



pH des sols et Emissions de N₂O



Hénault Catherine

SOMMAIRE

- ❖ Introduction
- ❖ Le projet SOLGES
- ❖ Mise en perspective internationale

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



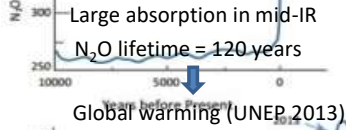
Hénault Catherine / COMIFER

.02
05/11/2014

1. Introduction

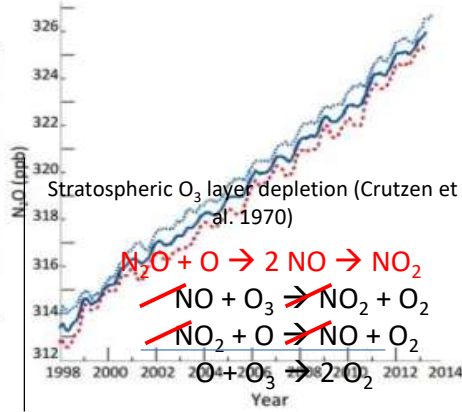
- N₂O naturally present, but concentration increased since the industrialization period

→ Impact at the global scale



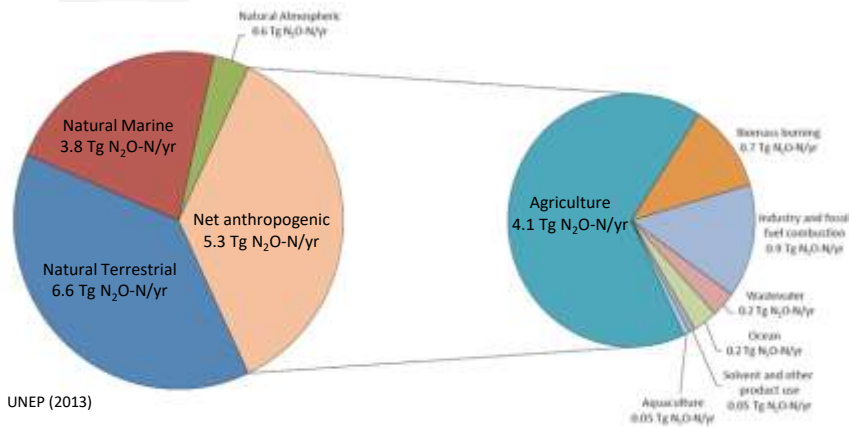
GAS	GWP (100 years)
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296

UNEP (2013)



1. Introduction

- Natural sources 2/3 , anthropogenic sources 1/3



UNEP (2013)

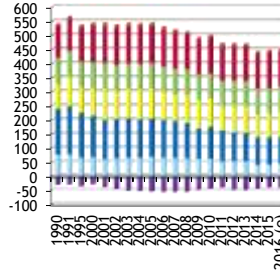
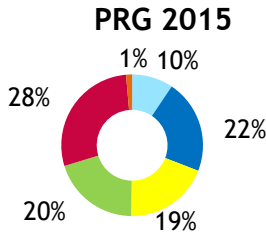


L'inventaire GES de la France



Le secteur agricole dans l'inventaire SECTEN

L'agriculture au format SECTEN représente, en 2015, **20%** des émissions nationales de gaz à effet de serre.



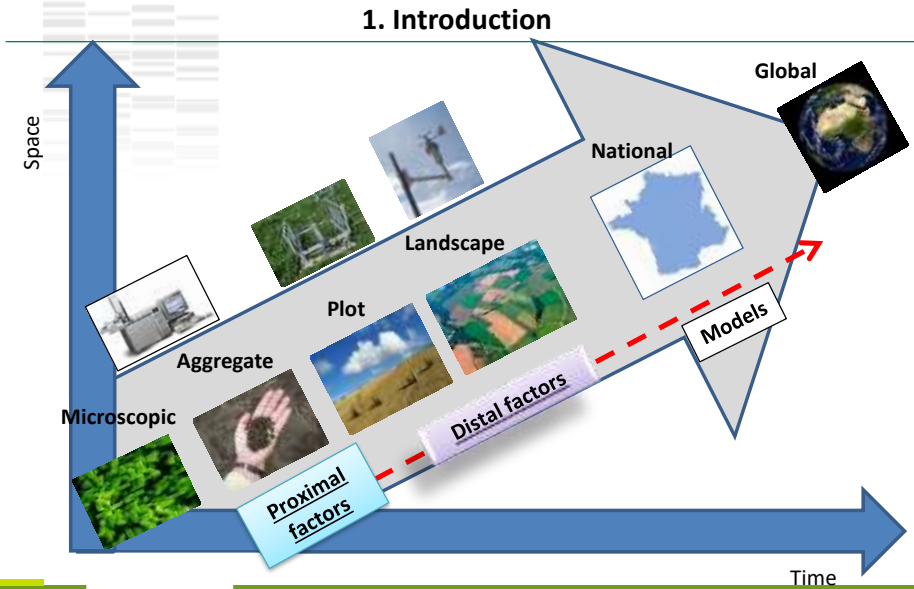
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2017



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets **SOLGES & PUIGES**

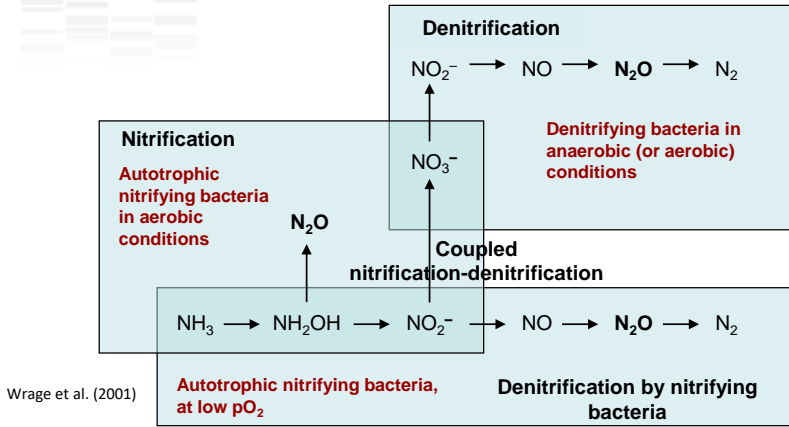
5



Jordan Bureau
Thesis defense: 7 April 2017

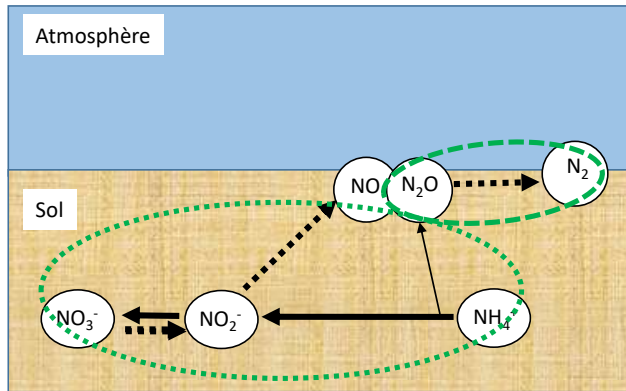
1. Introduction

- Nitrification and denitrification = N₂O production main mechanisms



Jordan Bureau
Thesis defense: 7 April 2017

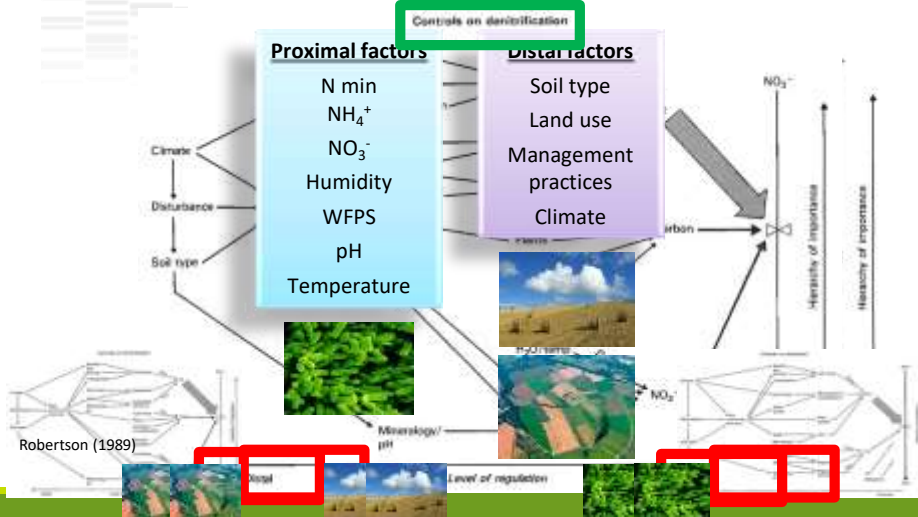
1. Introduction



la nitrification (←) observée en conditions de bonne aération du sol
la dénitrification (- - -) observée en conditions de faible aération du sol

1. Introduction

- N₂O emissions by soils depend on the environmental physicochemical conditions



Jordan Bureau
Thesis defense: 7 April 2017

.09



SOLGES Capacité des SOLs à réduire le Gaz à Effet de Serre N₂O

INRA SOLS ET IMPACT

Terres Inovia l'agronomie au service de l'élevage

ARVALIS Institut du végétal

SOL

INRA

Terres Inovia

ARVALIS



18 octobre 2017 – Salle D. King

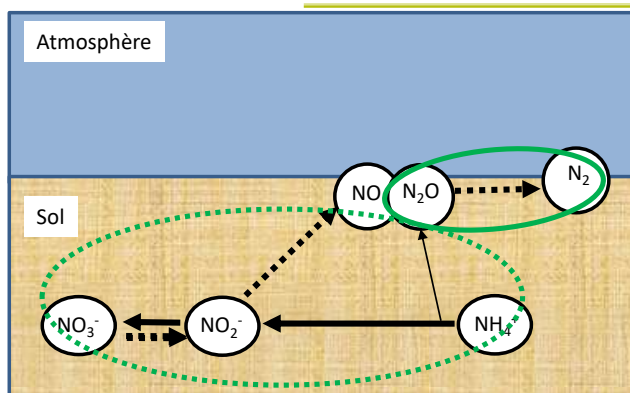
Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

10





Cadre Scientifique



la nitrification (←) observée en conditions de bonne aération du sol
la dénitrification (→) observée en conditions de faible aération du sol

Stimuler le fonctionnement de la transformation du N_2O en N_2 

18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

11



Cadre Scientifique

Spécificités d'un travail sur l'étape de transformation de N_2O en N_2

- La forme recherchée, N_2 , est inerte dans l'environnement et sur la base des connaissances actuelles, pas de relargage de produits intermédiaires \Rightarrow pas de transfert de pollution sur le cycle de l'azote
- Cette étape du cycle de l'azote est catalysée par une enzyme (N_2O réductase, codée par le gène *NosZ*). Le contour et les connaissances sur cette transformation sont relativement bien précisés, avec connaissance d'un inhibiteur de cette transformation (acétylène)
- Des travaux antérieurs montrent une variabilité de fonctionnement de cette transformation dans les sols, et suggèrent un lien avec l'intensité des émissions de N_2O (Hénault *et al.*, 2001)
- Pas de lien direct entre cette transformation et la production agricole



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

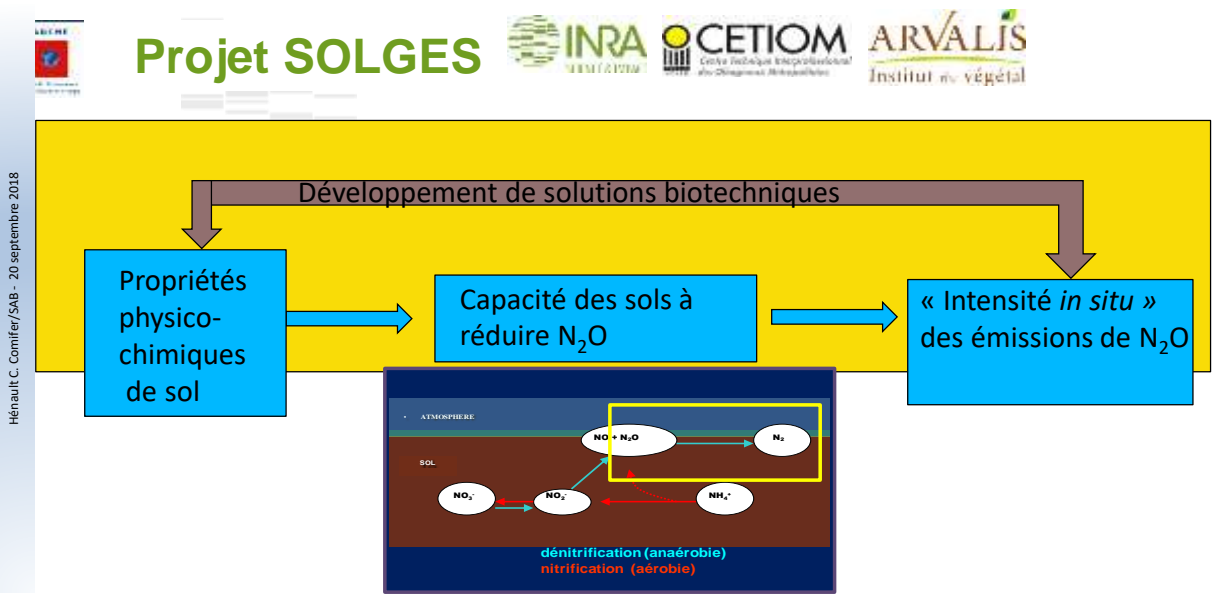
12



1. Agir sur les propriétés physico-chimiques des sols (SOLGES)

$[SOL(pH_a, CEC_a, C_a, \dots)]_{PhN2Ored-} \Rightarrow [SOL(pH_b, CEC_b, C_b, \dots)]_{PhN2Ored+}$

Séminaire 18 octobre 2017 – Salle D. King Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES 13



Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



Introduction générale

Hypothèses du projet

Agir sur les propriétés physico-chimiques des sols (SOLGES)

$[\text{SOL}(\text{pH}_{a'}, \text{CEC}_{a'}, C_{a'} \dots)]_{\text{pHN2ORed-}} \Rightarrow [\text{SOL}(\text{pH}_{b'}, \text{CEC}_{b'}, C_{b'} \dots)]_{\text{pHN2ORed+}}$

1. Les sols qui ont une faible capacité à réduire N_2O en N_2 potentiellement émettront *in situ* davantage de N_2O que des sols présentant une forte capacité à réduire N_2O en N_2 , toute autre propriété équivalente par ailleurs.
2. La capacité des sols à réduire N_2O en N_2 est déterminée par leurs propriétés physico-chimiques avec des hypothèses fortes qui concernent le rôle du pH et des matières organiques du sol (Stehfest et Bouwman, 2006).
3. En intervenant sur les propriétés physico-chimiques des sols, on peut modifier leur capacité à réduire N_2O en N_2 . Cela a pu être démontré au laboratoire.
4. Ces résultats sont applicables *in situ*.



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

15



Introduction générale

Evolution significative des concepts

Introduction du concept de l'étude GES (Pellerin *et al.*, 2013)

Potentiel d'atténuation = assiette x abattement

Assiette : surface de sol sur laquelle on peut agir

Abattement : Taux de réduction des émissions de N_2O obtenu par l'action



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

16





Introduction générale

Organisation de SOLGES

Tâche 1 : Coordination – Communication

Tâche 2 : Répartition spatiale des sols présentant une faible capacité à réduire N₂O

Volet 0 : Protocole de caractérisation au laboratoire la capacité des sols à réduire N₂O

Volet 1 : Rééchantillonnage des sites RMQS

Volet 2 : Réalisation du test sur les sites RMQS

Tâche 3 : Développement de solutions biotechniques

Volet 1 : Essai pH

Volet 2 : Essai MO et pH

Tâche 4 : Traitement des données et modélisation



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

17



Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N₂O

Adeline Ayzac, Catherine Hénault



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

18





Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N₂O

Objectifs spécifiques

- Définir un protocole de mesure de la capacité des sols à réduire N₂O
 - applicable à tous types de sol et reproductible
 - Réalisable en « semi-routine »
 - Fournisseur d'une information sous forme « d'indicateur chiffré »

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

19



Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N₂O

Démarche retenue

- Etude bibliographique
- Démarche de normalisation ISO
incluant un essai circulaire international
(adossement à SOLGES d'un financement spécifique –
ADEME – pour un travail avec le groupe d'écotoxicologie
terrestre AFNOR)

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

20





Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N_2O

Présentation détaillée du protocole

PRINCIPE

- ❑ Quantification du N_2O produit ou consommé au cours de la dénitrification par du sol mis en incubation au laboratoire
- ❑ 4 étapes expérimentales
 - 1 / Conditionnement des échantillons de sol
 - 2 / Incubation de sol et prélèvement d'échantillons gazeux
 - 3 / Analyse des échantillons gazeux par CPG
 - 4 / Traitement des données
- ❑ Calcul d'indicateurs



18 octobre 2017 – Salle D. King

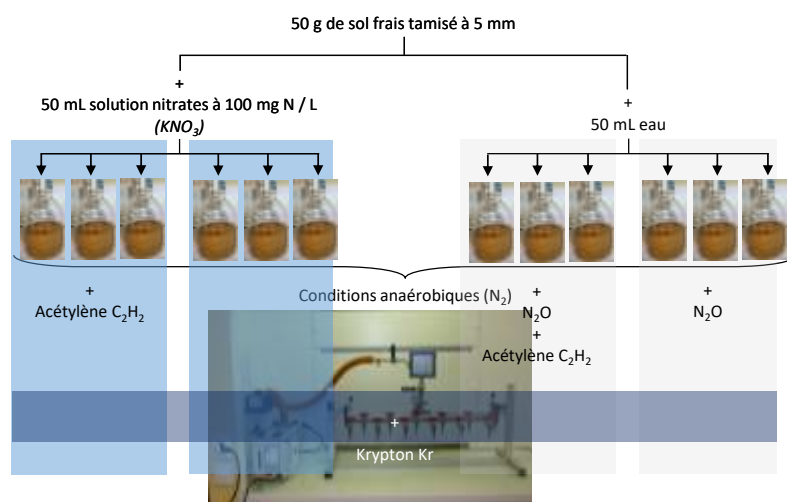
Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

21



Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N_2O

Présentation détaillée du protocole : 1. Conditionnement



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

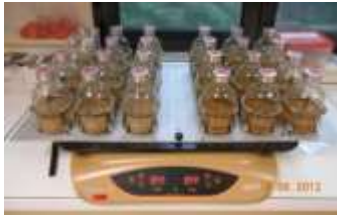
22



Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N₂O

Présentation détaillée du protocole : 2. Incubation

Hénault C. Cornifer/SAB - 20 septembre 2018



- Agitation orbitale à 180 rpm pendant une semaine
- T = 20°C



- Analyses sur un µGC



- Echantillonnage de l'atmosphère des fioles à t =
 - 0
 - 24 h
 - 48 h
 - 72 h
 - 96 h
 - Et 168 h



Séminaire

18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

23



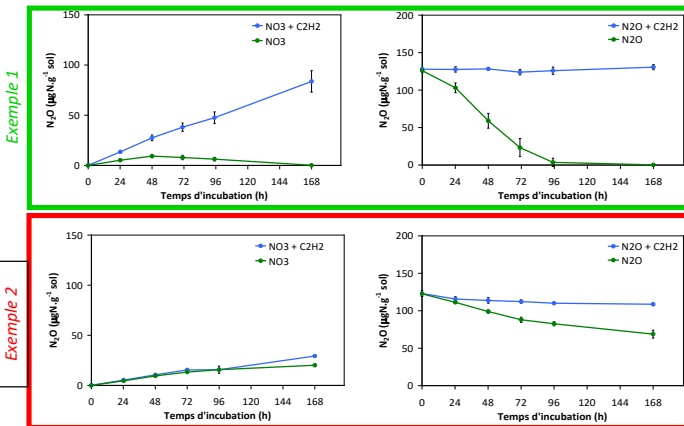
Protocole de Caractérisation de la capacité des sols à réduire N₂O

Présentation détaillée du protocole : 4. Traitement

Hénault C. Cornifer/SAB - 20 septembre 2018

- Accumulation du N₂O (modalités avec apport de nitrates)

- Réduction du N₂O (modalités avec apport de N₂O)



Bonne capacité à réduire N₂O
PhN2Ored+
r_{max} < 0.4
Index < 30

Faible capacité à réduire N₂O
PhN2Ored-
r_{max} > 0.8
Index > 50

● avec acétylène ● sans acétylène



Séminaire

18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

24



Conclusions

- ❑ Définition d'un protocole répondant aux critères initiaux
- ❑ Livrables produits
 - ❑ Norme technique ISO/TS20121-2:2017 incluant un essai circulaire
 - ❑ Création d'un film décrivant les étapes de conditionnement et d'incubation des échantillons de sol
- ❑ Possibilité de réaliser ce protocole dans le cadre du projet sur environ 120 échantillons



Sélection et prélèvement des échantillons de sol Mesure de leur capacité à réduire N₂O

Nicolas Saby, Céline Ratié et Adeline Ayzac





Sélection et prélèvement des ~100 échantillons de sol

Critères retenus pour les prélèvements SOLGES

- ❑ Construire un plan d'échantillonnage optimisant sa représentativité en termes de
 - ❑ couverture spatiale,
 - ❑ d'étendue des données
 - ❑ de facteurs de contrôle de la capacité des sols à réduire N_2O , d'après la littérature :
 - ❑ pH (Simek et Cooper, 2002, Stehfest et Bouwman, 2006,...)
 - ❑ Carbone (Hénault et al., 2001 ; Velthof et al, 2003 ; ...)

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

27



Sélection et prélèvement des ~100 échantillons de sol

Rappels : Qu'est ce que le RMQS ?

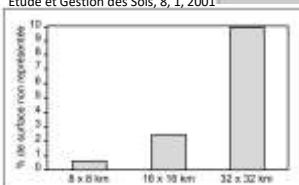
Réseau de Mesures de la Qualité des Sols



- Une grille systématique de 16 km de côté avec un point tous les 16 km
- Une bonne couverture spatiale et des **types de sols** et **d'occupations**
- Un retour sur site possible
- Un protocole de prélèvement rôdé
- Une banque d'analyses disponibles



Arrouays et al.,
Étude et Gestion des Sols, 8, 1, 2001



Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

ets SOLGES & PUIGES

28





Sélection et prélèvement des ~100 échantillons de sol

Résultats concernant la sélection des sites

- ❑ Utilisation du dispositif RMQS
- ❑ Identification de critères basée sur la littérature et avis d'experts
- ❑ Utilisation de la méthodologie de l'Hyper Cube Latin



⇒ Sélection de 90 sites permettant un échantillonnage adapté à la problématique



Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018

Séminaire

18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

29



Sélection et prélèvement des ~100 échantillons de sol

Premiers résultats (locaux)

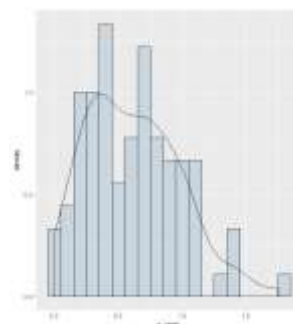
Les données r_{\max}

Sur la base des 90 sites, nous avons identifié

- 36 situations (40 %) - **PhN2Ored-**
- 25 sites (28 %) - **PhN2Ored+/-**
- 29 sites (32 %) - **PhN2Ored+**



- La figure indique la capacité des sols à réduire N_2O en N_2
 - très efficace en vert
 - moyennement efficace en jaune
 - très peu efficace en orange, rouge)



Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018

Séminaire

18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

30



Sélection et prélèvement des ~100 échantillons de sol

Conclusions

- Un échantillonnage représentatif de la distribution multivariée des données du RMQS (pH, C, occupation du sol, couverture spatiale)
 - Très grand intérêt d'avoir utilisé le RMQS pour définir les sites de prélèvement
 - Acceptation des exploitants du réseau : Seulement un refus
- La connaissance de la capacité de ces 90 échantillons de sol à réduire N₂O, accompagnée des propriétés physico-chimiques de ces échantillons

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

31



Définition des fonctions de pédotransfert

Hocine Bourennane et Nicolas Saby

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

32

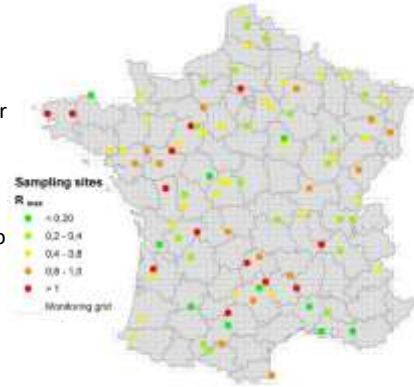




Définition des fonctions de pédotransfert

Matériels et Méthodes

- 90 valeurs d'un indicateur r_{max}
 - Obtenues à partir d'un échantillonnage issu de l'hypercube latin D-optimisé permettant de couvrir des gammes adaptées de pH, teneur en carbone, occupation, coordonnées X et Y.
 - Accompagnées des valeurs de 21 propriétés physico-chimiques (pHeau, CEC, Argile,) des sols
- Outils statistiques d'analyse
 - Régressions (simples, polynomiales,)
 - Arbre de régression boostée « GBM »
 - ACP couplée à la modélisation PLS
 - Arbres de classification et de régression couplés à l'analyse factorielle discriminante



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

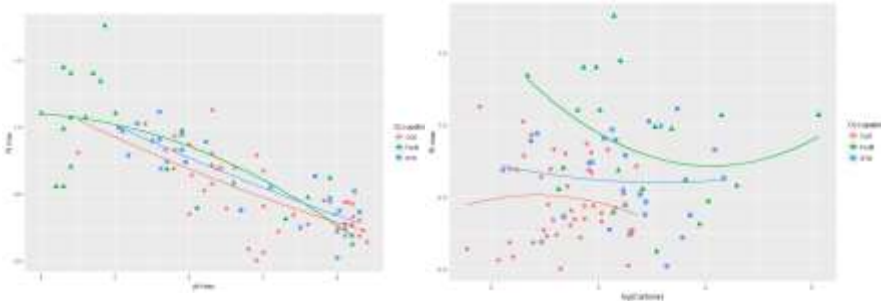
33



Définition des fonctions de pédotransfert

Résultats

Approche par Régression



Bien qu'avec le facteur pH, on explique de l'ordre de 60 % de la variabilité du r_{max}
 Il apparaît qu'un traitement multivariable et non linéaire (GBM, ...) améliorera les prédictions,



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

34



Définition des fonctions de pédotransfert

Rappel : FPT issue ACP - modélisation PLS

Etape de l'analyse statistique

1. Analyse en Composantes Principales (ACP) : 22 variables (r_{\max} plus 21 variables pédologiques)
2. ACP avec seulement R_{\max} , pH, argile, sable grossier, calcium échangeable et la CEC
3. Pour chaque individu, on déduit les valeurs des 4 premières composantes
4. A partir des vecteurs propres on déduit les variables latentes des 6 variables mesurées
5. Transformation inverse sur chaque variable latente pour revenir aux échelles initiales de mesure des variables
6. Régression PLS : $R_{\max} = f(\text{pH, CEC, argile} \dots)$ de l'étape 5



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

35

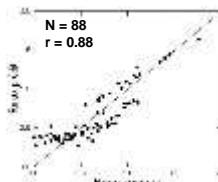


Définition des fonctions de pédotransfert

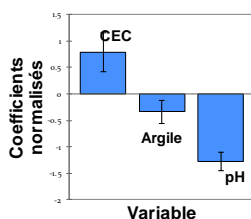
Résultats

Approche par ACP couplée à l'analyse PLS

	R_{\max}
Constante	3.131
CEC	0.026
pH	-0.400
Argile	-0.001



Capacité des sols à réduire N_2O : valeurs mesurées vs valeurs prédites par un modèle de régression PLS mettant en œuvre le pH, l'argile et la CEC des sols



Variable	Coefficients normalisés			
	Coefficient	Ecart-type	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
CEC	0.79	0.19	0.42	1.16
Argile	-0.34	0.11	-0.55	-0.12
pH	-1.28	0.09	-1.45	-1.10

Importance relative des propriétés physico-chimiques dans le déterminisme de la capacité des sols à réduire N_2O



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

36

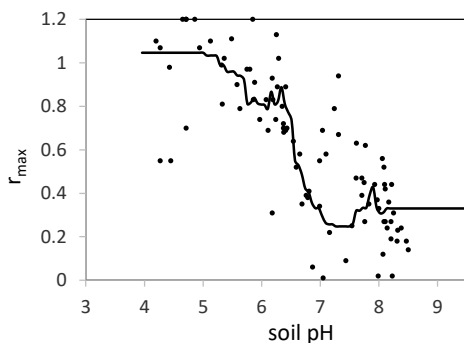




Définition des fonctions de pédotransfert

Résultats

Approche par Arbre de régression boostée « GBM »



1. $r_{\max} > 0.8$ pour les pH < 6.4 : les sols dont pH < 6.4, la fonction de réduction de N_2O est très peu efficace
2. r_{\max} chute drastiquement pour $6.4 < \text{pH} < 6.8$, passant globalement de 0.8 à 0.4 : dans cette courte zone de variation de pH, la capacité des sols à réduire N_2O devient efficace
3. r_{\max} est faible pour les pH > 6,8
4. Sur la base de la valeur du R^2 , la qualité de la prédiction s'élève à 72 % avec une précision de 0,2
5. Les classes de pH correspondent exactement aux classes de phénotypes définies *a priori*



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

37



Définition des fonctions de pédotransfert

Conclusions

1. Le pH du sol est un déterminant essentiel de la capacité des sols à réduire N_2O en N_2 . Il explique à lui seul 60 % de la variabilité des indicateurs r_{\max} (et index) des sols quel que soit le mode d'occupation des sols. La prédiction des indicateurs r_{\max} et index est néanmoins améliorée par l'introduction de la CEC et de l'argile
2. Le modèle GBM (pH vs r_{\max}) : approche non linéaire a permis d'identifier
 - Une valeur de pH (6.4) de sol en dessous de laquelle, les sols ne sont pas capables de réduire N_2O
 - Une valeur de pH (6.8) au-delà de laquelle les sols sont capables de réduire N_2O
 - Le pH des sols peut-être directement utilisé comme indicateur de la capacité des sols à réduire N_2O
3. Ces observations, conduisent à envisager un plan d'action pour gérer à différentes échelles spatiales les émissions de N_2O par les sols : Faire remonter le pH des sols acides, actuellement en prairie ou cultivés pour qu'ils atteignent des valeurs supérieures à 6.8.



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

38





Applications in situ à l'échelle de la parcelle

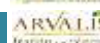
Cécile Le Gall, Jean-Pierre Cohan et Catherine Hénault



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

39



Applications in situ à l'échelle de la parcelle agricole



Hypothèses de base

- ❑ Il est possible *in situ* de modifier la capacité d'un sol à réduire N_2O en N_2
 - Chaulage des sols acides : hypothèse consolidée par les travaux réalisés sur les sites RMQS
 - Apport de MO : hypothèse basée sur Hénault *et al.*, 2001, mais non consolidée par les travaux réalisés sur les sites RMQS
- ❑ Une augmentation de la capacité d'un sol à réduire N_2O (diminution des indicateurs r_{max} et index) permet de diminuer les émissions de N_2O *in situ*



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

40





Applications in situ à l'échelle de la parcelle agricole



Objectifs Généraux

- Vérifier *in situ* que le chaulage d'un sol acide permet de modifier sa capacité à réduire N_2O et par voie de conséquence l'intensité des émissions de N_2O .
- Observer, le cas échéant, le pas de temps sur lequel ces changements peuvent s'opérer.
- Chiffrer si possible l'éventuelle atténuation



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

41



Applications in situ à l'échelle de la parcelle agricole



Critères de choix des sites expérimentaux

Cahier des Charges des sites expérimentaux

- ↪ faible capacité du sol à réduire le N_2O en N_2
- ↪ pH acide (≤ 6)
- ↪ teneur en matière organique $< 2,5\%$
- ↪ pas d'apports de PRO depuis 2 ans



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

42





Applications in situ à l'échelle de la parcelle agricole

Matériels et Méthodes

Pour y répondre, deux essais ont été mis en place:

- La Jaillière (44 - Arvalis – Institut du Végétal)
 - 2013-14 puis 2014-15 (même parcelle)
 - Limons battants hydromorphes
 - Maïs (2013-14) / blé tendre d'hiver (2014-15)
 - **Test de l'effet de l'apport de chaux** (1 T eq CaO/ha)
 - **pH initial : 6.1 / MO: 2.3%**
- Presly la Noue (18 – Terres Inovia)
 - 2013-14
 - Limons sableux
 - Moutarde (colza initialement)
 - **Test de l'effet de l'apport de chaux** (3 T eq CaO/ha) + **lisier de porc** (25m³/ha)
 - **pH initial : 5.5 / MO: 1.9%**



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

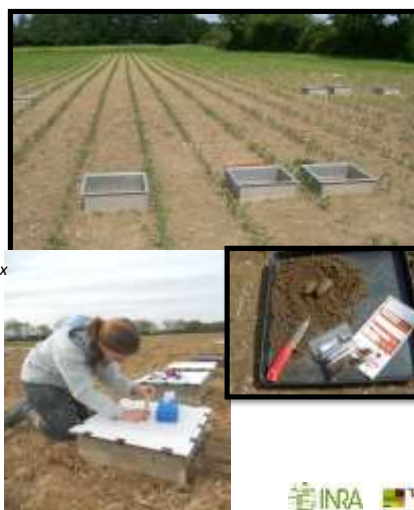
43



Applications in situ à l'échelle de la parcelle agricole

Matériels et Méthodes

- Mesures des émissions de N₂O à l'aide de chambres statiques:
 - 3 chambres/microparcelle
 - 20 mesures / campagne (≈ 1 mesure/ semaine)
 - Entre février et juin car ↗ des températures
 - Pour Presly la Noue : + 3 mesures à l'automne 2013 car apports de lisier et chaux réalisés avant le semis du colza
- Mesure du pH, de la T°C du sol et du stock d'azote minéral à chaque date de prélèvement de N₂O
- Mesures régulières de la capacité des sols à réduire N₂O (1/trimestre)



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

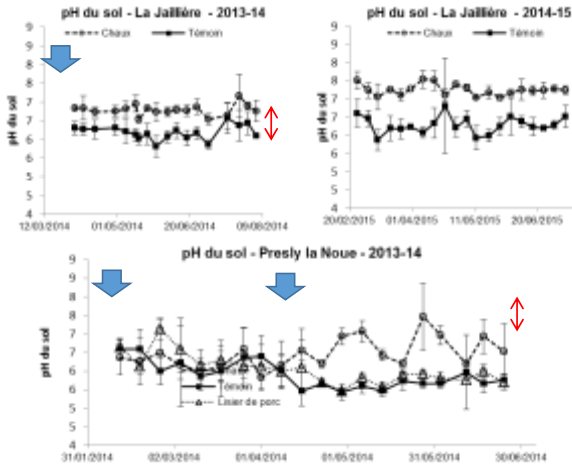
44





Applications *in situ* à l'échelle de la parcelle agricole

Résultats – une différenciation significative du pH au champ



- 1 point d'écart de pH entre les modalités obtenue en 2014-15
- un écart déjà significatif en 2013-14
- un écart insuffisant obtenu à l'automne
- 1 point d'écart obtenu à la seconde moitié de l'essai
- chute à nouveau du pH en 2014-15



18 octobre 2017 – Salle D. King

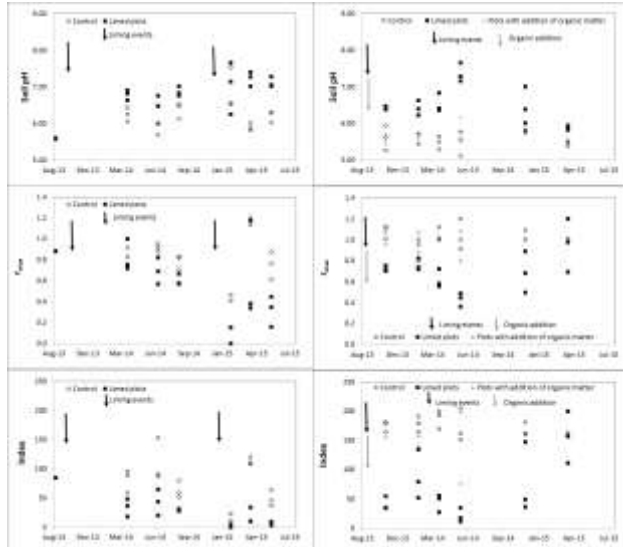
Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

45



Applications *in situ* à l'échelle de la parcelle agricole

Résultats: Relation pH / capacité du sol à réduire N₂O confirmée



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

46

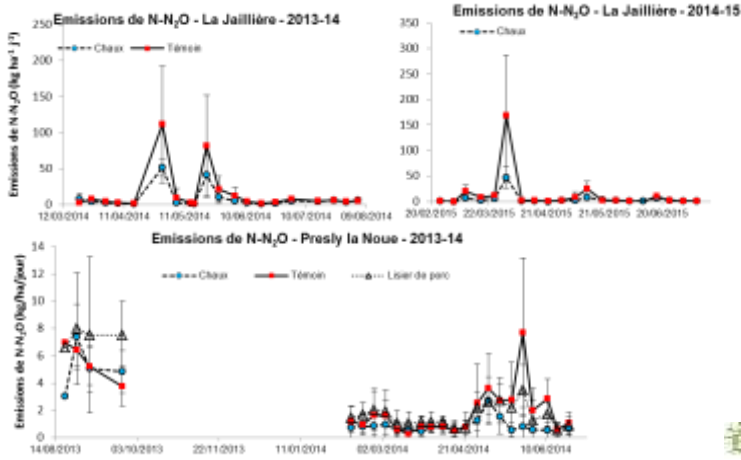




Applications *in situ* à l'échelle de la parcelle agricole



Résultats – Des émissions de N₂O atténuées



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

47



Applications *in situ* à l'échelle de la parcelle agricole



Résultats – Des émissions de N₂O atténuées

Essai	Presly la Noue -2013-14	La Jaillière – 2013-14	La Jaillière – 2014-15
Nb de jours	309*	139	134
Flux cumulé sur la période de suivi (kg de N-N ₂ O/ha)	Chaux: 0.69 Témoins : 0.77 Lisier : 1.12	Chaux: 1.2 Témoins : 2.35	Chaux: 0.65 Témoins : 1.89
% de réduction des flux de N ₂ O modalité Chaux VS Témoins	10%	50%	65%

* en comptant la partie automnale

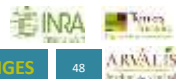
Une réduction nette des flux cumulés de N₂O suite au chaulage (en conditions de sols initiales acides)



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

48





Applications *in situ* à l'échelle de la parcelle agricole

Résultats – Des émissions de N₂O atténuées

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

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



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

49



Potentiel d'atténuation des émissions de N₂O à l'échelle nationale

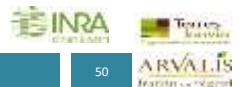
Hocine Bourennane, Nicolas Saby et Catherine Hénault



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

50





Potentiel d'atténuation des émissions de N_2O à l'échelle nationale

Objectifs spécifiques

- Prédire spatialement la capacité des sols à réduire N_2O sur la base de leurs propriétés physico-chimiques : « Assiette »
- Evaluer le potentiel d'atténuation des émissions de N_2O par les sols à l'échelle nationale :

Assiette x abattement avec

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



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

51



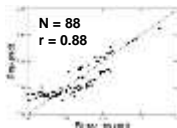
Potentiel d'atténuation des émissions de N_2O à l'échelle nationale

Spatialisation de la capacité des sols à réduire N_2O

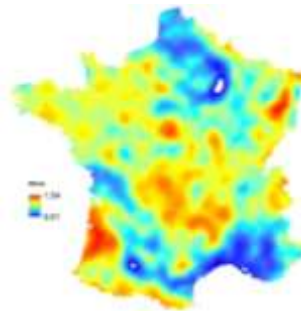
Matériels et Méthodes

- FPT obtenue par ACP – PLS

	R_{max}
Constante	3.131
CEC	0.026
pH	-0.400
Argile	-0.001



Résultats



- krigeage ordinaire au niveau du territoire à l'aide des mesures de pH, CEC et argile effectuées sur les 2148 sites du RMQS
- Possibilité aussi d'utiliser la BDAT comme base de spatialisation



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

52





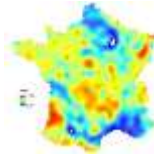
Potentiel d'atténuation des émissions de N₂O à l'échelle nationale



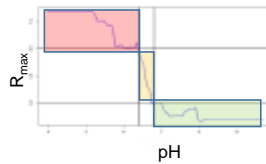
Définition de l'assiette

Matériels et Méthodes

- Carte spatialisée du r_{max}



- Seuillage sur la base de la relation « GBM » entre pH et capacité des sols à réduire N₂O



Résultats



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

53

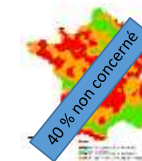


Potentiel d'atténuation des émissions de N₂O à l'échelle nationale



Compléments sur le calcul de l'assiette

- ❑ Plusieurs approches possibles, un exemple ici détaillé
- ❑ Estimation sur la base de la carte RMQS * GBM : ass1 = 85 % dont 38 % (pH < 6,4) et 47 % (6,4 < pH < 6,8)
- ❑ Prise en compte de logiques agronomiques : le chaulage n'est envisagé que sur les surfaces couvertes par des sols cultivés (41 %) ou toujours en herbe et fertilisées (19 %) – données RMQS : ass2 = 51 %
- ❑ Distinction de 2 sous-assiettes sur lesquelles seront appliquées un abattement spécifique :
 - ❑ ass2-1 (pH < 6,4) : 23 %
 - ❑ ass2-2 (6,4 < pH < 6,8) : 28 %



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

54





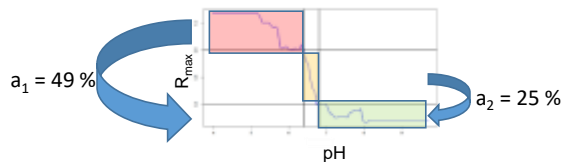
Potentiel d'atténuation des émissions de N₂O à l'échelle nationale

Précisions sur l'abattement

- Abattements mesurés *in situ*

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

- Hypothèse complémentaire : ces abattements ayant été observés sur des sols présentant un $r_{\max} > 0,8$, on attribue cet abattement aux sols dont le pH < 6,4 et on estime un abattement d'une valeur de moitié pour les sols dont $6,4 < \text{pH} < 6,8$



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

55



Potentiel d'atténuation des émissions de N₂O à l'échelle nationale

Calcul du potentiel d'abattement

- Potentiel d'abattement des émissions de N₂O par les sols (%) (P_{N_2O})

$$P_{N_2O} = \text{ass2-1} * a_1 + \text{ass2-2} * a_2 = 23 * 49 + 28 * 25 = 18 \%$$



- Contribution des émissions de N₂O par les sols au PRG national : 6,5 %

- Potentiel d'abattement du PRG national (P_{PRG})

$$P_{PRG} = 18 \% * 6,5 \% = 1,2 \%$$

- Résultats obtenus avec d'autres méthodes de calcul de l'assiette, convergents, entre 0,8 et 1 %
- Possibilité d'introduire des valeurs d'encadrement de ces chiffres, en introduisant des valeurs haute et basse d'abattement, exple présenté [0,62 – 1,57],
- Toutes démarches confondues : $P_{PRG} = 0,9 \% (+/- 0,4)$



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

56





SOLGES



Conclusions Générales

- ❑ **Projet qui s'est extrêmement bien déroulé avec réalisation de l'ensemble des tâches annoncées :**
 - ❑ Il démontre la pertinence de travailler sur l'étape de réduction de N_2O pour diminuer les émissions de ce gaz par les sols
 - ❑ Il met en avant l'intérêt du chaulage (doux) des sols pour stimuler cette fonction, pratique présentant par ailleurs d'autres intérêts

- ❑ **Pour aller plus loin, il conviendra :**
 - > (1) mettre en place des campagnes de mesure des émissions de N_2O pour mieux préciser l'abattement des émissions de N_2O par les sols générés par le chaulage,
 - > (2) accompagner ces travaux d'une meilleure connaissance du cycle de vie du chaulage. Cette analyse est peut-être déjà faite et il conviendra dans un premier temps de mettre en place des échanges adaptés sur ce point et
 - > (3) approfondir la connaissance des mécanismes d'inhibition de la N_2O réductase dans les sols acides.

- ❑ **La démarche du projet SOLGES pourrait être appliquée à d'autres échelles et/ou sur d'autres fonctions enzymatiques des sols**



18 octobre 2017 – Salle D. King

Séminaire de Restitution des Projets SOLGES & PUIGES

57



Mise en perspective Internationale

Equipes identifiées travaillant sur le sujet :

- Stehfest, E., Bouwmann, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 74:207-228, (2006).
- Wang, Y., Guo, J., Vogt, R.D., Mulder, J., Wang, J., Zhang, X. Soil pH as the chief modifier for regional nitrous oxide emissions: new evidence and implications for global estimates and mitigation. *Glob. Change Biol.* 24:e617-e626 (2018).
- Liu, B., Frostegård, ÅBakken, L. Impaired reduction of N₂O to N₂ in acid soils is due to a posttranscriptional interference with the expression of *nosZ*. *mBio*. 5: e0183-14 (2014).
- Sun, P. Zhuge, Y. Zhang, J., Cai, Z. Soil pH was the main controlling factor of the denitrification rates and N₂/N₂O emission ratios in forest and grassland soils along the Northeast China Transect (NECT). *Soil Science and Plant Nutrition*. 58: 517-525 (2012).
- Goulding, K.W.T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*. 32: 390-399 (2016).
- Čužel, J., Šimek, M. Effect of pH on the denitrifying enzyme activity in pasture soils in relation to the intrinsic differences in denitrifier communities. *Folia Microbiol.* 56:230-235 (2011).
- McMillan, A.S., Pal, P., Phillips, R.C., Palmada, T., Berben, P.H., Jha, N., Saggar, S., Luo, J. Can pH amendments in grazed pastures help reduce N₂O emissions from denitrification? – The effects of liming and urine addition on the completion of denitrification in fluvial and volcanic soils. *Soil Biol. Biochem.* 93:90-104 (2016).
- Shaaban, M., Peng, Q., Hu, R., Wu, Y., Lin, S., Zhao, J. Dolomite application to acidic soils : a promising option for mitigating N₂O emissions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22:19961-19970 (2015)
- Raut, N., Dörsch, P., Sitaula, B.K., Bakken, L.R. Soil acidification by intensified crop production in South Asia results in higher N₂O / (N₂ + N₂O) product ratios of denitrification. *Soil Biol. Biochem.* 55:104-112 (2012).
- Rahman, M. H., Okubo, A., Sugiyama, S., & Mayland, H. F. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil Tillage Res.*, 101: 10–19, (2008).
- West, T.O., McBride, A.C. The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: dissolution, transport, and net emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 108:145-154, (2005).
- Hamilton, S., Kurzman, A., Arango, C., Jin, L., Robertson, P? Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. 2: *Global Biogeochemical Cycles*. GB2021, (2007).
- Shaaban, M., Wu, L., Peng, Q., van Zwieten, L., Chhajro, M.A., Lin, S., Ahmed, M.M., Khalid, M.S., Abid, M., Hu, R. Influence of ameliorating soil acidity with dolomite on the priming of soil C content and CO₂ emission. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24:9241-9250, (2017)
- De Klein, C., Novoa, R.S., Ogle, S., Smith, K.A., Rochette, P., Wirth, T.C. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 54 p. (2006).

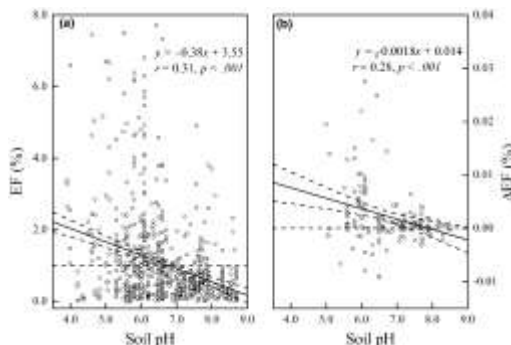
Analyse Globale

- Stehfest, E., Bouwmann, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 74:207-228, (2006).
- Wang, Y., Guo, J., Vogt, R.D., Mulder, J., Wang, J., Zhang, X. Soil pH as the chief modifier for regional nitrous oxide emissions: new evidence and implications for global estimates and mitigation. *Glob. Change Biol.* 24:e617-e626 (2018).
- Sun, P. Zhuge, Y. Zhang, J., Cai, Z. Soil pH was the main controlling factor of the denitrification rates and N₂/N₂O emission ratios in forest and grassland soils along the Northeast China Transect (NECT). *Soil Science and Plant Nutrition*. 58: 517-525 (2012).
- Raut, N., Dörsch, P., Sitaula, B.K., Bakken, L.R. Soil acidification by intensified crop production in South Asia results in higher N₂O / (N₂ + N₂O) product ratios of denitrification. *Soil Biol. Biochem.* 55:104-112 (2012).

Analyse globale de l'effet pH sur les émissions de N₂O

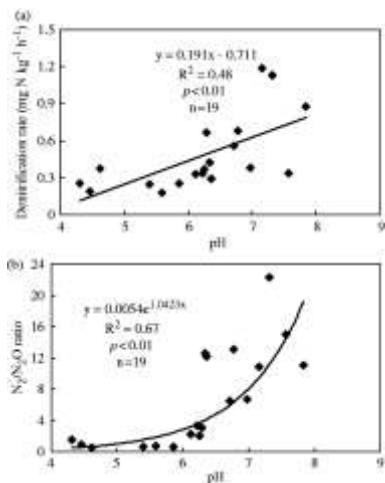
Wang, Y., Guo, J., Vogt, R.D., Mulder, J., Wang, J., Zhang, X. Soil pH as the chief modifier for regional nitrous oxide emissions: new evidence and implications for global estimates and mitigation. *Glob. Change Biol.* 24:e617-e626 (2018).

“... soil pH is the chief factor explaining regional disparities in N₂O emission, using a global meta-analysis of 1,104 field measurements. The emission factor (EF) of N₂O increases significantly ($p < .001$) with soil pH decrease. The default EF value of 1.0%, according to IPCC for agricultural soils, occurs at soil pH 6.76. Moreover, changes in EF with N fertilization (i.e. ΔEF) is also negatively correlated with soil pH. ... N₂O emission in acidic soils is more sensitive to changing N fertilization than that in alkaline soils.”



Analyse globale de l'effet pH sur les émissions de N₂O_{Sun}, P. Zhuge, Y.

Zhang, J., Cai, Z. Soil pH was the main controlling factor of the denitrification rates and N₂/N₂O emission ratios in forest and grassland soils along the Northeast China Transect (NECT). *Soil Science and Plant Nutrition.* 58: 517-525 (2012).



“... The ratio of N₂/N₂O increased linearly from east to west along the NECT ($p < 0.01$). Soil pH was the best predictor of the denitrification rate and of the N₂/N₂O ratio in grassland and forest soils along the NECT.”

Approche mécanistique

Liu et al., 2014 mbo.asm.org

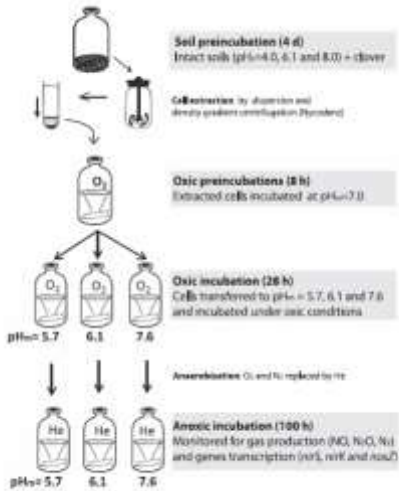
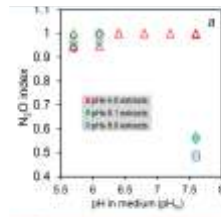


FIG. 1. Details of the microarray incubation of soils extracted from each soil with different pH (4.0, 5.1, and 8.0). The cells were incubated in oxic media with different pH (5.7, 6.1, 6.5, and 7.6) at 15°C.



« low soil pH diminishes/prevents reduction of N₂O, primarily by precluding a successful assembly of functional N₂O reductase »

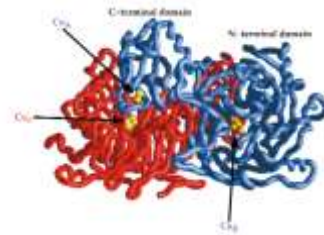


Fig. 3. Ribbon diagram of the *P. fluorescens* N₂O reductase dimer. One monomer is shown in red and the other is shown in blue. The copper ions in the Cu₂ and Cu₁ sites are represented as yellow spheres. The Cu atoms at the red monomer is obscured from view. The figure was generated with COLOM.

Rosenzweig, 2000 Nature structural biology - volume 7 number 3 - march 2000

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018

Abattement chiffré à la « parcelle »

Shaaban et al., 2015

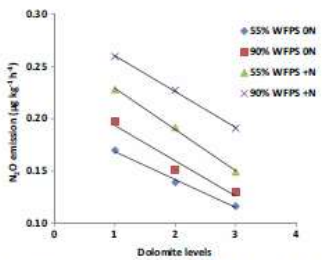


Fig. 2. Relationship between N₂O emissions and dolomite application

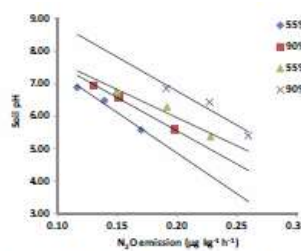


Fig. 3. Relationship between N₂O emissions and soil pH

« The H treatment (2 g kg⁻¹ dolomite) decreased the cumulative N₂O emissions by up to 73 and 67 % under 55 and 90 % WFPS respectively ... when compared to those without dolomite addition ».

Hénault C. Comifer/SAB - 20 septembre 2018

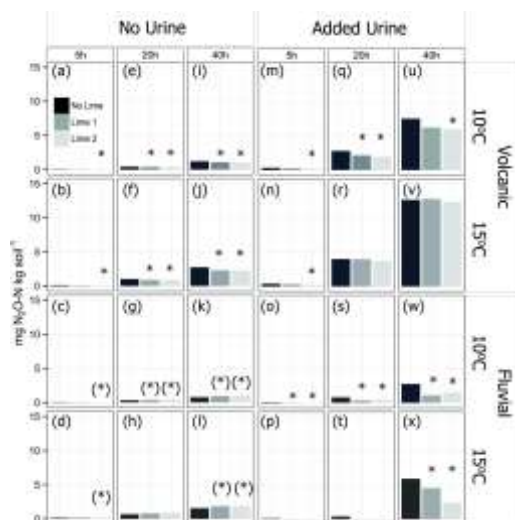
Abatement chiffré à la « parcelle »

Mc Millan et al., 2016

« This study provided an upper limit to the effect of liming on denitrification N_2O emissions (16 – 64 % depending on soil type, temperature, urine amendment and liming rate ».

Table 3
Effect of liming treatments on soil pH over the pH equilibration period (180 days).

Soil	Fluvial			Volcanic		
Liming rate ($t\ ha^{-1}$)	0.00	1.50	3.00	0.00	5.00	10.00
Start pH	5.10	5.10	5.10	5.75	5.75	5.75
Final pH	5.41	5.78	6.35	5.74	6.18	6.55
Δ pH	0.31	0.68	1.25	-0.01	0.43	0.79
Δ pH/tonne lime/ha	-	0.45	0.42	-	0.09	0.08
Final pH after Urine addition	7.24	7.38	7.48	6.69	6.89	7.09



Mise en perspective internationale

Approche parcelle

- Čuhel, J., Šimek, M. Effect of pH on the denitrifying enzyme activity in pasture soils in relation to the intrinsic differences in denitrifier communities. *Folia Microbiol.* 56:230-235 (2011).
- McMillan, A.S., Pal, P., Phillips, R.C., Palmada, T., Berben, P.H., Jha, N., Saggari, S., Luo, J. Can pH amendments in grazed pastures help reduce N_2O emissions from denitrification? – The effects of liming and urine addition on the completion of denitrification in fluvial and volcanic soils. *Soil Biol. Biochem.* 93:90-104 (2016).
- Shaaban, M., Peng, Q., Hu, R., Wu, Y., Lin, S., Zhao, J. Dolomite application to acidic soils : a promising option for mitigating N_2O emissions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22:19961-19970 (2015)

Mise en perspective internationale

Interactions CO₂

- West, T.O., McBride, A.C. The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: dissolution, transport, and net emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 108:145-154, (2005).
- Hamilton, S., Kurzman, A., Arango, C., Jin, L., Robertson, P? Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. 2: *Global Biogeochemical Cycles*. GB2021, (2007).
- Shaaban, M., Wu, L., Peng, Q., van Zwieten, L. Chhajro, M.A., Lin, S., Ahmed, M.M., Khalid, M.S., Abid, M., Hu, R. Influence of ameliorating soil acidity with dolomite on the priming of soil C content and CO₂ emission. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24:9241-9250, (2017)
- De Klein, C., Novoa, R.S., Ogle, S., Smith, K.A., Rochette, P., Wirth, T.C. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 54 p. (2006).

Interactions avec CO₂

- IPCC : Ch11 (2006) :

$$FE_{\text{Calcaire}} = 0.12$$

$$FE_{\text{Dolomite}} = 0.13$$

Les émissions de CO₂ dues aux ajouts de carbonate de chaux peuvent être estimées à l'aide de l'équation 11.12 :

ÉQUATION 11.12
ÉMISSIONS ANNUELLES DE CO₂ DUES À L'APPLICATION DE CHAUX

$$CO_2\text{-C Emissions} = (M_{\text{Calcaire}} \cdot FE_{\text{Calcaire}}) + (M_{\text{Dolomite}} \cdot FE_{\text{Dolomite}})$$

Où :

Émissions de CO₂-C = émissions annuelles de C dues à l'application de chaux, tonnes C an⁻¹

M = quantité annuelle de calcaire calcique (CaCO₃) ou dolomite (CaMg(CO₃)₂), tonnes an⁻¹

FE = facteur d'émissions, tonnes de C (tonne de calcaire ou de dolomite)⁻¹

- Shaaban et al., 2017 : High CO₂ emission after dolomite application (priming of soil C content)
- West and McBride (2005) : « Our analysis indicates that net CO₂ estimations from the application of agricultural lime os 0.059 and 0.064 respectively
- Hamilton et al. 2007 : « Evidence of carbon sequestration by agricultural liming »