



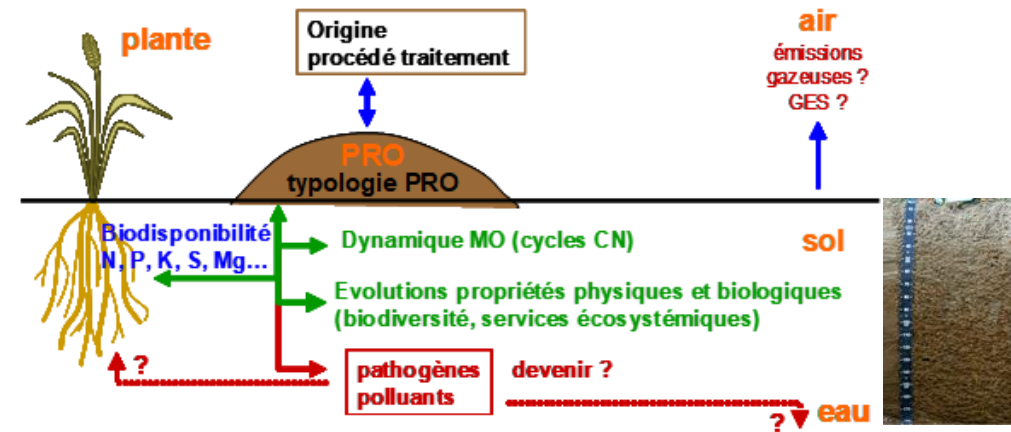
➤ Focus sur quelques résultats marquants résultant du suivi expérimental d'EFELE.

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

Forte potentialité agronomique de la parcelle : rendements moyens de 16 t MS/ha pour le maïs, et de 50 qx/ha pour le blé, sur le témoin ON

# ➤ 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

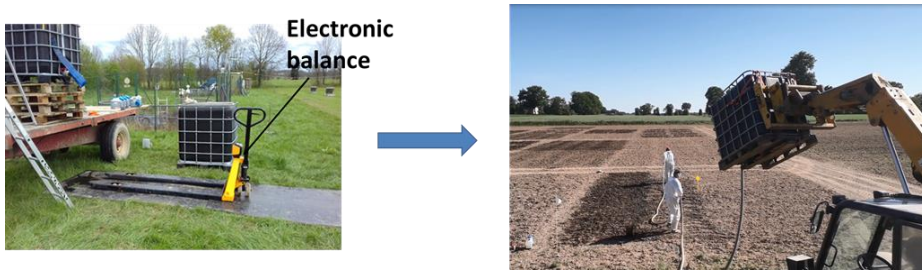
## ➤ Apports de fertilisants

- 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 Nitrates (*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)*

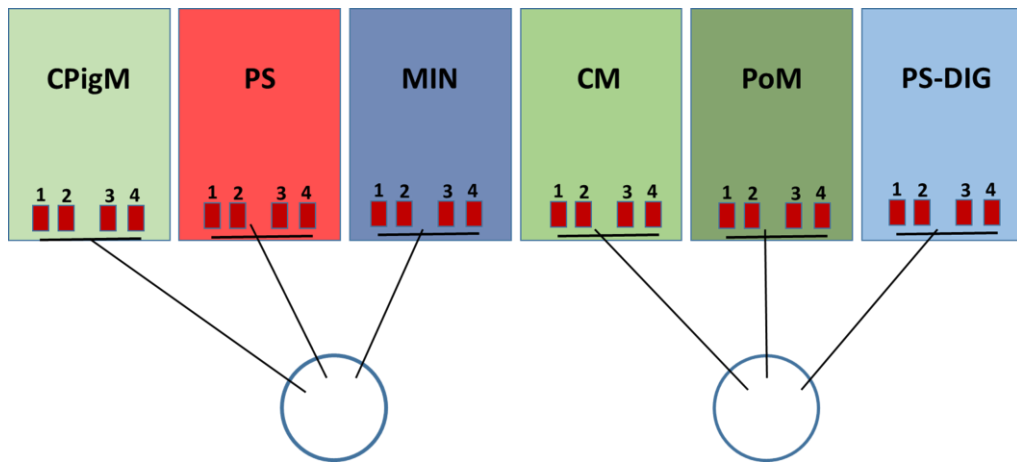
## ➤ Focus 1 - Monitoring Eau

### Lysimétrie et lixiviation du nitrate



# > Le dispositif

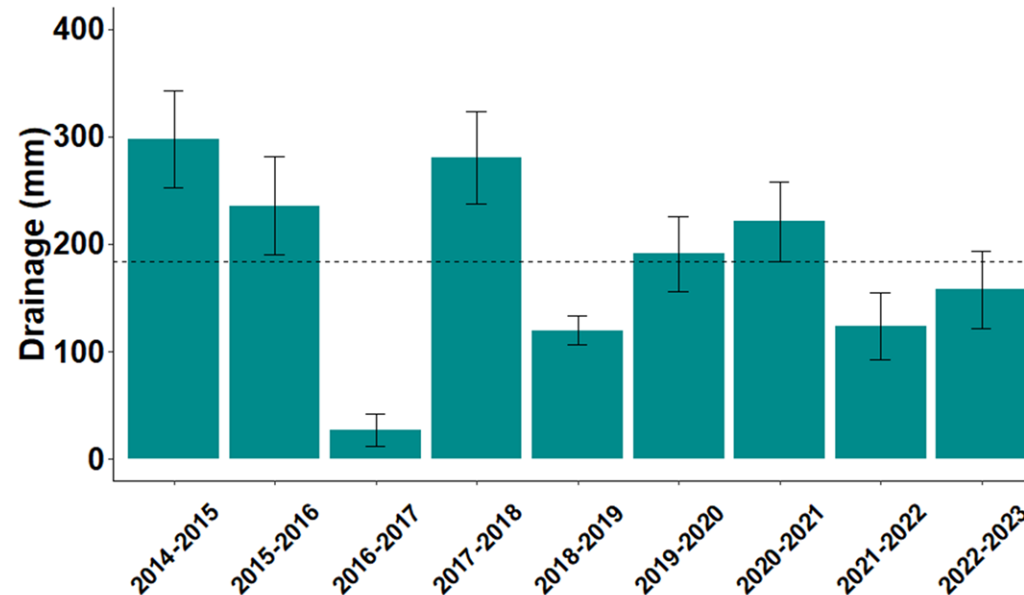
## Essai PROs



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



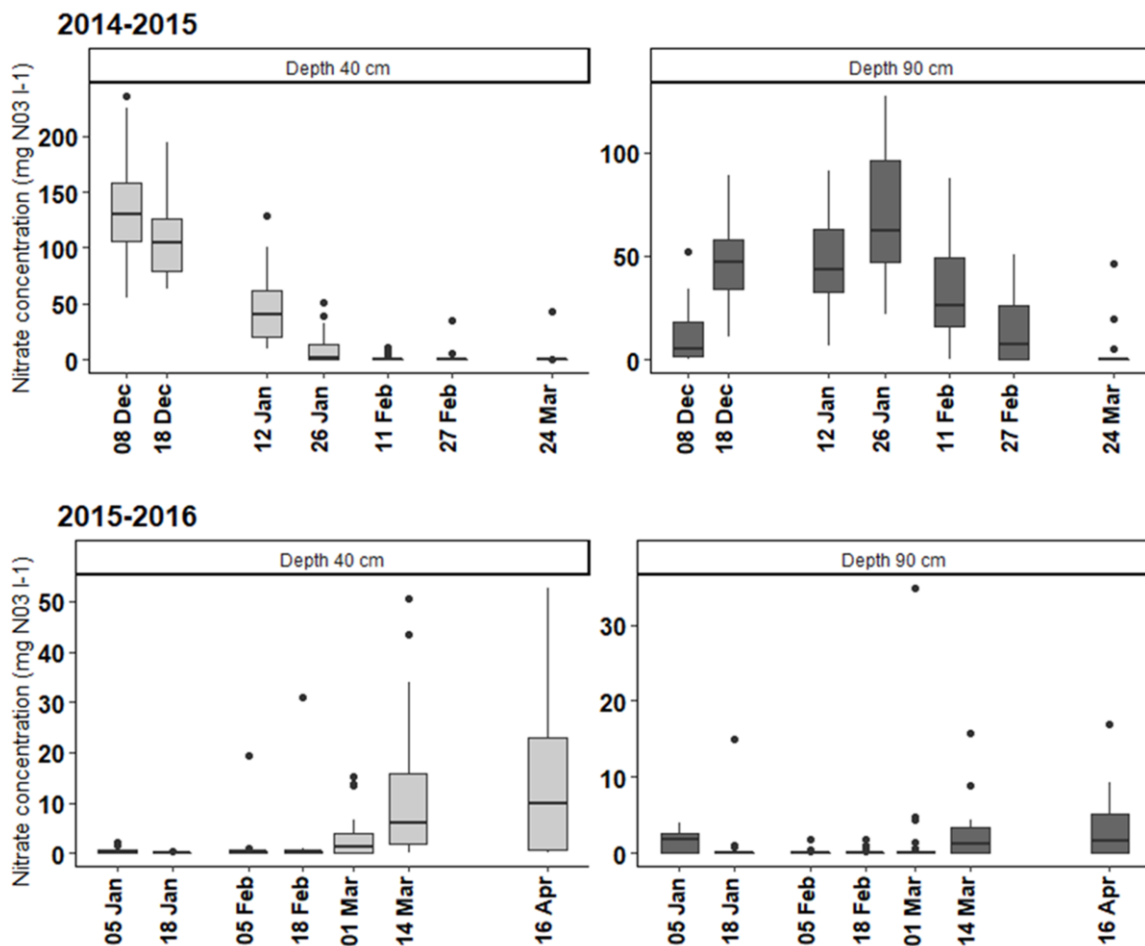
## Drainage moyen automne/hiver



- 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



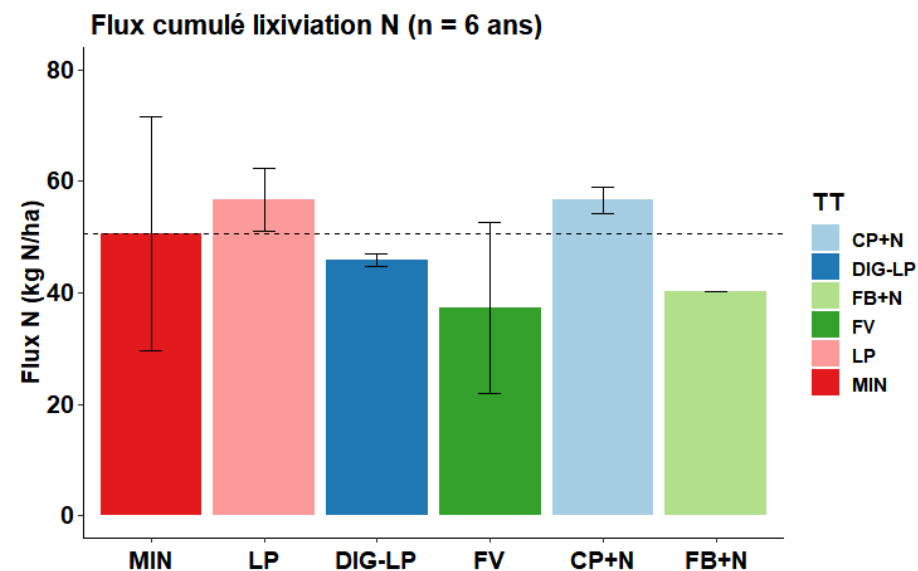
Efficacité du piégeage de l'azote par le couvert : très faibles concentrations en nitrates en surface et en profondeur jusque début mars

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.

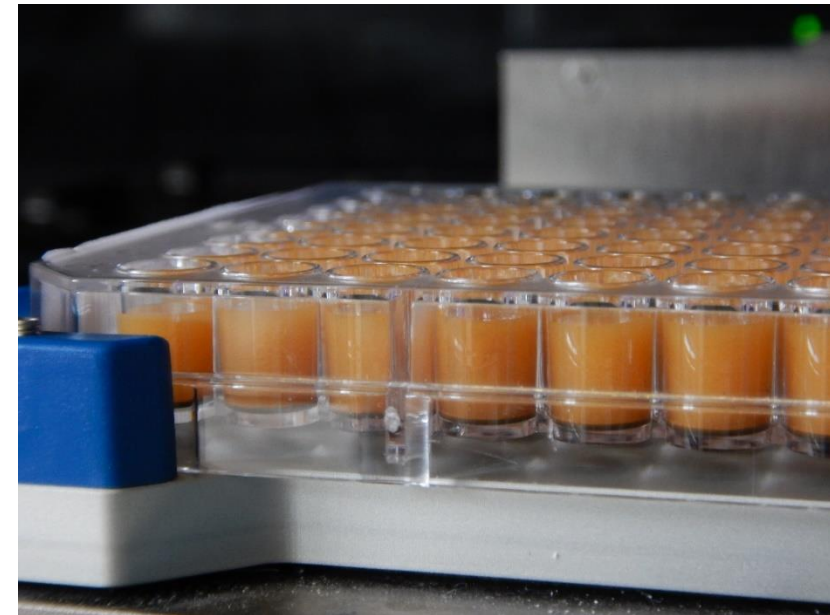
- Confirmation de l'effet très hautement significatif du CI
- Absence d'effet significatif du traitement expérimental, sauf en 2018-2019 ( $CP+N > FB+N > MIN - DIG-LP - LP > FV$ )
- Pas d'effet significatif du traitement sur les pertes cumulées sur toutes les années (6 à 9 kg N/ha an en moyenne)



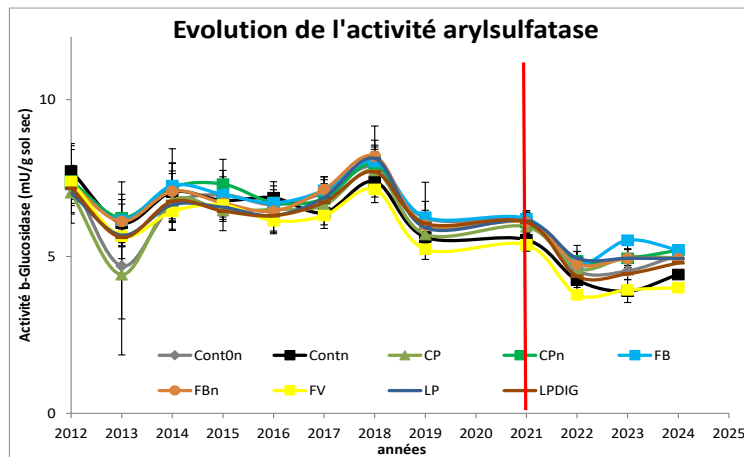
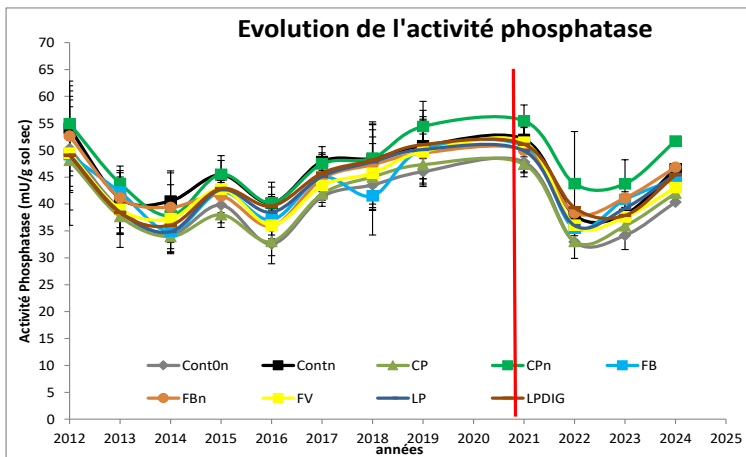
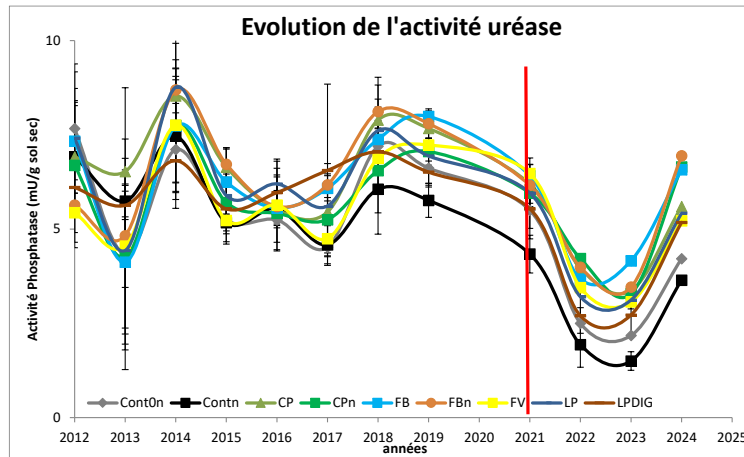
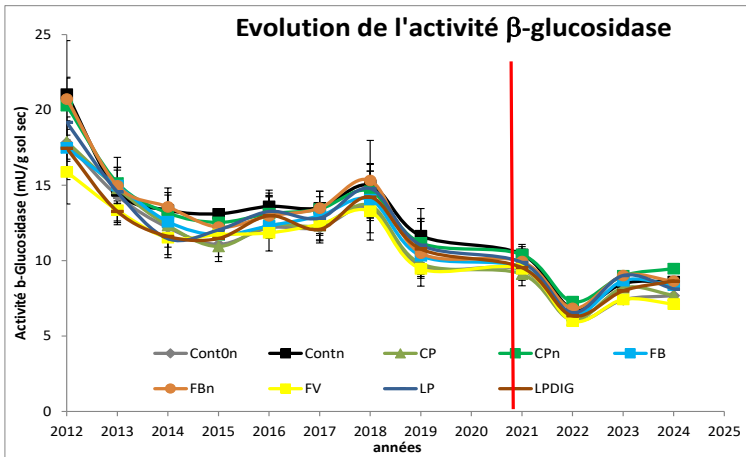
Références utiles pour l'évaluation et la calibration de modèles sol-plante (STICS...). Participation au Réseau Lysimétrie Français - PEPR OneWater

## ➤ Focus 2 – Monitoring sol annuel

### Indicateurs enzymatiques

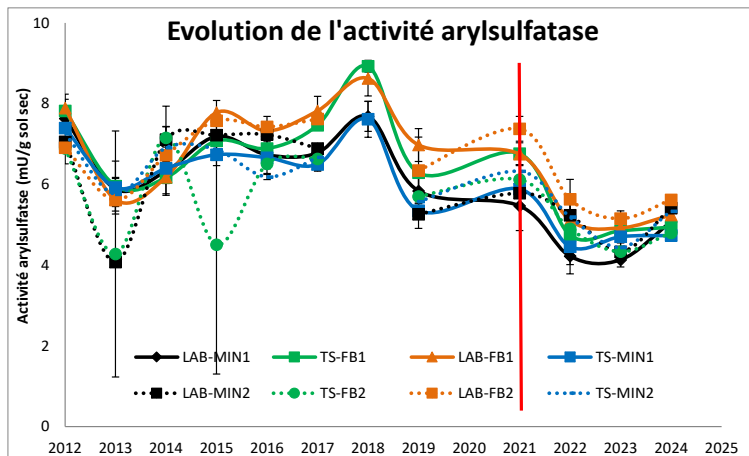
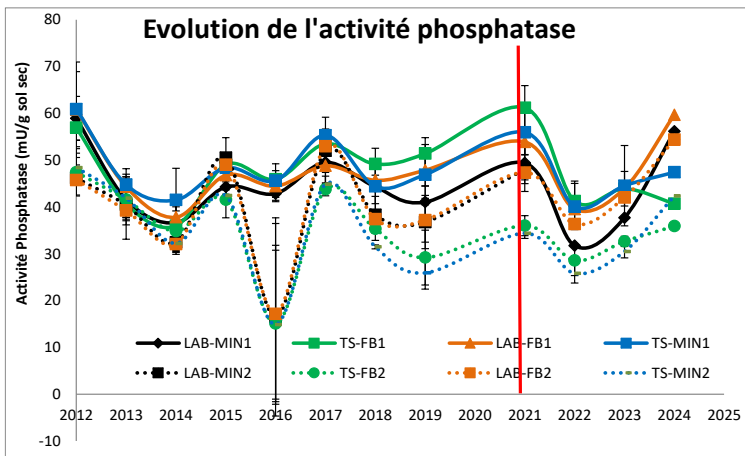
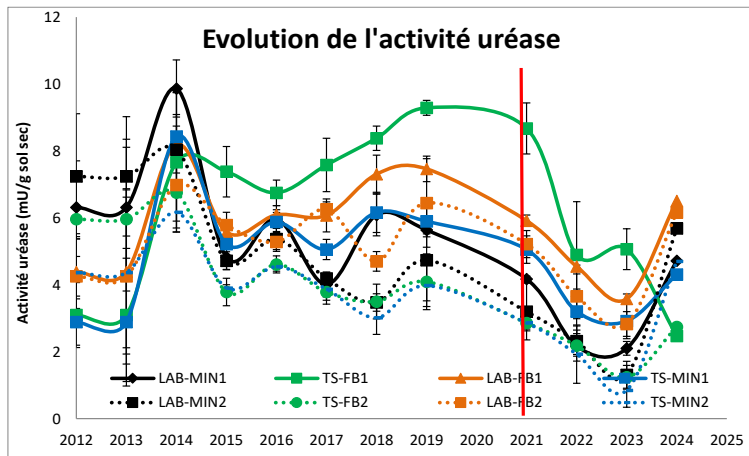
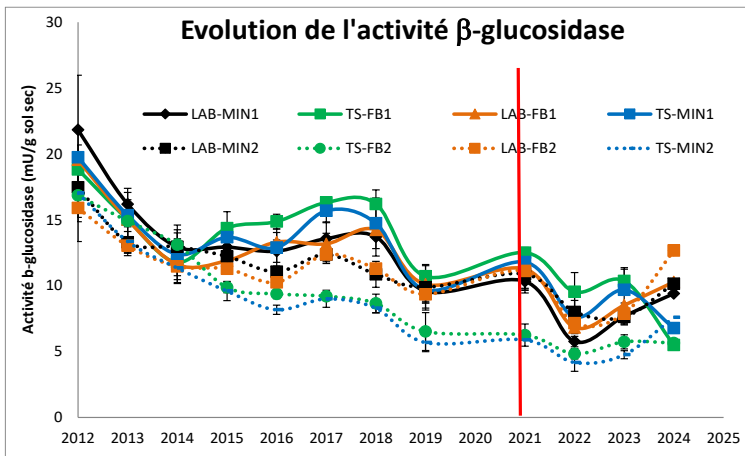


# ➤ Activités enzymatiques – essai PROs



- 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	/

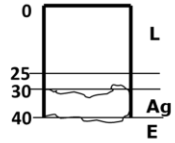
- Globalement l'arrêt du labour conduit à un horizon de surface plus actif (sauf S)
- Les activités sont les plus importantes dans les parcelles en TS et apport de fumier
- P semble plus sensible à la profondeur de prélèvement, N au travail du sol et apport de fumier
- On retrouve l'effet du changement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

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



## ➤ Suivi des stocks de C

Essai PROs :  
3 soil layers



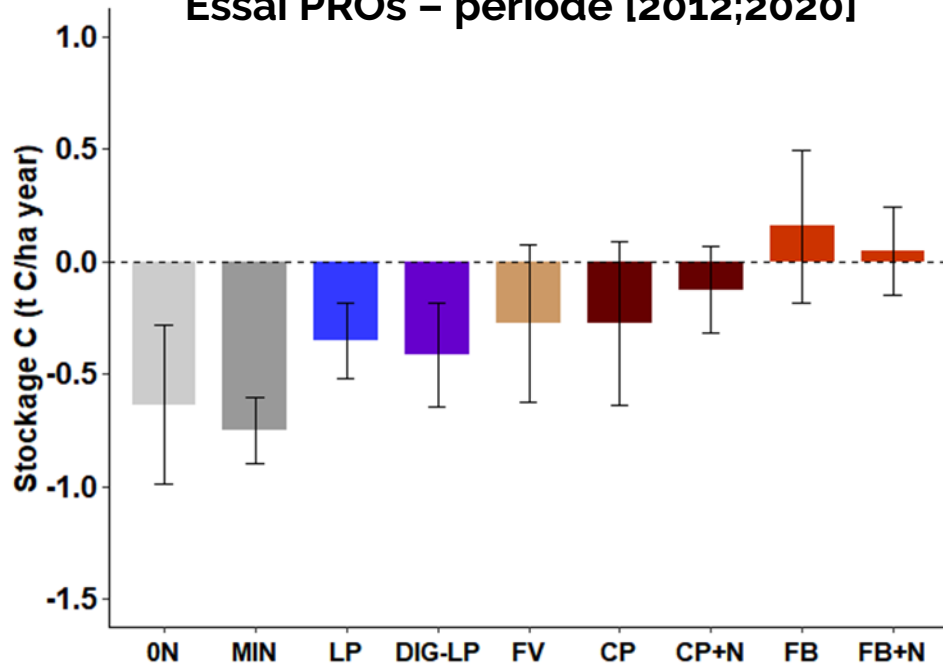
- Teneurs C
- Densité apparente



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

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

Essai PROs – période [2012;2020]



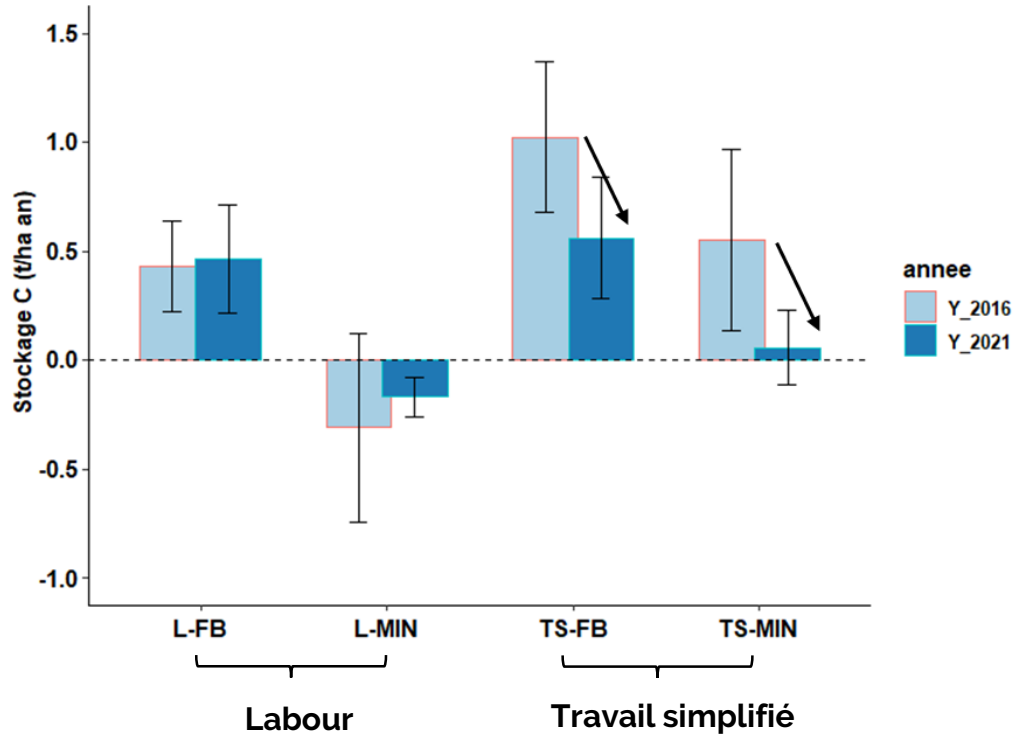
- Diminution importante des stocks de C pour les 2 témoins ON et MIN (récolte de la totalité des parties aériennes des 2 cultures)
- Atténuation des pertes de C par LP, DIG-LP, FV et CP, compensation seulement avec le FB

	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>

- 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

