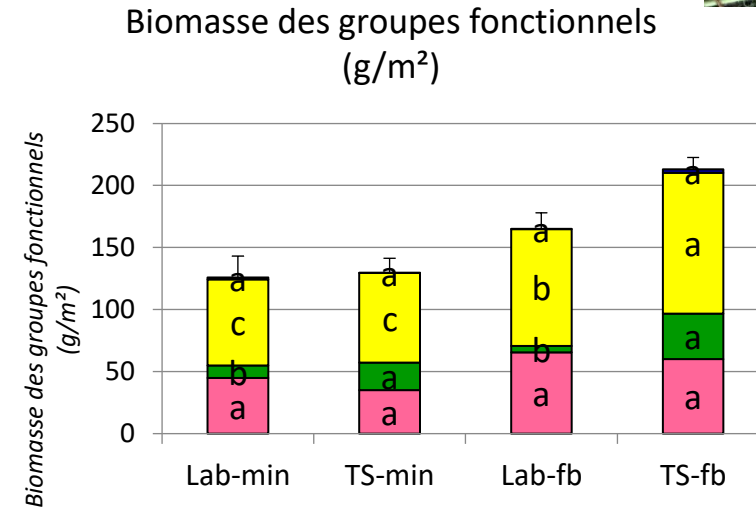
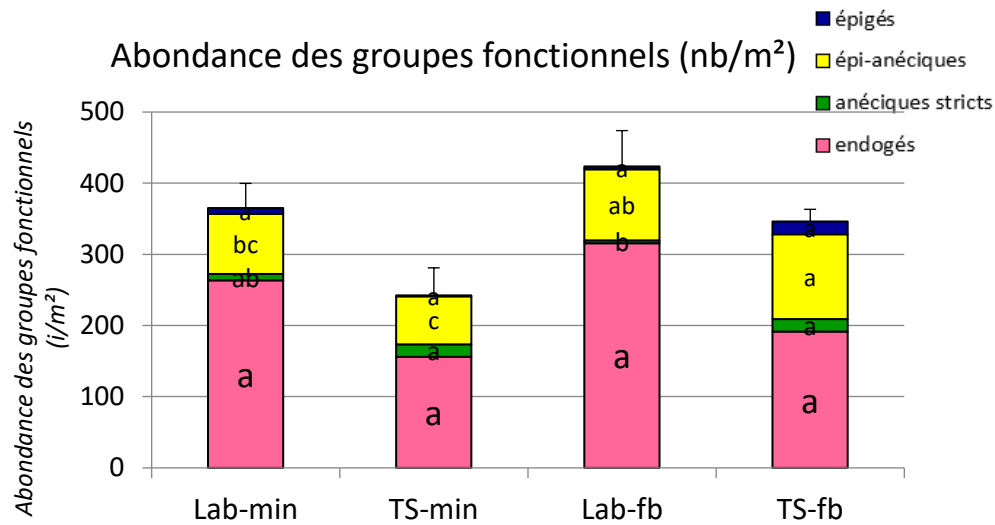
* Valeur **Biomasse** (g/m²) > valeur de référence en milieux cultivés en Bretagne (63g/m²) (Cluzeau et al., 2012) → état macrobiologique correct quel que soit le traitement.

→ état macrobiologique correct quel que soit le traitement.

- Effet traitement : TS-FB >> TS-Min et Lab-Min
- Lab-Fb ne se différencie pas des autres traitements

➤ Réponse des communautés lombriciennes après 10 années d'apports

❖ Structure écologique des communautés - campagne 2021



Abondances des catégories écologiques

- quel que soit le traitement, très forte domination des endogés, puis des anéciques, quasi absence d'épigés
→ structure écologique classiquement observée en milieu cultivé (Pérès et al., 2011).
- quel que soit le traitement, valeurs moyennes > valeurs références en milieu cultivés (endogés : 160 i/m² ; anéciques : 30 i/m² ; Cluzeau et al., 2012)

Effet traitement sur les anéciques

Biomasses des catégories écologiques

- ➔ effet structurant de la réduction du travail du sol combiné aux apports organiques sur la biomasse des **anéciques** mais pas sur endogés