

Sols et Changements Climatiques

**Les émissions de N₂O et de CH₄ par les sols :
état des connaissances, bilan des travaux,
perspectives**

J.C. Germon

UMR Microbiologie du Sol et de l'Environnement

**INRA-Université de Bourgogne
21065 Dijon Cedex**

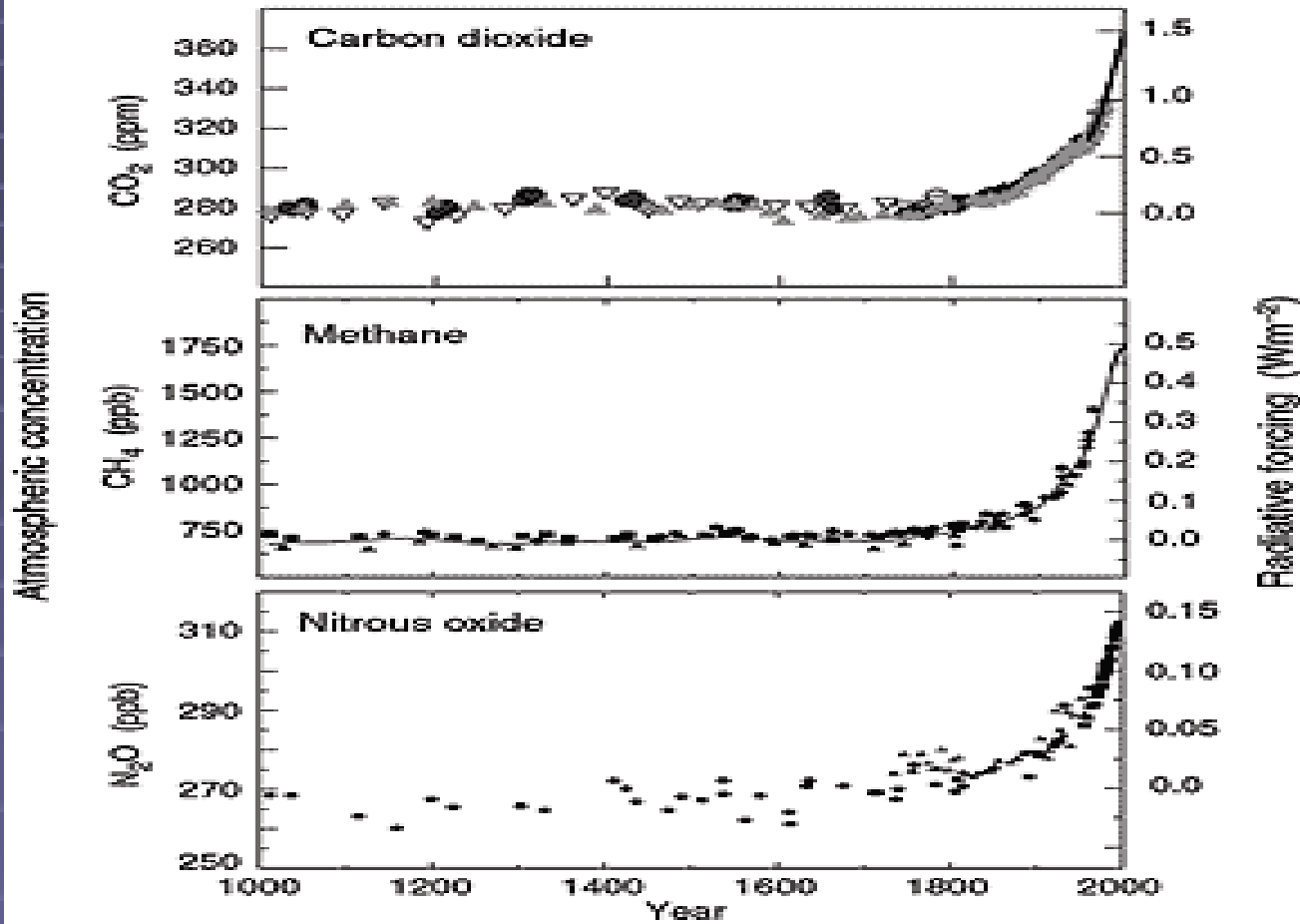
Quels messages faire passer auprès de la profession agricole concernant l'évolution du climat et ses répercussions ?

- Un contexte climatique qui évolue, dont la réalité n'est plus contestée, avec des modifications qui devraient s'amplifier.
- Une évolution principalement liée à l'enrichissement de l'atmosphère en gaz à effet de serre (GES) dont la durée de vie est de l'ordre du siècle : effet durable !
- Mais une évolution chargée d'incertitudes :
 - amplitudes de températures
 - niveau et distribution de la pluviométrie
 - devenir de Gulf Stream ??

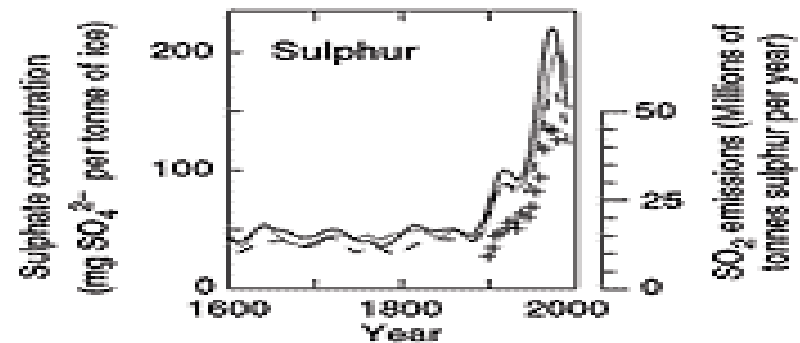
Nous allons devoir vivre et nous adapter à un contexte en évolution, dont nous percevons mal le sens et l'amplitude de l'évolution !

Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial Era

(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



(b) Sulphate aerosols deposited in Greenland ice



Les propriétés respectives de CO₂, CH₄, N₂O par rapport à l'effet de serre

Potentiels de Réchauffement Global (PRG) de N₂O et CH₄ comparés sur une base massique à celui de CO₂

Gaz	Echelles de temps		
	20 ans	100 ans	500 ans
CO ₂	1	1	1
CH ₄	62	23	7
N ₂ O	275	296	156

- 1 kg C-CH₄ : équivalent de 8,6 kg de C-CO₂
- 1 kg N-N₂O : équivalent de 127 kg de C-CO₂

Pourquoi nous intéresser aux émissions de N_2O , de NO_x et de CH_4 par les sols

- **CH_4 et N_2O : respectivement les 2^{eme} et 3^{eme} contributeurs à l'accentuation de l'effet de serre après CO_2**
- **NO_x (NO et NO_2) sont des précurseurs de l'ozone qui contribue fortement à l'accentuation de l'effet de serre**

Evaluation de la contribution des émissions de CO₂, CH₄, N₂O au forçage radiatif au niveau du globe terrestre (IPCC, 2001) et au niveau de la France (CITEPA, 2001)

	1) Terre	2) France
CO ₂	60 %	68,3 %
CH ₄	19,8 %	14,1 %
N ₂ O	6,1 %	15,2 %
Autres gaz	14,1 %	2,3 %

Les principales sources d'émissions de GES au niveau du territoire français

- 1 : CO₂ émis par les transports routiers : 23,5 %
- 2 : N₂O émis à partir des sols : 9.2 %
- 3 : CO₂ à partir du fuel de chauffage : 5,7 %
- 4 : CO₂ à partir du gaz de chauffage : 5,4 %
- 5 : CH₄ produit par les fermentations entériques : 5.2%
- 6 : CO₂ à partir du charbon pour la production de chaleur et d'électricité : 4.4 %
- ...
- 9 : CH₄ produit à partir des effluents d'élevage : 2.6 %
- ...

Sources : CITEPA 2002.

Evaluation de la contribution des NO_x (NO et NO₂) au forçage radiatif

- NO_x : gaz instable : présence fugace dans l'atmosphère
- Production de NO_x : en partie due à l'agriculture (nitrification) ; les sources principales sont industrielles
- Précurseurs de l'ozone troposphérique : très fugace et importante fluctuation au cours de l'année
- En été : forçage radiatif aussi important que 2/3 de CO₂

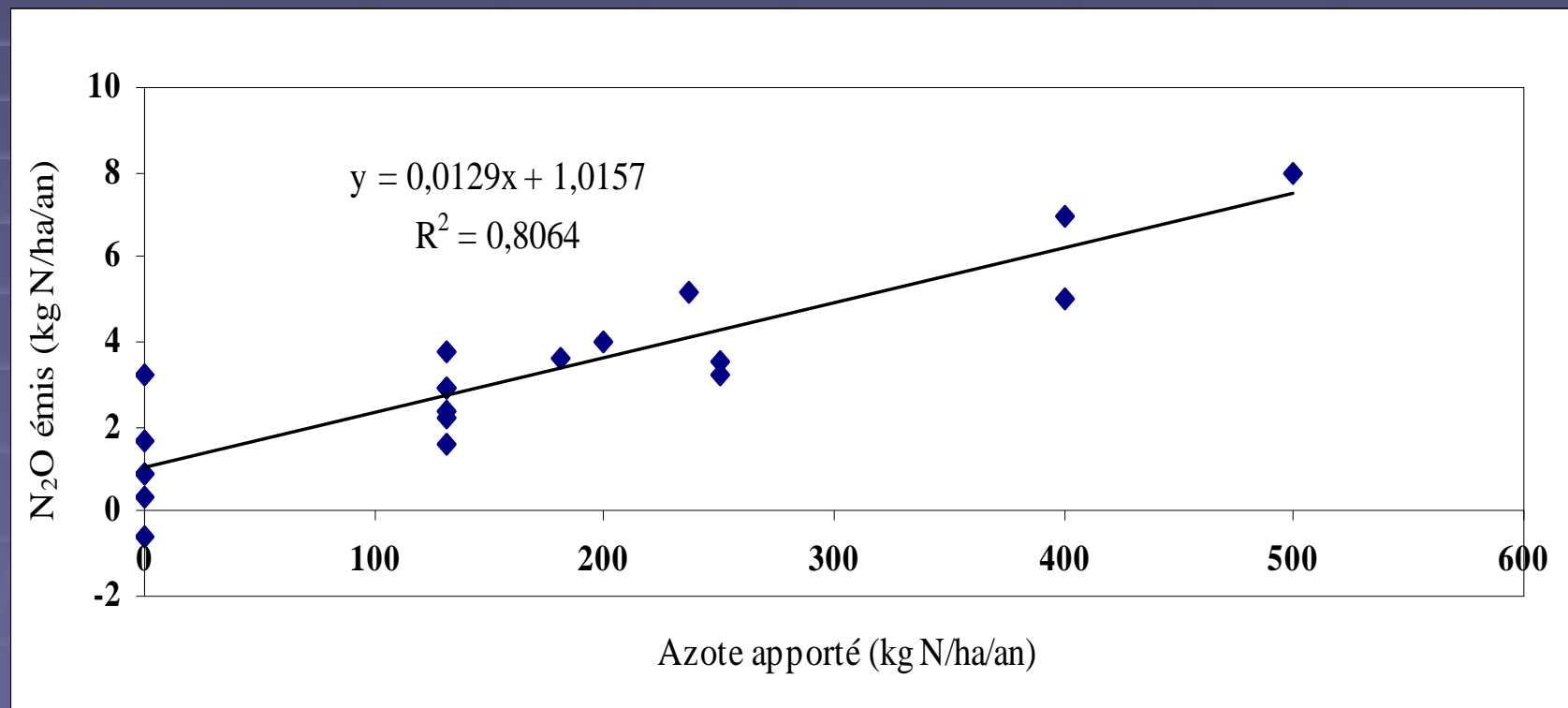
Nécessité de prendre en compte ces émissions de NO_x

Evaluation de la contribution des sols aux émissions de CH₄ : rôle des sols cultivés

- **Les sols exercent deux actions antagonistes dans le cycle du méthane**
 - Les sols peuvent émettre du méthane dû à la fermentation des matières organiques en milieu privé d'oxygène : sols de rizière, mangroves, ...
 - Les sols peuvent absorber et dégrader le méthane : la microflore du sol, en présence d'oxygène, transforme le méthane en CO₂ : les pratiques agricoles ralentissent cette activité
 - Sol non travaillé absorbe 2.4 kg CH₄/ha/an
 - Sol agricole absorbe 0.7 kg CH₄/ha/an : *Effet inhibiteur de la fertilisation azotée*

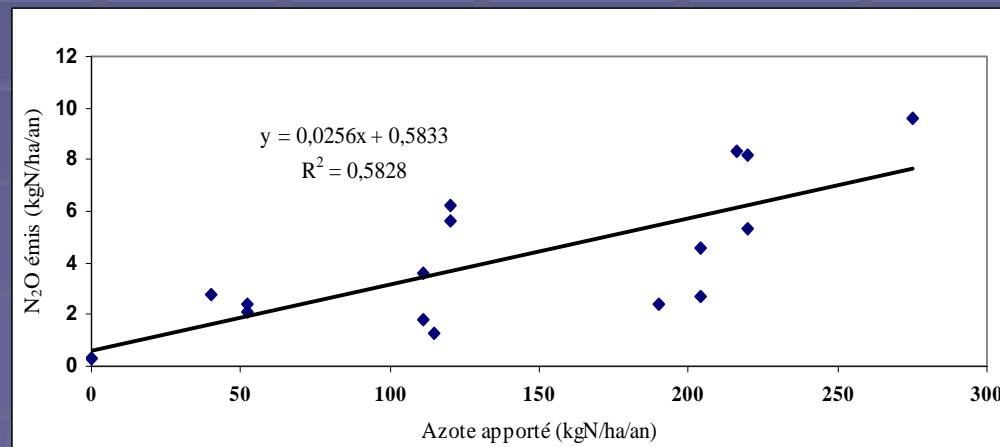
Evaluation des émissions de N₂O à partir des sols cultivés

- Les émissions sont proportionnelles aux apports d'azote (1.25 % des apports, d'après Bouwman, 1996)



Evaluation des émissions de N₂O à partir des sols cultivés

- **Importante variabilité des émissions et importante incertitude sur les quantités estimées**
 - **Facteur d'émission de l'IPCC tiré de Bouwman : (1.25 +/- 1) % soit 0.25 à 2.25 kg N pour 100 kg N apporté**
 - **Mesures en Allemagne : facteur d'émission de 2.5 % (Flessa et al, 2002)**



Les émissions de N_2O peuvent varier avec les sols

- Certains sols émettent plus que d'autres : sous nos climats la capacité d'émission dépend principalement
 - de la capacité des sols à dénitrifier
 - de la capacité des sols à réduire N_2O en azote inerte N_2
- Les émissions de N_2O dépendent davantage de la capacité à transformer N_2O en N_2 que de la capacité à dénitrifier



Les émissions de N₂O peuvent varier avec les sols

- Exemple : Evaluation des émissions sur une même période dans 3 sols différents cultivés en blé (même niveau de fertilisation azotée ; Hénault et al, 1998)

Type de sol	Kg N-N ₂ O /ha pendant la période de végétation
- sol brun lessivé hydromorphe (luvisol)	2.49
- sol calcaire superficiel (terres à cailloux)	0.66
- sol brun sur craie (rendzine de Champagne)	0.18

L'aptitude d'un sol à produire et émettre N₂O peut être prévue et évaluée : modèle NOE (Hénault et al , 2005)

$$N_2O_{\text{total}} = N_2O_{\text{denit}} + N_2O_{\text{nit}}$$

Contribution de la dénitrification

$$N_2O_{\text{denit}} = r \times (K \times F_n \times F_t \times F_w)$$

Déterminé par des incubations en laboratoire

NEMIS

Contribution de la nitrification

$$N_2O_{\text{nit}} = F [\text{nit} (\text{hum}, \text{NH}_4^+, \text{temp}^\circ)]$$

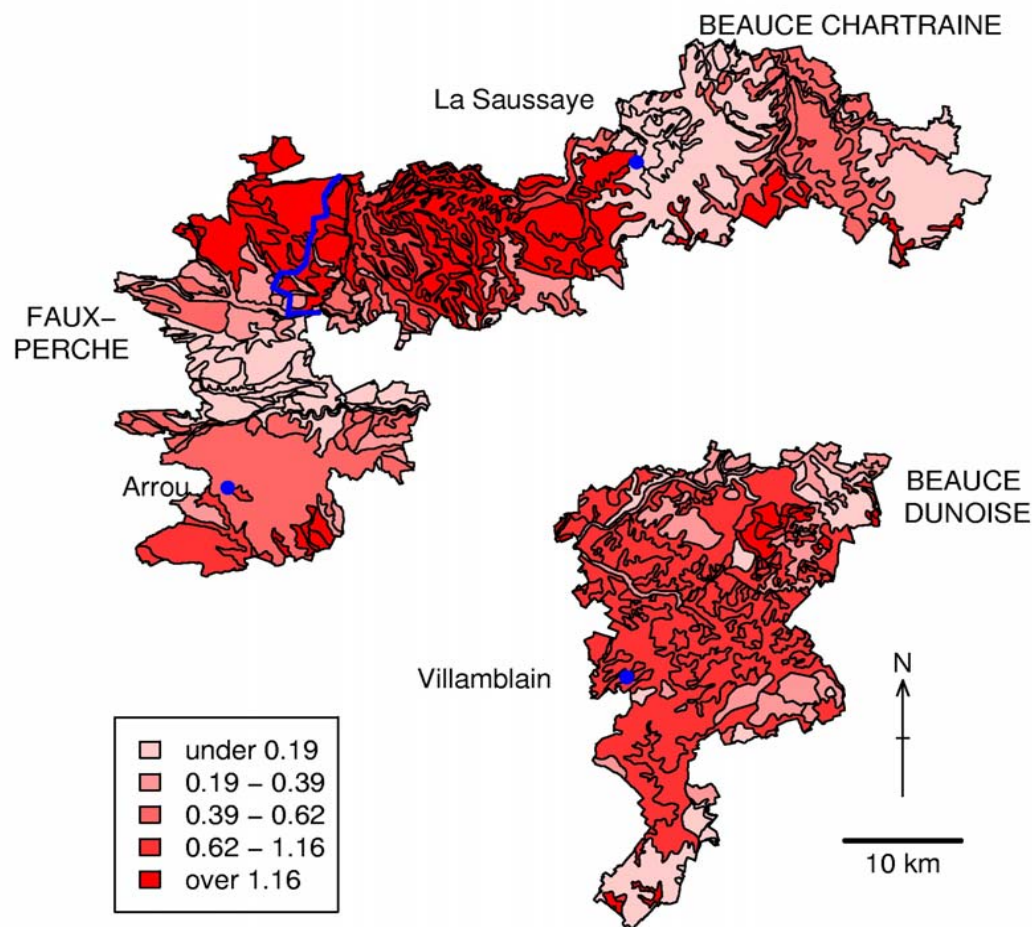
Déterminé par des incubations en laboratoire

Les émissions de N₂O et la prise en compte de l'effet sol

- La prise en compte de l'effet sol dépend de l'échelle où l'on se place
- Pas d'effet sol à large échelle (territoire national) : évaluation des émissions à partir des seuls apports d'azote (méthodologie IPCC)
- Effet sol aux échelles plus fines :
 - la parcelle cultivée : l'unité opérationnelle de l'agriculteur,
 - l'unité pédologique : l'unité d'évaluation des émissions , ...

Evaluation des émissions à l'aide du modèle NOE à l'échelle d'une petite région agricole, d'après Gabrielle *et al.*, 2006

SIG [informations : pédologiques x agronomiques x climatiques]



Facteurs d'émission
calculés:

0,07% à 0,33% de
l'azote épandu

[Valeur par défaut

(IPCC) : 1,25% +/- 1%]

Flux en

kg N₂O-N/ha/an

Les émissions de N₂O et les pratiques agricoles

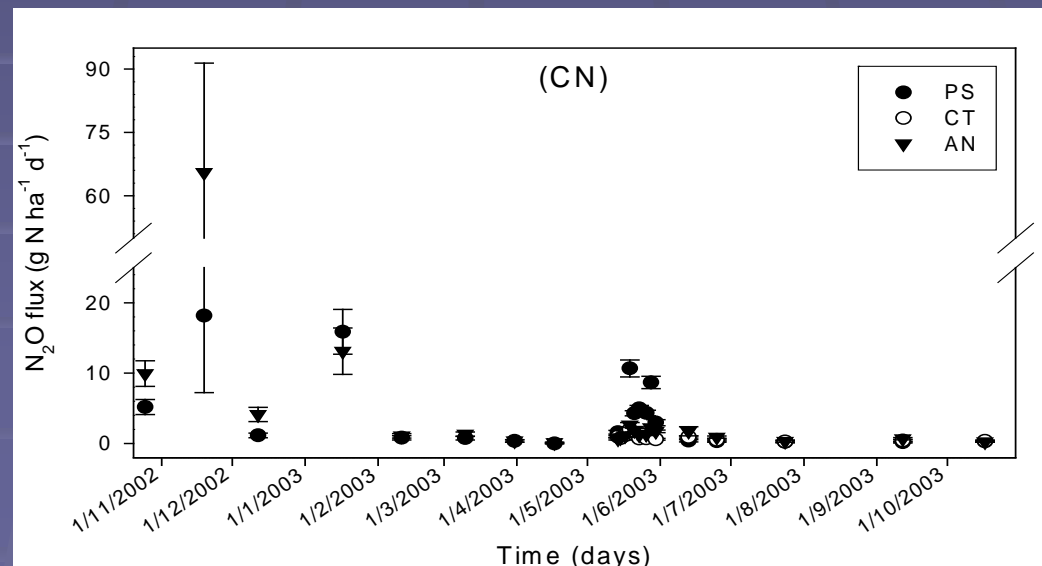
- **Les émissions en fonction du niveau de fertilisation**
 - L'ajustement de la fertilisation aux besoins de la végétation évite d'accentuer les émissions.
- **Les émissions en fonction des plantes cultivées :**
 - Effet du cycle de végétation (d'après Skiba et al, 1996)

Cultures	Facteurs d'émission (%)	Cultures	Facteurs d'émission (%)
Blé d'hiver	0,5	Prairie pâturée	3,1
Orge d'hiver ⁽¹⁾	0,5	Prairie fauchée	1
Colza ⁽¹⁾	0,5	Pomme de terre	1,6
Orge de printemps	0,8	Betterave à sucre ⁽³⁾	1,6
Autres céréales ⁽²⁾	0,8	Cultures maraîchères ⁽³⁾	1,6
		Cultures fourragères ⁽³⁾	1,6

Les émissions de N₂O et les pratiques agricoles

- **Les émissions en fonction de la forme des fertilisants : apports minéraux ou apports organiques.**

- 2 expérimentations en Bretagne sur 2 ans (Dambreville et al, 2007)
- mêmes niveaux d'émissions avec ammonitrate ou avec effluents d'élevage



Les émissions de N₂O et les pratiques agricoles

- **L'effet du non travail du sol : les techniques de culture sans labour**
 - Les TCSL favorise un stockage (limité) de carbone (cf D. Arrouays)
 - Les TCSL peuvent accentuer les émissions de N₂O
 - Bilan effet de serre prenant en compte le stockage de carbone, les émissions de N₂O et les économies de carburant
 - Le stockage de carbone compensé par les émissions de N₂O
 - Le bilan effet de serre favorable au non labour par la réduction de la consommation de carburants

Les émissions de N₂O et les pratiques agricoles

Emissions de N₂O en systèmes labourés et en non labour

Localisation	Cultures	Emissions : kg N-N ₂ O/ha		Auteurs
		Non Labour	Labour	
Ecosse	Orge de Printemps	7,8	2,6	Vinten et al, 2002
	Orge d'hiver	1,9	2	
Angleterre	Blé d'hiver	1,5 - 5,4	0,5 - 0,9	Burford et al, 1981
	Colza	2,1 - 8,6	1,0 - 5,6	
Alberta, Canada	Rotation Orge de Printemps-Jachère	0,19 - 1,67	0,39 - 2,54	Lemke et al, 1999
Saskatchewan, Canada	Rotation Orge de Printemps-Jachère	7,6 - 16,8	1,7 - 7,2	Aulack et al, 1984
Québec, Canada	Rotation Maïs-Soja-Luzerne	2,2 - 5,7	1,8 - 3,7	Mac Kenzie et al, 1998
Nebraska, USA	Rotation Blé-Jachère	0,9 - 1,2	0,8 - 1,9	Kessavoulou et al, 1998
Ohio, USA	Rotation Maïs-Soja-Blé-Vesce	2,8	3,7	Jacinthe & Dick, 1997
Michigan, USA	Rotation Maïs-Soja-Blé	1,3	1,2	Robertson et al, 2000
Queensland, Australia	Canne à sucre	18,2	5,3	Weier et al, 1996
New Zealand	Rotation Avoine-Maïs	12	9,2	Choudhary et al, 2002

Quelques éléments de conclusions

- Les émissions de N_2O pèsent lourd dans le bilan effet de serre des systèmes cultivés
- Nécessité de ne pas déconnecter les émissions de N_2O des autres composantes du « bilan effet de serre » des systèmes de culture (Bilan carbone, consommation de carburants, consommation d'énergie pour la synthèse de fertilisant...)
- Gestion de l'azote doit intégrer ces émissions. L'évaluation de ces émissions : lourde à mettre en œuvre
- Nécessité d'évaluer les émissions de NO_x : mais impossibilité actuelle d'évaluer de façon simple leur poids dans le bilan effet de serre

Quelques éléments de conclusions

- L'effet sol peu pris en compte au niveau de l'estimation à large échelle, mais à prendre en compte dans les pratiques destinées à réduire ces émissions
- Les bonnes pratiques d'ajustement de la fertilisation vont dans le sens d'une limitation des émissions
- ... à suivre