



19/09/2024 – Bordeaux Science Agro

Carrefours de l'innovation agronomique

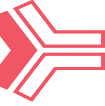
➤ Diminuer les émissions de gaz à effet de serre par les sols en intervenant sur la fonction de réduction de N₂O en N₂

Catherine Hénault
Agroécologie Dijon

2013 - 2017

2019 - 2024

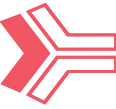
➤ Cahier des Charges



Développer des solutions biotechniques pour réduire les émissions de N₂O par les sols

- Ne pas engendrer de transfert de pollution ou de nouvelles pollutions
- Etre en capacité de quantifier spécifiquement les bénéfices apportés
- Etre en cohérence avec la dynamique de l'écosystème agricole

➤ Bases de la réflexion



Propositions formulées par IPCC, 2014 (Supply-side) – reconduites en 2022

Plant management	Improve N efficiency
Nutrient management	Change N fertilizer application rate, fertilizer-type, timing precision application, inhibitors
Water management	Drainage, runoff management
Set aside and LUC	N inputs decrease
Biochar application	Reduce N inputs

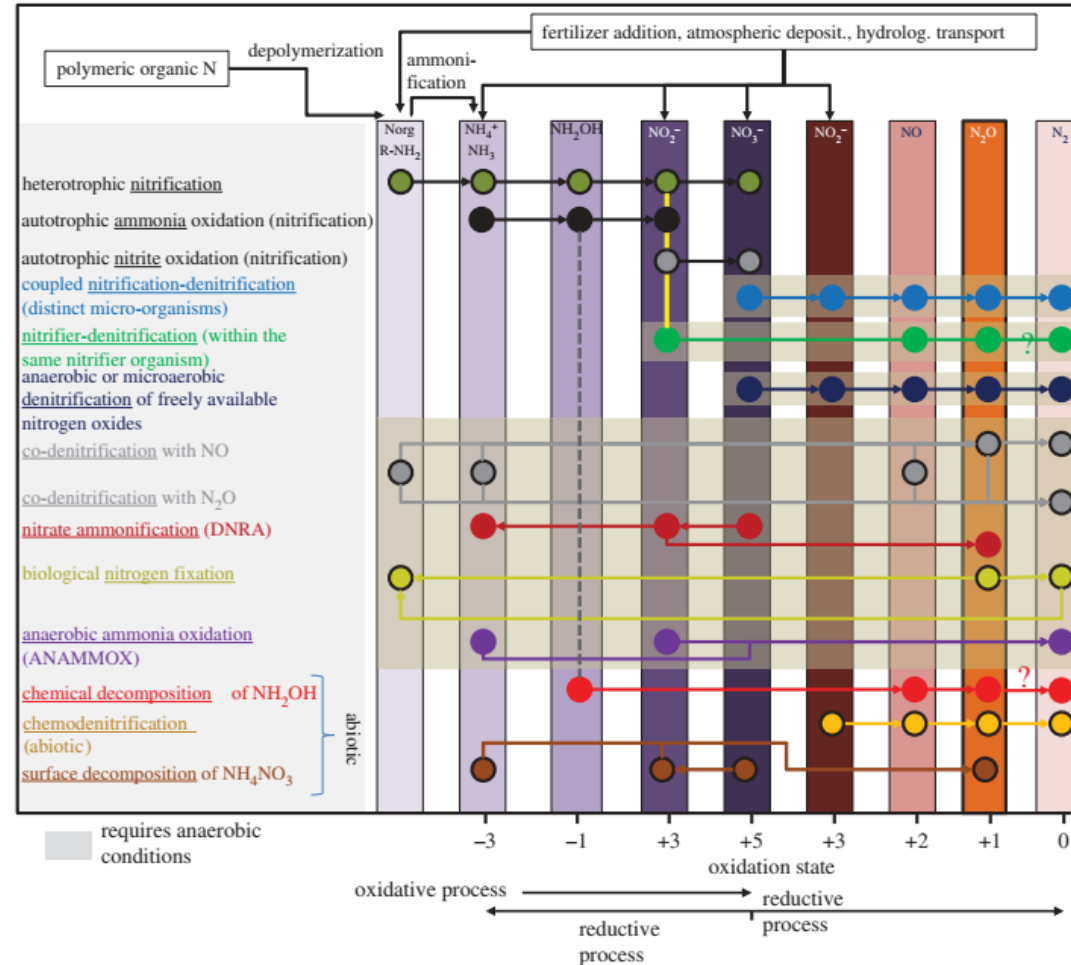


Figure 2. Biotic and abiotic processes of nitrous oxide (N₂O). Processes potentially leading to N₂O formation and consumption, involved N compounds, their reaction pathways as well as their oxidation states are shown. According to current knowledge, anaerobic ammonia oxidation does not contribute to N₂O formation or consumption. By contrast, N₂O may at least serve as a substrate for biological dinitrogen fixation. Processes predominantly requiring anaerobic (or micro-aerobic) conditions are underlined by grey illuminated segments. N_{org}/R-NH₂, monomeric organically bound N forms; NH₄⁺, ammonium; NH₃, ammonia; NH₂OH, hydroxylamine; NO₂⁻, nitrite; NO₃⁻, nitrate; NO, nitric oxide; N₂O, nitrous oxide; N₂, molecular dinitrogen. DNRA, Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium.

➤ Bases de la réflexion

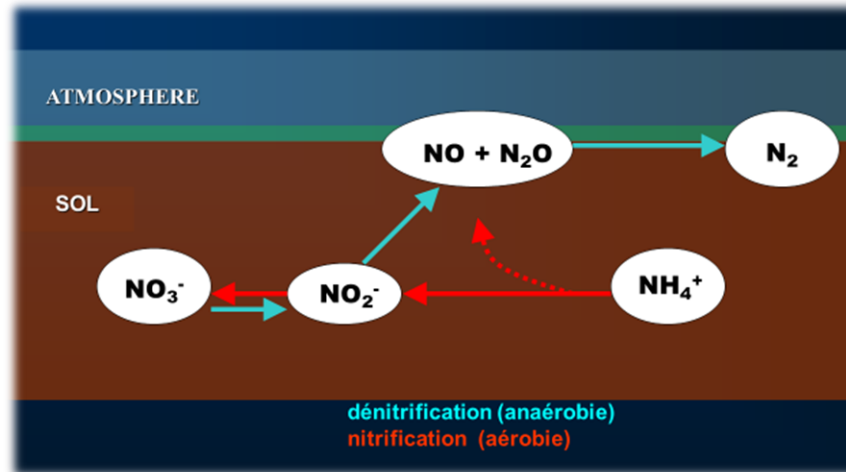


Propositions formulées par IPCC, 2014 (Supply-side) – reconduites en 2022



Plant management	Improve N efficiency
Nutrient management	Change N fertilizer application rate, fertilizer-type, timing precision application, inhibitors
Water management	Drainage, runoff management
Set aside and LUC	N inputs decrease
Biochar application	Reduce N inputs

Mécanismes microbiens



Etude GES (2013)



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

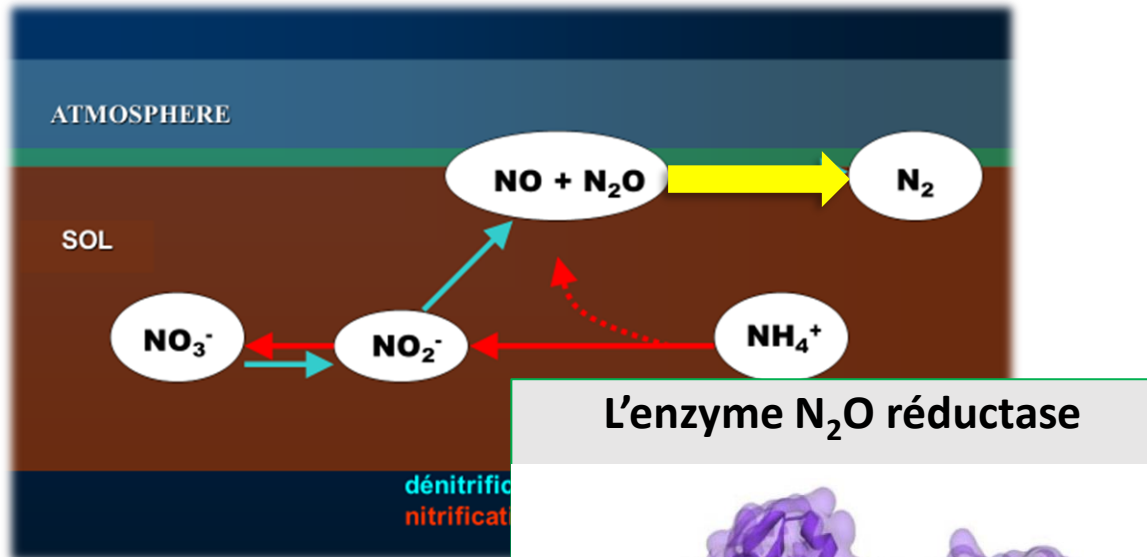
POTENTIEL D'ATTÉNUATION ET COÛT DE DIX ACTIONS TECHNIQUES

Résumé du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE - Juillet 2013

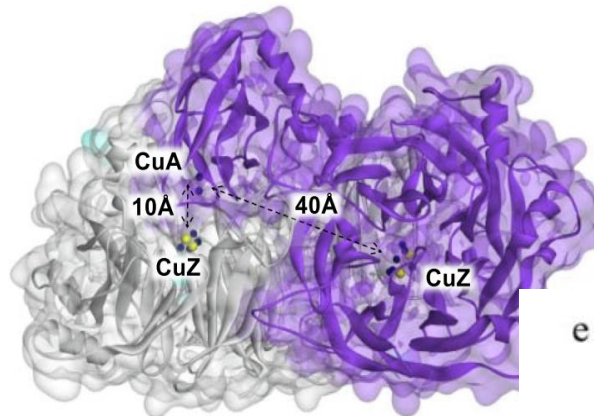


➤ Identification de l'angle d'attaque

➤ Stimuler la réduction de N_2O en N_2



L'enzyme N_2O réductase



Pauleta et al., 2019



- Bouclage du cycle de l'azote et sortie des formes réactives
- Pas d'impact (direct) sur la production agricole
- Identification de situation ne réduisant pas N_2O et fortement émettrice de ce gaz (Hénault et al., 2005)

Variabilité spatiale de la capacité des sols à réduire N₂O



ISO Standards Sectors About us News Taking part Store

ISO/TS 20131-2:2018

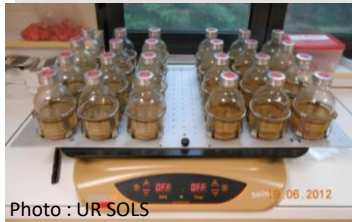
Soil quality

Easy laboratory assessments of soil denitrification, a process source of N₂O emissions

Part 2: Assessment of the capacity of soils to reduce N₂O

Status : **Published**

✓ This standard was last reviewed and confirmed in 2021. Therefore this version remains current.

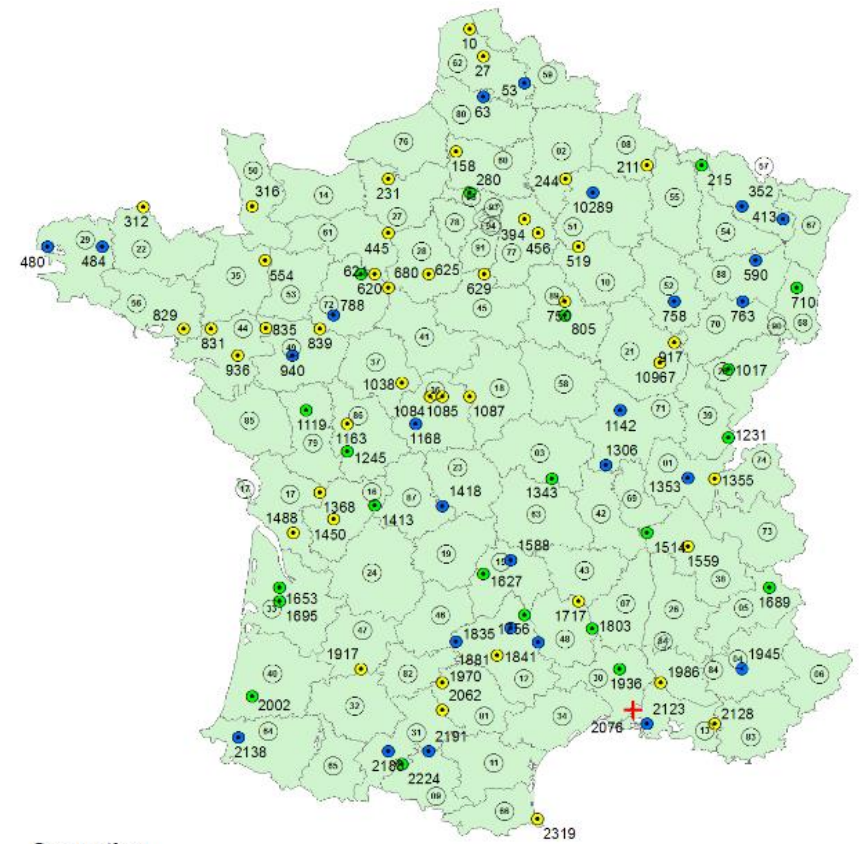


Indicateurs de la capacité des sols à réduire N₂O

- r_{max}
- index

Soil phenotype

- PhN₂Ored⁻
- PhN₂Ored^{+/-}
- PhN₂Ored⁺



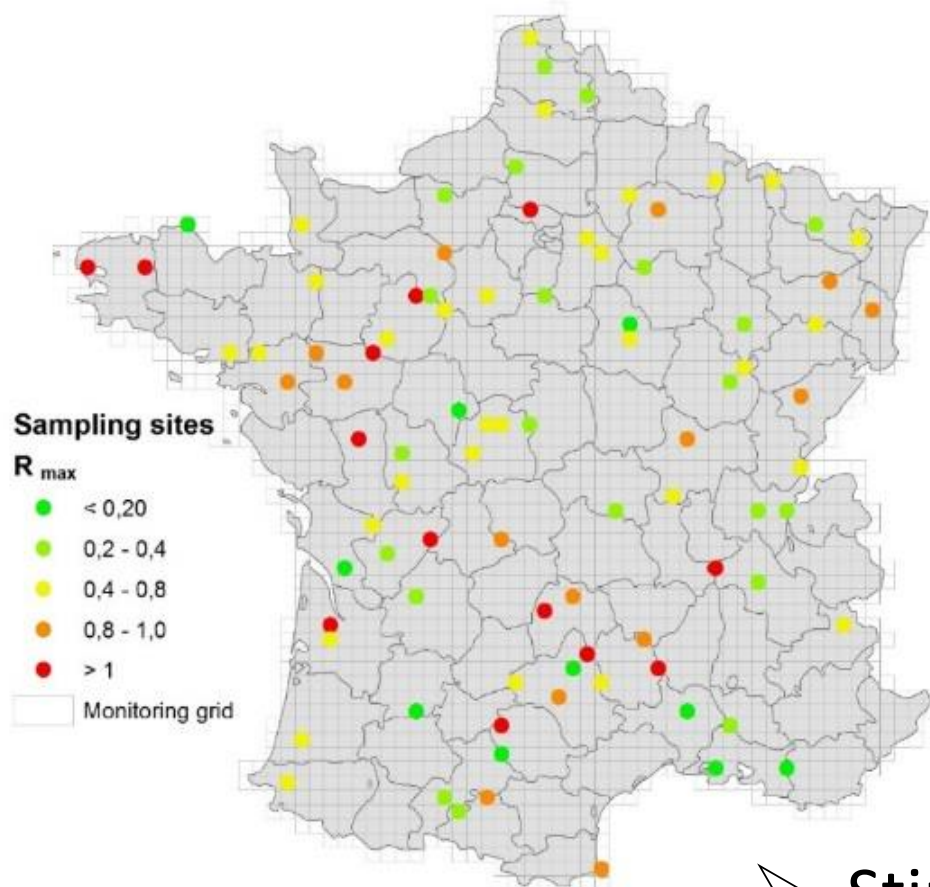
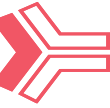
Occupation

- Culture
- STH
- Forêt
- ✚ Prélèvement impossible
- dep

© Copyright - ESRI France - ORTOLLAND Bertrand 03/04/2013



➤ Variabilité spatiale de la capacité des sols à réduire N₂O



Parmi ces 90 sites, nous avons observé :

- 36 sites (40 %) - PhN₂Ored⁻
- 25 sites (28 %) – PhN₂Ored^{+/-}
- 29 sites (32 %) – PhN₂Ored⁺



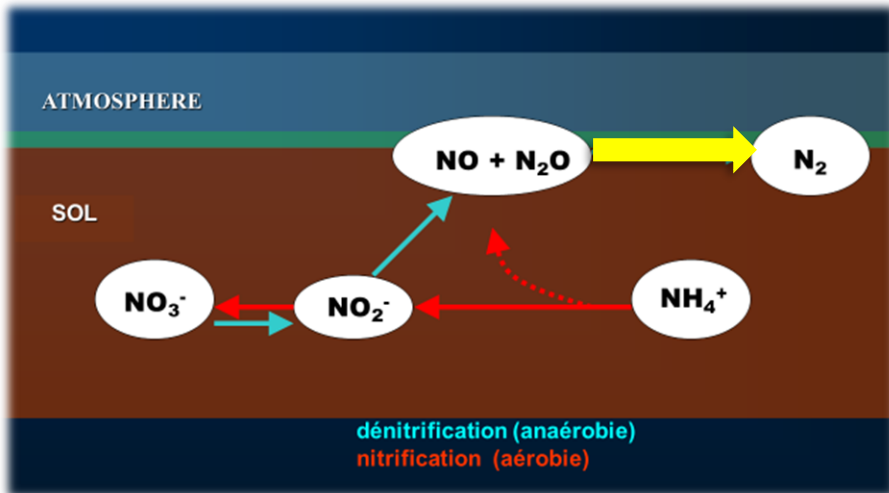
➤ Stimuler la réduction de N₂O en N₂





➤ Orientations retenues

➤ Stimuler la réduction de N₂O en N₂



1. Introduire dans le sol des souches capables de réduire N₂O (possédant le gène *nosZ*)

En s'appuyant sur les relations symbiotiques entre plantes et microorganismes



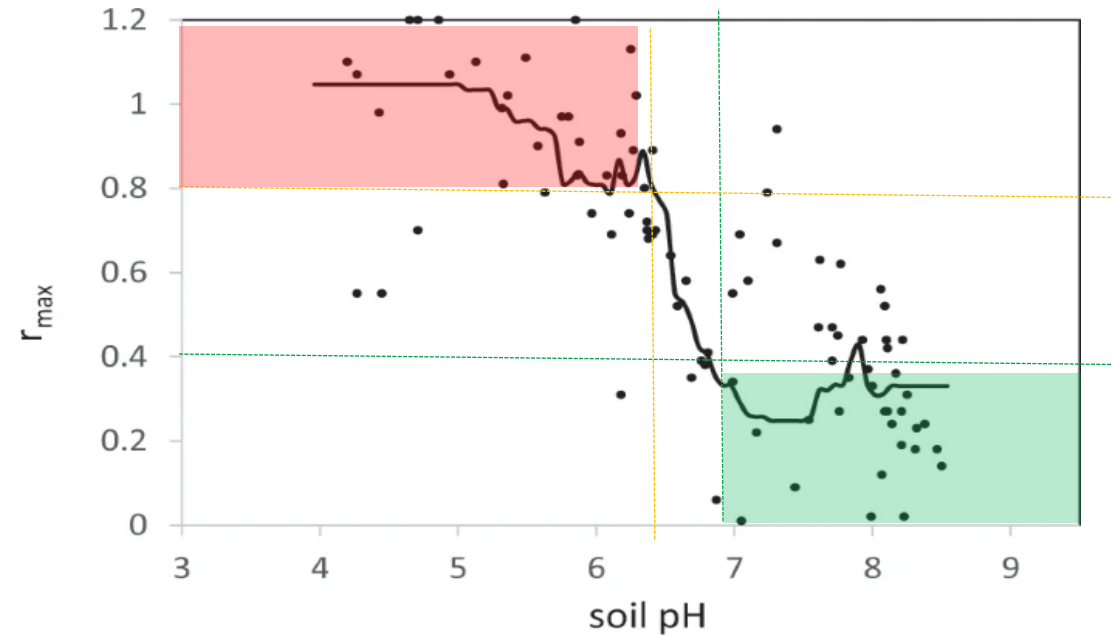
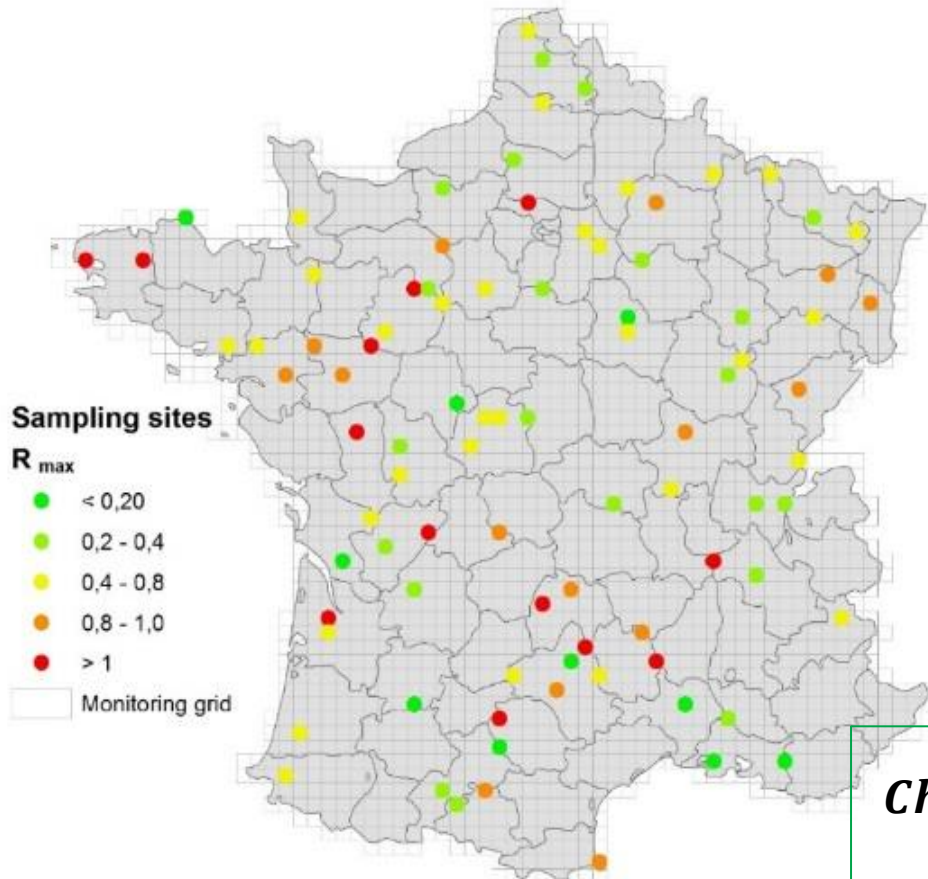
2. Agir sur les propriétés physico-chimiques des sols



➤ Déterminisme de la capacité des sols à réduire N₂O



$$r_{max} = -0.4 \text{ pH} + 0,026 \text{ CEC} - 0,001 \text{ Clay} + 3,13 \quad r = 0,88$$

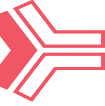


Chaulage des sols acides jusqu'à pH = 6,8 (chaulage climatique)

Levier d'atténuation des émissions de N₂O par les sols



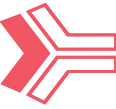
➤ Construction de l'environnement pour l'application de ce levier



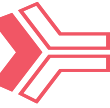
**Chaulage
climatique**



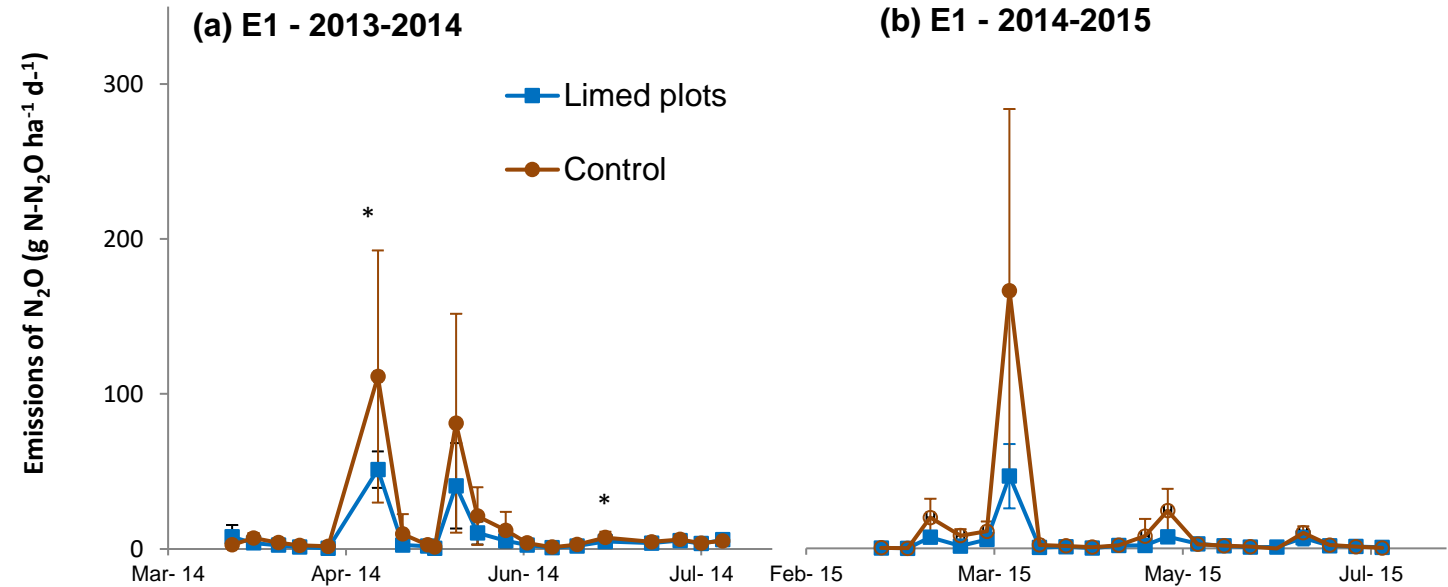
Construction de l'environnement pour l'application de ce levier



Zoom sur la quantification multi-échelle des évitements d'émission



Parcelle cultivée : Site Arvalis de la Jaillière



i	Presly la Noue 2014	La Jaillière 2014	La Jaillière 2015	Moyenne	Médiane
(a _i)	26 %	49 %	66 %	44 %	49 %

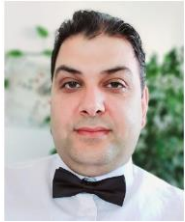
$$(a_i)_{obs-terrain} = \frac{\text{moyenne}(\text{Emissions mesurées sur les parcelles témoin})_i - \text{moyenne}(\text{Emissions mesurées sur les parcelles chaulées})_i}{\text{moyenne}(\text{Emissions mesurées sur les parcelles témoin})_i}$$





Zoom sur la quantification multi-échelle / dissémination

Echelle régionale



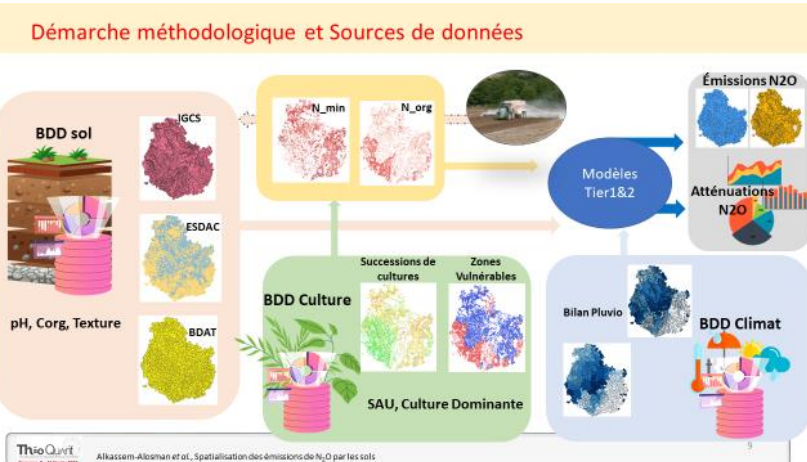
<https://www.opteer.org/donnees-territoires/11473/consulter/?Territoire=5075&Type2Territoire=63>

émissions directes de N₂O de près de 15 % en Région, ce qui correspond globalement à la même estimation que celle qui avait été faite à l'échelle nationale.

Variation des émissions de N₂O en CO₂e après chaulage (2018)
Unité : %
Maille : EPCI
Source : INRAE BFC

Les exploitants agricoles concernés par ce levier (chaulage climatique) peuvent mobiliser le label bas carbone en grandes cultures pour se faire aider pour sa mise en place qui devra être progressive.

Emissions de N₂O avant et après chaulage / Bourgogne-Franche-Comté (2018)
Unité : tonnes / Source : INRAE BFC

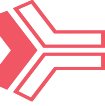


Alkassem-Alosman M., Hénault C. 2022. Dataverse INRAE.
<https://doi.org/10.57745/94WYGJ>




Zoom sur Incitation

Intégration dans la méthodologie du Label Bas Carbone Grandes Cultures



Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1)

LABEL BAS-CARBONE

Méthode Grandes Cultures



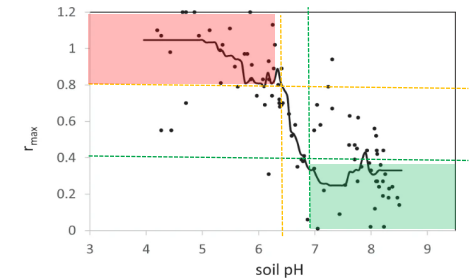

P40 and P42

$$N2O_directes_{i,k} = [(QN_min_{i,k} + (QN_inhib_{i,k} * C_inhibiteur)) * EF1_min] + ((QN_org_{i,k} + (QN_org_inhib_{i,k} * C_inhibiteur) + QN_résidus_{i,k} + QN_minéralisé_{i,k}) * EF1_org)] * C_chaulage_{i,k}$$

Equation 5: Calcul des émissions de N₂O directes

(Source : IPCC 2019 adaptée)

i	Presly la Noue 2014	La Jaillière 2014	La Jaillière 2015	Moyenne	Médiane
(a)	26 %	49 %	66 %	44 %	49 %



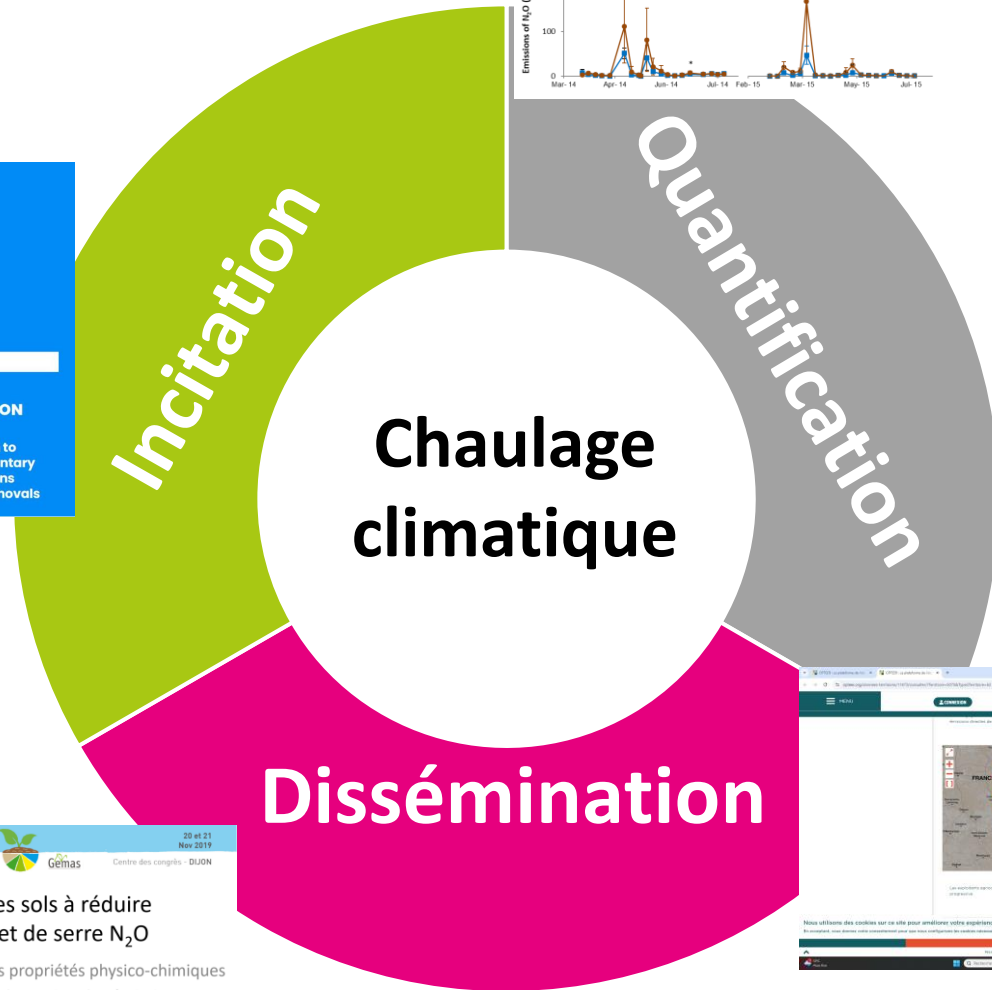
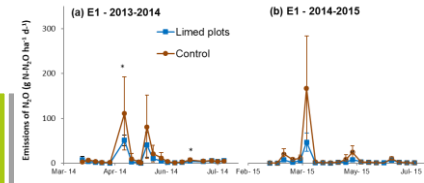
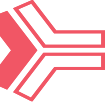
$$C_chaulage_{i,k} = 1 - \left[\frac{\min(pH_{final} - pH_{initial}; 0.4)}{0.4} \times (0.5 \times \exp(-0.33 * k_chaulage)) \right]$$

Equation 7: Calcul du coefficient d'abattement associé au chaulage des sols acides

(Source : méthode Expert issue des travaux Hénault et al. 2019)

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/M%C3%A9thode%20LBC%20Grandes%20cultures.pdf>

Applications



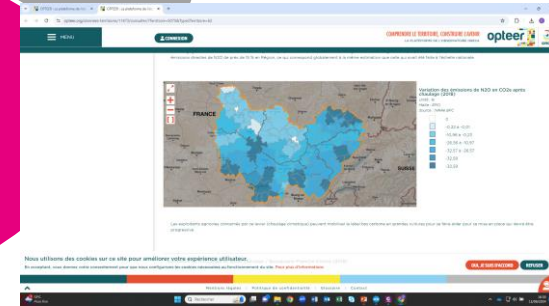
14^e RENCONTRES DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE comifer Gémias Centre des cereales - DUJON 20 et 21 Mai 2019

Capacité des sols à réduire le gaz à effet de serre N₂O

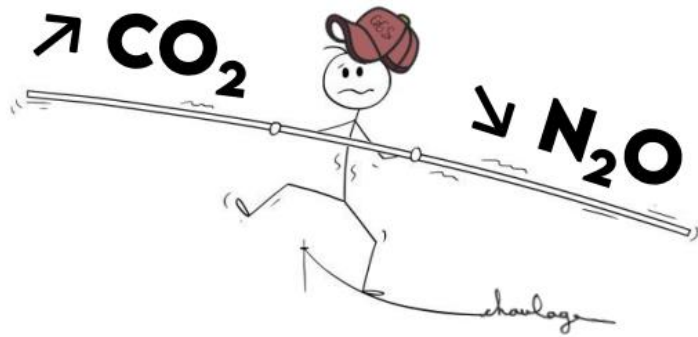
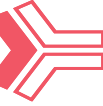
Déterminisme par leurs propriétés physico-chimiques
Implications pour la gestion des émissions

Hénault C., Bourennane H., Ayzac A., Ratié C., Saby N., Véritel G., Eglin T., Le Gall C.

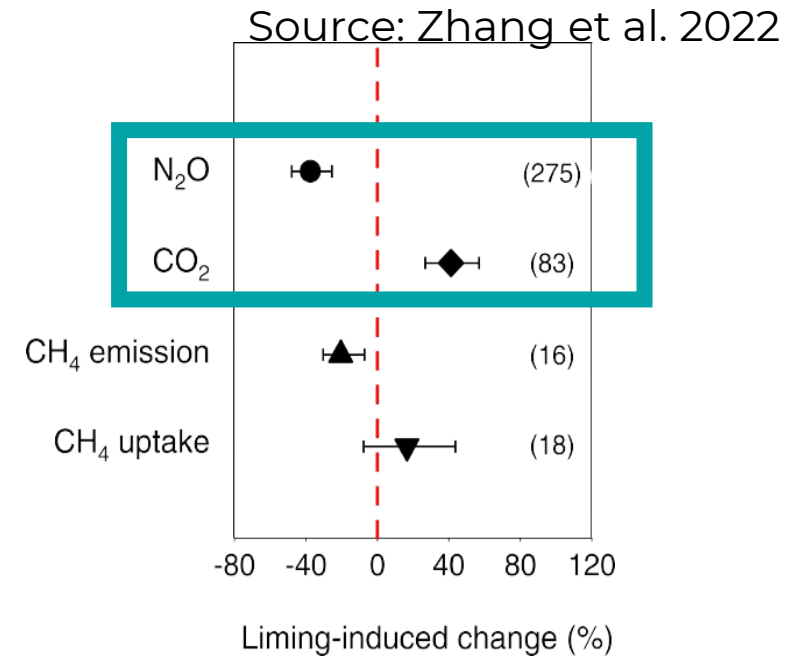
Hénault C./Directrice de Recherches/INRA AgroEcologie 14^e RENCONTRES Comifer-Gemias 20-21 mai 2019 - 10h00 1



➤ De N₂O à CO₂

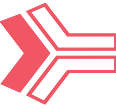


CO₂: Dioxyde de carbone; N₂O: Protoxyde d'azote



“All the carbon provided by liming products is eventually emitted in the form of CO₂ into the atmosphere” IPCC (2001)

« Over all, the CO₂ emissions from liming are expected to be less than using the Tier 1 »



➤ De N₂O à CO₂



- MC
- SC
- Témoin



Photo : Agroécologie

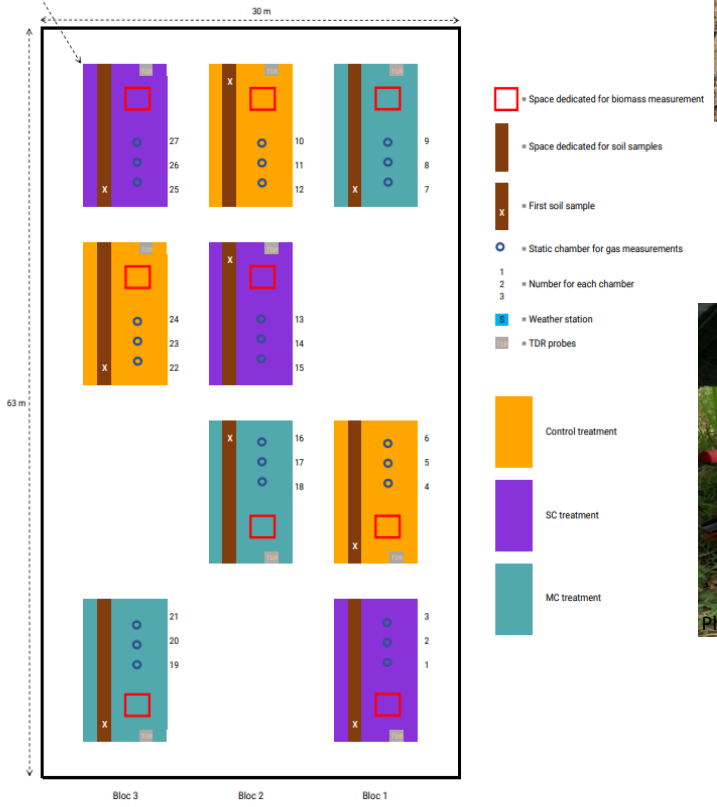


Photo - C. Rousset

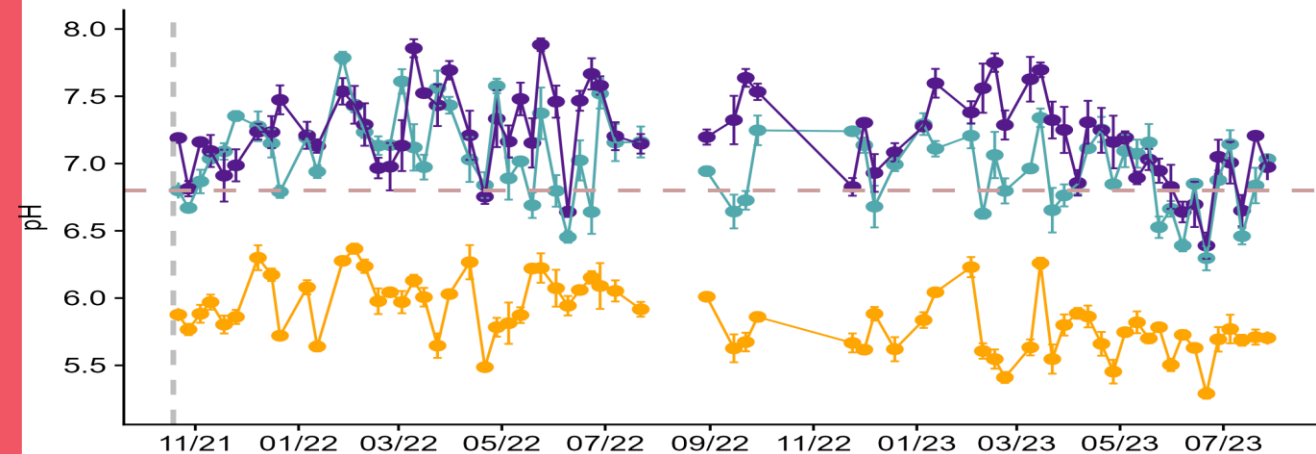
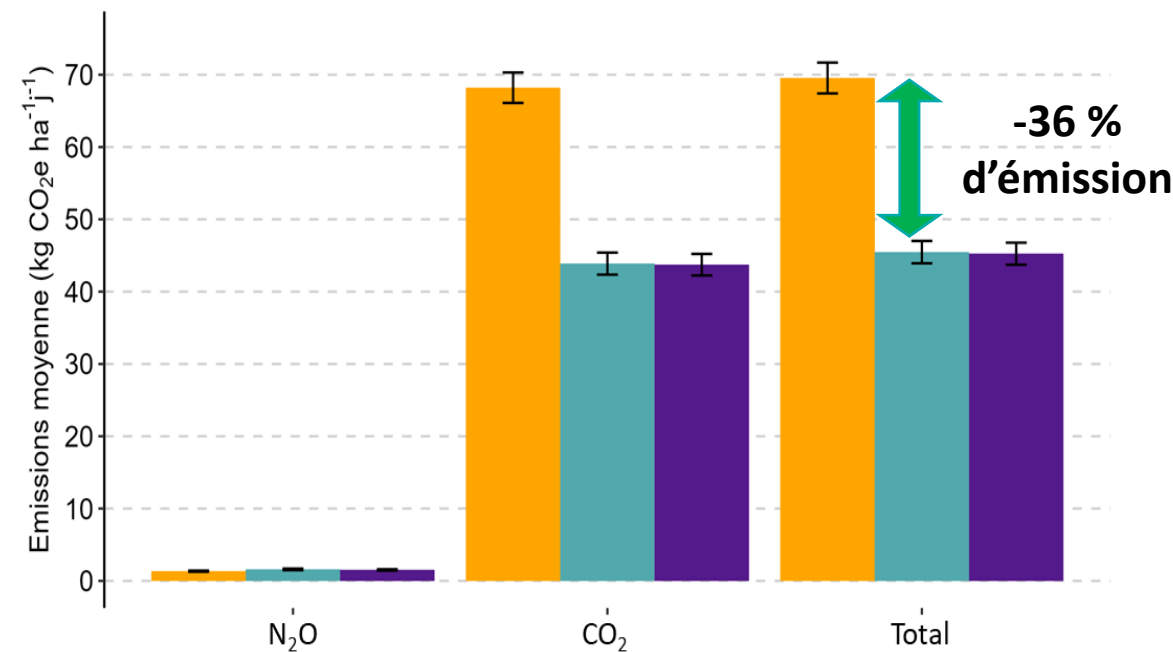
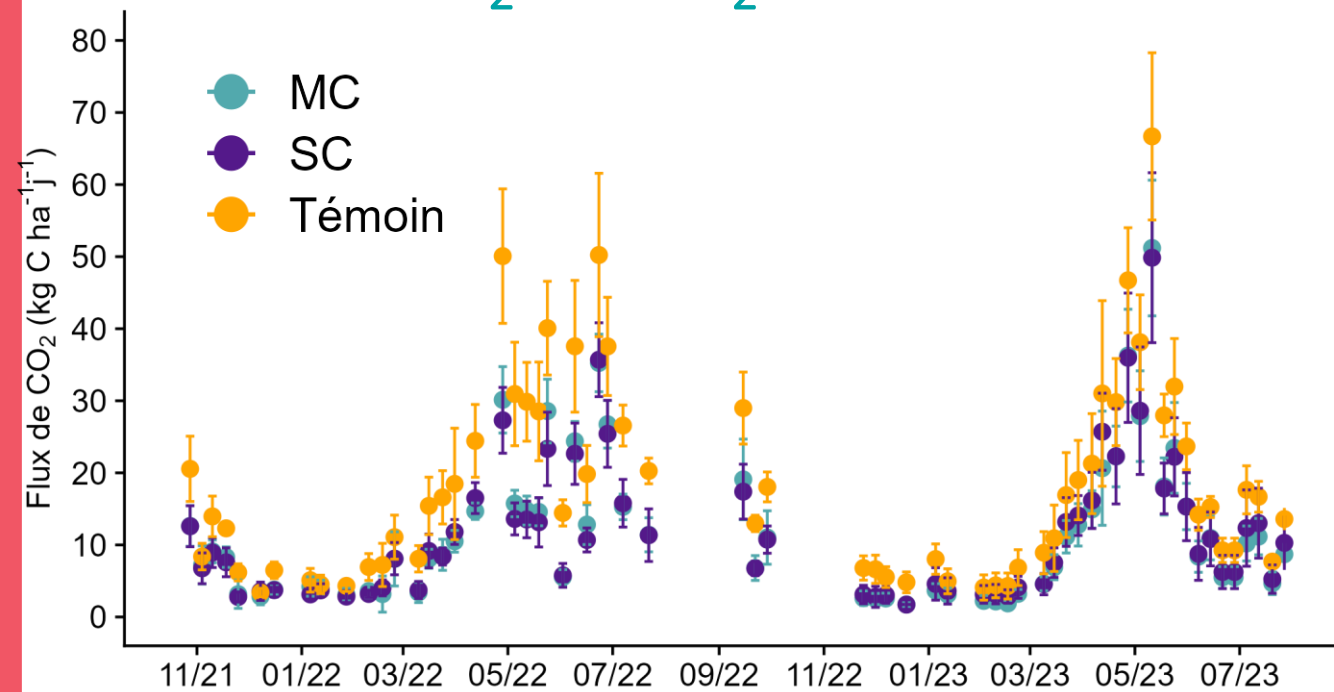


Photo : Agroécologie





➤ De N₂O à CO₂

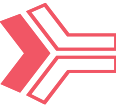


Faible contribution du N₂O dans le bilan

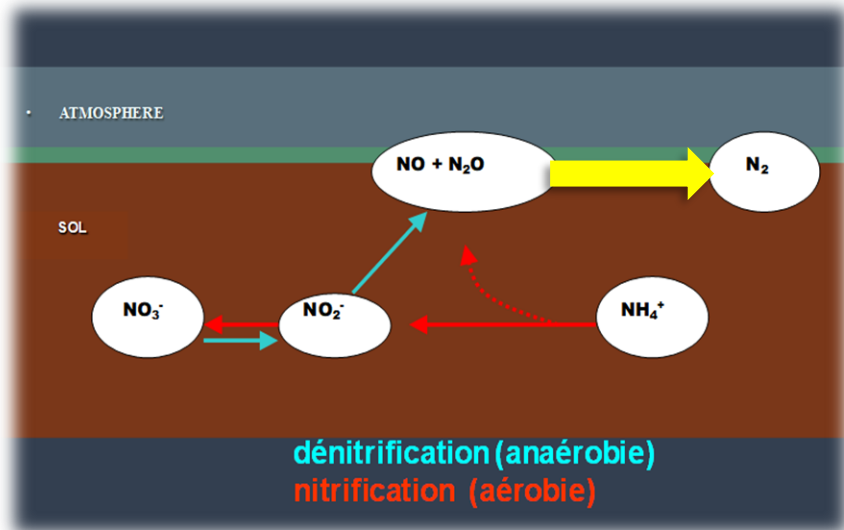
Evitement d'émission de 8,720 t de CO₂e ha⁻¹ an⁻¹
sur les parcelles chaulées

Résultat contraire à l'hypothèse de base





Utilisation des rhizobia pour réduire N₂O



1. Introduire dans le sol des souches capables de réduire N₂O (possédant le gène *nosZ*)

En s'appuyant sur les relations symbiotiques entre plantes et microorganismes



Genotyping

Pure culture
phenotyping

In planta
Phenotyping

In situ
mitigation

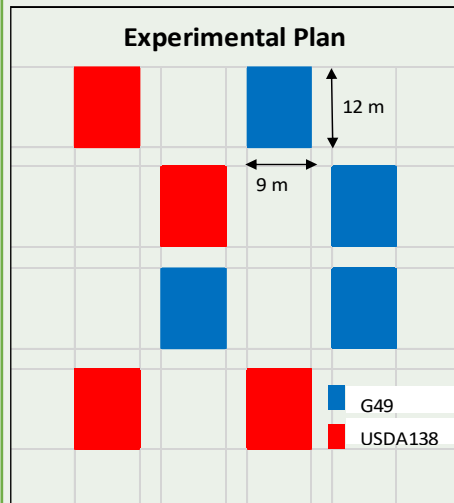


Utilisation des rhizobia pour réduire N₂O

Soja

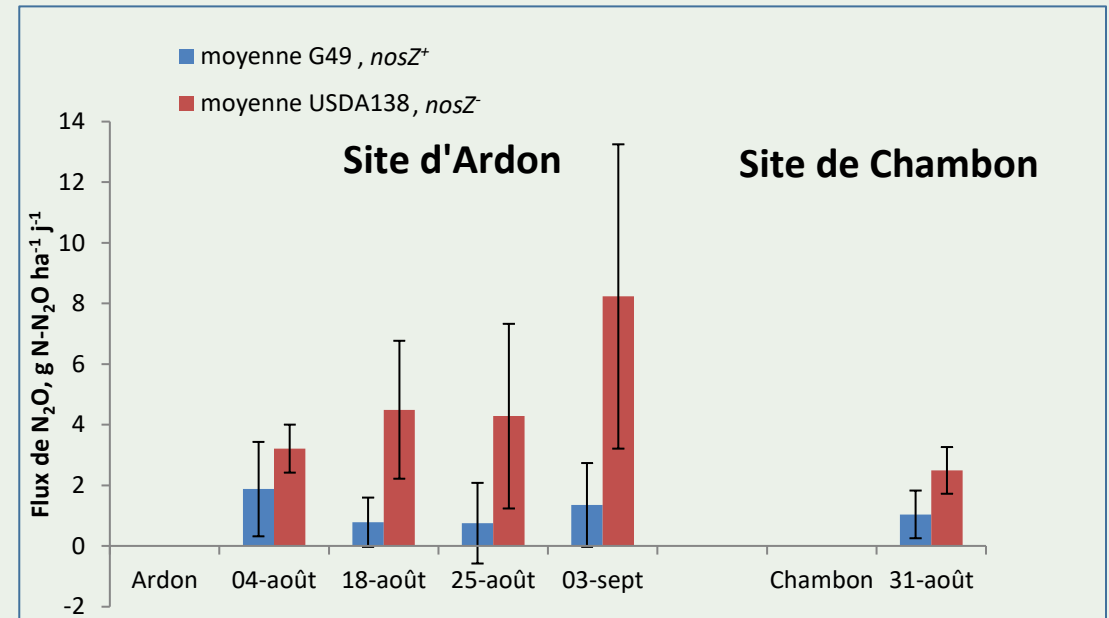
In situ mitigation

Matériels et Méthodes



Résultats

Emissions de N₂O dans les essais conduits en 2015





Utilisation des rhizobia pour réduire N₂O

Pois

Genotyping

Pure culture phenotyping

In planta Phenotyping

SAVOIR-FAIRE
SECRET

Inoculants visant à favoriser la culture du pois



Inoculants visant à favoriser la culture du pois

Description

En France, les sols présentent naturellement des populations de *Rhizobium* capables de noduler le pois cultivé. L'inoculation du pois est tout de même intéressante pour renforcer des services pré-existants (nutrition azotée) ou introduire des services supplémentaires à ceux rendus par les populations natives.

Les chercheurs de l'unité Agroécologie du centre INRAE de Bourgogne-Franche-Comté ont sélectionné 2 souches de *Rhizobium* (déposées à la CNQM) hautement compétitives pour former des nodosités, très efficaces pour fixer l'azote et capables de réduire le N₂O en N₂. Ces résultats font l'objet d'un savoir-faire secret.

Avantages

- Souches bonnes fixatrices d'azote ;
- Souches compétitives pour la formation de nodosités ;
- Souches capables de réduire le gaz à effet de serre N₂O ;

Application potentielle

- Production d'un nouvel inoculant efficace pour la culture optimisée du pois et permettant de réduire les émissions de N₂O par les sols.

Type de transfert envisagé

Licence non-exclusive sur savoir-faire secret

Échelle de maturité

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Stade de développement

Tests réalisés sur plantes en serre sur substrat inerte et sur sol naturel

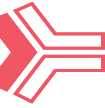
CONTACT

INRAE Transfert – Alix MALATRAY
Chargée de valorisation
alix.malatray@inrae.fr
+33 (0)6 84709226

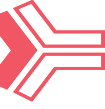
Laboratoire & équipe

Cécile REVELLIN
Centre Bourgogne-Franche-Comté
Institut mixte de recherche Agroécologie
INRAE, DIJON, France

➤ Discussion - Conclusion



- Développement de nouveaux leviers d'atténuation : chaulage climatique, rhizobia *nosZ+*, basés sur le fonctionnement microbien / enzymatique des sols
- Levier chaulage climatique : approche partenariale et pluridisciplinaire
 - Observation *in situ* d'énormes atténuations d'émission de CO₂ – Observation à consolider sur d'autres sites, mécanismes sous-jacents à approfondir
 - Développement d'outils de dissémination : cartes d'atténuation potentielle, accessibles, grâce des démarches qui ne demandent qu'à être reprises, consolidées, ...
 - Levier qui a bénéficié de et qui enrichit la Méthode du Label Bas Carbone en Grandes Cultures
- La suite, en construction



➤ Merci pour votre attention !

Photo : Agroécologie

