



**HAL**  
open science

## Focus sur quelques résultats marquants résultant du suivi expérimental d'EFELE

Thierry Morvan, Philippe Le Roy, Florian Gaillard, Fabien Ferchaud, Christian Mougin, Nathalie Cheviron, Safya Menasseri-Aubry, Anne Jaffrézic

### ► To cite this version:

Thierry Morvan, Philippe Le Roy, Florian Gaillard, Fabien Ferchaud, Christian Mougin, et al.. Focus sur quelques résultats marquants résultant du suivi expérimental d'EFELE. Assemblée Générale du SOERE PRO, INRAE, UMR SAS Rennes, Oct 2024, Rennes, France. hal-04761071

**HAL Id: hal-04761071**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04761071v1>**

Submitted on 8 Nov 2024

**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.



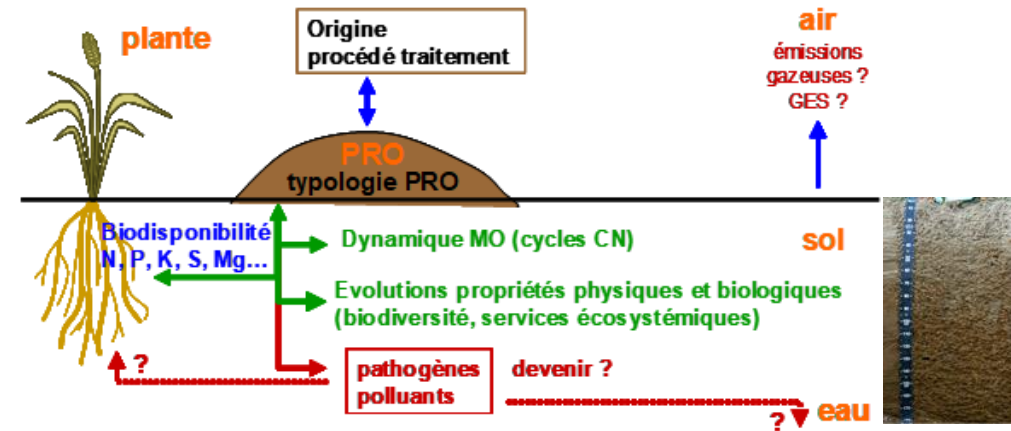
➤ Focus sur quelques résultats marquants résultant du suivi expérimental d'EFELE.

T. Morvan, P. Le Roy, F. Gaillard, F. Ferchaud, C. Mougin, N. Cheviron, S. Menasseri, A. Jaffrezic



# ➤ Introduction

- **Suivi de base / suivi systématique / monitoring** : acquisition de données en continu, communes à tous les sites du SOERE. Monitoring très large sur les compartiments Sol / Air / Eau / Végétaux et PROs
- **Objectifs** de ce monitoring :
  - Acquisition des données/ métadonnées indispensables à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus dans le cadre de projets de recherche,
  - Valorisation en propre : datapaper, articles, thèses (H. Chen, 2023)
- **Présentation : 3 focus sur des résultats issus du monitoring d'EFELE :**
  - **Lysimétrie** : suivi du drainage et de la lixiviation du nitrate
  - Suivi annuel des **activités enzymatiques**
  - Suivi quadriennal de **l'évolution des stocks de C**



# ➤ Présentation d'EFELE



## Essai "PROs :

- 4 blocs complets, 9 traitements expérimentaux
- Parcelles élémentaires de 109 m<sup>2</sup>
- Etude de produits organiques issus des élevages, en comparaison avec un témoin en fertilisation minérale N et un témoin ON fixe

## Essai TS/MO :

- Split plot 3 répétitions, 4 traitements
- Parcelles élémentaires de 432 m<sup>2</sup>
- 2 modes de travail du sol, labour à 25 cm et travail du sol superficiel (< 10 cm) croisés à 2 modes de fertilisation



## Luvisol-redoxisol

Texture (0-30 cm) : 15 % argile, 24 % limons fins, 45 % limons grossiers, 10 % sables fins, 6% sables grossiers

20 g C kg<sup>-1</sup> sol

pH eau : 6.1

CEC Metson : 6.34 cmol kg<sup>-1</sup> sol

## ➤ Conduite des essais

### Période [2012 ; 2020]

- **Succession maïs/blé- CI moutarde blanche**
  - Niveau modéré d'apports d'engrais et de pesticides : conduite du **blé à bas niveaux d'intrants** (*variétés résistantes aux maladies, densité de semis minorée, diminution de la fertilisation azotée de 40 kg par hectare, une seule application de fongicide*)
  - **Essai PROs** : application de 5 produits organiques : fumier de bovins (**FB**), fumier de volailles (**FV**), fumier de porc composté (**CP**), lisier de porc (**LP**), digestat brut liquide de lisier de porc (**DIG-LP**), + complémentation minérale N pour FB et CP -- > **FB+N, CP+N**
  - **Essai TS/MO** : fertilisation minérale N (**MIN**) vs **FB**
- 
- **Apports annuels** de lisier de porc (LP) et de son digestat (DIG-LP), en mars sur blé en végétation et fin avril sur la culture de maïs
  - **Apports biannuels** de fumier de bovins (FB) et de fumier de porc composté (CP) début avril, avant culture de maïs
  - Apports annuels de fumier de volaille (FV) jusqu'en 2017, biannuel ensuite, sur maïs

### Conversion des essais en bio depuis 2021

- **Succession maïs/blé- CI multi-espèces/sorgho fourrager /mélange céréalier blé/pois –CI moutarde**
- Maintien du traitement de référence en fertilisation minérale (MIN) de l'essai PROs
- Traitements FB+N et CP+N remplacés par 2 digestats solides issus de séparation de phase
- Traitement (MIN) de l'essai TS/MO remplacé par l'un des 2 nouveaux digestats

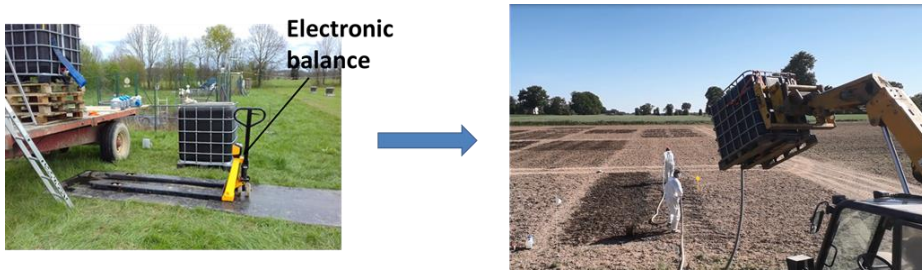
## ➤ Apports de fertilisants

- Fertilisation minérale N (MIN) calculée par la méthode du bilan prévisionnel (*Fertilisation moyenne de 100 kg N/ha sur maïs et de 120 kg N/ha sur blé*)
- Raisonnement des apports de PROs basé sur une **combinaison de règles** :
  - Apports annuels de Phosphore < à 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha an
  - Respect de la Directive Nitrate (*170 kg N /ha an*)
  - Doses d'apport des effluents liquides déterminées par leur équivalence-engrais (0.70 pour les apports sur maïs et 0.56 pour les apports sur blé)

# ➤ Apports de fertilisants

- Fertilisation minérale N (MIN) calculée par la méthode du bilan prévisionnel (*Fertilisation moyenne de 100 kg N/ha sur maïs et de 120 kg N/ha sur blé*)
- Raisonement des apports de PROs basé sur une **combinaison de règles** :
  - Apports annuels de Phosphore < à 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha an
  - Respect de la Directive Nitrate (*170 kg N /ha an*)
  - Doses d'apport des effluents liquides déterminées par leur équivalence-engrais

## Apports de lisier (LP) et digestat (DIG-LP)



## Apports de fumier volailles (FV)



## Enfouissement des PROs



## Apport de FB sur essai TS/MO



## Doses d'apport :

- 50 t / ha de fumier de bovins (FB)
- 25 t / ha de fumier de porc composté (CP)
- 3.4 t /ha de FV par an, jusqu'en 2017 et de 6.8 t/ha tous les 2 ans à partir de 2018
- Doses de lisier et digestat comprises entre 22 et 40 m<sup>3</sup>/ha

*Complémentation FB+N : 47 kg N/ha, CP+N :37, CP et FV - -- > Apports de C très variables selon les PROs ( 0.6 à 2.4 t C/ha an)*

## ➤ Focus 1 - Monitoring Eau

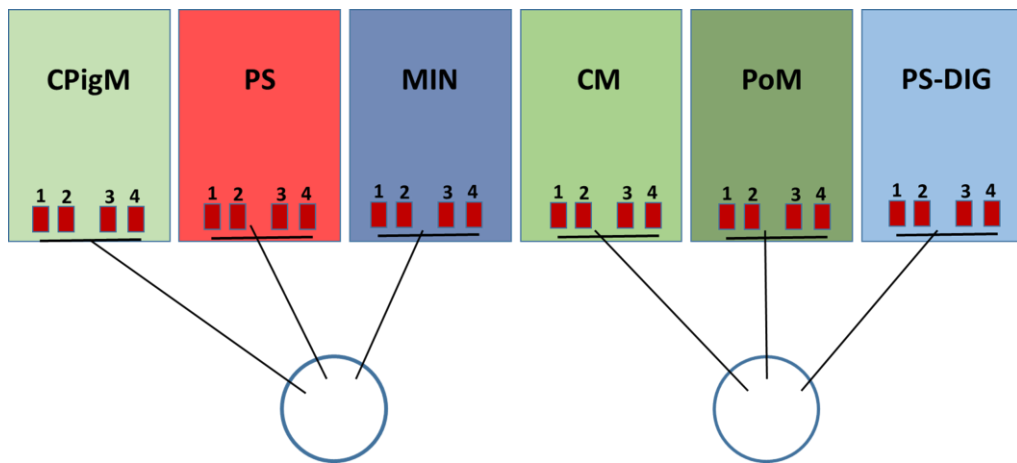
### Lysimétrie et lixiviation du nitrate





# > Le dispositif

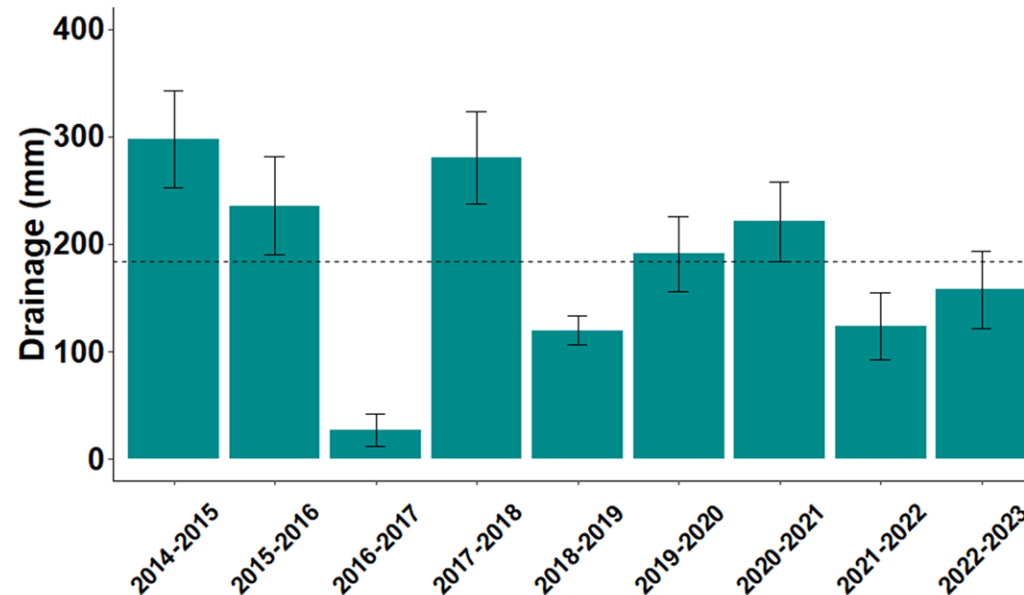
## Essai PROs



40 lysimètres à mèche / 2 profondeurs : 40 et 90 cm / 2 réplicats

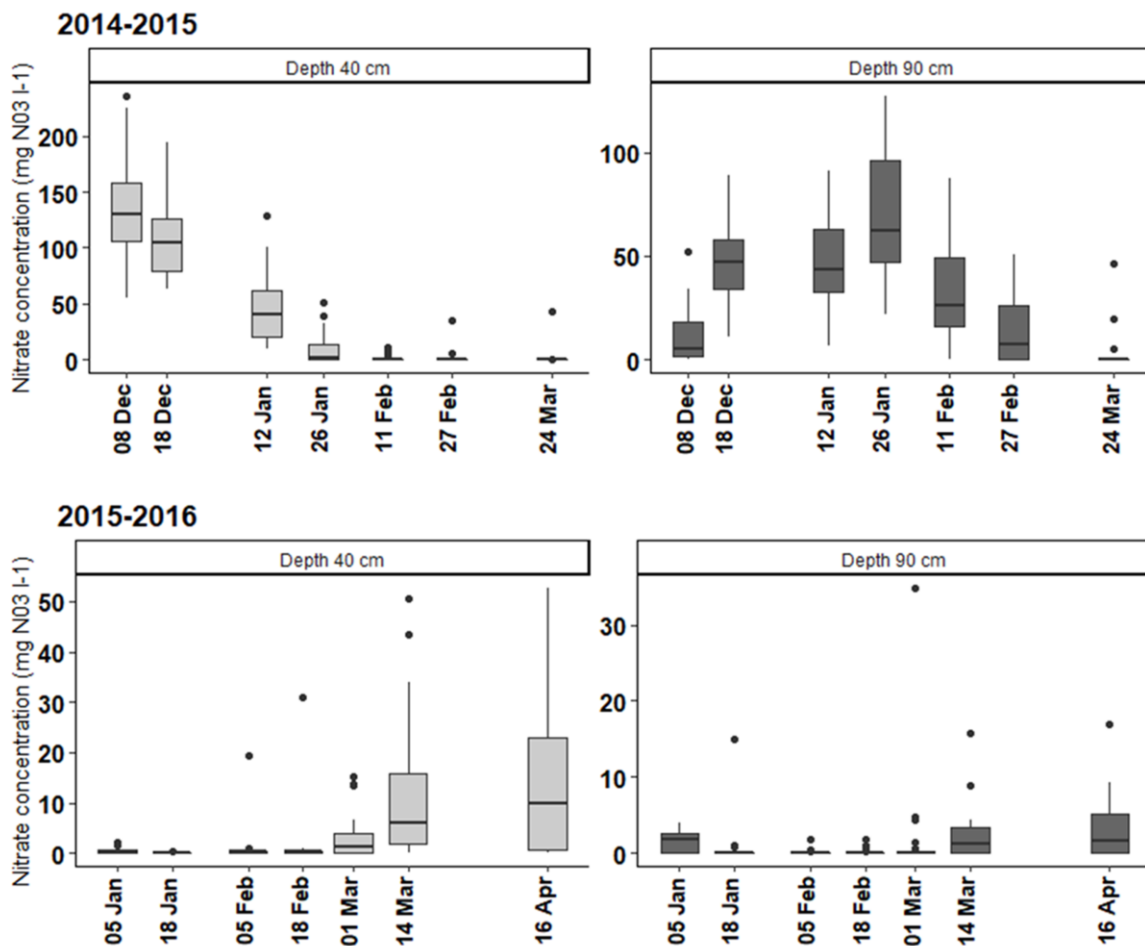


## Drainage moyen automne/hiver



- 5 à 10 dates de collecte sur l'automne/hiver. Drainage cumulé : 27 à 298 mm selon les années, moyenne 188 mm.
- Drainage moyen proche du bilan hydrique -- > composition de l'eau échantillonnée représentative de l'eau de percolation
- Pb de nappe à très faible profondeur, les années de forte pluviométrie (2013-2014, 2023-2024)

# ➤ Dynamiques de lixiviation



Sol quasi nu pendant l'hiver, sous blé : concentrations élevées en nitrate à 40 cm, au début du drainage, et éluviation du nitrate sur le profil de sol pendant l'hiver



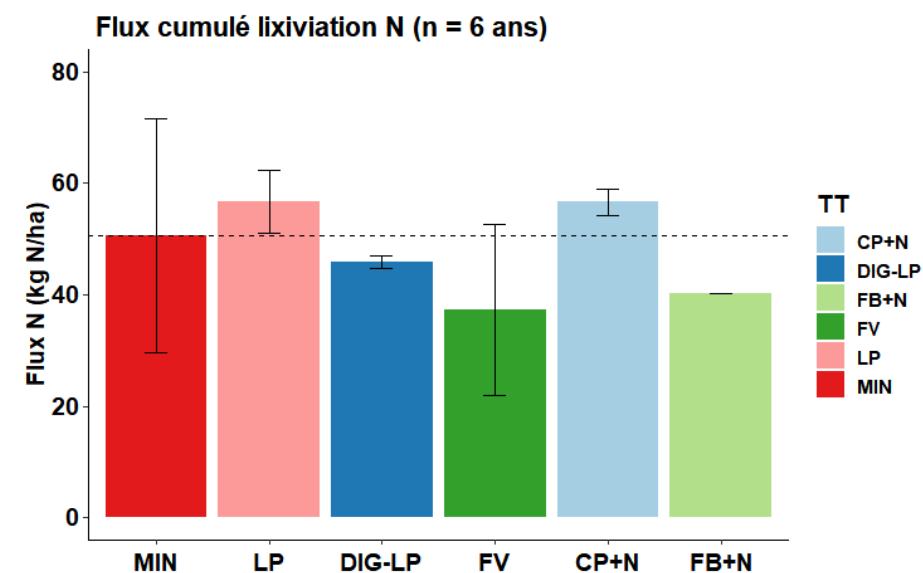
Efficacité du piégeage de l'azote par le couvert : très faibles concentrations en nitrates en surface et en profondeur jusque début mars

Morvan et al, 2020

## ➤ Flux de lixiviation N (profondeur 90 cm)

Saison de drainage	Couverture végétale	Drainage (mm)	Pertes N (kg N ha <sup>-1</sup> )	Effet traitement
2014-2015	Blé	298	24.2 ± 9.0	n.s.
2016-2017	Blé	27	6.1 ± 5.0	n.s.
2017-2018	CI Moutarde	281	0.14 ± 0.2	n.s.
2018-2019	Blé	120	15.2 ± 6.1	P<0.01
2019-2020	CI Moutarde	191	--	--
2020-2021	CI Moutarde	221	2.1 ± 1.0	n.s.
2021-2022	Blé	124	7.2 ± 2.9	n.s.
2022-2023	CI Multispèces	158	0.8 ± 0.9	n.s.

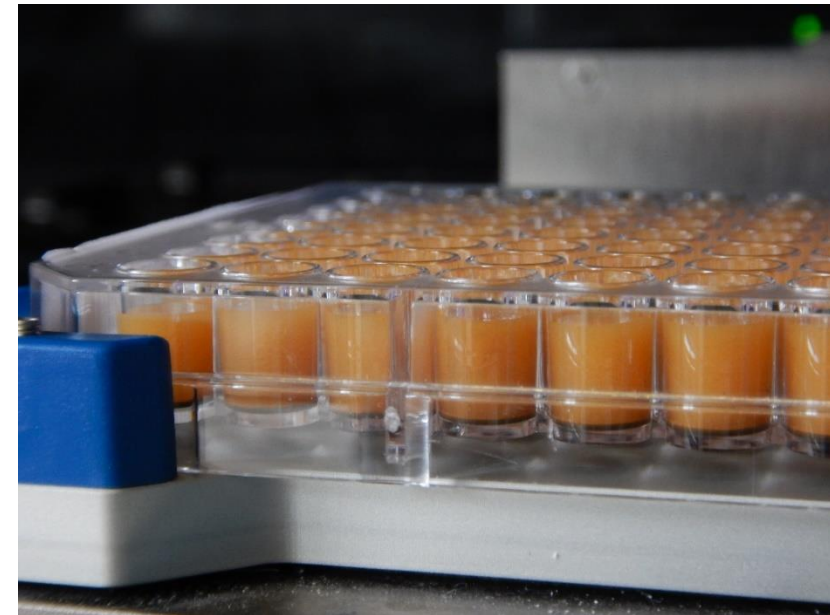
- Confirmation de l'effet très hautement significatif du CI
- Absence d'effet significatif du traitement expérimental, sauf en 2018-2019 ( $CP+N > FB+N > MIN - DIG-LP - LP > FV$ )
- Pas d'effet significatif du traitement sur les pertes cumulées sur toutes les années (6 à 9 kg N/ha an en moyenne)



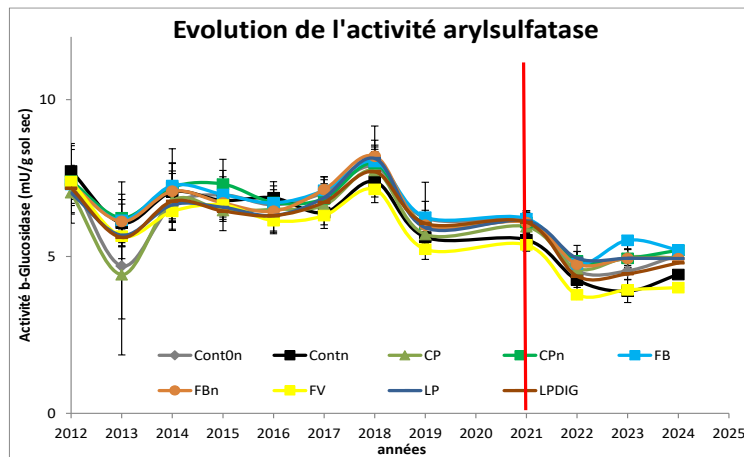
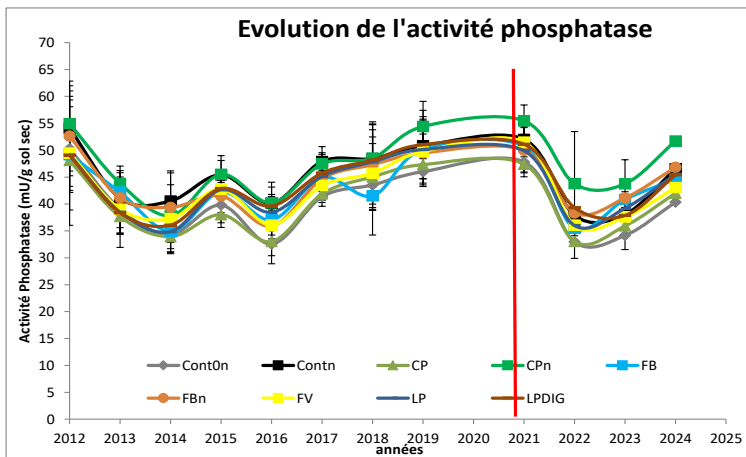
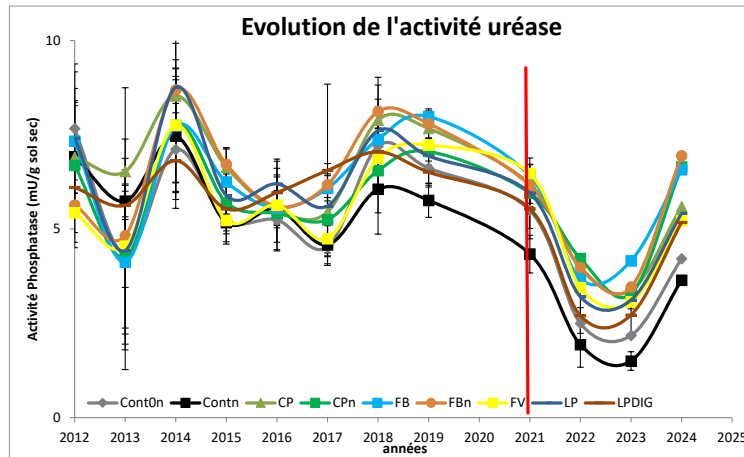
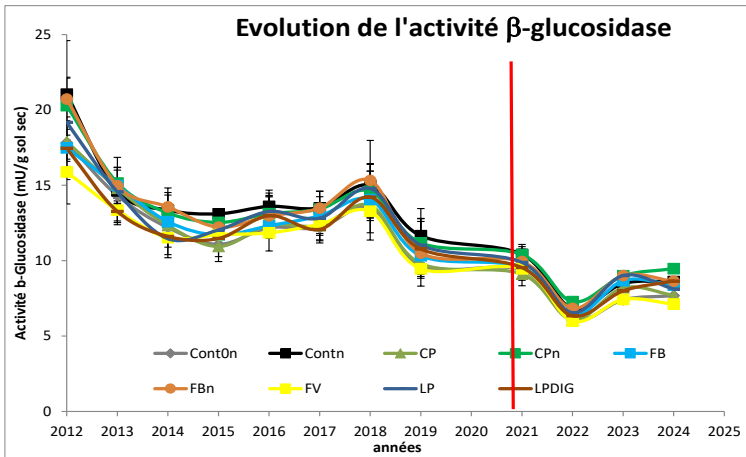
Références utiles pour l'évaluation et la calibration de modèles sol-plante (STICS...). Participation au Réseau Lysimétrie Français - PEPR OneWater

## ➤ Focus 2 – Monitoring sol annuel

### Indicateurs enzymatiques

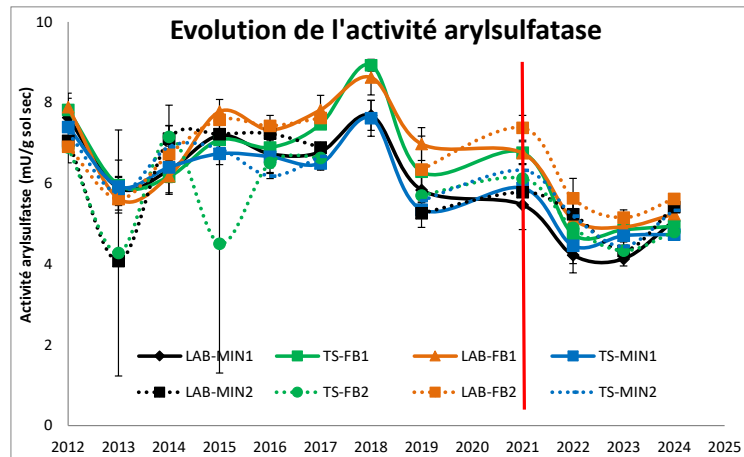
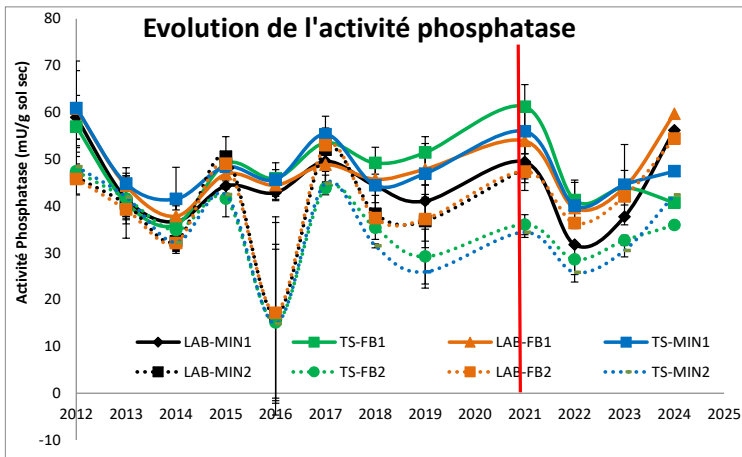
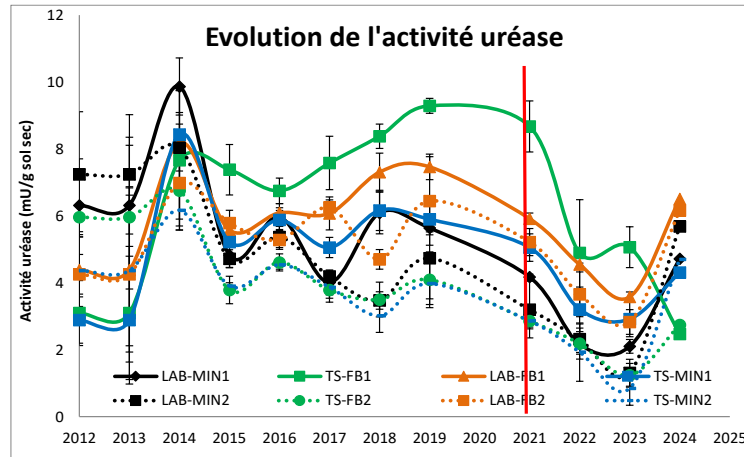
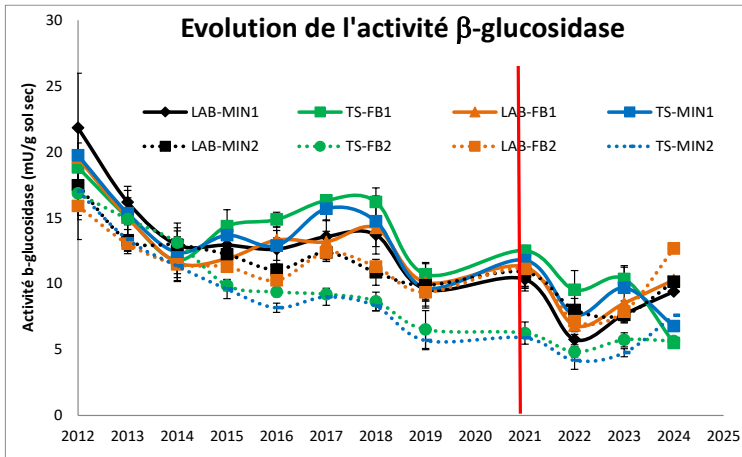


# ➤ Activités enzymatiques – essai PROs



- Activités dans la « gamme grandes cultures » pour C et S, faible pour N (y compris arylamidase) et élevée pour P
- Plutôt une tendance à la baisse pour C et N depuis 2012, pas d'évolution nette pour les autres cycles
- Effet négatif du changement de pratiques en 2021 avec récupération

# ➤ Activités enzymatiques – essai TS/MO



Cycle	Enzyme	Effet horizon	Effet labour	Effet PRO	Effet Lab + PRO
C	β-GLU	++ TS	/	/	/
N	URE	+ LAB + TS	/	+ LAB H1	+++ H1
N	ARN	/	/	++ LAB H1 +++ TS H1	++ H1
P	PHOS	+++ TS	/	+ LAB H1	/
S	ARS	/	+	+++ H1	/

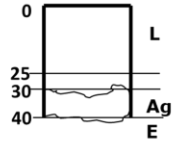
- Globalement l'arrêt du labour conduit à un horizon de surface plus actif (sauf S)
- Les activités sont les plus importantes dans les parcelles en TS et apport de fumier
- P semble plus sensible à la profondeur de prélèvement, N au travail du sol et apport de fumier
- On retrouve l'effet du changement de pratiques en 2021

## ➤ Focus 3 – Monitoring sol quadriennal Evolution des stocks de Carbone



## ➤ Suivi des stocks de C

Essai PROs :  
3 soil layers



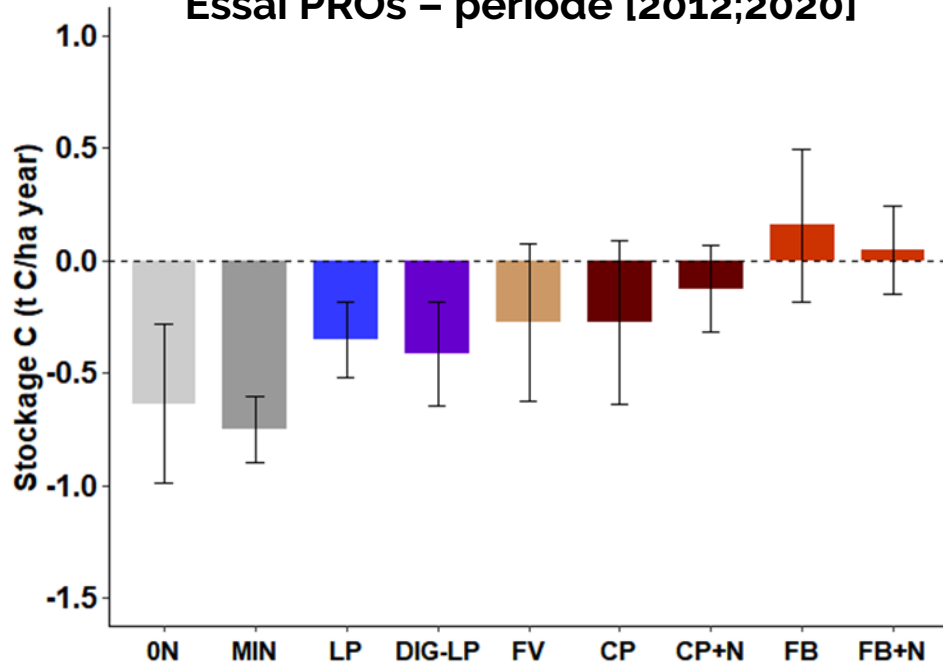
- Teneurs C
- Densité apparente



Calculs des stocks par la méthode de Masse de Sol Equivalente (ESM)

Projet IMMORTAL (2021-2023), coll. F. Ferchaud

Essai PROs – période [2012;2020]



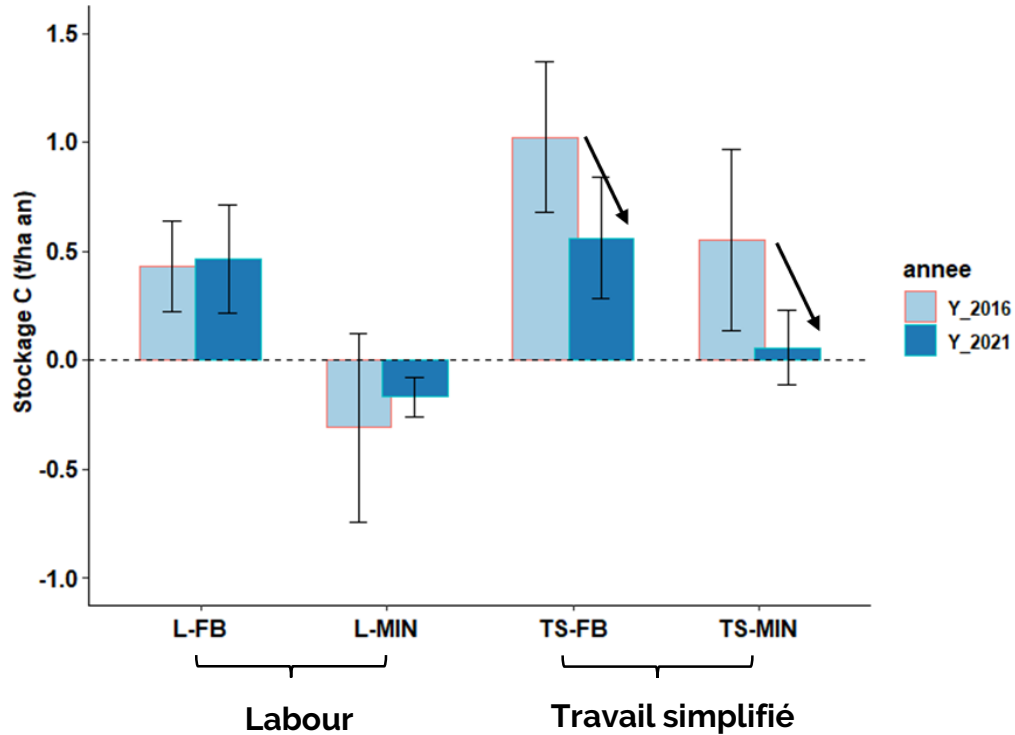
	Apports cumulés (t C ha <sup>-1</sup> )	Stockage C (t C ha <sup>-1</sup> )	Taux stockage
DIG-LP	5.5	3.0	<b>0.55</b>
LP	6.6	3.6	<b>0.55</b>
FV	5.6	4.3	<b>0.77</b>
CP	11.8	4.3	<b>0.36</b>
CP+N	11.8	5.6	<b>0.48</b>
FB+N	22.0	7.2	<b>0.33</b>
FB	22.0	8.2	<b>0.37</b>

- Diminution importante des stocks de C pour les 2 témoins ON et MIN (récolte de la totalité des parties aériennes des 2 cultures)
- Atténuation des pertes de C par LP, DIG-LP, FV et CP, compensation seulement avec le FB
- Taux de stockage variable du C des PROs - non expliqué pour FV



# ➤ Essai TS/MO

Taux de stockage annuel



## Analyse de variance sur le stockage en t C/ha

	2016	2021
Travail_sol	P<0.01	ns
Ferti	0.019	P<0.01
Interaction	ns	ns

- Effet significatif du mode de travail du sol sur la période [2012 ; 2016], non significatif sur [2012 ; 2021]
- Effet significatif de l'apport de FB, qui se renforce avec le temps
- Stockage de C résultant de l'apport de FB : 5.7 t C/ha en labour vs 4.5 t C/ha en travail du sol simplifié, en 2021 -- > hypothèse d'une minéralisation plus forte du FB en TS du fait de son enfouissement superficiel ( $O_2$ ...)

Mobilisation de ces données pour évaluer et calibrer des modèles d'évolution des stocks de C (AMG, RothC...) -- > ex du projet ALAMOD du PEPR FairCarboN

## ➤ Conclusion

'Richesse' des données produites par le monitoring, dont la valorisation se décline à plusieurs niveaux :

- **Apports de références** : *pertes par lixiviation du nitrate et autres éléments, référentiels sur les indicateurs de qualité biologique des sols, stockage de C et autres éléments, valorisation de l'azote des PROs par les cultures, reliquats N, stabilité structurale des sols, bilan d'énergie des systèmes de culture ...*
- Formulation d'hypothèses sur les processus, **élaboration de questions de Recherche** -- > *exemple du questionnement sur le rôle de la couverture végétale et du type de PRO sur les flux de COD dans les sols, issu de l'analyse des données lysimétriques -- > projet de recherche DEDICASS (2021-2023) et thèse (A.F. Didelot)*
- Données essentielles pour la **modélisation** (STICS, RothC, CERES, AMG, DAYCENT...) - approche **intégrée des flux CN** entre les compartiments Eau/ Air / Sol et Végétaux rendue possible par l'instrumentation