



HAL
open science

Voies de réduction des émissions de N₂O par les sols pour le futur

Catherine Hénault, Agnès Grossel, Cécile Revellin

► **To cite this version:**

Catherine Hénault, Agnès Grossel, Cécile Revellin. Voies de réduction des émissions de N₂O par les sols pour le futur. Séminaire UMT GES-N₂O, Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UMR Environnement et Grandes Cultures (1091).; Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UMR Agronomie (0211).; Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains (CE-TIOM). FRA., Jun 2011, Paris, France. hal-02809173

HAL Id: hal-02809173

<https://hal.inrae.fr/hal-02809173>

Submitted on 6 Jun 2020

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.

Voies de réduction des émissions de N₂O par les sols pour le futur

Catherine Hénault (1,2)

Avec la collaboration d'Agnès Grossel (1) et Cécile Revellin (2)

(1) UR SOLS – Orléans

(2) UMR MSE – Dijon

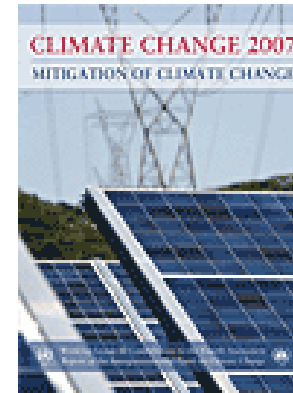
Niveaux d'interventions pour la gestion des émissions de N₂O par les sols

Niveau	Action	Échéance
Stratégique	Définir des actions Type et taille des exploitations Objectifs : production et/ou environnement	> 5 ans
Tactique	Conduite des parcelles Rotation des cultures Systèmes de pâturage Systèmes de drainage Systèmes d'irrigation	Année
Opérationnel	Logistique, décisions Apports de fertilisants (date et quantité) Travail du sol	Journée - mois

D'après Oenema , 1999. *Int. N₂O Workshop, Banff, Canada*, pp 175-191

Propositions générales pour réduire les émissions de N₂O par le secteur agricole

- Mesures proposées (IPCC, 2007)

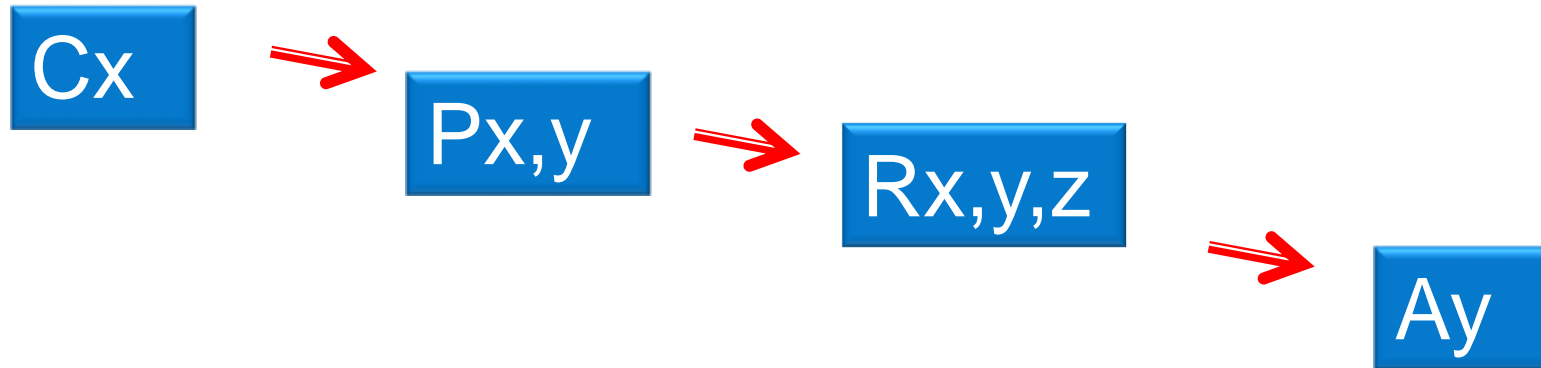


8
Agriculture
Coordinating Lead Authors: Alex Brink (UK), Einar Malm (Sweden)
Lead Authors: Daming Guo (PR China), Gidon Beatty (Canada), Hans-Joachim Gessels (Germany), Kumpun Kiataram (Thailand), Bruce Mitler (USA), Benjamin Ogle (USA), Frank Orlitzky (Canada), Daniel Pilon (USA), Bill Schulze (Germany), Day Sribastha (Australia)
Contributing Authors: Wolfgang Mueller (Australia), Tim Soderstrom (Canada), Steven Paul (China), Martin Rumpel (Germany), Bruce Ross (USA), Jens Schröder (Germany), Johannes Thaler (Austria), Hans-Joachim Gessels (Germany)
Review Editors: Hans-Joachim Gessels (Germany), Martin Rumpel (Germany)

- Meilleure gestion des flux de carbone et d'azote en agriculture
- Renforcement des absorptions (puits de carbone, ...)
- Report ou déplacement des émissions

Développement de solutions

Méthodologie du développement biotechnique



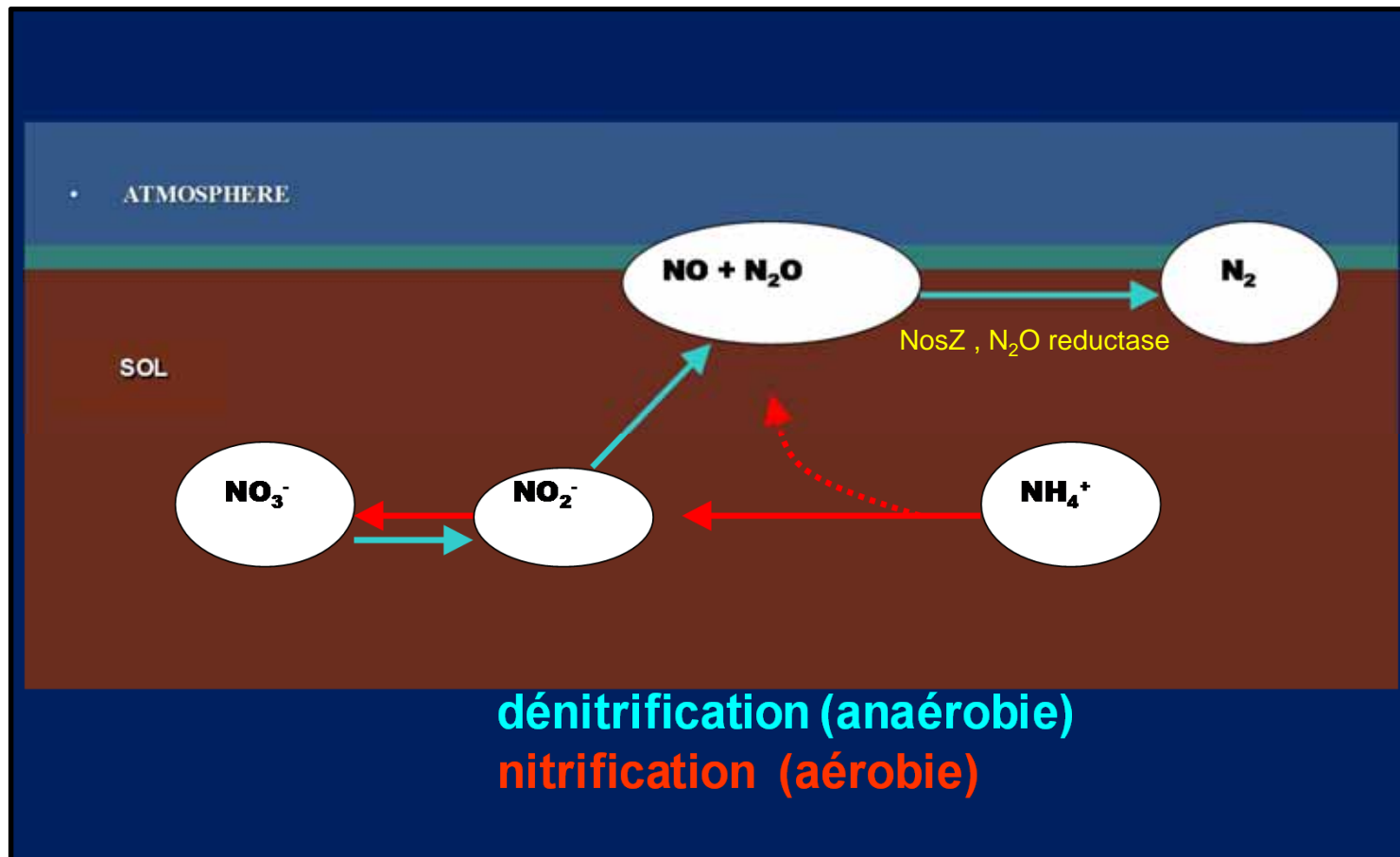
De plus

- **Prise en compte des émissions indirectes**
- **Pas de transfert de pollution, prise en compte des différents GES**
- **Pertinence socio-économique**

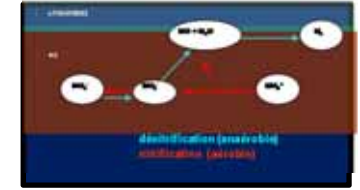
C1

Mécanismes de production de N_2O par les sols

- Mécanismes microbiens essentiellement -



Réduction des émissions de N₂O par le secteur agricole



P1_a

Gestion des substrats des mécanismes sources

- Améliorer l'absorption et l'utilisation de l'azote chez les plantes
- Adaptation des apports d'azote aux besoins de la plante
- Raisonnement des rotations et/ou des systèmes de culture

P1_b

Intervenir sur le fonctionnement des processus microbiens source de N₂O

- Intervenir sur le processus de dénitrification (pas d'inhibiteur) en modifiant les caractéristiques physiques, hydriques des sols pour limiter les conditions d'anaérobiose
- Intervenir sur le processus de nitrification

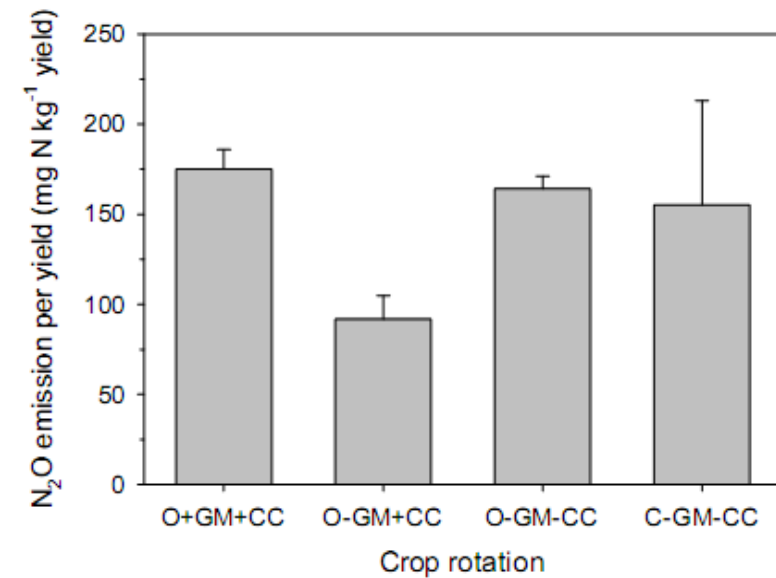
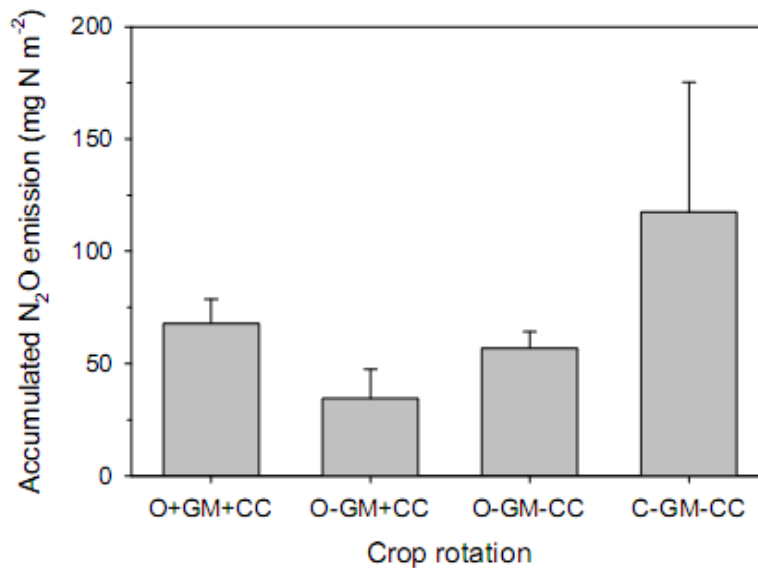
Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote

Exemple des travaux de Carter *et al.*, 2009

- Expérimentation réalisée au Danemark
- Mesure des émissions de N₂O de cultures en blé d'hiver dans différents systèmes de culture, à l'aide de la méthode des chambres au sol

➤ Systèmes de culture considérés

	Fertilisation	Engrais Vert	Culture de couverture
O+GM+CC	Lisier	+	+
O-GM+CC	Lisier	-	+
O-GM-CC	Lisier	-	-
C-GM-CC	Minérale	-	-



R1_a

Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote

Exemple du projet CASDAR 7-175 (UNIP)

1. Principe

- Introduire une légumineuse en tête de rotation, avec des objectifs
 - Agronomiques
 - Environnementaux
 - Economiques
- Rotation proposée : Pois – Colza - Blé



2. Essai en cours

- Essai au champ avec mesures ponctuelles des émissions de N₂O aux différents stades de la rotation, à l'aide de la méthode des chambres au sol

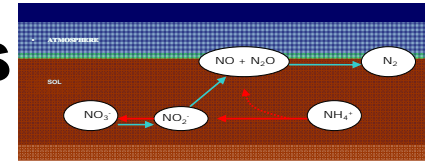


3. Premiers résultats

- Emissions de N₂O pendant et après la culture de pois du même ordre de grandeur que celles des cultures non fertilisées
- Réponse à l'azote du colza différente selon le précédent (pois ou blé)

R1_b

Intervenir sur le fonctionnement des processus microbiens



Modifier les caractéristiques physiques et hydriques des sols (travail)

I. Principe

- Favoriser les conditions aérobies dans le sol pour limiter l'activité de dénitrification
- Mais, éventuelles interactions avec le devenir de la matière organique

II. Conditions actuelles : simplification du travail du sol

“The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term”

S IX J., OGLE S., BREID F., RICH T. CONANT R., MOSIER A., PAUSTIAN K.

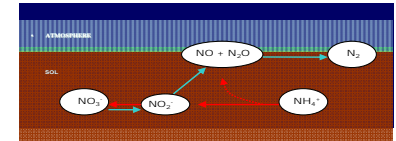
Global Change Biology (2004) 10, 155–160

Climat	Δ (émissions de N ₂ O) - kg N-N ₂ O ha ⁻¹ an ⁻¹ (N ₂ O) _{sans labour} - (N ₂ O) _{labour conventionnel}		
	5 ans	10 ans	20 ans
Humide	3,8	1,1	-4,2
Sec	1,3	0,9	0

Climat	Δ GWP (GWP) _{sans labour} - (GWP) _{labour conventionnel}		
	5 ans	10 ans	20 ans
Humide	391	-463	-2066
Sec	1508	392	-361

Intervenir sur le processus de nitrification

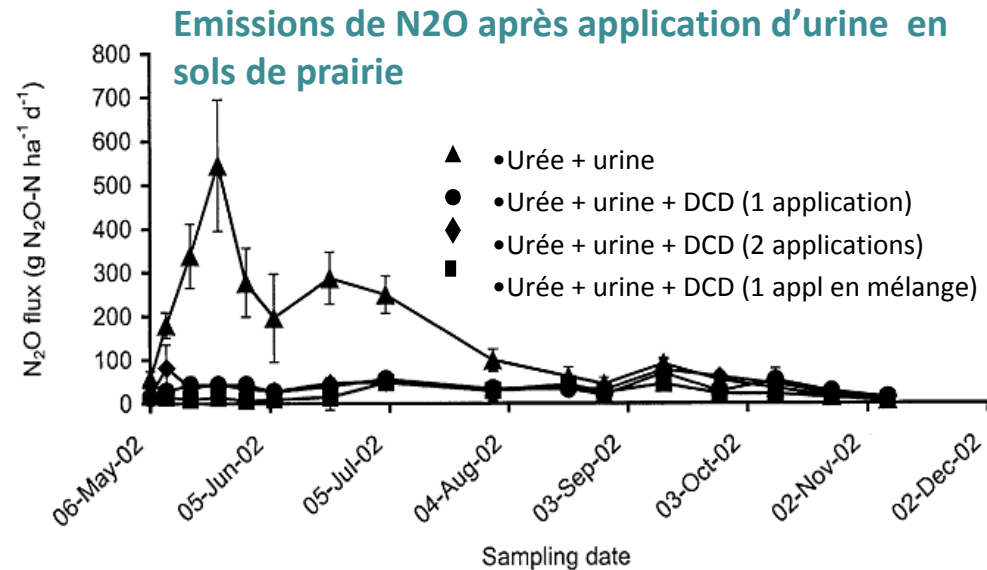
Utilisation d'inhibiteurs



I. APPROCHE EXPERIMENTALE

DCD : dicyandiamide,
Inhibiteur de l'oxydation
de l'ammonium en nitrites,
commercialisé sous le nom eco-N

D'après Di and Cameron, 2003
Soil Use Manag. 19:284-290



II. APPROCHE COMPTABLE

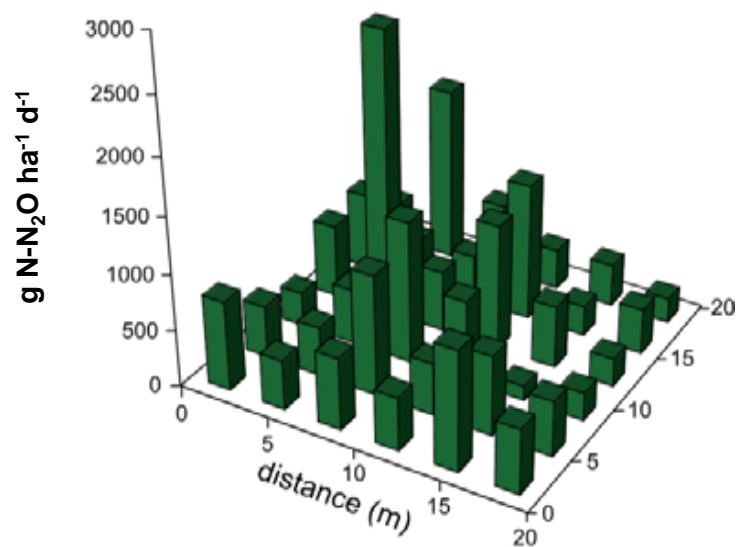
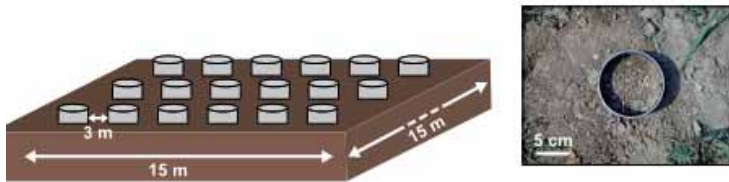
Type d'azote apporté dans les sols	Quantités 10 ⁹ g N	Facteur d'émission kg N-N ₂ O/kg N	Emissions directes par les sols 10 ⁹ g N-N ₂ O
Fertilisants de synthèse	256	0,01	2,56
Fertilisants de synthèse + eco-N	54	0,0079	0,4266
Dejections animales	39	0,01	0,39
Fixation azotée	4	0,01	0,04
Résidus de culture	9	0,01	0,09

Proposition d'inventaire des émissions de N₂O par les sols agricoles à l'échelle de la Nouvelle Zélande

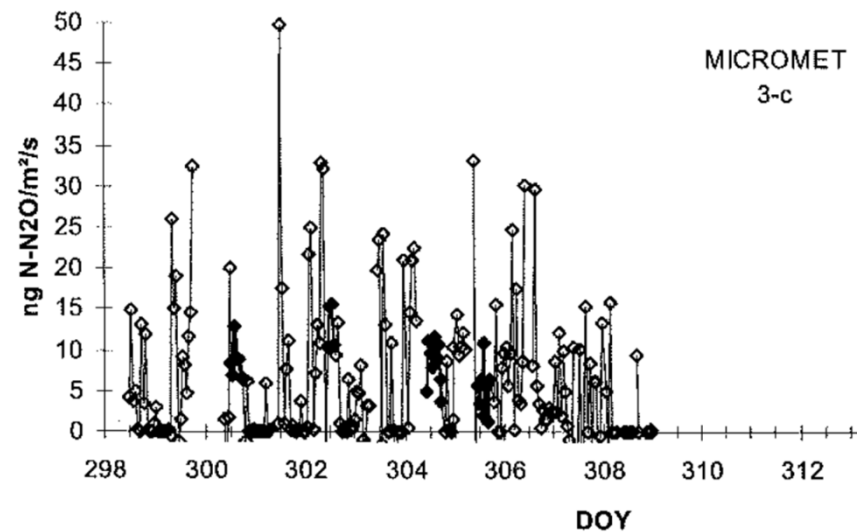
D'après Clough *et al.*, 2007
Nutr Cycl Agroecosyst. 78: 1-14

Variabilités des émissions de N₂O

- Très grandes variabilités spatiales et temporelles des émissions



Mathieu *et al.*, 2008. *UB Sciences*. 3:45-51



Laville *et al.*, 1997. *Agronomie*. 17:375-388

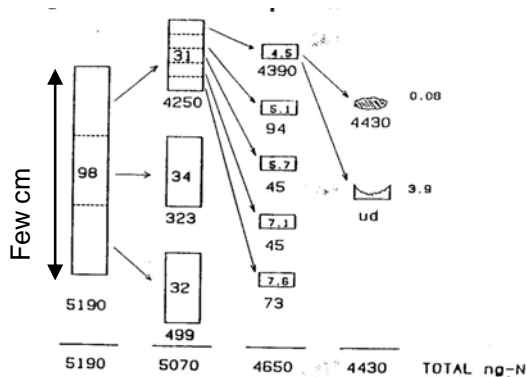
C2

Variabilités des émissions de N₂O

- Quelque soit l'échelle spatiale considérée

MESOCOSM SCALE

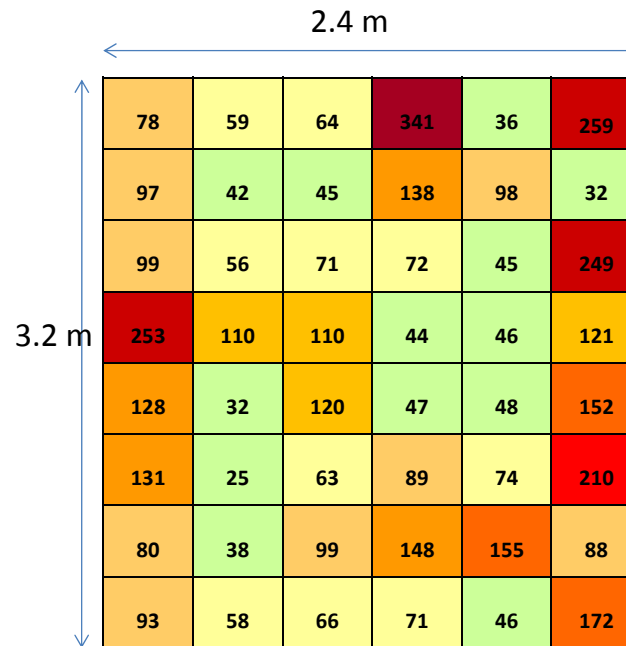
Experimental observations



Parkin *et al.*, 1987

PLOT SCALE

Experimental observations

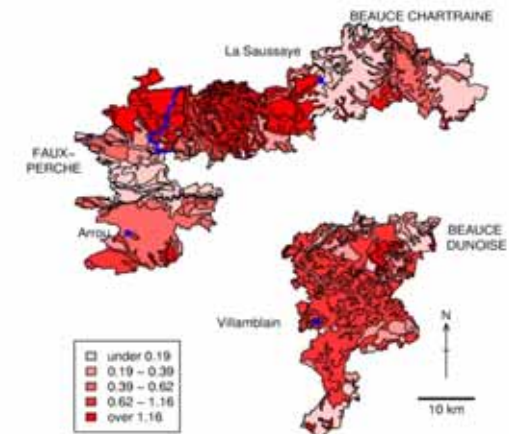


Grossel *et al.*, en préparation
g N-N₂O ha⁻¹ j⁻¹

LANDSCAPE SCALE

Simulations

(CERES-NOE) integrated into a GIS

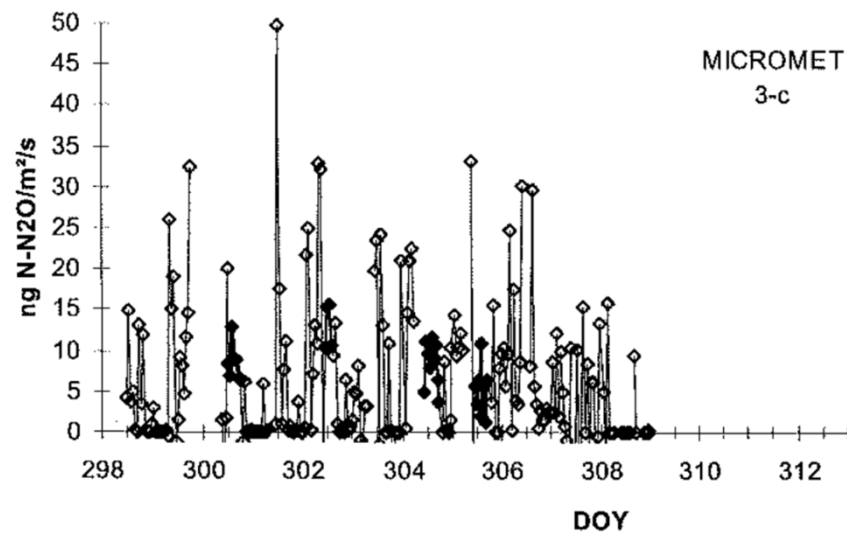


Gabrielle *et al.*, 2006

Variabilités des émissions de N₂O

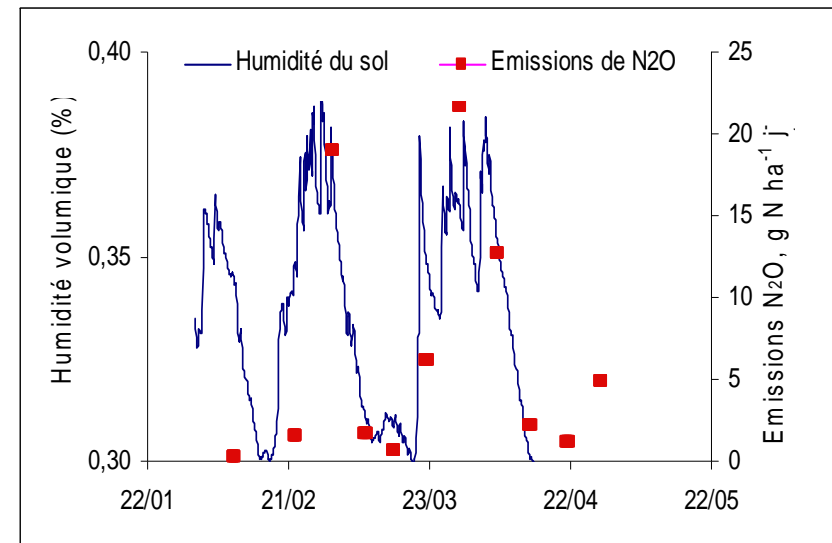
- Quelque soit l'échelle temporelle considérée

JOURNEE



Laville *et al.*, 1997. *Agronomie*. 17:375-388

SAISON



Site OS², non publié

P2

La variabilité spatiale des émissions de N₂O par les sols : Une opportunité ?

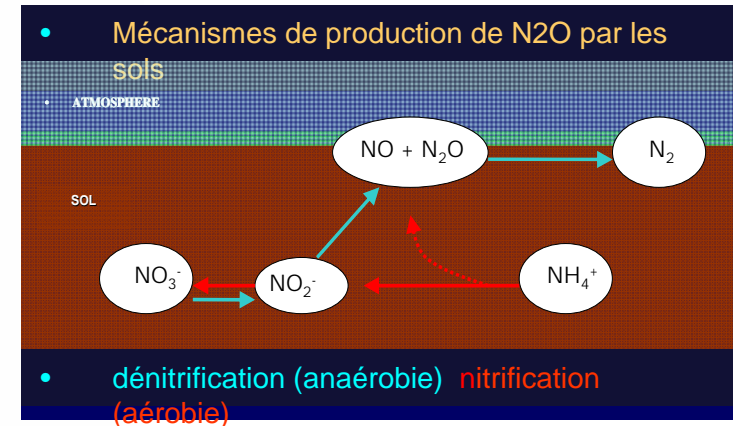
- **Choix des situations sur lesquelles intervenir prioritairement**
- **Nécessité de la compréhension de l'origine de la variabilité**
- **Développement de solutions adaptées aux conditions locales**

R - C

R - A

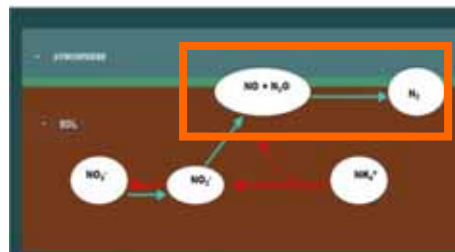
C2,1

Origine de la variabilité des émissions entre parcelles



- Quelle surface de sol concernée par cette caractéristique ? (proposition RMQS2)

C2,1 Variabilité des émissions entre parcelles



C2,1_a Role du Carbone dans la réduction de N₂O

P2,1_a

⇒ Apporter des composés carbonés dans ce type de situations

R2,1_a

- Quelle forme ?
- Quelle dose ?
- Effets antagonistes ?

A Faire ...

Gleyic Luvisol of the Burgundy-Champagne system

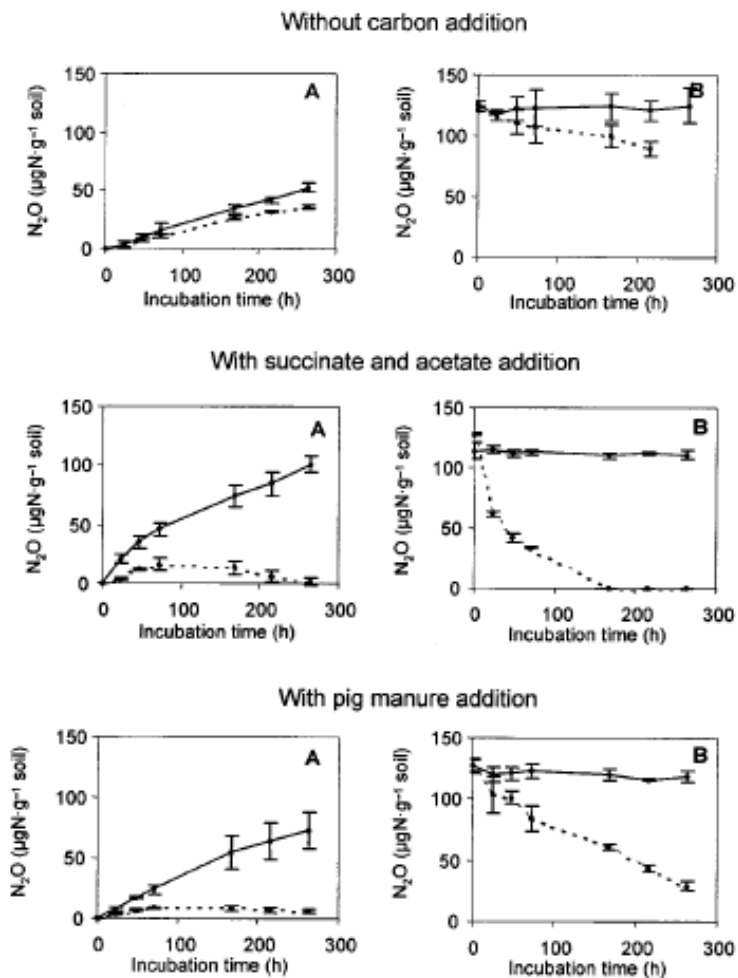


Figure 5. Anaerobic kinetics of N₂O production (A) and consumption (B) by soil slurries from the Gleyic Luvisol of the Champagne-Burgundy system amended with different forms of carbon. Soil slurries were incubated in anaerobiosis with nitrate addition (A) or nitrous oxide addition (B) in the presence of C₂H₂ (—) or without C₂H₂ (- - -). Symbols represent the means of 3 replicates and error bars are the standard errors or are smaller than the symbol.

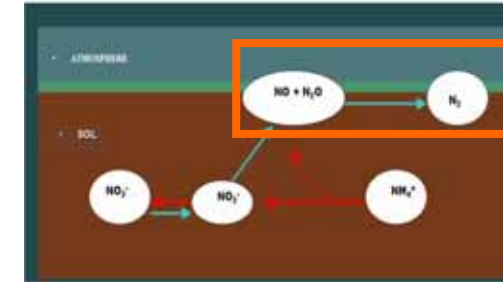
P2,1_b

⇒ Utiliser les symbiotes des Légumineuses



PRINCIPE

- Diminuer les émissions de N₂O en intervenant sur la réduction de N₂O en N₂ particulièrement dans les situations où cette fonction est peu efficace
- En intervenant sur la communauté microbienne des sols : Utiliser des microorganismes qui vivent en symbiose avec des plantes cultivées
- Or certains *rhizobia*, symbiotes des légumineuses possèdent les gènes *nosZ* genes (Sameshima-Saito et al., 2006)



⇒ Cultiver des légumineuses

- Inoculées avec une souche possédant les gènes *nosZ*
- Sur des sols avec des émissions élevées de N₂O car non réducteur

[SOL]_{PhN₂Ored-} + [Plante + Inoculant]_{PhN₂Ored+} ⇒ [SOL + Plant + Inoculant]_{PhN₂Ored+}

En cours (Financements INRA, régions Bourgogne, Centre, ????)

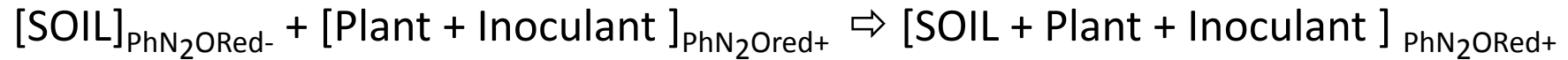
R2,1_b

Utiliser les symbiotes des Légumineuses



PRINCIPALES ETAPES ACTUELLEMENT REALISEES

- **Expérimentations en serre** pour tester la pertinence de l'équation



- **Expérimentations de laboratoire** pour développer les connaissances du processus
- **Approche par modélisation** pour estimer le bénéfice environnemental du process à l'échelle de la parcelle cultivée

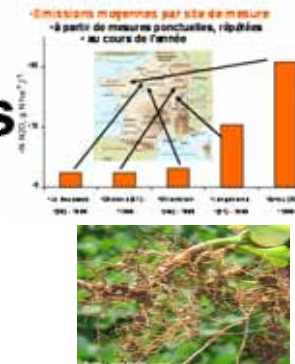


PRINCIPAL MATERIEL UTILISE

- Plantes de soja inoculées avec différentes souches de *Bradyrhizobium japonicum*
- Chromatographie en phase gazeuse

R2,1_b

Utiliser les symbiotes des Légumineuses

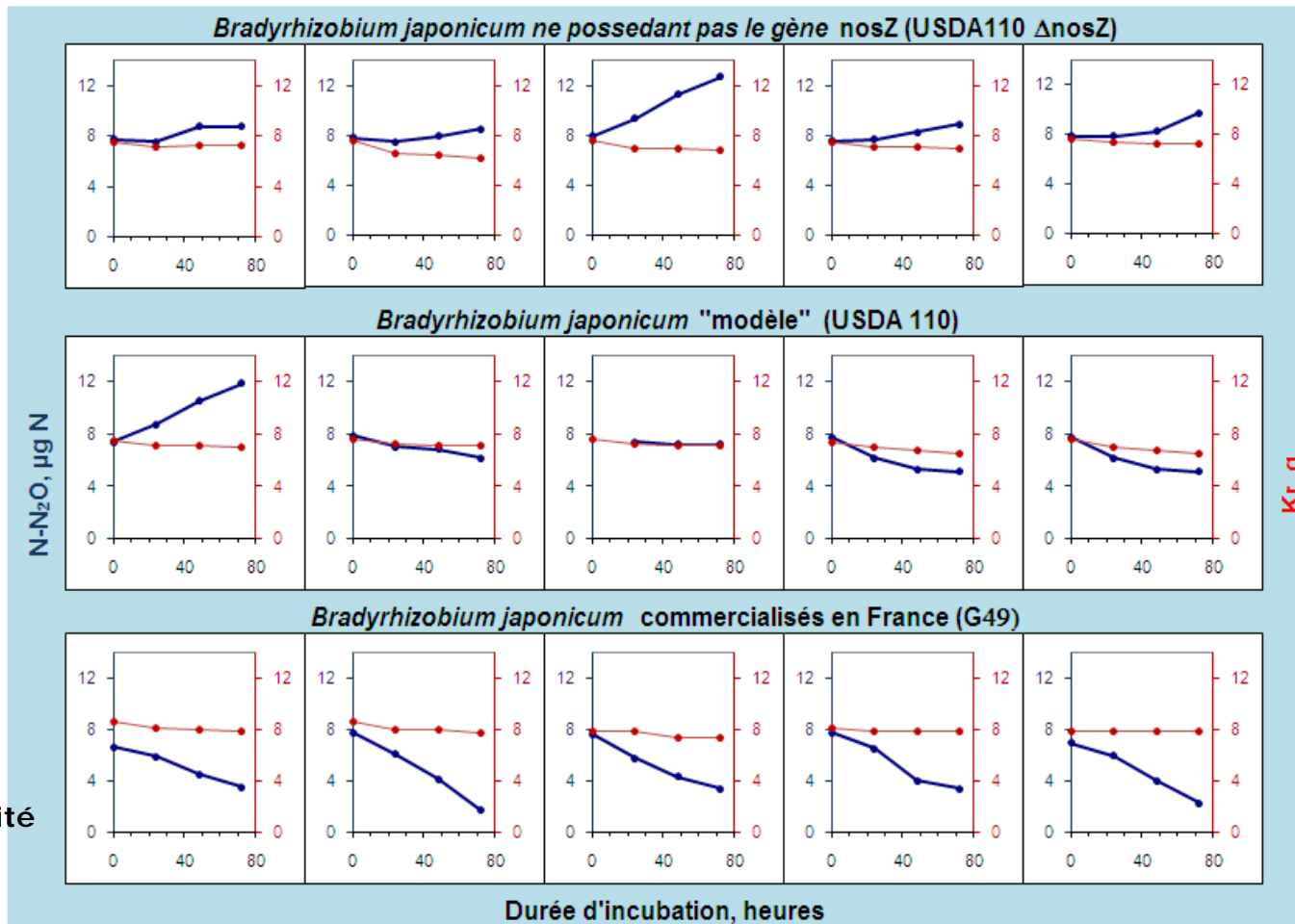


RESULTATS, expérimentation en serre



Sol présentant une faible capacité à réduire N₂O en N₂

— Kr, traceur d'étanchéité du dispositif
— N₂O

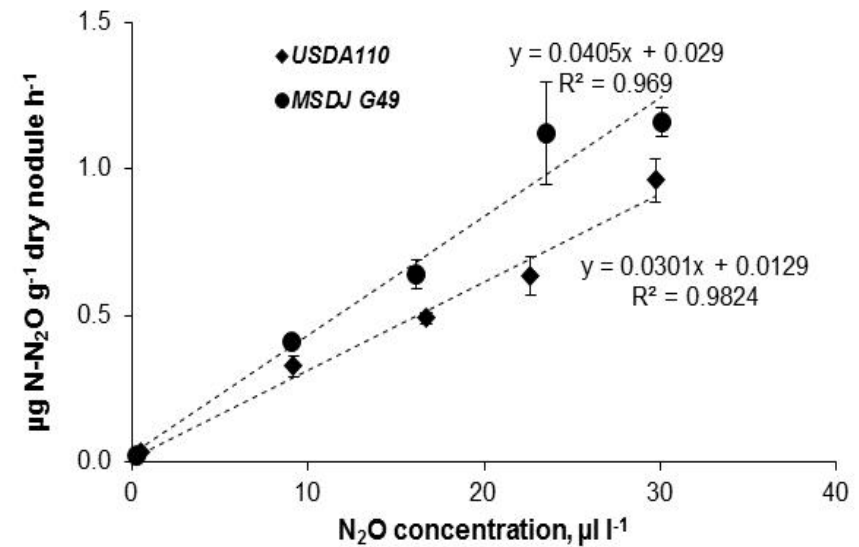
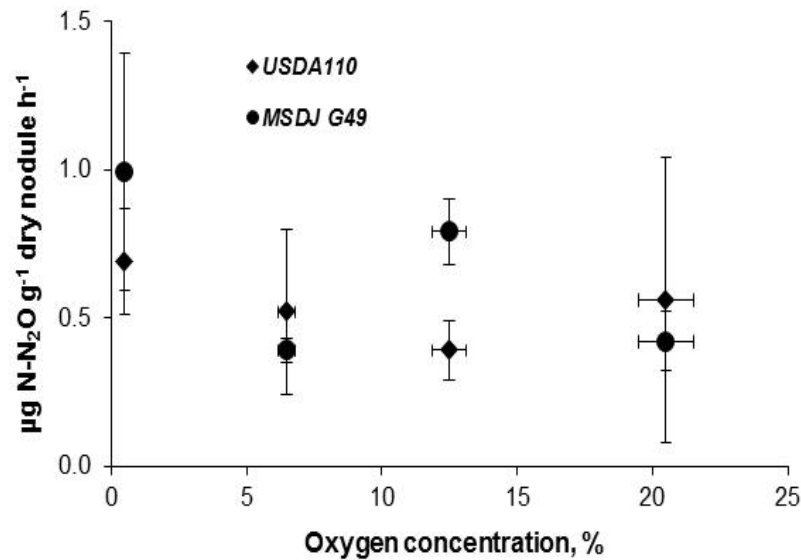


R2,1_b

Utiliser les symbiotes des Légumineuses



RESULTATS, expérimentations labo



Utiliser les symbiotes des Légumineuses



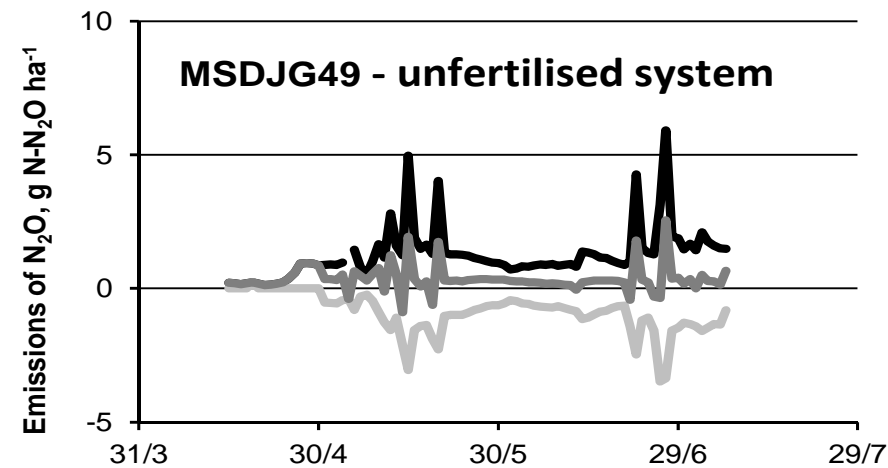
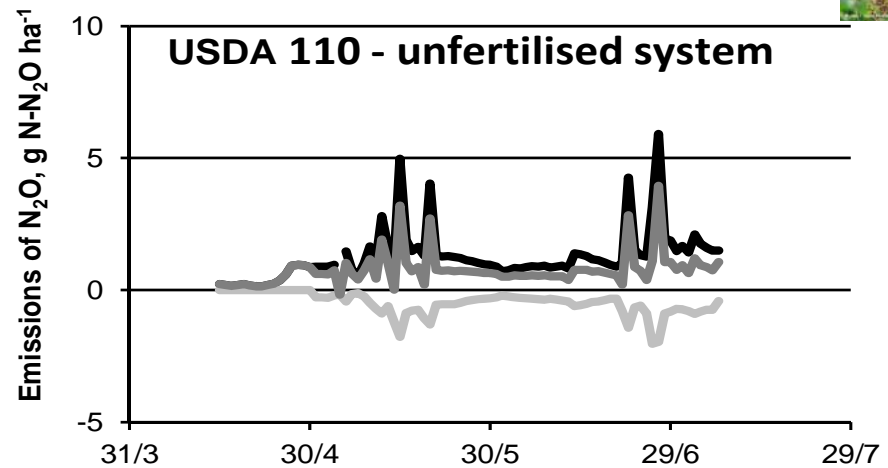
RESULTATS, simulations

Le modèle

Une version nouvelle de NOE (Hénault et al., 2005) qui inclut la réduction de N₂O par rhizobia

Paramétrisation du modèle avec les résultats obtenus au cours des expérimentations de laboratoire et en serre

N₂O emission by soil ———
 by nodules inoculated into soybean ———
 in a hypothetical system including active nodules ———



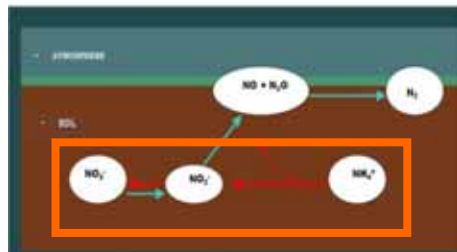
R2,1_b

Utiliser les symbiotes des Légumineuses



- Passage d'un système producteur de N₂O vers un système consommateur par l'inoculation de souches possédant les gènes *nosZ*
 - Observations
 - le processus n'est pas sensible à la concentration en oxygène
 - la vitesse de réduction de N₂O augmente avec la concentration ambiante de N₂O
 - L'efficacité du processus dépend des souches
 - Estimation d'un bénéfice intéressant à l'échelle de la parcelle
- ⇒ Mesurer ce bénéfice environnemental en situation !

C2,1 Variabilité des émissions entre parcelles



C2,1_b Contribution relative nitrification

P2,1_b

⇒ Adapter les formes d'engrais azotés aux caractéristiques des situations

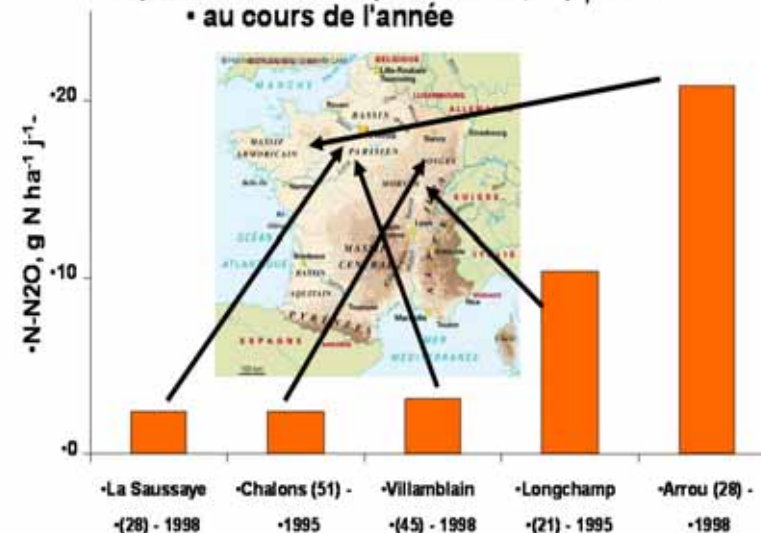
R2,1_b

A murir ...

- Simulations
- Essais au champ

•Emissions moyennes par site de mesure

- à partir de mesures ponctuelles, répétées
- au cours de l'année



<10%

>95%

~25%

~25%

<10%

Taux simulé, Hénault *et al.*, 2005

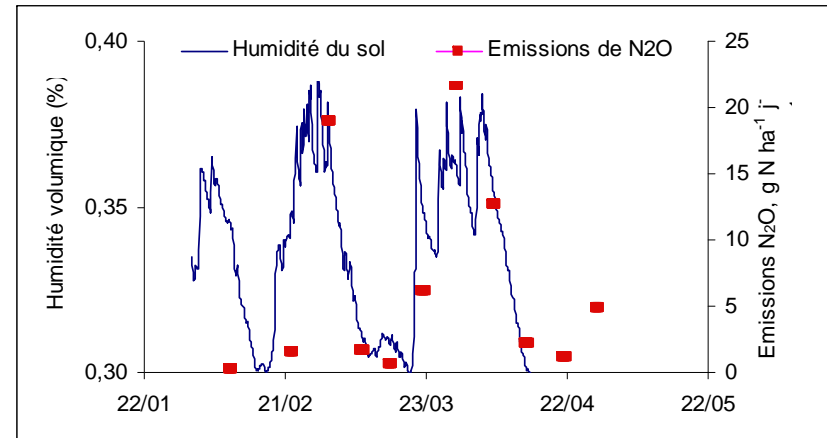
C3

Déterminisme des émissions de N_2O par les sols : Variabilité temporelle des émissions

Importance du fonctionnement
hydrique des sols sur les émissions de
 N_2O

P3

Gestion drainage / irrigation / structure
des sols



Site OS², non publié

R3

A ma connaissance, A Construire

Déterminisme des émissions de N₂O par les sols : Variabilité spatiale intraparcellaire des émissions

C4

Importance de la disponibilité en C (Mathieu *et al.*, 2006 ; Grossel *et al.*, en préparation)

P4

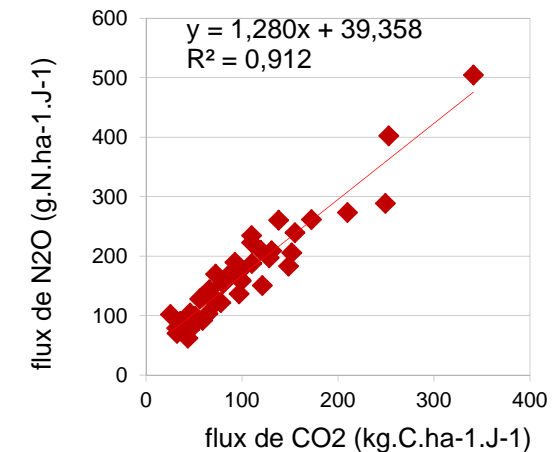
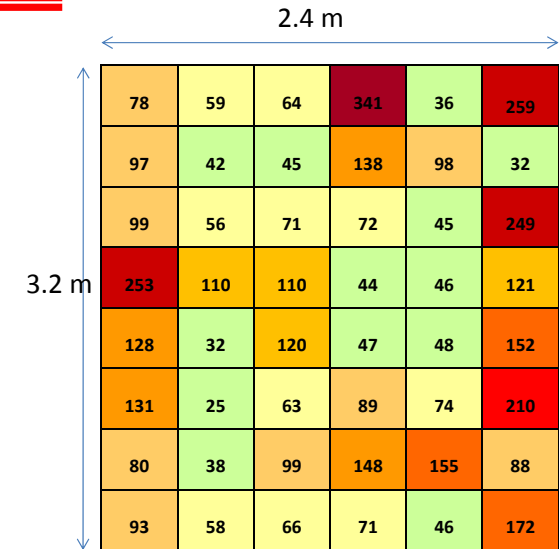
Gestion de la disponibilité en C et/ou des apports d'azote en fonction de la disponibilité en C

R4

Meilleure connaissance de la disponibilité en carbone des sols (variabilité intraparcellaire)

Epandage de précision
(agriculture/environnement de précision)

A ma connaissance, à construire



Grossel *et al.*, en préparation
g N-N₂O ha⁻¹ j⁻¹

Synthèse

D'après Oenema , 1999. *Int. N₂O Workshop, Banff, Canada*, pp 175-191

Niveau	Action	Échéance
Stratégique	Définir des actions	> 5 ans
	Type et taille des exploitations Objectifs : production et/ou environnement	Cultures de légumineuses puits N₂O ?
Tactique	Conduite des parcelles	Année
	Rotation des cultures	Travaux en cours dans différents endroits
	Systèmes de pâturage	
	Systèmes de drainage Systèmes d'irrigation	Travaux de recherches à développer puis propositions- développement,....
Opérationnel	Logistique, décisions	Journée - mois
	Apports de fertilisants (date et quantité)	Forme + Epannage de précision
	Travail du sol	Travaux en cours dans différents endroits

Gestion de la disponibilité en carbone des sols

Déclinaison locale des solutions envisagées

Merci de votre attention



CONCLUSIONS

- Variabilities in N_2O fluxes suggest that high fluxes could probably be avoided
- It is therefore important to quantify and analyse this variability in mechanistic terms. The understanding of variabilities would help in the creation of mitigation solution
- We previously observed that soils with a poor capacity to reduce N_2O into N_2 emit large level of N_2O . A test was developed to rapidly detect this property (Hénault et al., 2001). We currently try to develop some solutions to correct this property.
- When developping solutions, it is important to not transfer the pollution (indirect emission, other greenhouse gas).