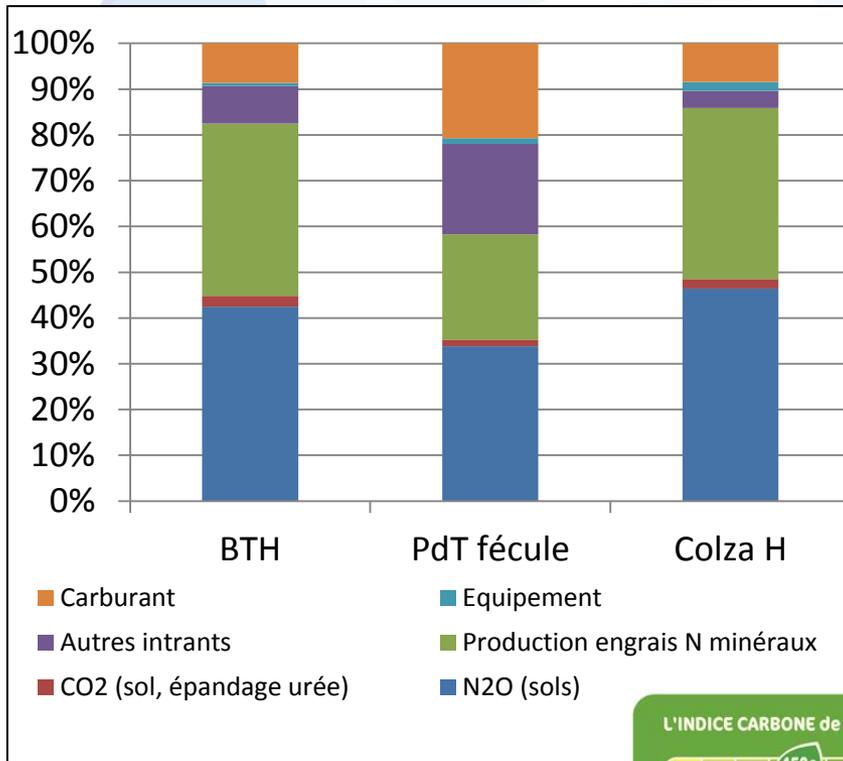


Les émissions de N₂O des systèmes agricoles:

- comment les estimer?
- comment les réduire?

Cécile LE GALL - CETIOM

Le N₂O dans les bilans GES des produits agricoles



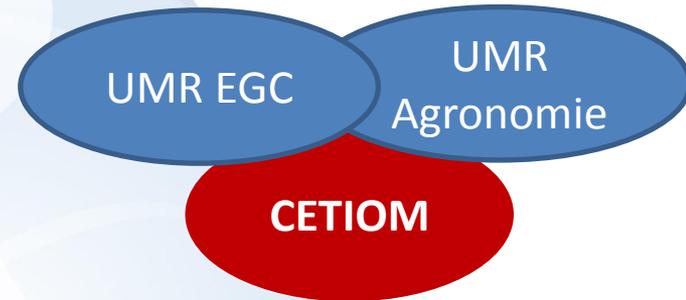
- N₂O = 30 à 50% du bilan GES des matières premières agricoles végétales
- Enjeu important pour réduire les émissions de GES à l'échelle des filières
- Cas particulier de la filière des oléoprotéagineux:

- >60% du colza = biodiesel
- obligation de réduction de 50% des émissions de GES par rapport au gazole (directive 2009/28/CE)



L'UMT GES-N₂O

- 5 ans : 2008-2013
- Unité Mixte Technologique :
 - Partenariat INRA / CETIOM
 - Programme R&D commun / mutualisation des moyens matériel (et humains)
- Programme : connaissance des processus / impacts des pratiques culturales / outils d'estimation
- Un travail d'équipe





Plan de l'exposé

- Outils de mesure & outils d'estimation des pertes de N₂O au champ
- Les pratiques : Quels impacts ? Quels leviers
- Vers une nouvelle méthode d'estimation des émissions de N₂O au niveau français

OUTILS DE MESURE ET D'ESTIMATION

Outils de mesure au champ

- Les chambres de mesure:
 - Outil le plus courant
 - Deux types : manuelle (mesures ponctuelles) ou automatique (mesure en continu)

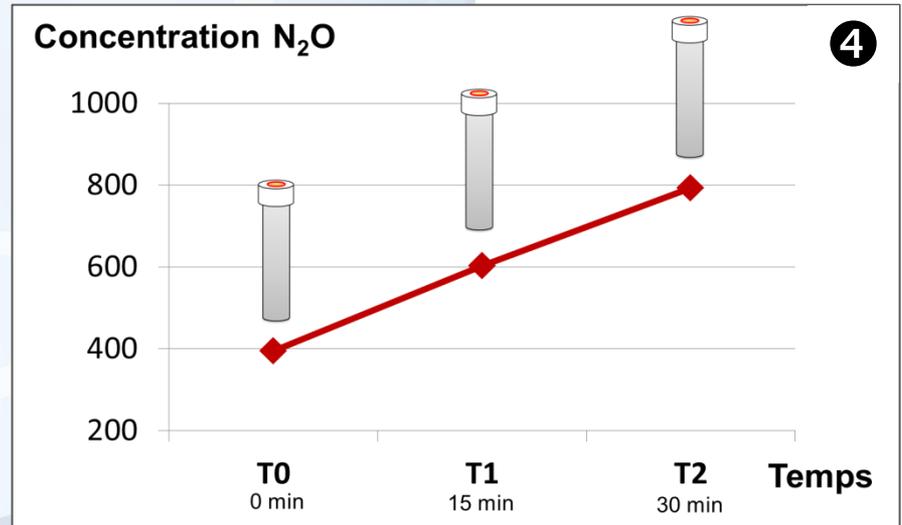
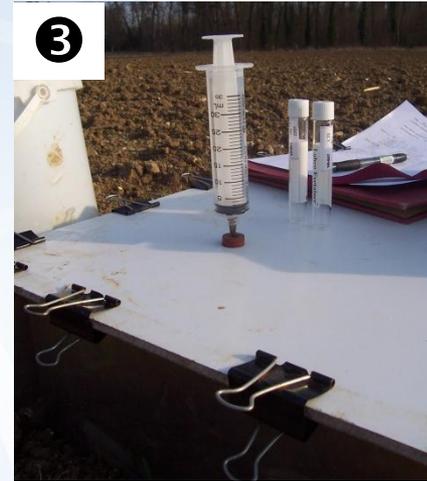
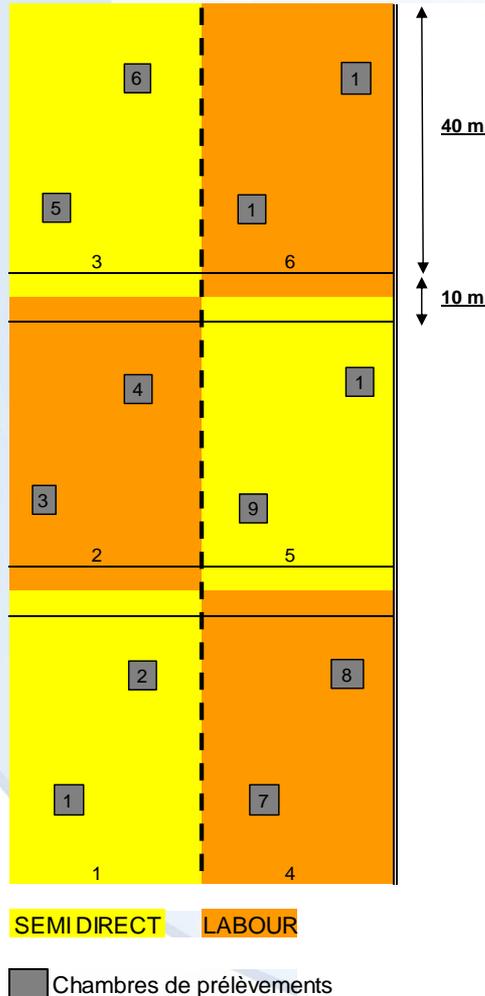
Outils de mesure au champ

- Les chambres de mesure manuelles (1/3):



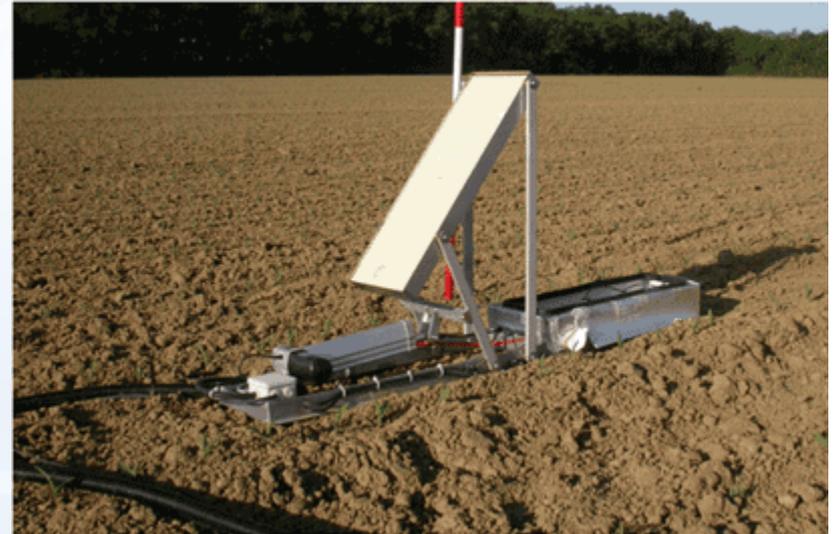
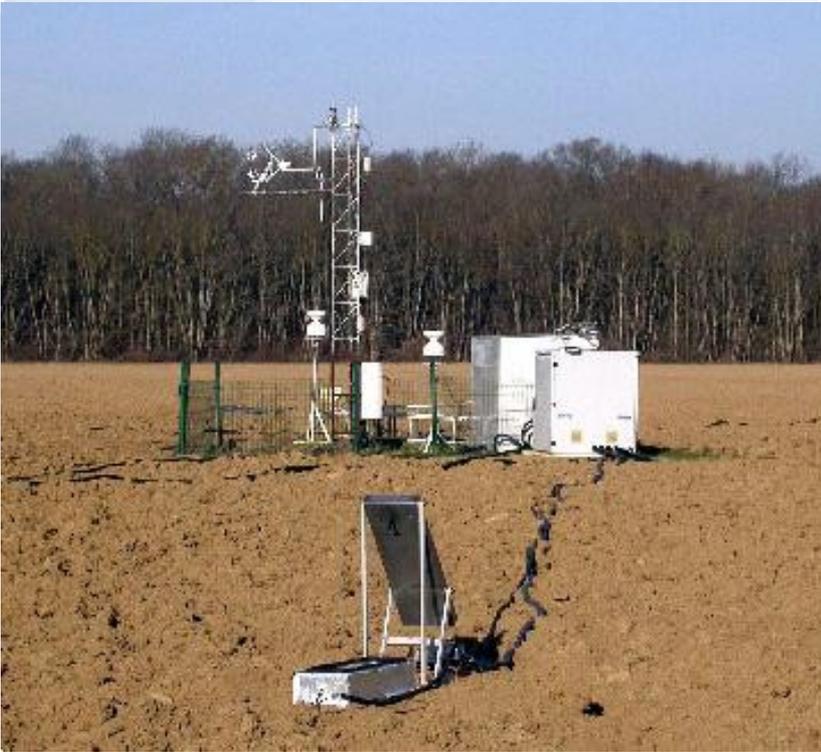
Outils de mesure au champ

- Les chambres de mesure manuelles (2/3):



Outils de mesure au champ

- Les chambres de mesure automatiques :



Outils de mesure au champ

- Les méthodes micro-météorologiques:



Laville (2011)

Outils de mesure au champ

■ Bilan comparatif:

Chambres de mesures manuelles:

- Outil le plus courant
- Peu onéreux
- Faciles à mettre en œuvre
- Fort besoin de main d'œuvre
- Représentativité spatiale / variabilité temporelle
- Interpolation des flux manquants

Chambres de mesures automatiques:

- Prise en compte de la variabilité temporelle
- Représentativité spatiale
- Onéreux
- Nécessite du doigté et de l'expérience

Méthodes micro-météorologiques:

- Prise en compte de la variabilité temporelle
- Bonne représentativité spatiale
- Inutilisable pour des mesures en micro-parcelles
- Onéreux

Outils d'estimation des émissions

- Trois niveaux d'approche:

① La méthode de niveau 1 (tier 1):

$$N-N_2O = (F_{SN} + F_{AM} + F_{CR}) * EF_1$$

Apport de fertilisants azotés minéraux (→ *volatilisation de NH₃ et NOx déduite*)

Apport d'azote contenus dans les déjections animales utilisés pour la fertilisation (i.e. hors excrétion pendant pâture) et l'apport de boues de station d'épuration (→ *volatilisation de NH₃ et NOx déduite*)

Apport d'azote par les résidus de cultures

Le facteur d'émission directe de N₂O proposé par le GIEC est unique à l'échelle mondiale et vaut **1%**

Outils d'estimation des émissions

- Trois niveaux d'approche:

② Les méthode de niveau 2 (tier 2):

- Spécifiques à un pays : (i) modification des coefficients d'émissions ou (ii) nouvelle équation
- Deux pays concernés aujourd'hui:
 - ➔ Canada : Rochette et al (2008)
 - ➔ Nouvelle – Zélande : Clough et al (2006), Kelliher et al (2007)

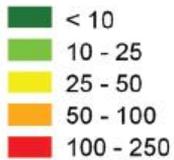
③ Les méthodes de niveaux 3 (tier 3):

- Basées sur des modèles mécanistes

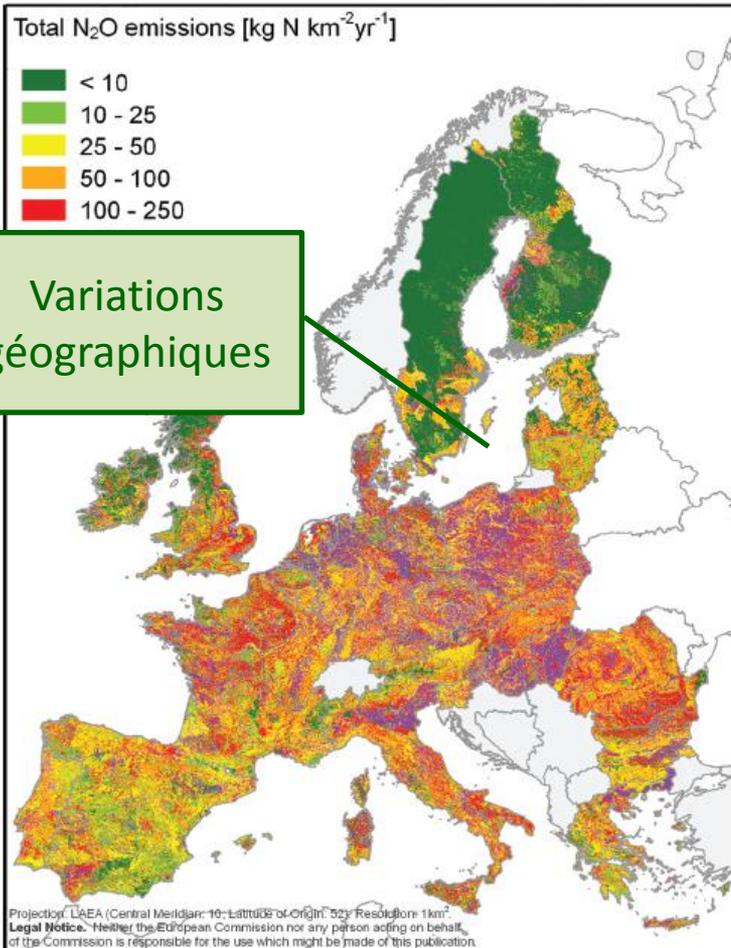
Outils d'estimation des émissions

③ Les méthodes de niveaux 3 (tier 3): Leip et al, 2011

Total N₂O emissions [kg N km⁻²yr⁻¹]

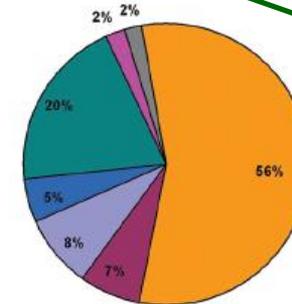
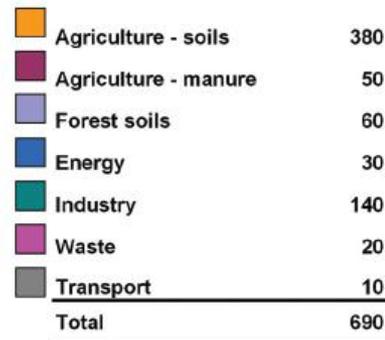


Variations géographiques



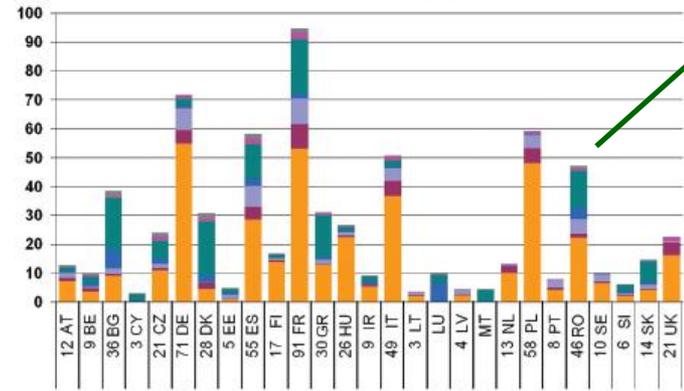
Projection: UEA (Central Meridian: 10°; Latitude of Origin: 52°; Resolution: 1km;
Legal Notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.
IDEAg V1, INTEGRATOR and EDGAR-CIRCE

Split of total N₂O emissions for EU27 [Gg N yr⁻¹]



Répartition des émissions par sources

Split of total N₂O emissions by country [Gg N yr⁻¹]



Émissions par pays

ALJ-HIR, 27.07.2010. ©European Communities, 2010

EMISSIONS DE N₂O & PRATIQUES CULTURALES

Emissions de N₂O & Pratiques culturelles

- Trois niveaux d'approche:

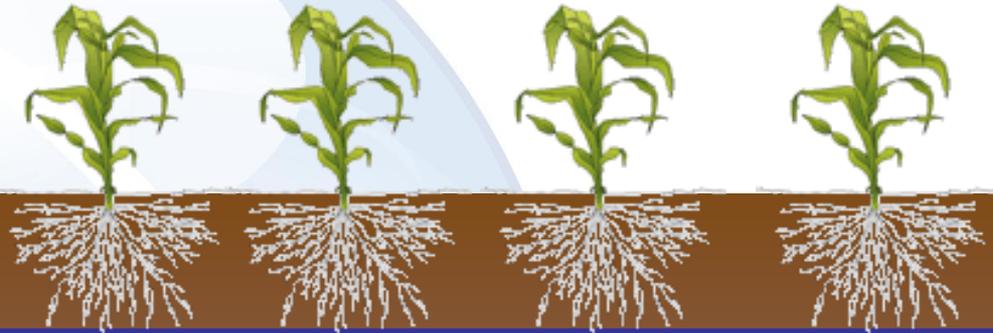
② Les méthode de niveau 2 (*tier 2*):

- Spécifiques à un pays : (i) modification des coefficients d'émissions ou (ii) nouvelle équation
- Deux pays à avoir élaborer une méthode tier 2 :
 - ➔ Canada : Rochette et al (2008)
 - ➔ Nouvelle – Zélande : Clough et al (2006), Kelliher et al (2007)

③ Les méthodes de niveaux 3 (*tier 3*):

- Basées sur des modèles mécanistes

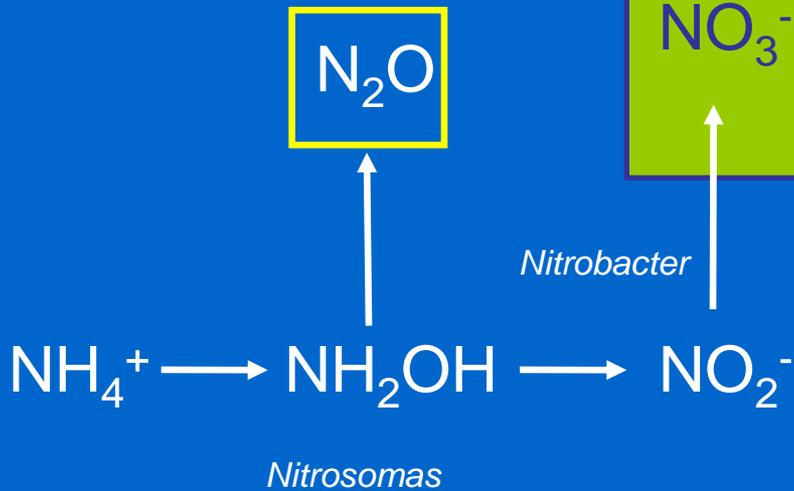
Emissions de N₂O & Pratiques culturales



Variables de contrôle:

T_{soil}, humidité du sol, N, C, pH

Nitrification



Processus aérobie

Denitrification

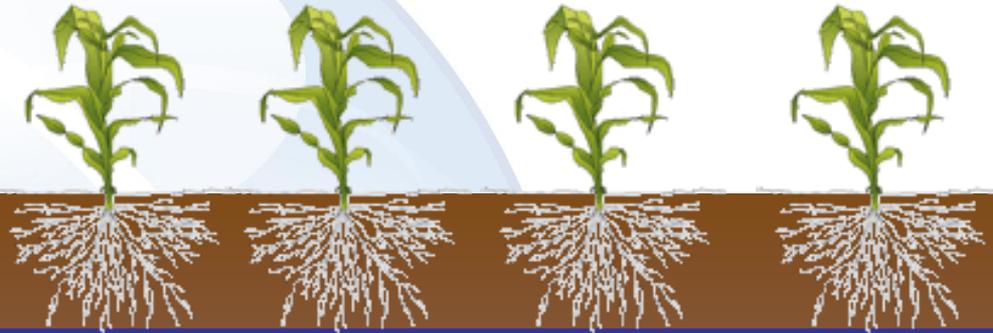


Pseudomonas, Bacillus...

Processus anaérobie



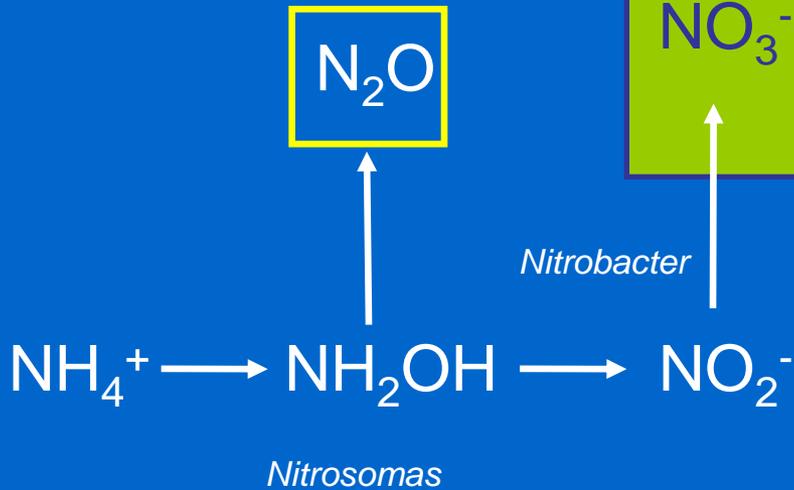
Emissions de N₂O & Pratiques culturales



Variables de contrôle:

T_{soil}, humidité du sol, N, C, pH

Nitrification



Processus aérobie

Denitrification



Pseudomonas, Bacillus...

Processus anaérobie

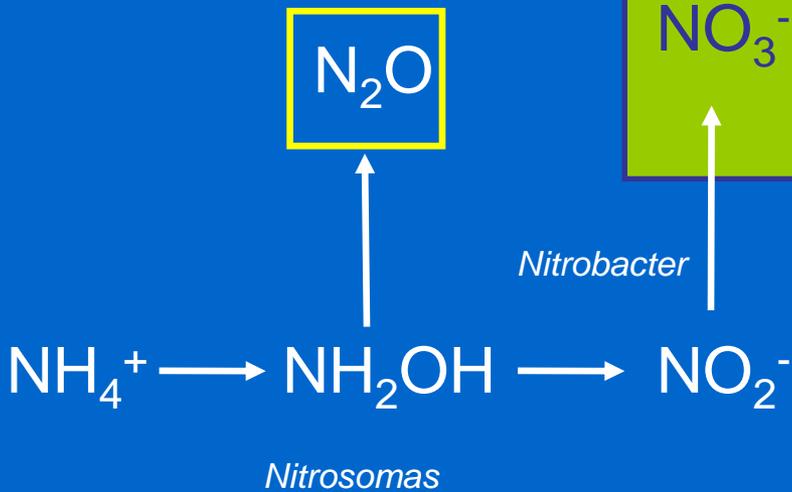


Emissions de N₂O & Pratiques culturales



Variables de contrôle:
T_{soil}, humidité du sol, N, C, pH

Nitrification



Processus aérobie

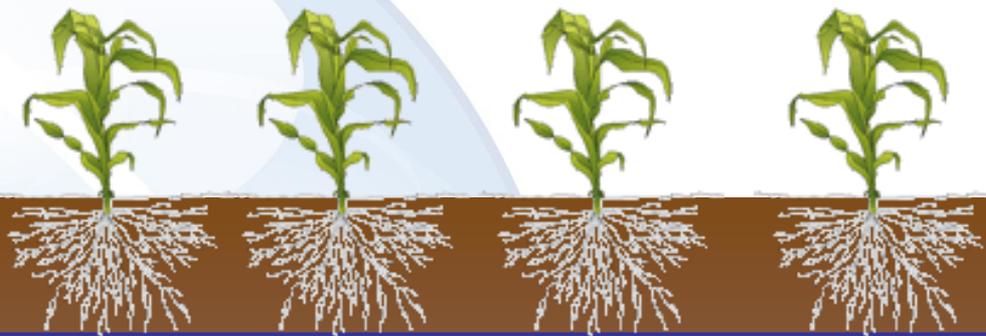
Denitrification



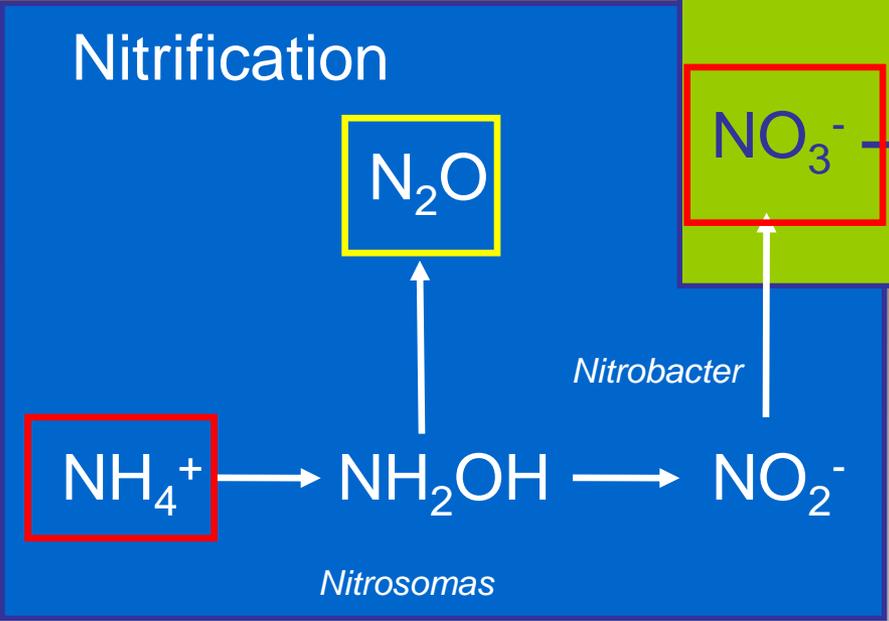
Processus anaérobie



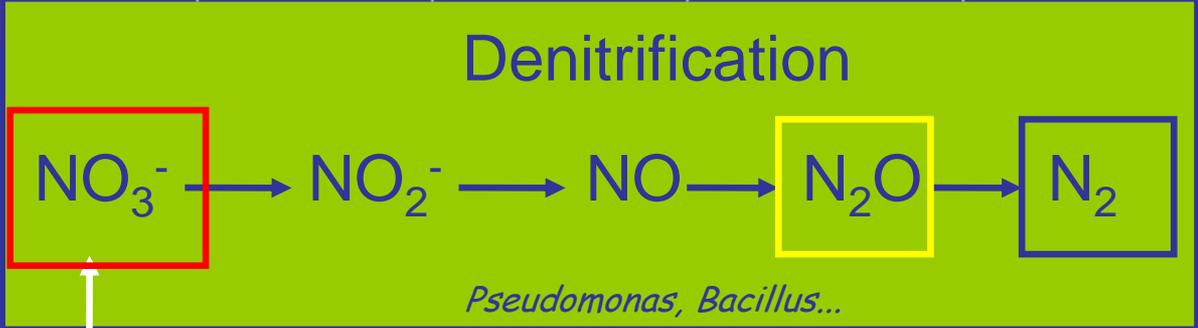
Emissions de N₂O & Pratiques culturales



Variables de contrôle:
T_{soil}, humidité du sol, N, C, pH



Processus aérobie



Processus anaérobie



Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- Le travail du sol : labour VS semis direct (1/4)
 - Le tassement du sol augmente le niveau d'émissions (Bessou, 2010)

	2007 (avril – octobre)		2008 (avril – novembre)	
	<i>Compacté</i>	<i>Non compacté</i>	<i>Compacté</i>	<i>Non compacté</i>
Flux de N ₂ O cumulé (kg N/ha)	0.94	1.45	0.98	1.38
Flux de N ₂ O journalier moyen (kg N /ha)	0.058	0.089	0.048	0.068

Résultats obtenus sur le site de l'INRA-AgroImpact à Estrées-Mons (80) sur cultures de betteraves sucrières fertilisées à hauteur de 100 UN/ha en 2007 et 150 UN/ha en 2008.

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- Le travail du sol : labour VS semis direct (2/4)
- Le semis direct tend à augmenter le niveau d'émissions de N₂O

Référence	Domaine concerné	Pratique comparée au labour	Emissions additionnelles de N ₂ O (ou en % des émissions sous labour *)	Mesures continues sur au moins la saison de végétation	Type d'étude
Six et al., 2002	Tous climats, tous sols	Toutes TCSL	2,9	non	synthèse bibliographique
Smith et Conen, 2004	Tous climats, tous sols	Toutes TCSL	2,1	non	synthèse bibliographique
Smith et al., 2002	Tous climats, tous sols	Toutes TCSL	1,65	non	synthèse bibliographique
Rochette, 2008	Sols bien aérés	Semis direct	-0,006	oui	synthèse bibliographique
	Sols moyennement aérés	Semis direct	0,12	oui	
	Sols hydromorphes	Semis direct	2,00	oui	
Van Kessel et al., 2012	Tous sols et climats	Toutes TCSL	0% (±10), NS*	oui	méta-analyse, 239 comparaisons
	Climats humides	Toutes TCSL	-2%(±8), NS*	oui	méta-analyse, 183 comparaisons
	Tous climats	Travail superficiel	-5% (±10), NS*	oui	méta-analyse, 62 comparaisons
	Tous climats	Semis direct	+2% (±10), NS*	oui	méta-analyse, 177 comparaisons
Oorts et al., 2007	Sols non hydromorphes	Semis direct	0,52	non	étude expérimentale
Roussel et al., soumis	Sols non hydromorphes	Semis direct	0,29	oui	étude expérimentale



Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- Le travail du sol : labour VS semis direct (2/4)
- Le semis direct tend à augmenter le niveau d'émissions de N₂O

Atténuation totale (kgCO ₂ e/ha/an)	abréviation	haute	basse	moyenne
Semis direct continu	SD	1234	-34	603
Labour occasionnel tous les 5 ans	LO1/5	823	-27	400
Travail superficiel	TS	126	-23	87

Expertise collective INRA « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de GES? »



Effet à mettre en balance avec le stockage de C dans le sol + économie de carburant

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- Le travail du sol : labour VS semis direct (3/4)
 - L'effet du passage au semis-direct dépend du climat et de la durée de l'expérimentation (Six et al, 2004)

Différence de flux de N ₂ O annuels : CT – SD (kg de N/ha/an)	Après 5 ans		Après 10 ans		Après 20 ans	
Climat humide *	3.8		1.1		-4.2	
Climat sec *	1.3		0.9		0	

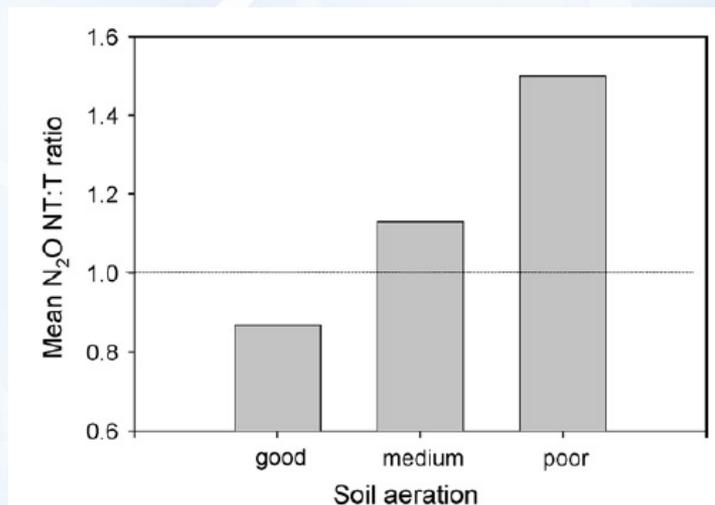
* Classification des climats selon les zones climatiques définies par Holdridge (Holdridge et al, 1971) - si ETP/P > 1 = climat sec, si ETP/P < 1 = climat humide

Résultats basés sur une méta-analyse des études publiées comparant travail du sol conventionnel (CT) et semis direct (SD) – 44 données de flux utilisées - estimation des différences entre CT et SD obtenues via une régression linéaire sur le points de mesure

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- Le travail du sol : labour VS semis direct (4/4)
- Le passage au semis-direct augmente les émissions de N₂O dans les sols « mal aérés * » mais pas dans les sols « bien aérés* » (Rochette et al, 2008)

** Sols mal aérés = mauvaise capacité de drainage du sol – sols moyennement bien aérés = bonne capacité de drainage et précipitation < 400 mm sur la période de culture – sols bien aérés = bonne capacité de drainage et précipitation < 400 mm sur la période de culture*

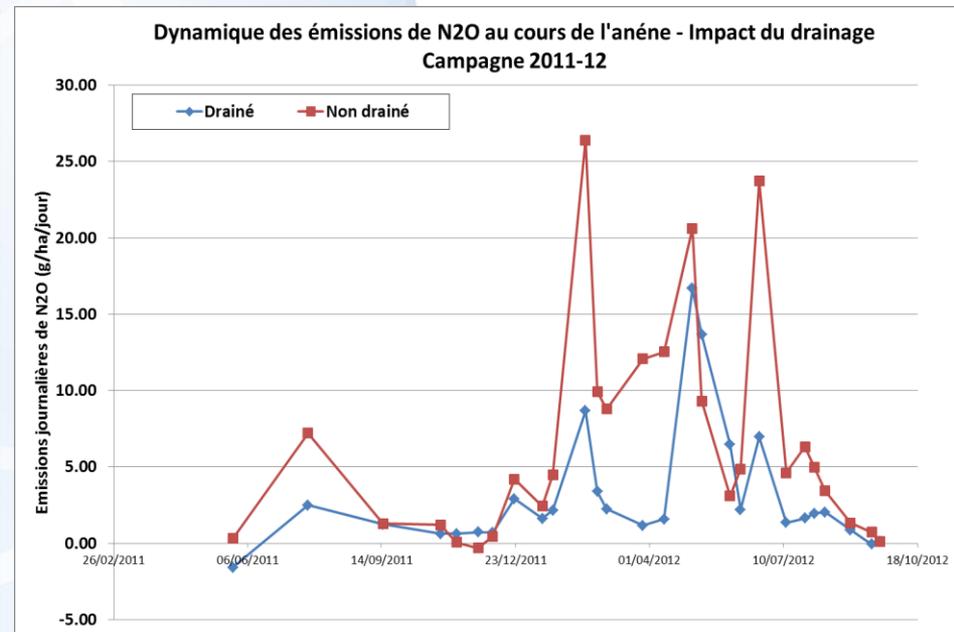
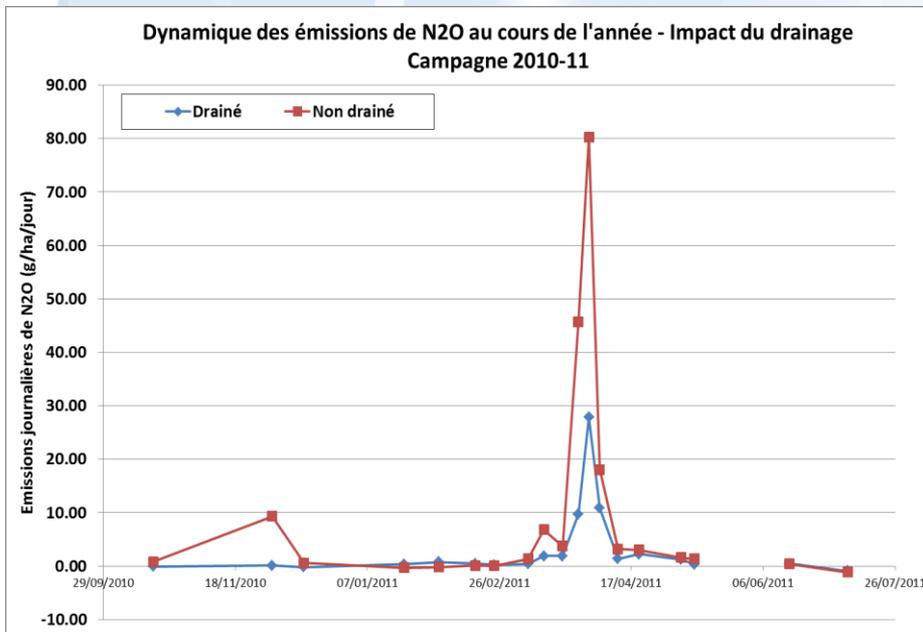


Ratio des émissions annuelles de N₂O obtenues en travail du sol conventionnel (T) et semis direct (NT)

Résultats basés sur une analyse comparée des résultats d'expérimentations comparant le semis-direct (NT) au travail du sol conventionnel (T) – 45 données de flux de N₂O utilisées

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

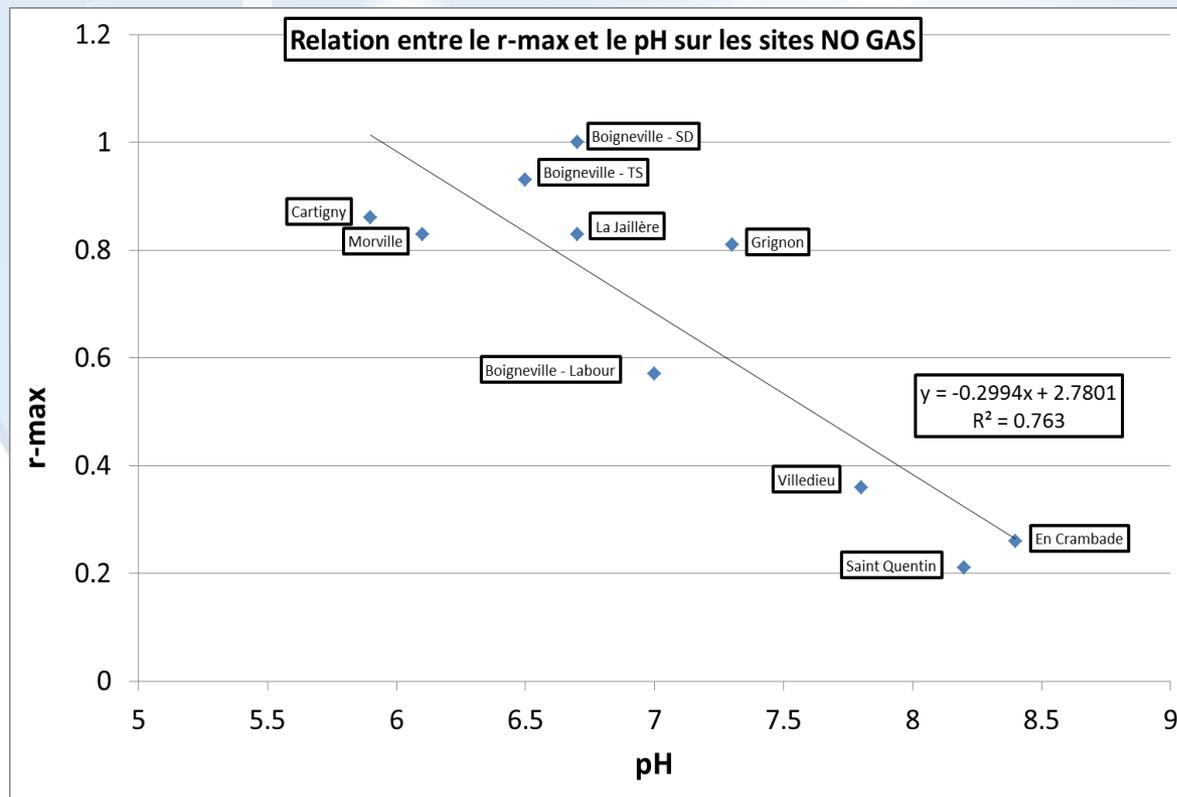
- Le drainage
 - Dans les sols hydromorphes, le drainage peut aider à réduire les émissions de N₂O



Comparaison de la dynamique des émissions de N₂O sur le site de La Jaillière (44) sur une parcelle drainée et non drainée – projet NO GAS (2010-2012)

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

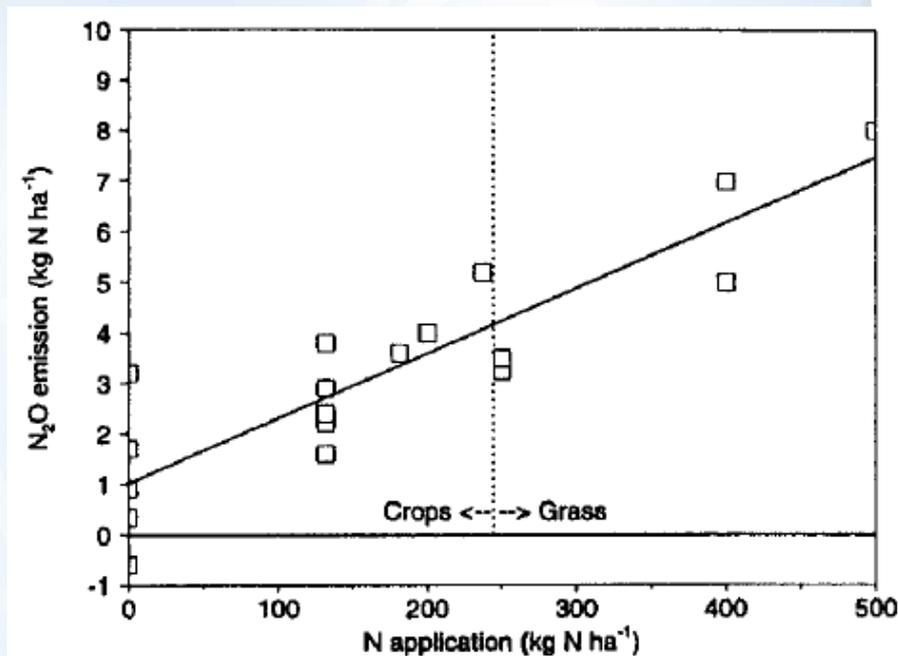
- Le chaulage
 - La capacité des micro-organismes du sol à transformer le N₂O en N₂ est très étroitement lié au pH



Effet à nuancer : une remontée du pH peut aussi favoriser la formation de N₂O (Clough et al, 2003)

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

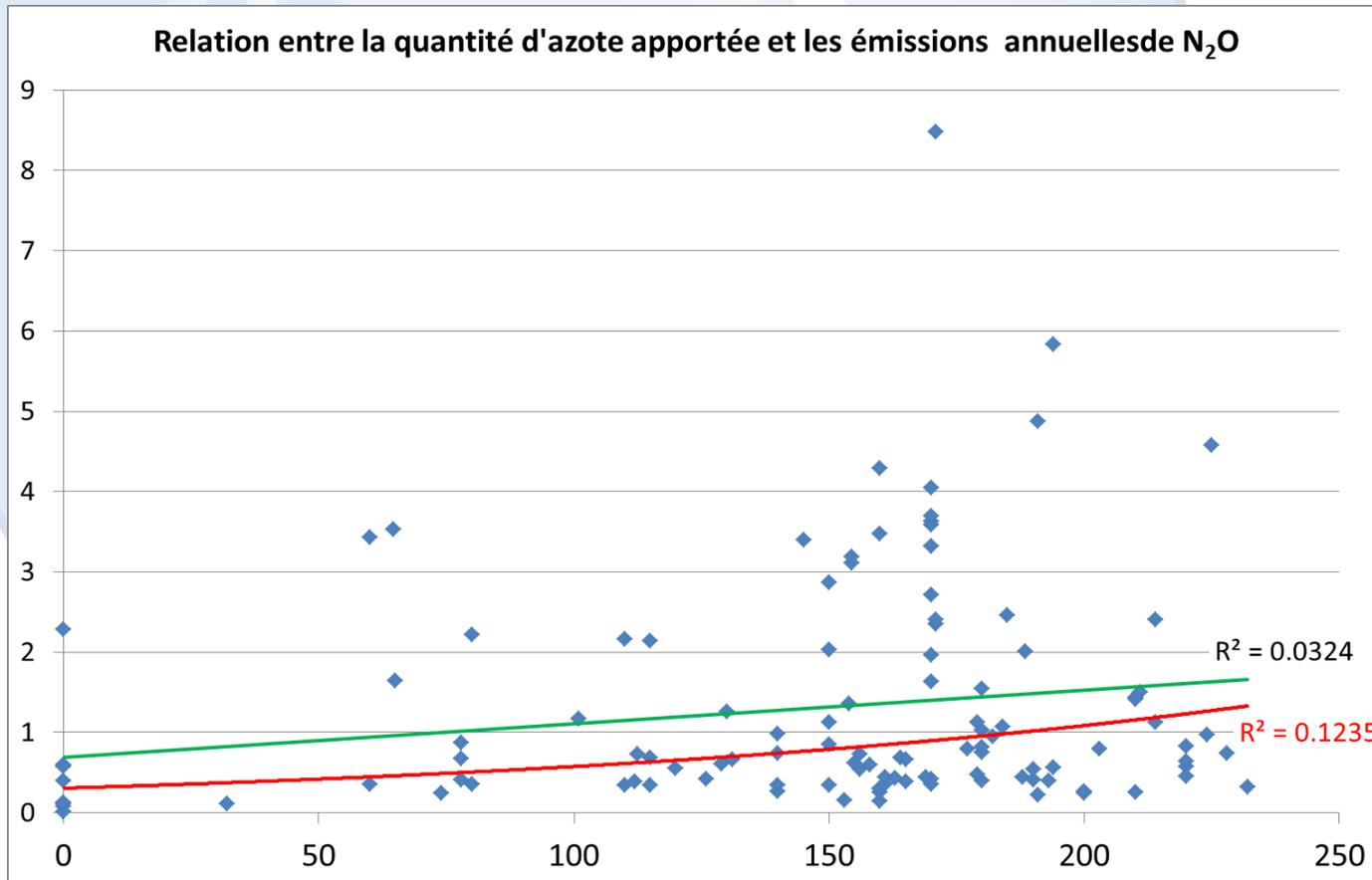
- La fertilisation azotée : la dose de N (1/3)
 - Une relation établie au niveau mondial entre le niveau d'émissions et la quantité de N apportée à la parcelle (Bouwman, 1996)



Résultats basés sur une méta-analyse de - 43 données de flux de N₂O utilisées, obtenues sur des expérimentations avec un suivi supérieur à 100 jours

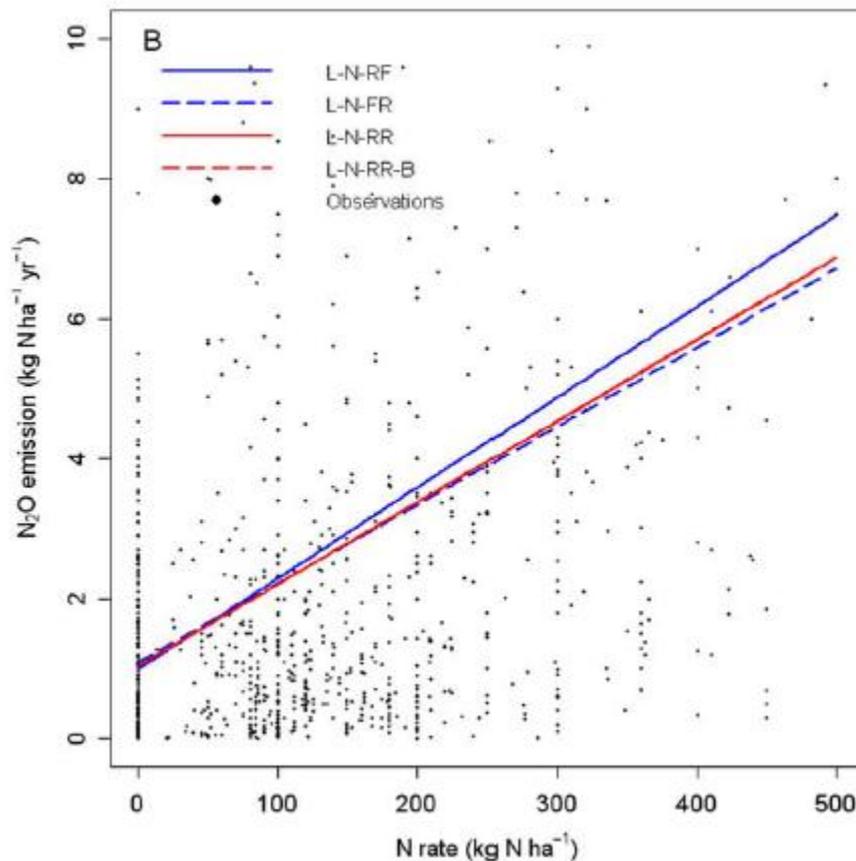
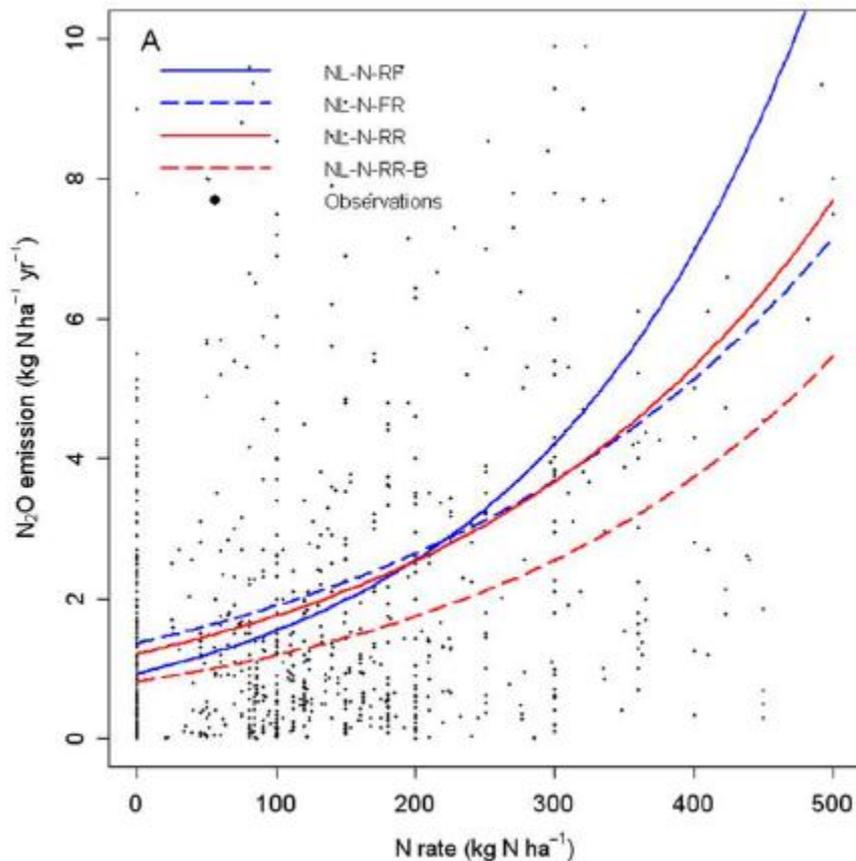
Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : la dose de N (2/3)
 - Mais pas forcément partout



Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : la dose de N (3/3)
- Une relation exponentielle plutôt que linéaire (Phillibert et al, 2012)



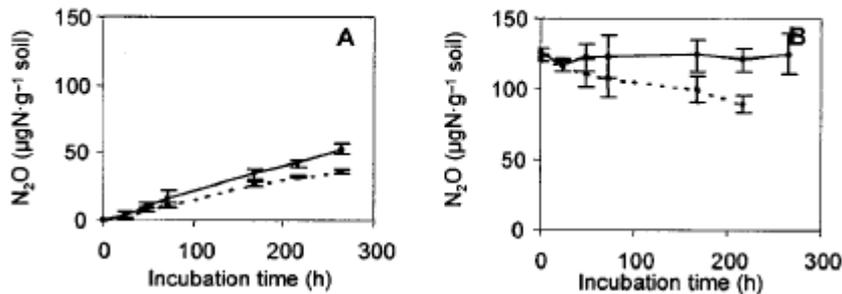
Résultats basés sur une méta-analyse de 985 données issues de la base de données publiée par Stehfest et Bouwman (2006)

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

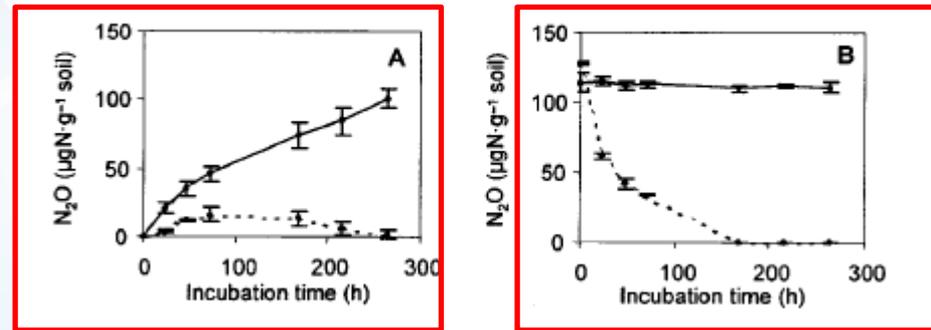
- La fertilisation azotée : engrais de synthèse VS organiques
- Un effet dual des apports organiques

Gleyic Luvisol of the Burgundy-Champagne system

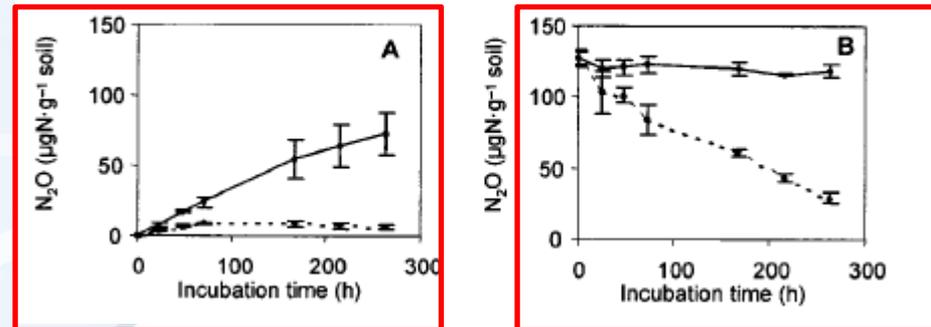
Without carbon addition



With succinate and acetate addition



With pig manure addition

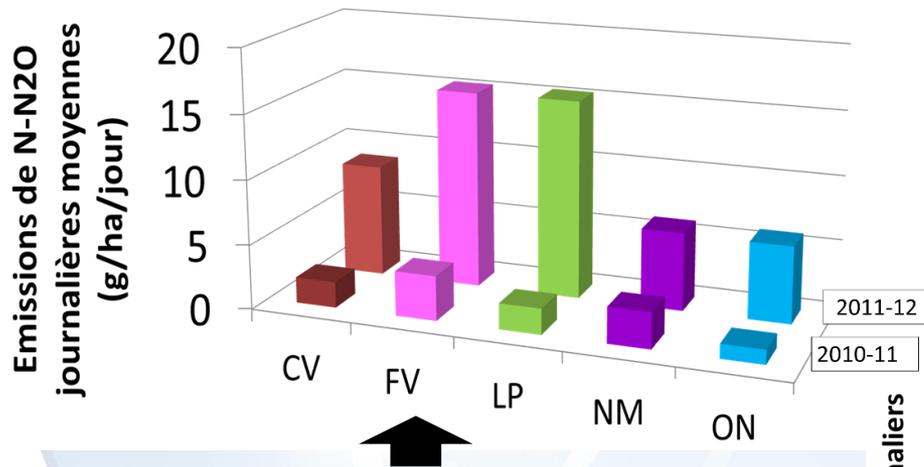


Cinétiques de production (A) et de consommation (B) de N₂O obtenues en incubation (sol de Longchamp) – les lignes en pointillés sont les échantillons sans ajout d'acétylène et les lignes en plein avec ajout d'acétylène

Hénault et al, 2001

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

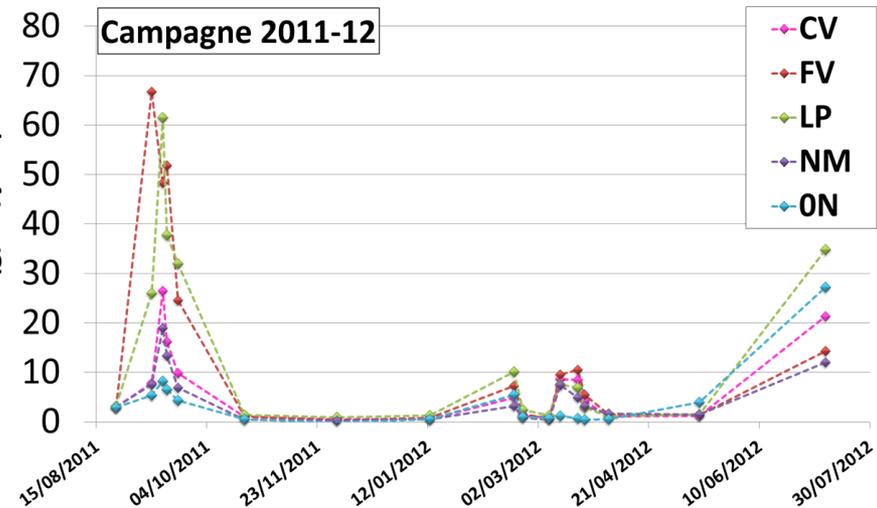
- La fertilisation azotée : engrais de synthèse VS organiques
- Un effet dépendant des caractéristiques de la matière organique



Comparaison des flux annuels de N₂O entre 5 modalités dont 3 avec apports de MO : compost de fientes (CV), fientes séchées (FV) et lisier de porc (LP) – site de Sourches (72)

Comparaison des dynamique des émissions de N₂O sur les 5 modalités pour la campagne 2011-12 – site de Sourches (72)

Flux de N-N₂O journaliers (g/ha/jour)

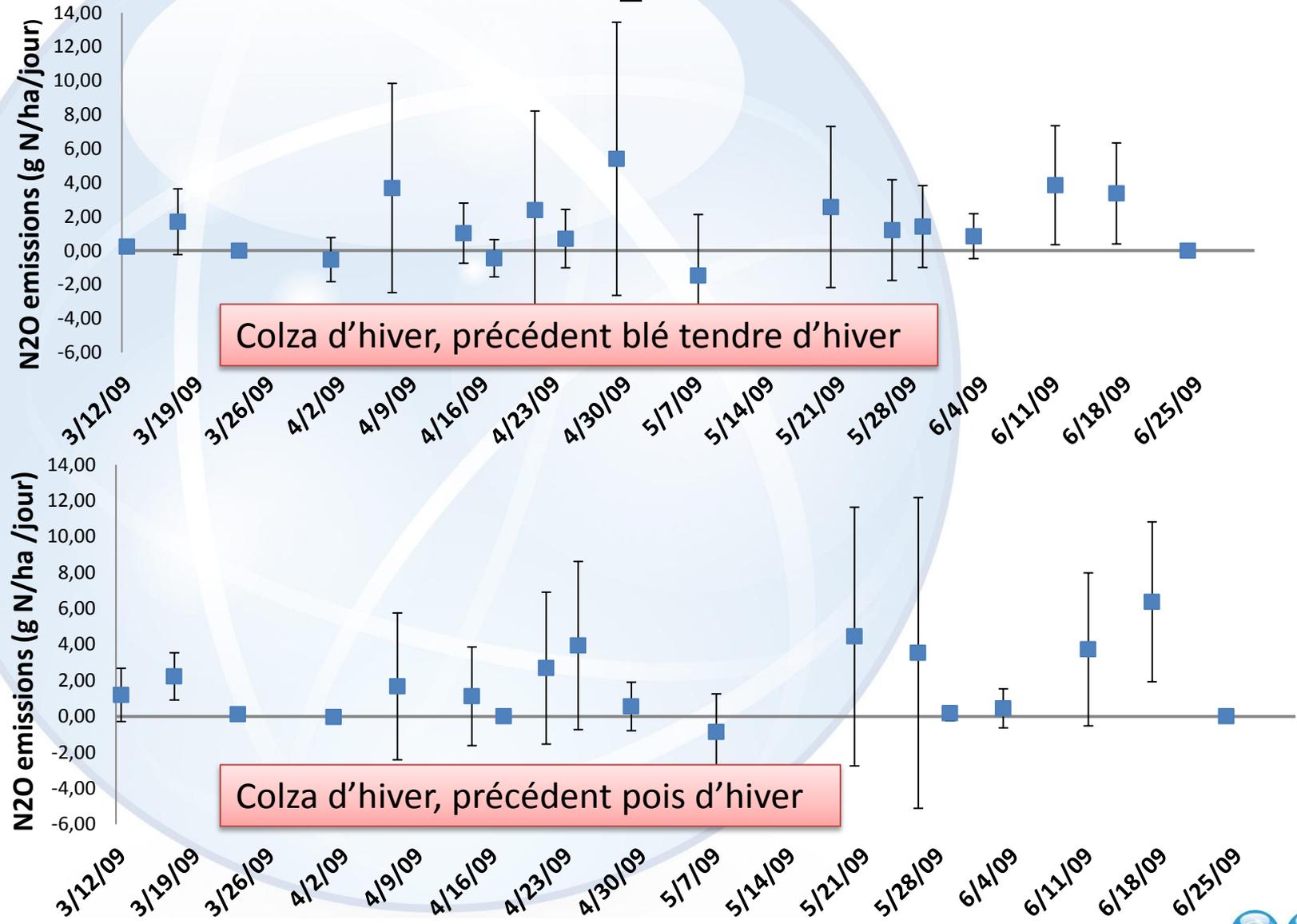


Fort lien avec le C/N du produit.

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : la fixation symbiotique
 - Des émissions de N₂O liées au processus de fixation symbiotique
 - Mais des flux de N₂O relativement proche du « niveau de fond » : 1kg/ha/an pour les légumineuse à graines et 1,8 kg/ha/an pour les légumineuses fourragères (Rochette & Janzen, 2004)
 - Un impact de la décomposition des résidus qui reste limité (Jeuffroy et al, 2013)

Emissions de N₂O & Pratiques culturales



Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : la forme de l'engrais minéral
 - Des résultats variables en fonction des expérimentations (Hénault et al, 1998; Millar et al, 2011; Smith et al, 2012)
 - Des confusions d'effet possible avec la forme physique (solide VS liquide) et la localisation (en surface, incorporé, injecté)
 - Un effet de la volatilisation qu'il faudrait prendre en compte pour comparer les formes (Smith et al, 2012)

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : les engrais retards ou/et stabilisés

Engrais retard : engrais contenant un nutriment sous une forme qui va retarder sa mise à disposition pour la plante

- ➔ Engrais enrobés: Coten Mix
- ➔ Azote minéral associé à un métal
- ➔ Azote organique de synthèse

Engrais stabilisé : engrais auquel un stabilisateur d'engrais a été ajouté (stabilisateur d'engrais = substance qui prolonge le temps pendant lequel l'azote reste sous forme ammoniacale ou uréique)

- ➔ Avec inhibiteurs de nitrification: ENTEC, N-Serve / Instinct, Alzon
- ➔ Avec inhibiteurs d'uréase: Agrotrain
- ➔ Avec les 2: Agrotrain Plus, Super U

Emissions de N₂O & Pratiques culturales

- La fertilisation azotée : les engrais retards ou/et stabilisés

Engrais retard : un effet variable selon les expérimentations

Engrais stabilisé : un effet prouvé pour les inhibiteurs de nitrification – pas d’effet attesté des inhibiteurs d’uréase (effet conjoint?)

- DMPP (ENTEC) : - 55%
 - Nitrapyrin (N-Serve / Instinct): - 50% - *volatile*
 - DCD (Alzon, Guardian) : - 30% - *sensible au lessivage*
- (chiffres issus de la méta-analyse d’Akiyama et al, 2010)*

Peu de données sur les autres inhibiteurs : ATS, neem etc. – données majoritairement obtenues aux USA, Nouvelle-Zélande et Japon.