

Déterminants de la variabilité des émissions de N₂O par des sols amendés par des PRO. Que nous apprennent une décennie de mesures sur EFELE et Qualiagro ?

C. Flechard, P. Buysse, P. Le Roy, C. Resseguier, F. Gaillard, G. Andronidis, T. Morvan

UMR SAS-Rennes + ECOSYS-Palaiseau




Les PRO comme levier d'atténuation des émissions N₂O dans les systèmes de culture ?

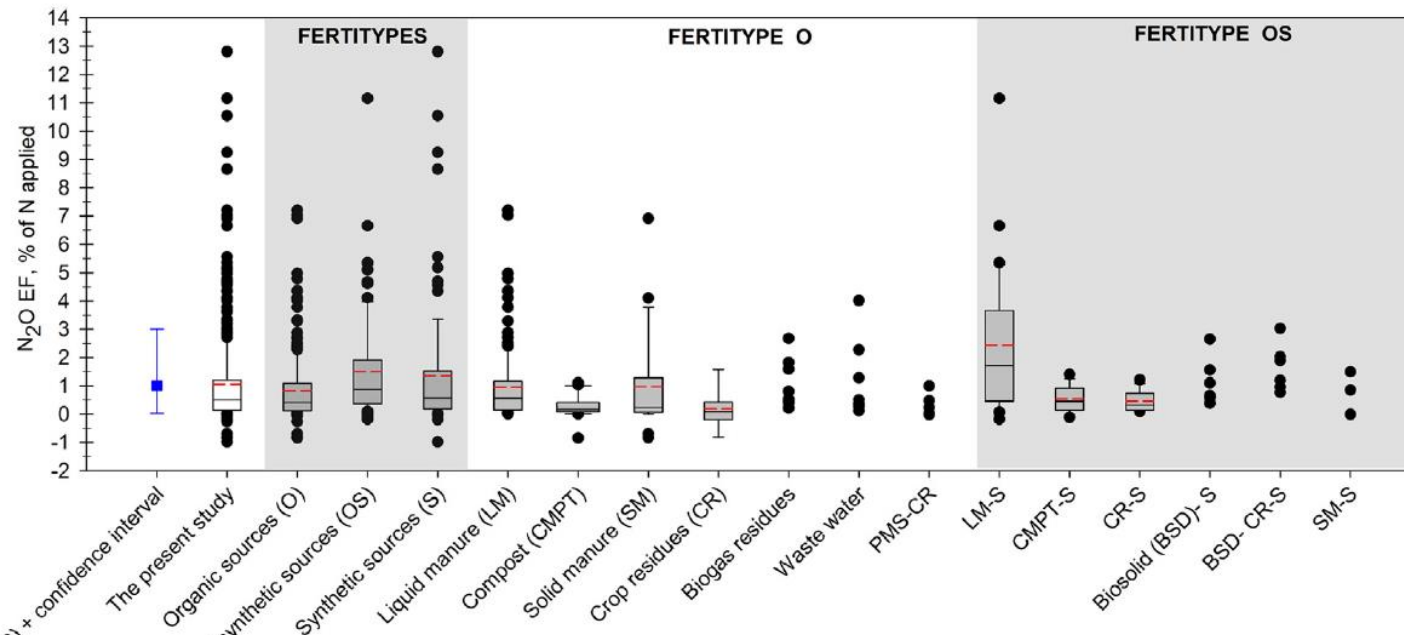


Pellerin et al., Synthèse INRA 2013

QUELLE CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE FRANÇAISE À LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ?

	Actions	Sous-actions
	Diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés	
	<p>1 Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse, en les utilisant mieux et en valorisant plus les ressources organiques, pour réduire les émissions de N₂O</p>	<p>A. Réduire la dose d'engrais minéral en ajustant mieux l'objectif de rendement</p> <p>B. Mieux substituer l'azote minéral de synthèse par l'azote des produits organiques</p> <p>C1. Retarder la date du premier apport d'engrais au printemps C2. Utiliser des inhibiteurs de la nitrification C3. Enfourir dans le sol et localiser les engrais</p>

Grande variabilité des données EF_{N2O} /PRO dans la littérature



Charles et al. (2017)

AGEE, doi: 10.1016/j.agee.2016.11.021

A detailed review of literature was carried out until June 13, 2014 with Scopus (1960–2014) and CAB Abstracts (1910–2014) research databases using the key words listed in Tables S1 combined with Boolean Operators. It retrieved 1064 papers published in peer-reviewed journals (Fig. S1). The following inclusion criteria were applied to screen studies in a standardized manner; which resulted in the retention of 38 studies:

- N₂O fluxes were measured from agricultural soils for at least 30 d (modelling outputs excluded, grazing pasture and paddy soils excluded).
- Unamended soils that received no fertilizer/amendment addition were used as control.
- Soils were amended with organic by-products with or without synthetic fertilizers.
- Information on chemical properties of amendments and application rates was available to estimate the relative contribution of the applied materials (e.g., total N input) to cumulative N₂O fluxes.

- Robustesse d'un facteur d'émission mesuré sur seulement 1 mois?
- Quelle durée minimum de mesures à effectuer pour caractériser l'interaction PRO <-> agro-système (>1-2 ans?)

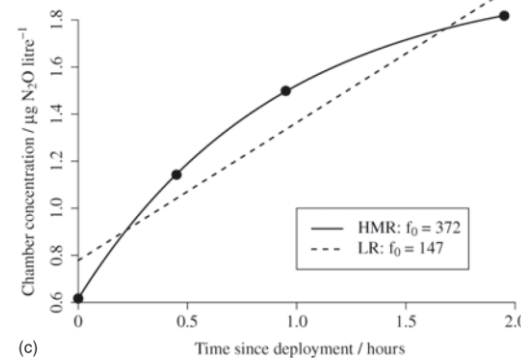
Objectifs scientifiques des mesures de flux N₂O sur les sites EFELE et QualiAgro

- ❑ Comparer/hiérarchiser des traitements PRO d'origines agricole et urbaine
- ❑ Attribution des émissions : fertilisation ? ou bien flux liés au fonctionnement biogéochimique « de fond » ?
- ❑ Facteurs de contrôle des émissions (météorologie, interventions culturales, couvert, etc)
- ❑ Facteurs d'émission long terme (échelle temporelle rotation)
- ❑ Jeux de données pour paramétrage/calibration de modèles d'écosystème/culture

Méthodes

- ❑ Dispositifs automatisés pour le monitoring long terme / haute fréquence des flux N₂O
- ❑ Chambres de sol à fermeture automatique (plusieurs mesures /jour /chambre)
- ❑ Mesures 24/24, 365/365 (hors retrait des chambres pour les opérations culturales)
- ❑ Analyse en continu (flow-through) de la concentration N₂O (+ CO₂) par analyseur IR
- ❑ Flux de sol calculé à partir de dC/dt (algorithme HMR, Pedersen et al., EJSS 2010, doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01291.x)

<https://cran.r-project.org/web/packages/HMR/index.html>



Colloque SOERE PRO, Rennes, 2 octobre 2024

Traitements de fertilisation / PRO suivis pour N₂O sur EFELE et QualiAgro

- **EFELE: mesures flux N₂O depuis 2013**

- Rotation bi-annuelle blé-moutarde-maïs *4 sur période 2013-2020
- Changement de rotation en 2021 (maïs, blé, sorgho, blé-pois)
- 4 traitements comparés pour N₂O
 - fertilisation NH₄NO₃ (**AN**) depuis 2013
 - lisier de porc (**PS**) depuis 2013
 - fumier bovin (**FB**) depuis 2020
 - Digestat lisier de porc (**DG**) depuis 2023

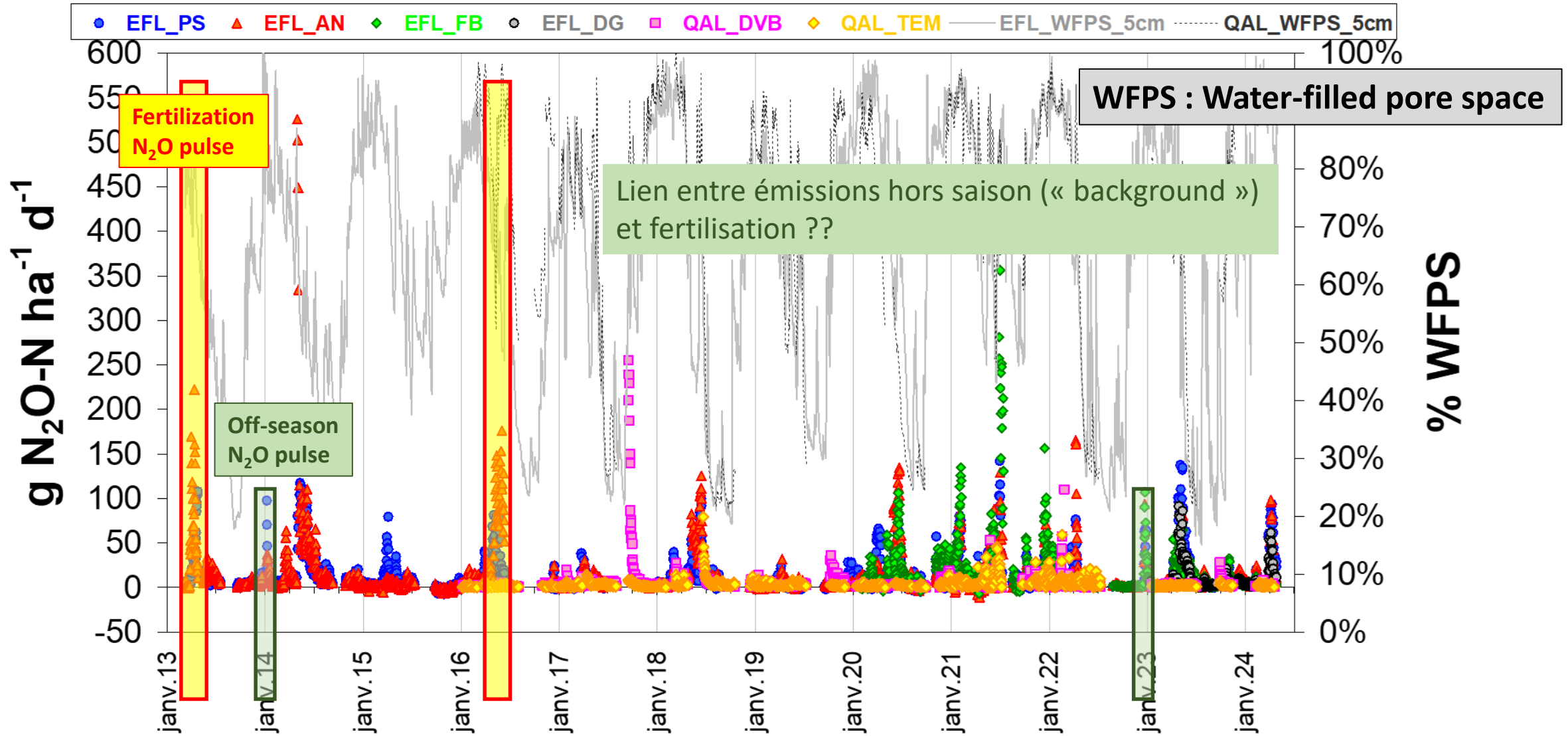


- **QualiAgro: mesures flux N₂O depuis 2016**

- Succession culturale 2015 Orge, 2016 Seigle, 2017 Orge, 2018 Maïs, 2019 Blé, 2020 Maïs, 2021 Blé, 2022 Seigle, 2023 Seigle
- 2 traitements comparés pour N₂O
 - fertilisation mixte **DVB** (compost boues de station d'épuration urbaine avec des déchets verts) + engrais (AxeNP/N12)
 - Témoin **TEM** fertilisation engrais (AxeNP/N12)



Daily N₂O flux data EFELE + QualiAgro 2013-2024



Interprétation des données de flux N₂O: questions méthodologiques

- Des flux N₂O horaires/instantanés aux facteurs d'émission: comment intégrer dans le temps ?
 - Données manquantes (maintenance, interventions culturales, pannes instrumentales) → Gap-filling ??
 - Plus la durée d'intégration est longue, moins on comprend les facteurs de contrôle / la variabilité
 - **Quelle méthode / durée d'intégration est la plus pertinente pour comparer des PRO entre eux?**

- Comparaison des fractions émises (N₂O/N_{fert}) entre traitements/PRO

- Niveau 0

- $$EF_{\text{mean}} = \Sigma(F_{\text{N}_2\text{O}}) \{\text{multi-year}\} / \Sigma(N_{\text{fert}}) \{\text{multi-year}\} \text{ pour chaque traitement}$$

→ → Métrique + robuste ?

- Niveau 1

- $$EF_{\text{year}} = \Sigma(F_{\text{N}_2\text{O}}) \{1 \text{ year}\} / \Sigma(N_{\text{fert}}) \{1 \text{ year}\} \text{ pour chaque traitement / année culturale}$$

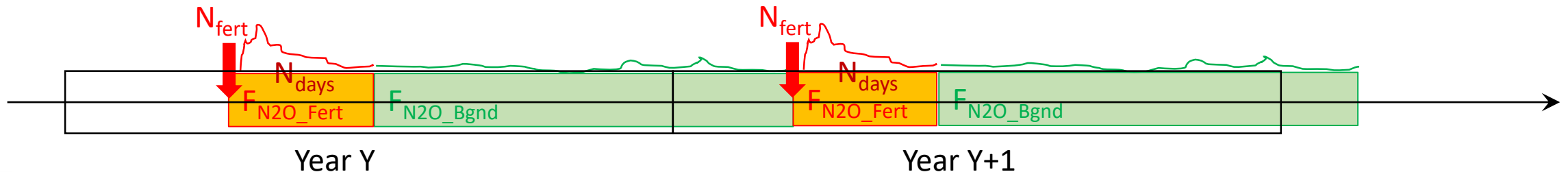
→ → Etudier effet culture ?

- Niveau 2

- $$EF_{\text{FertEvent}} = \Sigma(F_{\text{N}_2\text{O}}) \{N_{\text{days}}\} / N_{\text{fert}} \{\text{event X}\} \text{ pour chaque traitement / épisode de fertilisation}$$

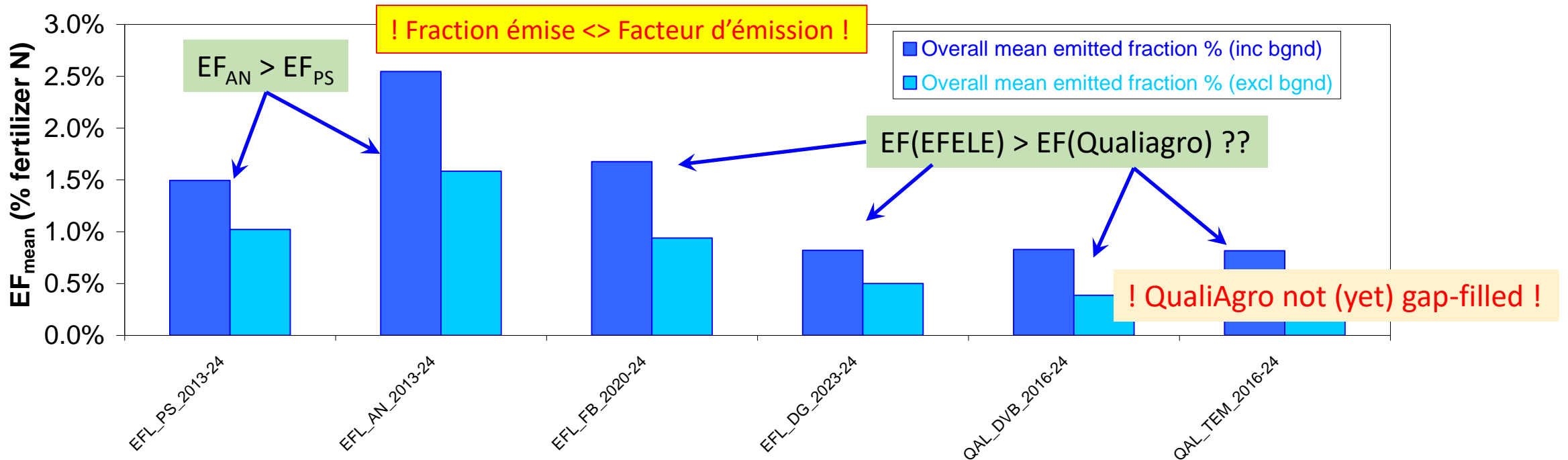
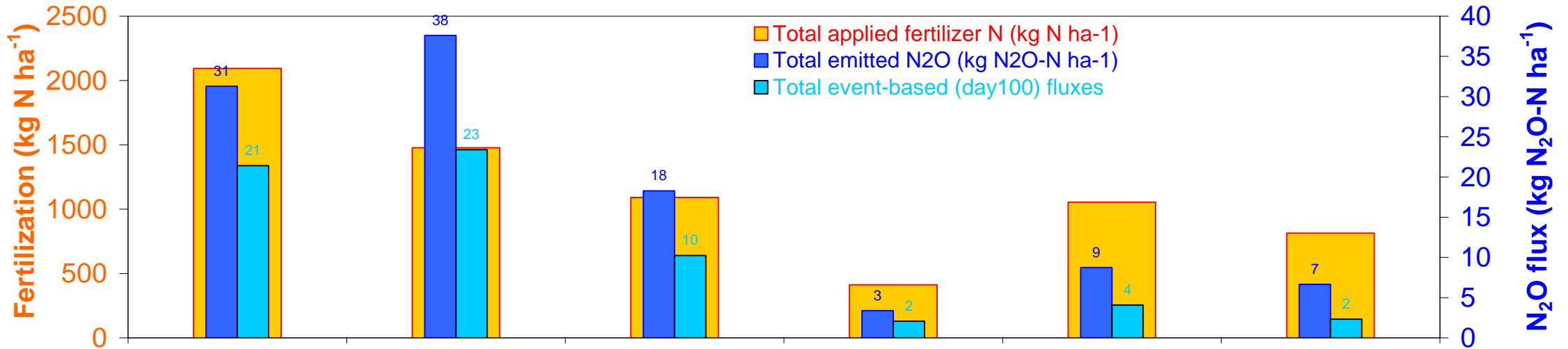
- N_{days} = nombre de jours pendant lesquels le flux N₂O est attribué à l'apport N (arbitraire !)
 - Au-delà de N days, flux N₂O de fond (« background ») ?

→ → Etudier facteurs de contrôle (météo, etc)?

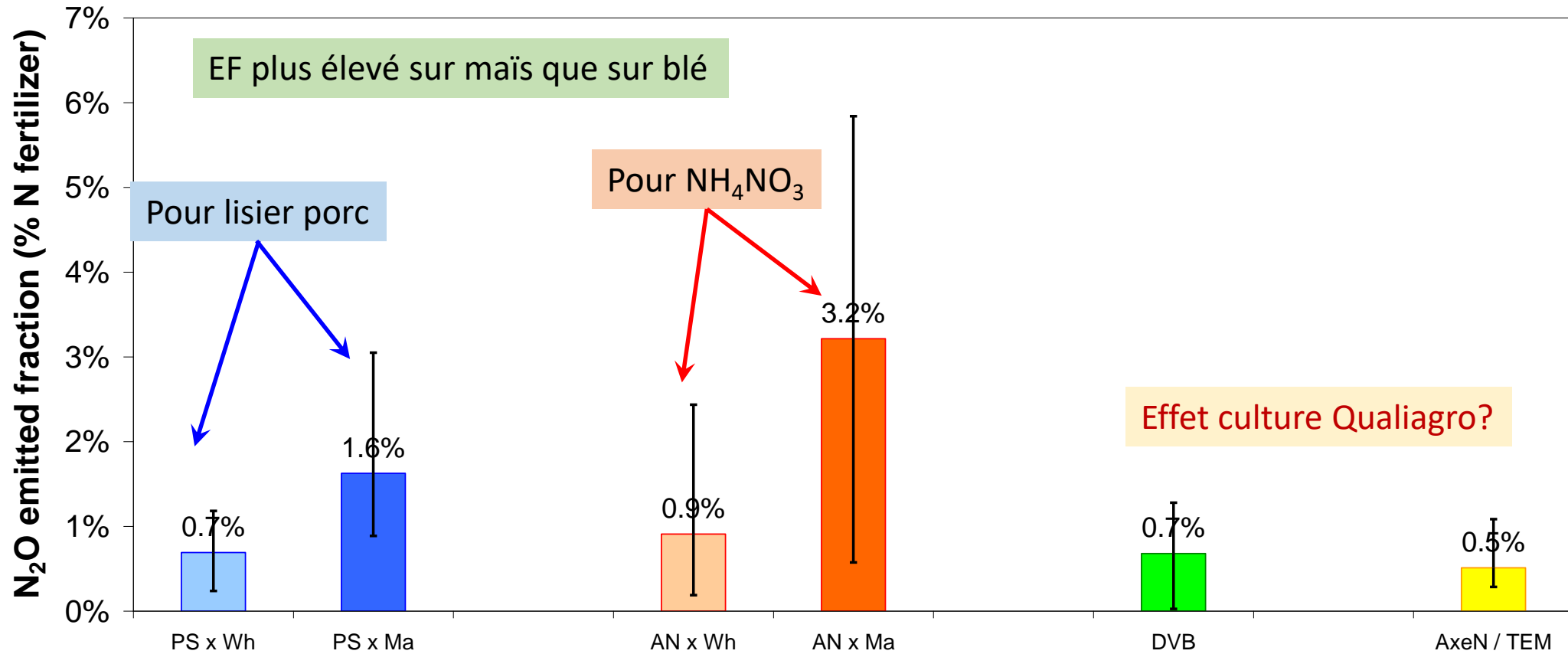


Intégration des flux niveau 0 : somme inter-annuelle

$$EF_{\text{mean}} = \Sigma(F_{\text{N}_2\text{O}}) \{\text{multi-year}\} / \Sigma(N_{\text{fert}}) \{\text{multi-year}\} \text{ pour chaque traitement}$$

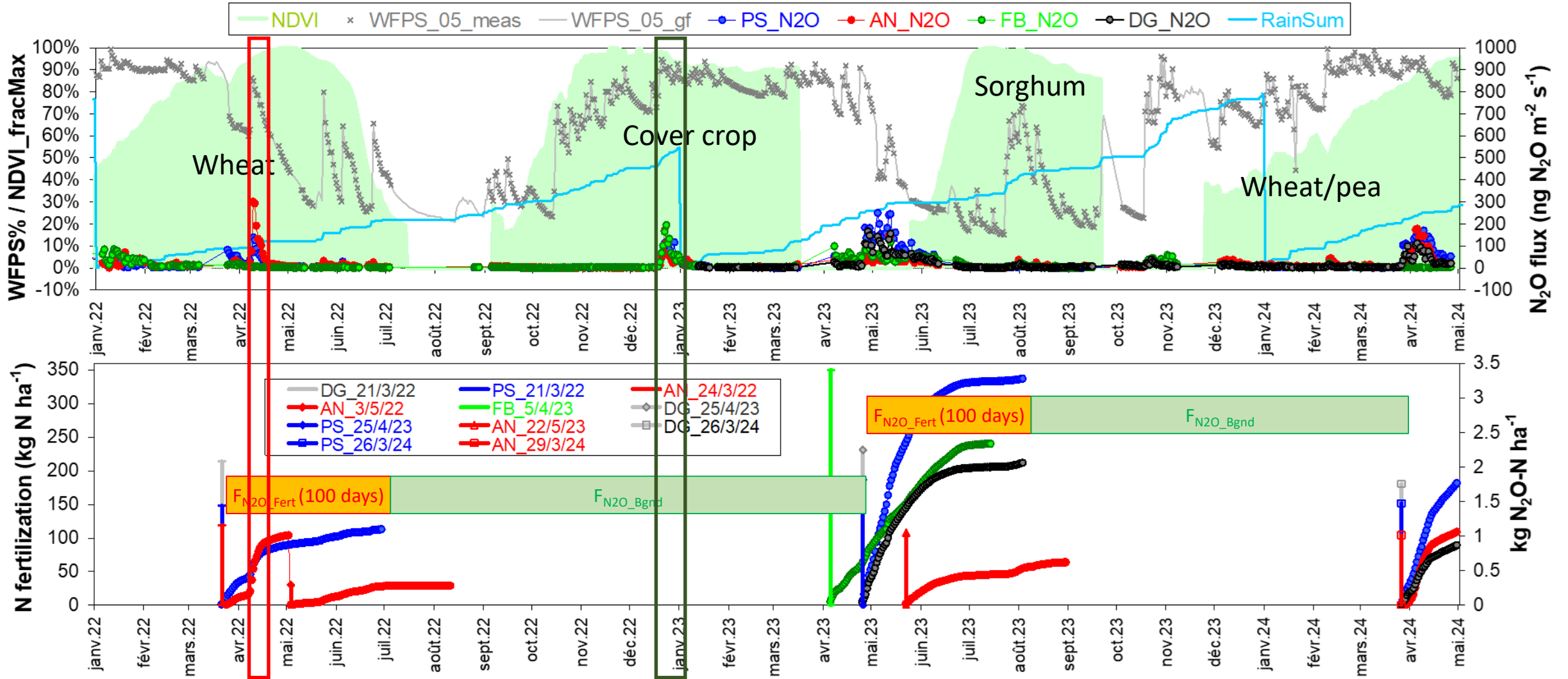


Intégration des flux niveau 1 : Effet de la culture ?



- Effet culture (culture d'hiver en place qui prélève N) ?
- Et/Ou effet épandage surface (culture d'hiver) versus enfouissement (avant maïs) ?

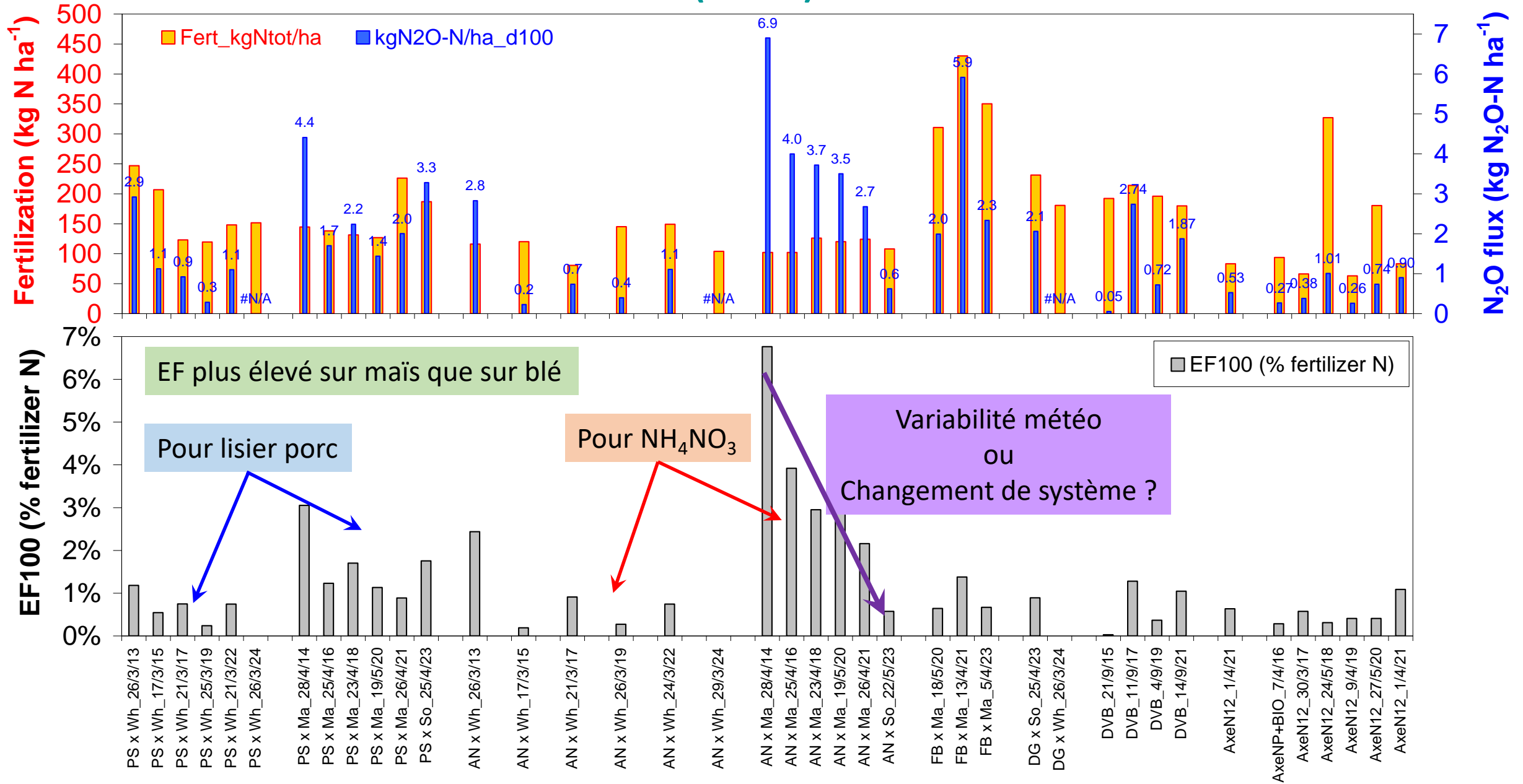
Intégration des flux niveau 2: Ndays = 100 jours (ex. EFELE 2022-2023)



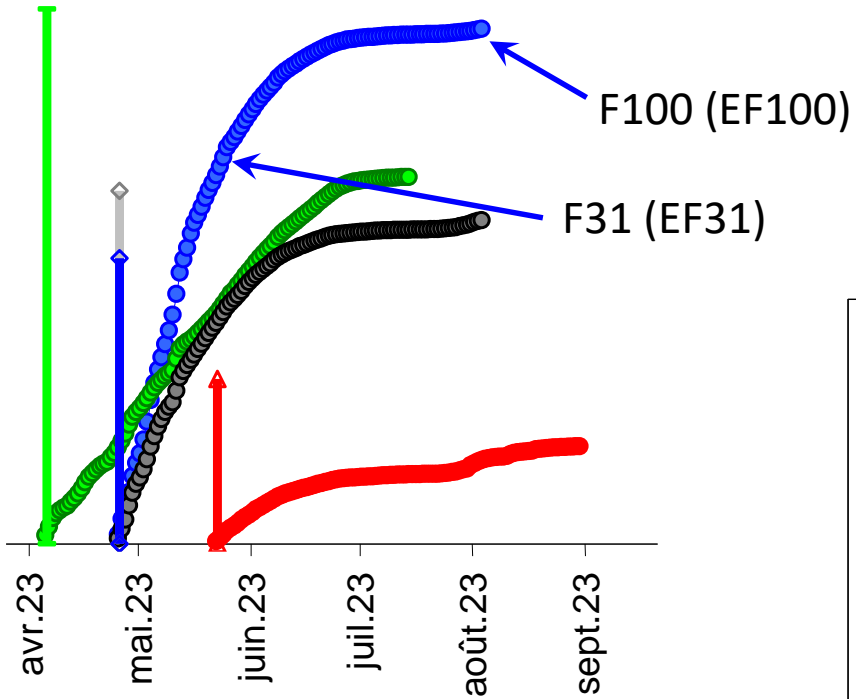
Rain-induced N₂O pulse

Off-season « background » pulse
(also rain-induced)

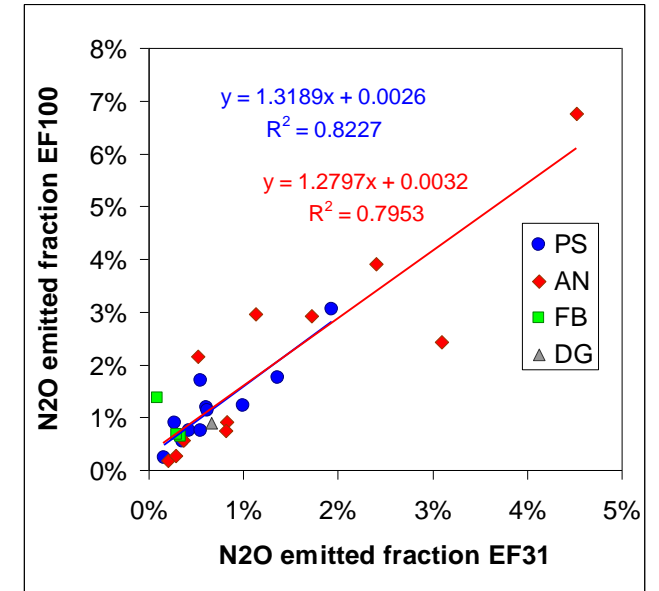
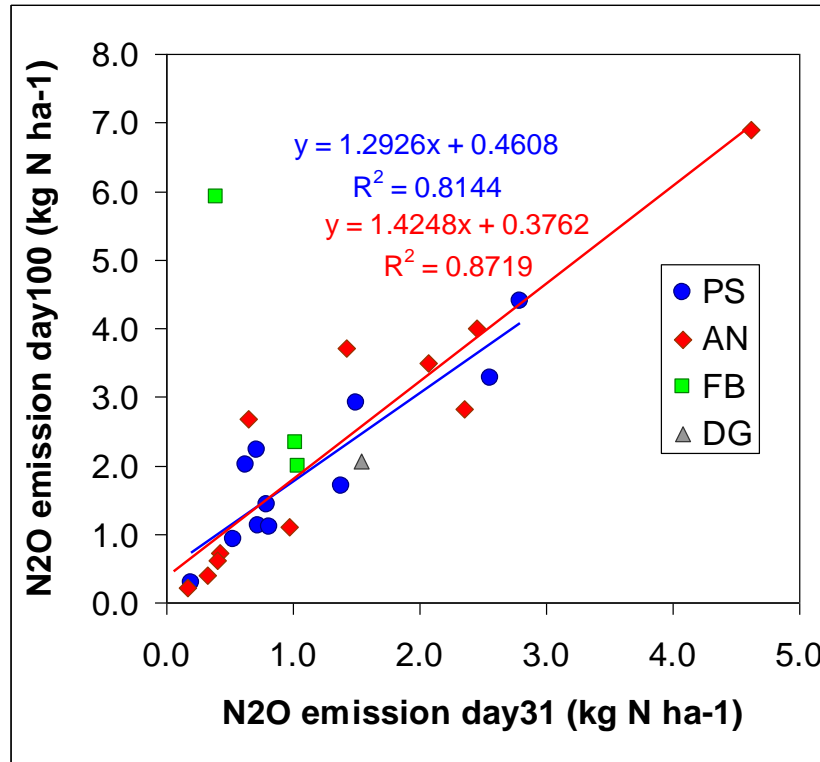
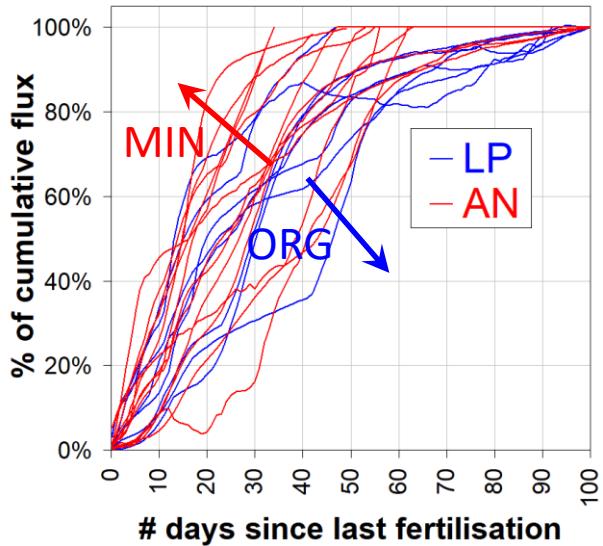
Forte variabilité interannuelle (EF100) : effet météo?



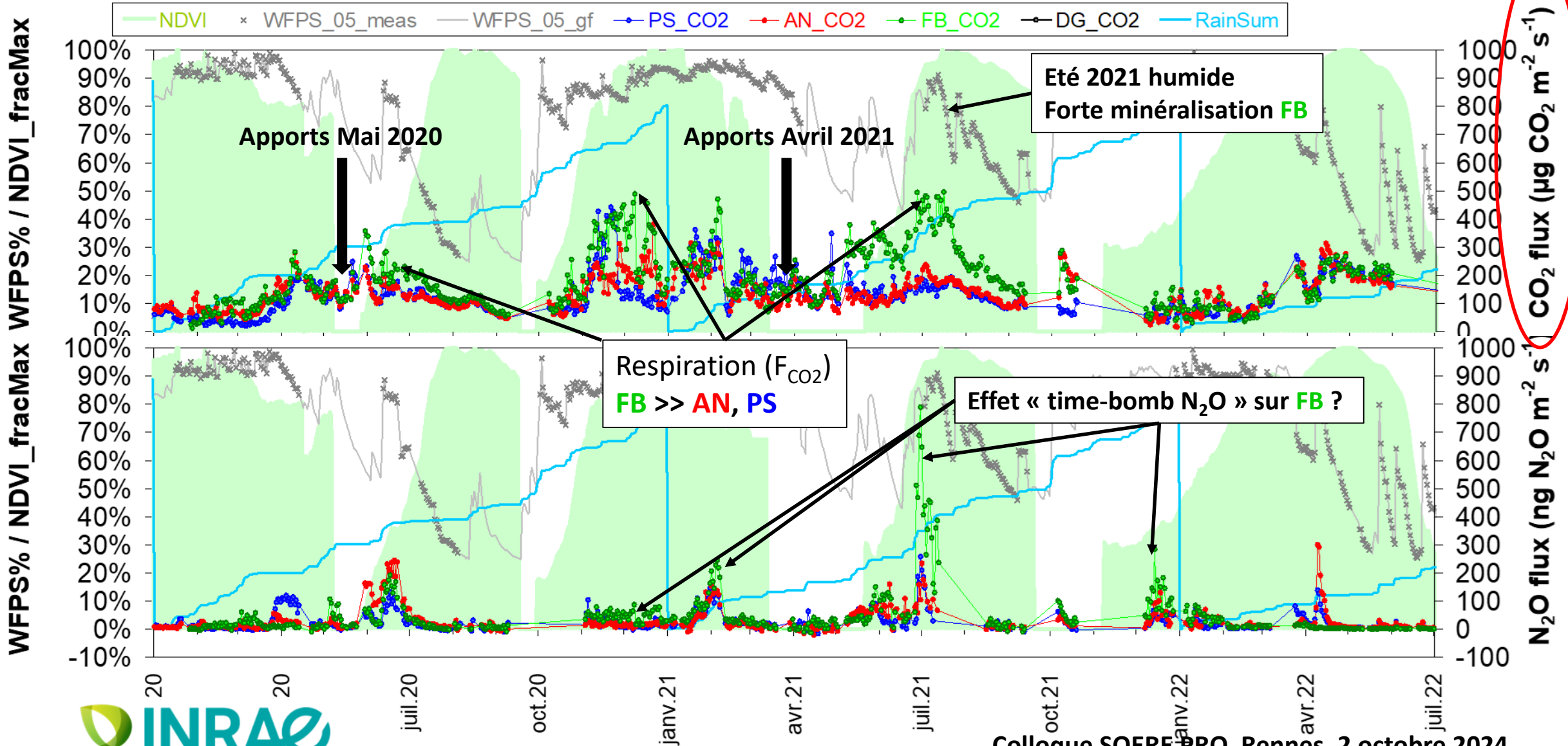
EFELE: ¼ du flux intégré à 100 jours est émis pendant le 1^{er} mois



- EF31 assez bon prédicteur de EF100
- En pratique, remettre en service les chambres de mesure le plus vite possible après les apports de fertilisants !



100 jours d'intégration: est-ce suffisant pour déterminer $EF_{fertilizer}$?



Conclusions / perspectives

- Au-delà du travail (intensif) de mesure sur le terrain, des choix méthodologiques à faire pour intégrer les données dans le temps
- Différentes métriques pour différents objectifs scientifiques ? (comparaison EF pro, facteurs de contrôle, ...)
- Importance des métadonnées/données auxiliaires pour l'interprétation des flux.

- Résultats en accord avec (une partie de) la littérature
- Des effets croisés Fertilisant / Météo / Culture / Sol / Autres... difficiles à démêler *in natura*
 - Complémenter par des études ciblées en conditions contrôlées ?
 - Un projet de recherche ou thèse ciblée ?

- Perspective 1: un premier article de synthèse des mesures EFELE/QualiAgro (et + si affinités...?)
- Perspective 2: intégration dans une base de données nationale des sites flux N₂O
- Perspective 3: collaboration ALAMOD pour modélisation (STICS, autres ?)
- Perspective 4: extension prévue QualiAgro pour 2 nouveaux PRO

Merci pour votre attention

Annexes

A la recherche de proxies pour expliquer la variabilité interannuelle des EF (premier mois suivant l'apport → EF31)

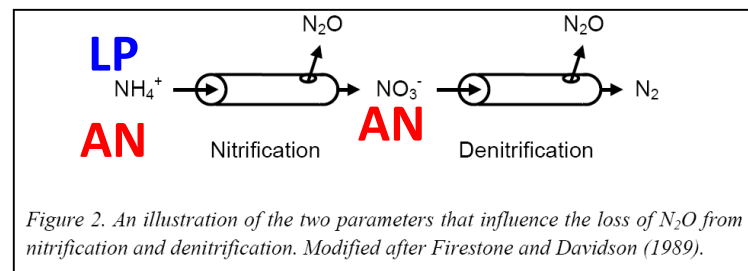
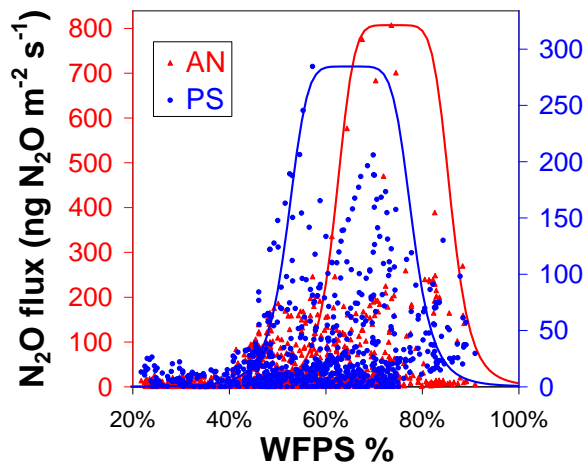
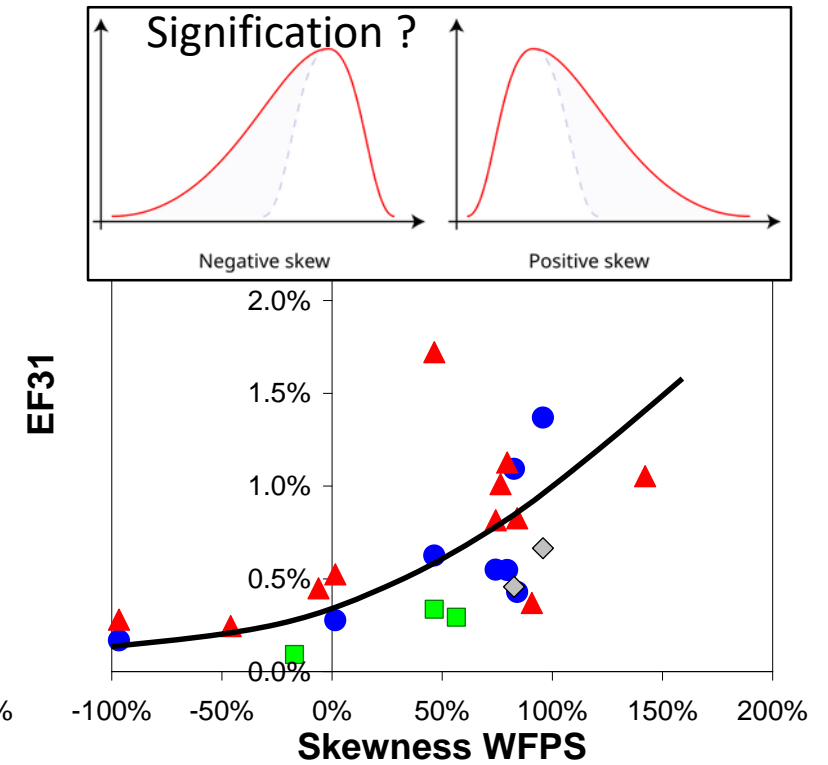
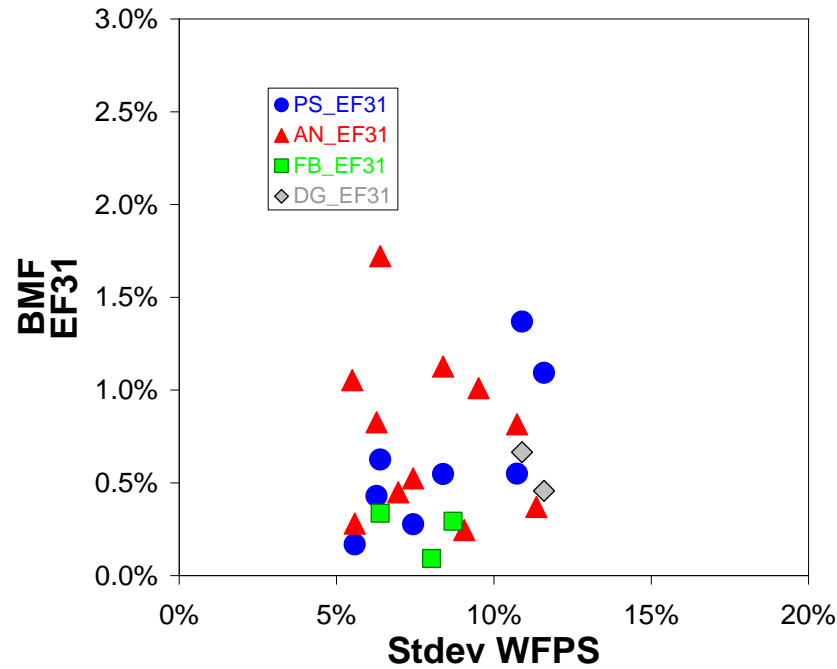
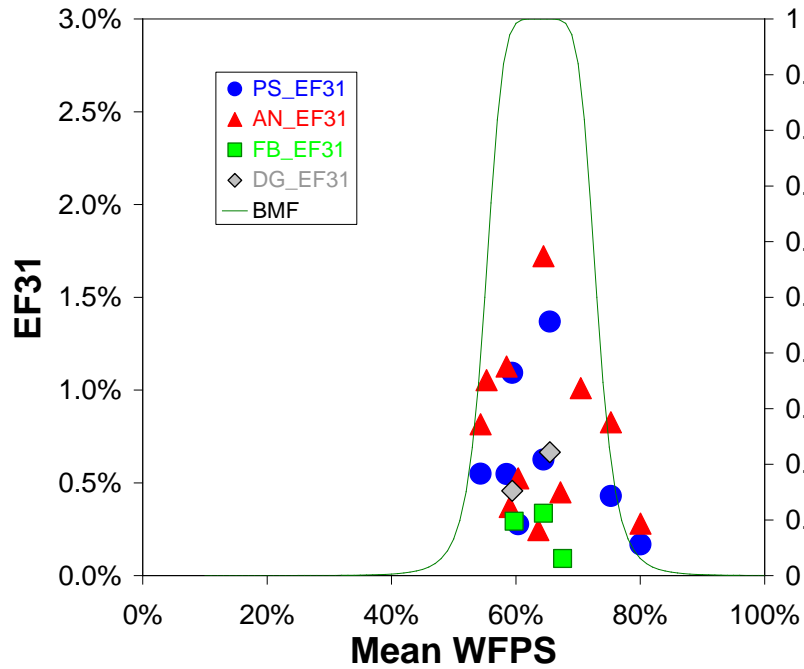
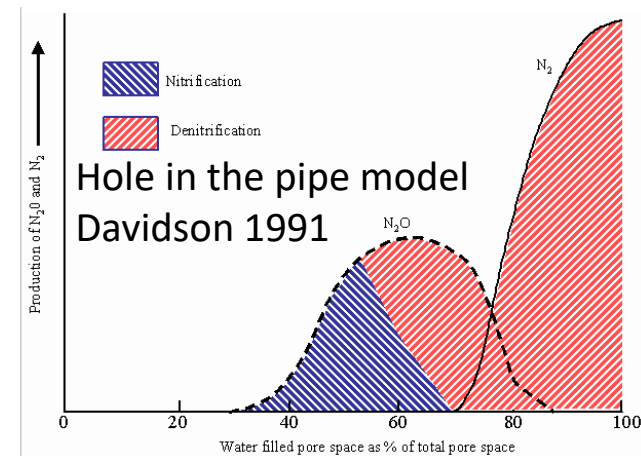
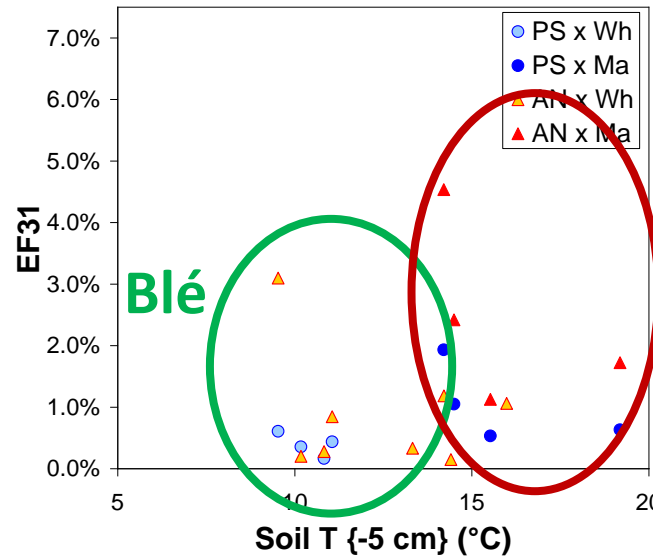
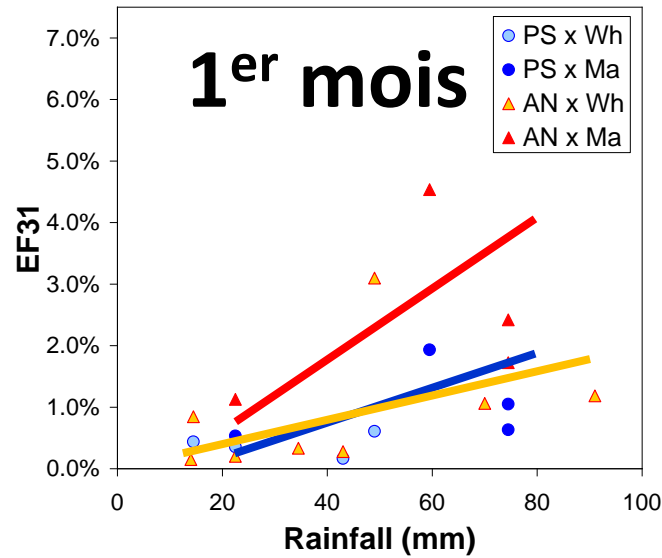


Figure 2. An illustration of the two parameters that influence the loss of N₂O from nitrification and denitrification. Modified after Firestone and Davidson (1989).



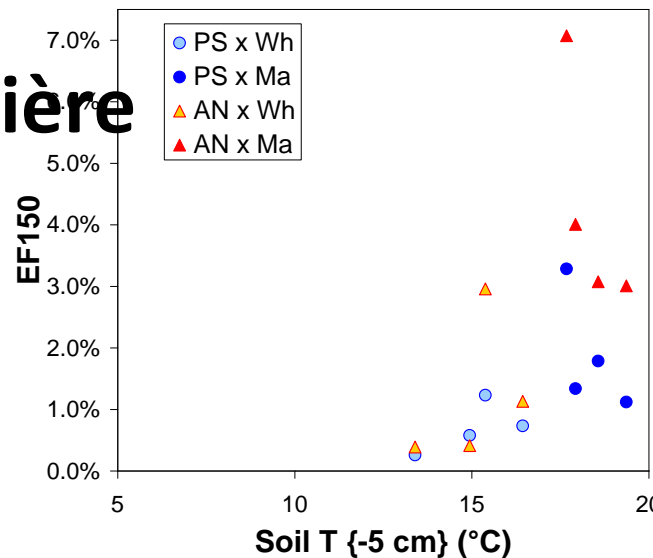
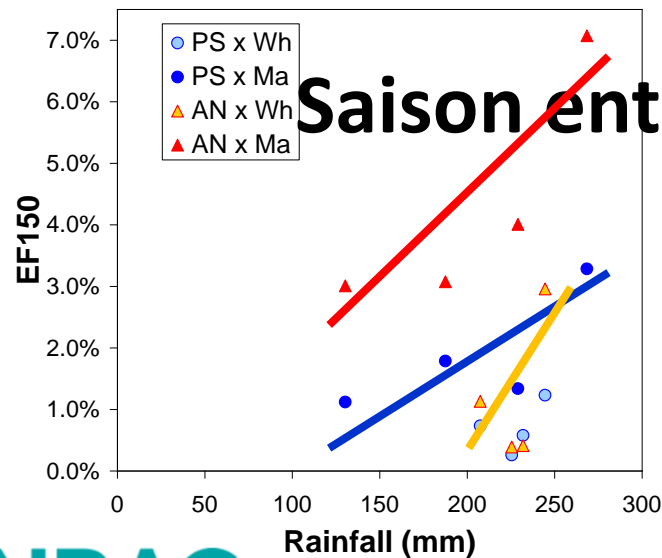
Impact météorologie sur les fractions N_2O_N/N_{fert} émises (EFL)



Estimer par proxy les EF en fonction des conditions météo moyennes ?

➤ Effet pluviométrie mensuelle/saisonnière sur EF

➤ Effet Température ? ou effet culture ? ou effet incorporation ?



Données N₂O EFL/QUAL: premiers pas en modélisation

European Journal of Agronomy 141 (2022) 126613



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

European Journal of Agronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eja



Modeling N₂O emissions of complex cropland management in Western Europe using DayCent: Performance and scope for improvement

Marcio dos Reis Martins^{a,*}, Magdalena Necpalova^b, Christof Ammann^a, Nina Buchmann^c, Pierluigi Calanca^a, Christophe R. Flechard^d, Melannie D. Hartman^e, Maike Krauss^f, Philippe Le Roy^d, Paul Mäder^f, Regine Maier^c, Thierry Morvan^d, Bernard Nicolardot^g, Colin Skinner^f, Johan Six^c, Sonja G. Keel^a

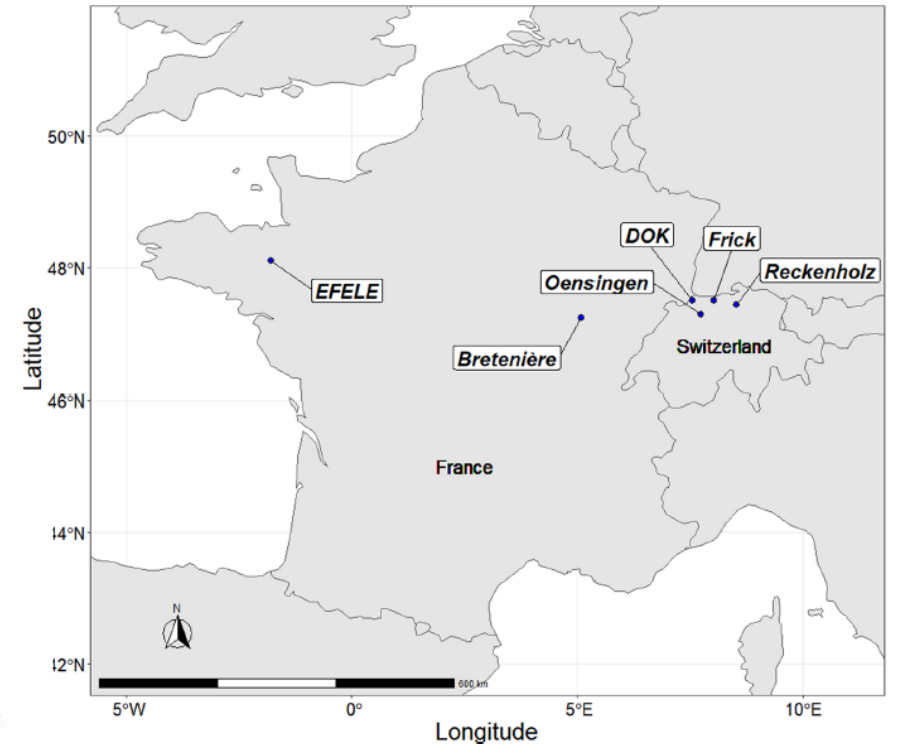
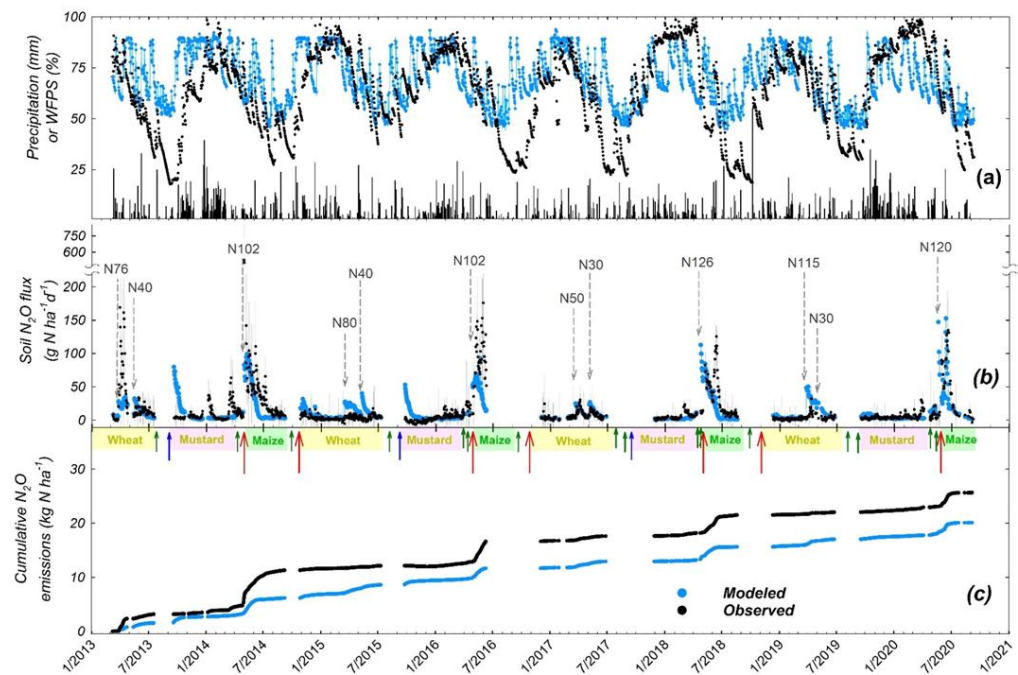
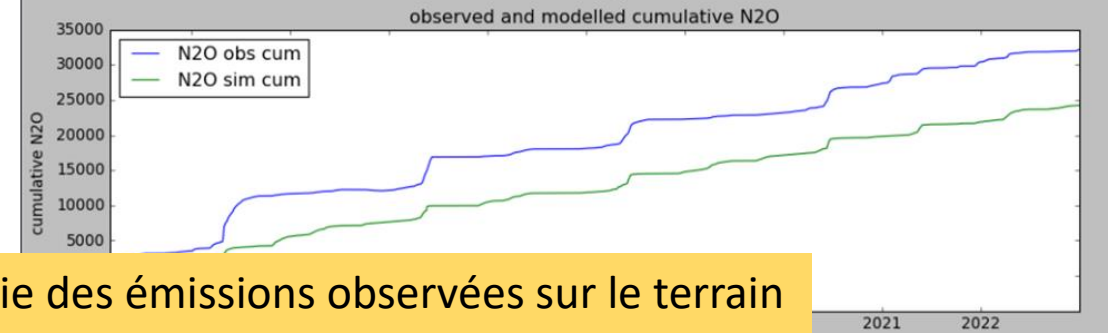
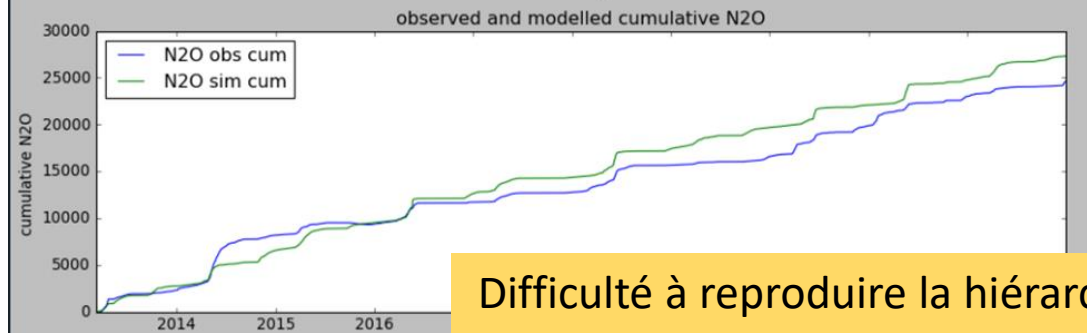
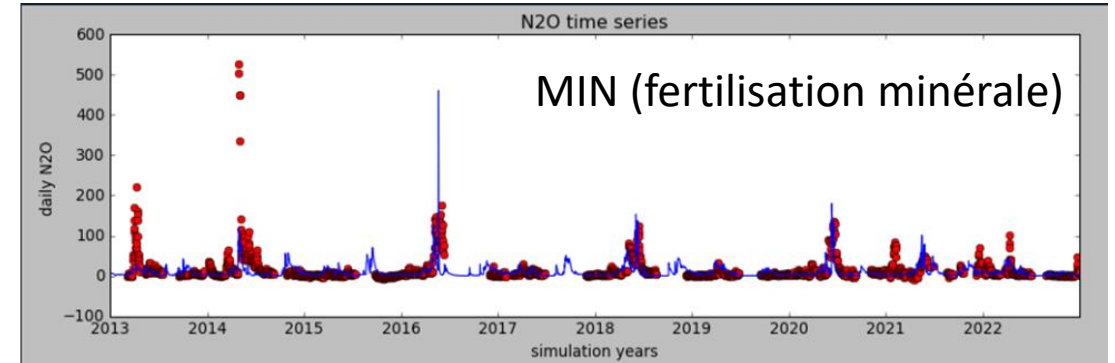
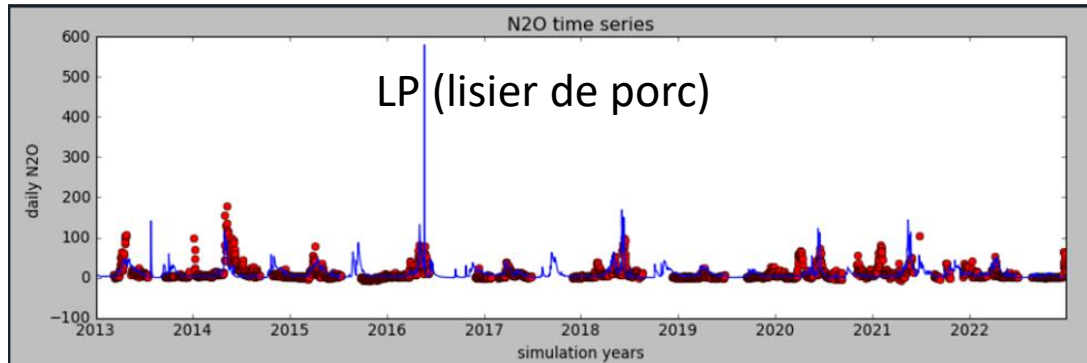


Fig. 1. Location of the field studies used for the calibration and evaluation of the DayCent model.



Données N₂O EFL/QUAL: premiers pas en modélisation

Post-doc Nicolas Puche 2022-2024 (modèle DAYCENT)



Difficulté à reproduire la hiérarchie des émissions observées sur le terrain
 $PS_{mod} > AN_{mod}$, alors que $PS_{obs} < AN_{obs}$

