

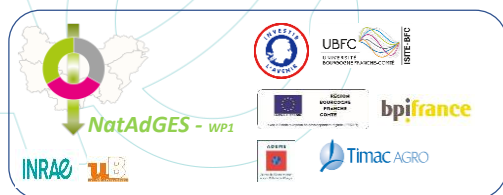
➤ Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O

Hénault Catherine - UMR AgroEcologie – Dijon

Arkoun Mustapha – Timac Agro – Saint Malo

Rousset Camille - UMR AgroEcologie – Dijon

Bréfort Henri - UMR AgroEcologie – Dijon



Avec la contribution de

Cécile Revellin, Alain Hartmann, Virginie Bourion, Florian Bizouard,

Cécile Le Gall, Jean-Pierre Cohan,

Nicolas Saby, Hocine Bourennane,

Vladimir Bienvenue, Iheb Ouerghi, Guillaume Guyerdet



➤ Plan

- Eléments de contexte
- Introduire des micro-organismes capables de réduire N₂O en utilisant la **relation symbiotique Légumineuses-rhizobia**
- Gérer le **pH du sol**
- Eléments de discussion – conclusion



INRAE — Timac AGRO

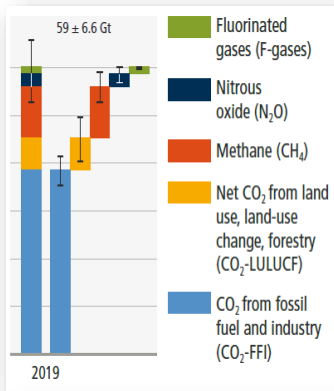
Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 2

➤ Elements de contexte

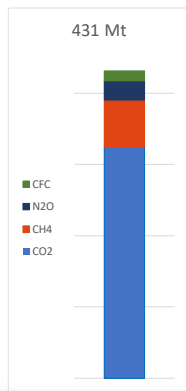
➤ Contribution et sources

Echelle mondiale, 2019



IPCC, 2022. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P. Shukla, J. Slade, R. Shukla, A. Al Khourdaji, R. van Diemen, O. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Frieder, M. Beckmann, A. Hanjoo, G. Lakso, S. Liu, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

France, 2019



D'après Emissions dans l'air - Source Citepa édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques - citepa.org

D'après l'interface de visualisation des données d'émissions de GES de la CCNUCC, la France en 2020 est au 1^{er} rang des pays émetteurs de N₂O au sein de l'UE 27, en y ajoutant également le Royaume Uni et l'Islande.

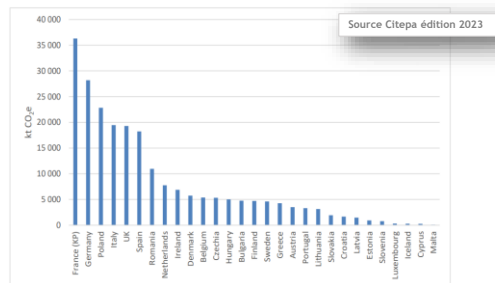
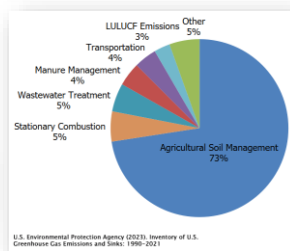
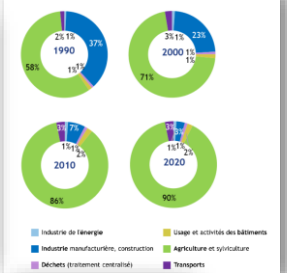


Figure 6. Emissions de N₂O hors UTCAF par pays européen en 2020 (kt CO₂e)



U.S. Environmental Protection Agency (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021.

Répartition des émissions de N₂O hors UTCAF en France



Source Citepa édition 2023

p. 4

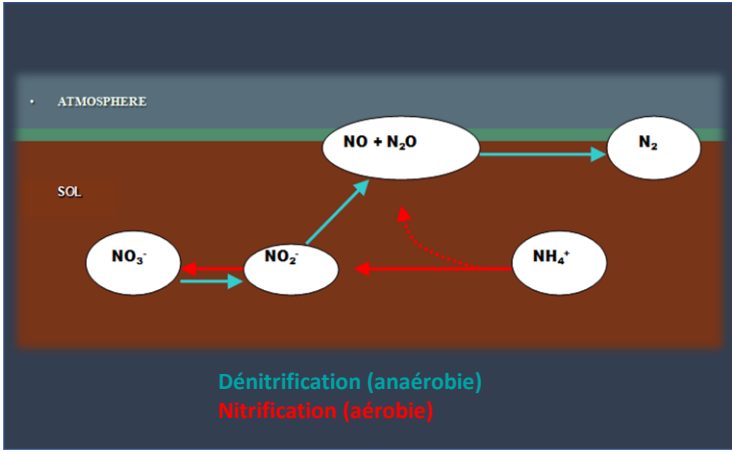


INRAE — TIMAC AGRO

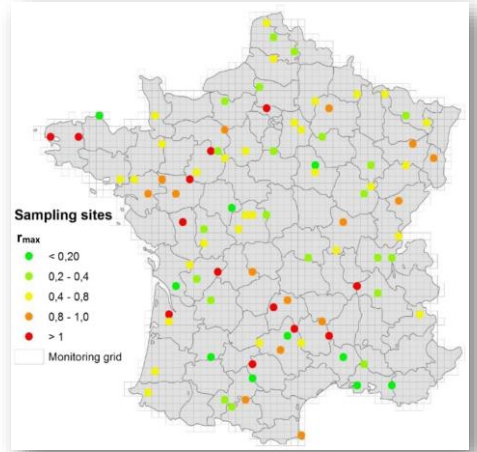
Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O

28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

➤ Mécanismes de formation et de destruction



d'après Mathieu et al., 2005



d'après Hénault et al., 2019



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

➤ Les voies de réduction des émissions de N₂O par les sols

ipcc

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

Propositions complémentaires étudiées dans NatAdGES

➤ Gérer les processus microbiens par l'application de produits d'origine naturelle

- Application de produits chaulant
 - Liu et al., 2014 – mBio
 - Shaaban et al., 2015 – Env Sci Pollut Res
 - Hénault et al., 2019 – Sci Rep
- Utilisation des cultures de Légumineuses inoculées avec des souches de rhizobia capables de réduire N₂O
 - Sameshima-Saito et al., 2006 - FEMS
 - Hénault et Revellin, 2011 – Plant and Soil

Gérer la nitrification

- Application de BNI
 - Subbarao et al., 2012



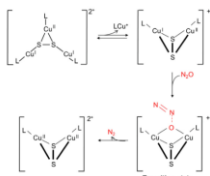
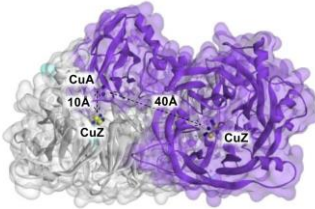
INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

➤ Favoriser la réduction de N₂O de N₂

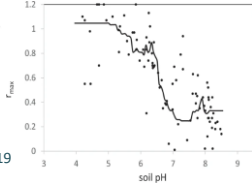
L'enzyme N₂O réductase

Poulet et al., 2019



« pH interferes with the making and the assembly of the enzyme N₂O reductase »

Liu et al., 2014



Hénault et al., 2019

Nos stratégies

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

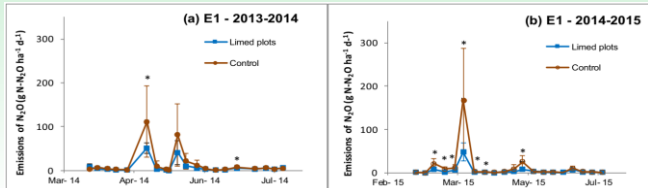
En s'appuyant sur les relations symbiotiques entre plantes et microorganismes



2. Gérer le pH du sol pour rendre fonctionnelle l'enzyme N₂O réductase



Hénault et al., 2019



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre N₂O

28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 7

Introduire des micro-organismes capables de réduire N₂O en utilisant la relation symbiotique

➤ Légumineuses-rhizobia

Genotyping

Pure culture phenotyping

In planta Phenotyping

In situ mitigation

➤ Introduction de micro-organismes *nosZ+* via une légumineuse inoculée

	Genotyping	Pure culture phenotyping	In planta Phenotyping	In situ mitigation
Soja	X	X	X	X
Luzerne	X	X		
Trèfle	X	X	X	
Lupin	X	X	X	
Féverolle	X	X	X	
Fénu grec	X	X	X	
Arachide	X	X	X	



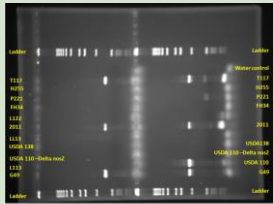
INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 9

➤ Introduction de micro-organismes *nosZ+* via une légumineuse inoculée

Genotyping

	Matériels et Méthodes	Résultats	
		<i>nosZ+</i>	<i>nosZ</i>
Soja	Primers : - nosZ1F - nosZ2R (Henry et al., 2006) - nos661F* - nos1773R* modified from Scala Kerkhof, 1998 	G49, USDA110	USDA138
Luzerne		2011	
Trèfle		T117	T132
Lupin		LL200	LL13
Féverolle		FS16	FH34
Fénu grec		3523, 3531, 3538, 3546	
Arachide		ST2	IC7017



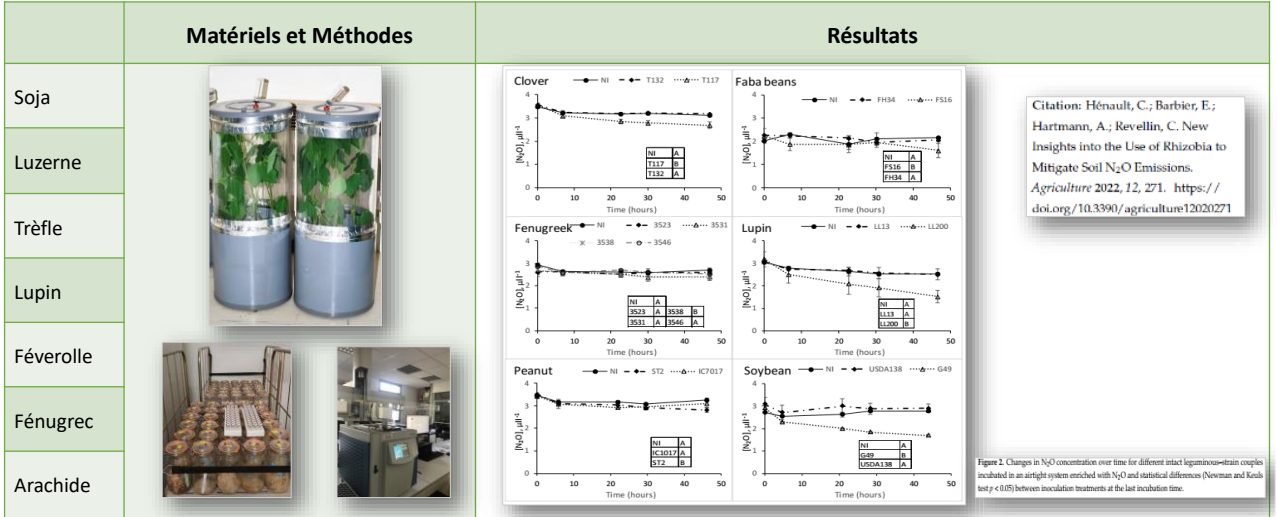
INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 10

➤ Introduction de micro-organismes *nosZ+* via une légumineuse inoculée

In planta phenotyping



INRAE — Timac AGRO

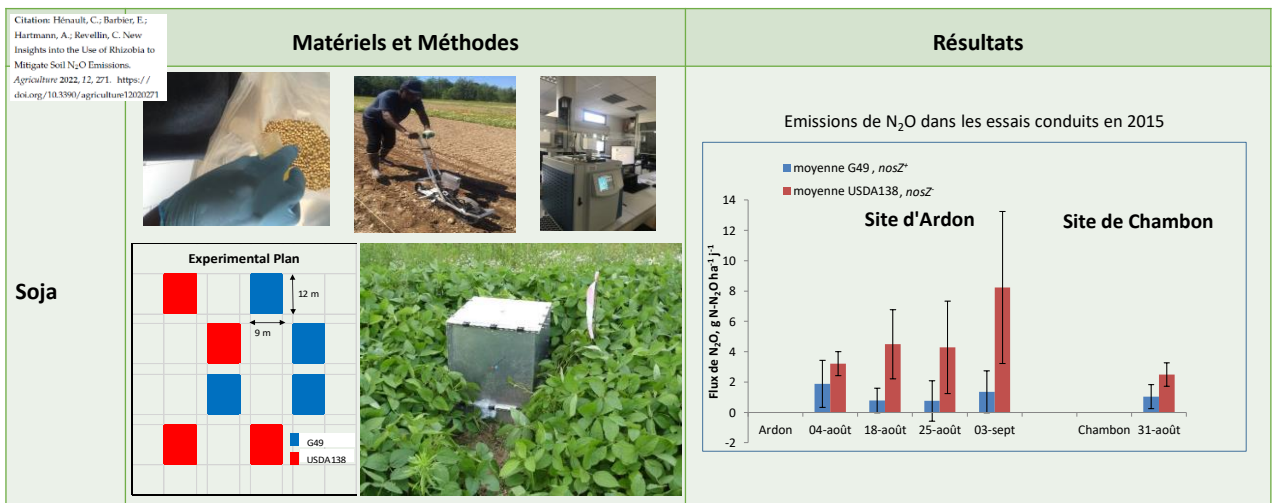
Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O

28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 11

➤ Introduction de micro-organismes *nosZ+* via une légumineuse inoculée

In situ mitigation



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O

28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 12

➤ Gérer le pH des sols

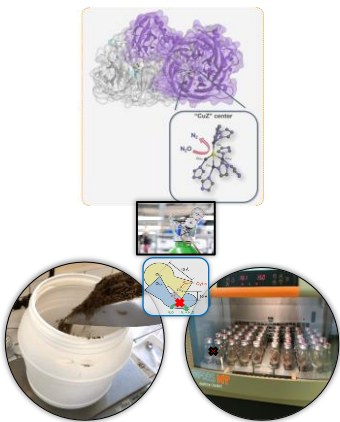
Fonctionnalité de l'enzyme

Flux N₂O / GES

➤ Gérer le pH des sols - Approches Méthodologiques

Sol déstructuré

Fonctionnalité de l'enzyme

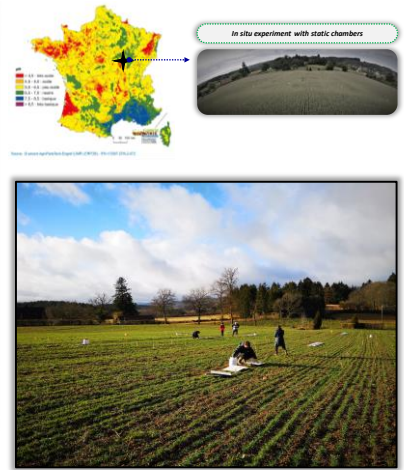


Cylindre de sol non remanié

Flux N₂O / GES



In situ



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

➤ Gérer le pH des sols

Fonctionnalité de l'enzyme

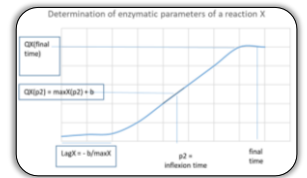
Matériels et Méthodes

Sol déstructuré



Détermination de paramètres enzymatiques

- mécanistiques (vitesse maximale, latence, ...)
- empiriques (indicateurs de l'incapacité des sols à réduire N₂O)



INRAE — TIMAC AGRO

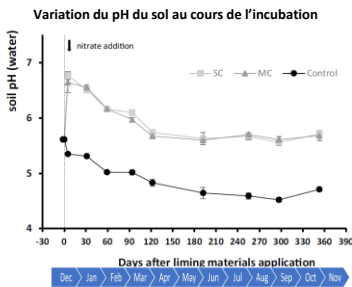
Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 15

➤ Gérer le pH des sols

Fonctionnalité de l'enzyme

Résultats



Evolution des paramètres indicateurs du fonctionnement ou non fonctionnement de l'enzyme N₂O réductase :

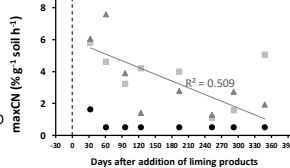
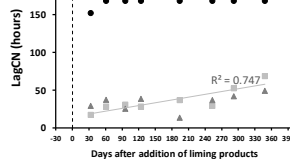
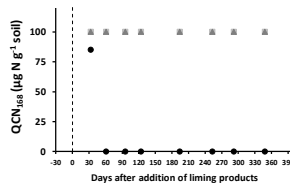
Mécanistiques

maxCN : vitesse max de réduction de N₂O
lagCN : temps de latence
QCN168 : part de N₂O formé consommé après 168 h

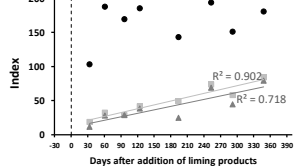
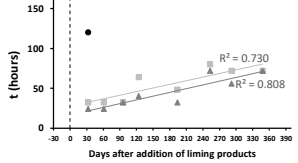
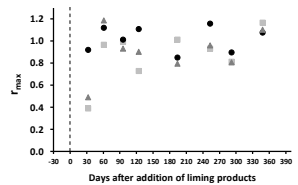
Empiriques

r_{max} et index sont des indicateurs de l'incapacité d'un sol à réduire N₂O
t est un indicateur du temps de latence

Paramètres mécanistiques



Paramètres empiriques



INRAE — TIMAC AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

Ouerghi et al., 2023 - BFS

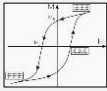
p. 16

➤ Gérer le pH des sols

Fonctionnalité de l'enzyme

Discussion spécifique

- Hystérèse de réponse de l'activité de la N₂O reductase à une variation de pH



- Les conditions d'assemblage de l'enzyme pour qu'elle soit fonctionnelle : pH >= 6.8
- Les enzymes configurées aux pH >= 6.8 restent fonctionnelles si pH diminue
- Temps de generation des cellules bactériennes estimées jusqu'à 200 jours – Borer and Or, 2022

- **Concept de "fonctionnalité de l'enzyme"** qui doit être pris en consideration en complement du concept « one gene – one enzyme » (Beadle and Tatum, 1941) : La présence d'un gene et de l'enzyme associée ne garantissent pas sa fonctionnalité

- **Changement d'échelles** (vers le champ) nécessaire pour validation et évaluation de la généricité de ces résultats

Querghi et al., 2023 - BFS



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

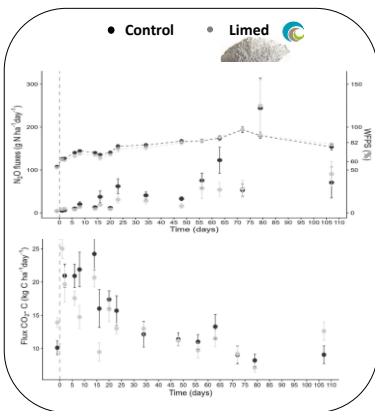
p. 17

➤ Gérer le pH des sols

Flux N₂O / GES

Fonctionnalité de l'enzyme

Cylindre de sol non remanié



GHG abatment : 11,3 %

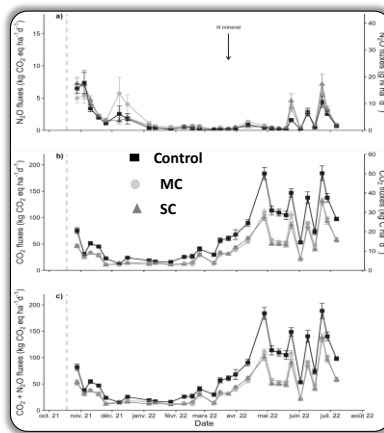
Rousset et al., 2023 - EJSS



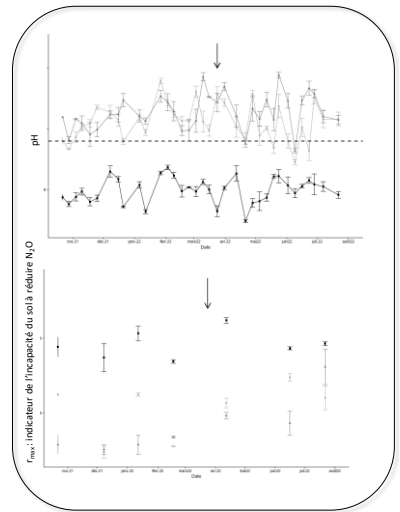
INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions du gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

In situ



GHG abatment : around 40 %



Rousset et al., – en préparation. Non publiés ces résultats sont susceptibles d'évoluer

p. 18

➤ Éléments de conclusion - discussion générale

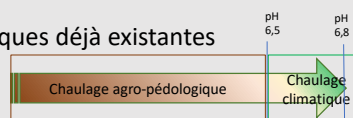
➤ Discussion - Conclusion

➤ Travaux à l'Interface entre **microbiologie fondamentale et microbiologie appliquée** pour la **gestion du service de régulation du climat par les sols**

➤ Obtention **d'abattement des émissions de GES par les sols *in situ*** sur la base d'approches mécanistiques

➤ Ouverture vers de nouveaux usages de pratiques agronomiques déjà existantes

➤ Du chaulage agro-pédologique au chaulage climatique



➤ Inoculation des légumineuses pour la fixation d'azote et la régulation du climat : *Dommage d'inoculer avec des souches nosZ- (même si elles permettent d'optimiser la fixation d'azote !)*

➤ Des travaux qui vont se prolonger en collaboration partenariale



INRAE — Timac AGRO

Gestion du fonctionnement des communautés microbiennes du sol pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre N₂O
28 juin 2023 / Colloque MICA / Hénault C., Bréfort H., Rousset C., Arkoun M.

p. 20