



Quels sont les impacts de la fertilisation azotée et les pratiques agricoles sur l'effet de serre?

Normand Bertrand

Professionnel de recherche en gaz à effet de serre

Agriculture et Agroalimentaire Canada



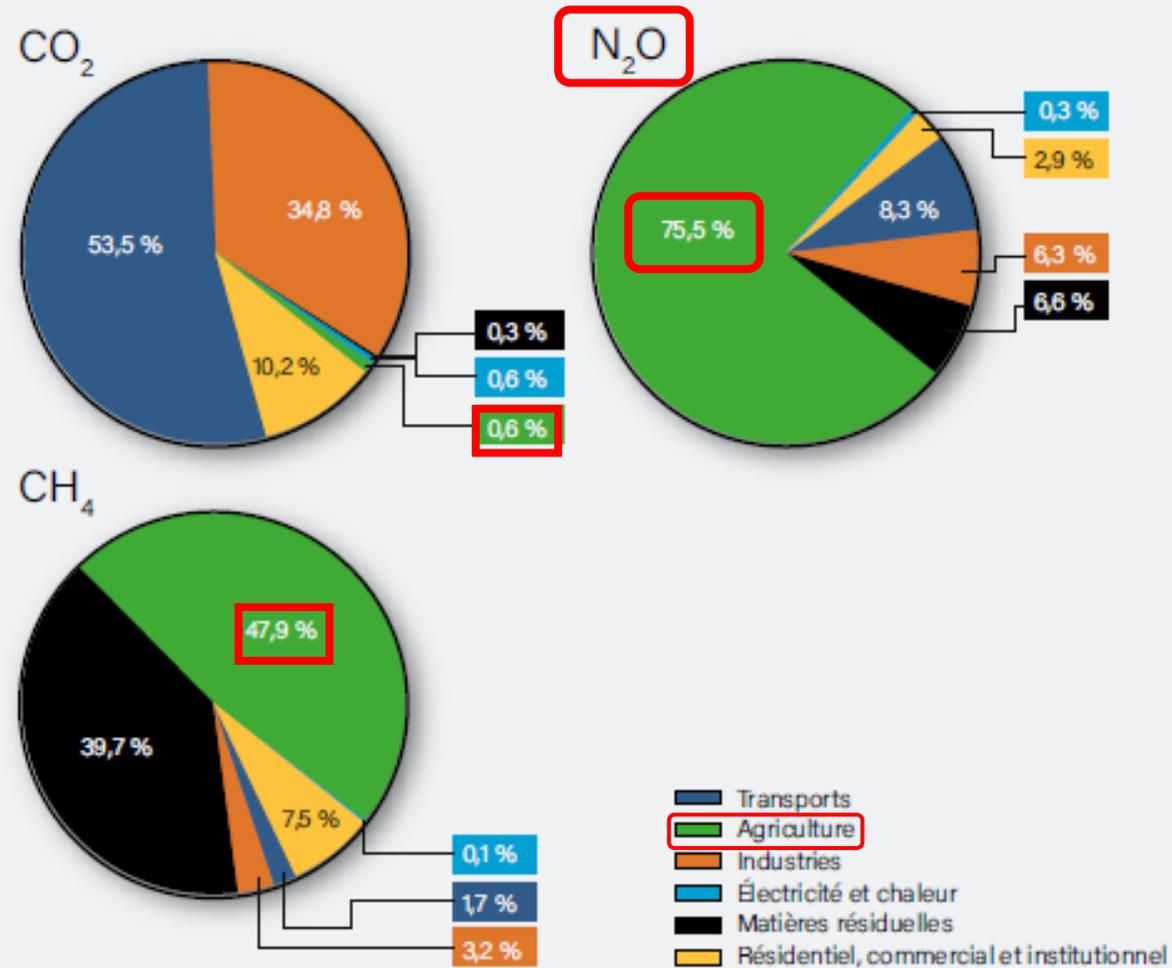
Plan de la présentation

- Les gaz à effet de serre (GES)
- Processus de production du protoxyde d'azote (N_2O)
- Relation entre l'azote, l'aération du sol et le N_2O
- Techniques de mesures du N_2O au champ
- Influence des pratiques agricoles sur le N_2O
- Comment Réduire le N_2O ?



GES: CO₂ CH₄ N₂O

Répartition des émissions de CO₂ de CH₄ et de N₂O
Au Québec en 2021, par secteur d'activité (MELCCFP, 2023)



Les molécules n'ont pas toutes le même effet de serre

Compilation des GES: *eq CO₂*

CO ₂	=	1	<i>eq CO₂</i>
CH ₄	=	28	<i>eq CO₂</i>
N ₂ O	=	265	<i>eq CO₂</i>

Source: GIEC, 2014



Émissions de GES au Québec en 1990 et 2021 (MELCCFP, 2023)

Secteurs d'activité	Émissions (Mt éq. CO ₂)		Variation des émissions de 1990 à 2021		Part du secteur en 2021
	1990	2021	Mt éq. CO ₂	%	%
Transports	27,40	33,05	5,65	20,6	42,6
Transport routier	20,87	24,21	3,34	16,0	31,2
Autres transports*	4,24	6,95	2,70	63,7	9,0
Transport maritime	0,70	0,73	0,03	3,8	0,9
Transport aérien	0,95	0,66	-0,29	-30,4	0,9
Transport ferroviaire	0,64	0,50	-0,14	-21,4	0,6
Industries	32,08	25,03	-7,05	-22,0	32,3
Procédés industriels et utilisation des produits	13,95	13,17	-0,77	-5,5	17,0
Combustion industrielle	17,90	11,64	-6,26	-35,0	15,0
Émissions fugitives	0,24	0,23	-0,01	-5,6	0,3
Résidentiel, commercial et institutionnel	11,22	7,03	-4,19	-37,4	9,1
Commercial et institutionnel	4,25	4,09	-0,16	-3,8	5,3
Résidentiel	6,96	2,93	-4,03	-57,9	3,8
Agriculture	6,83	8,05	1,22	17,8	10,4
Fermentation entérique	3,26	2,87	-0,39	-12,0	3,7
Gestion des sols agricoles	1,80	2,68	0,88	48,9	3,5
Gestion du fumier	1,51	2,14	0,63	41,4	2,8
Chaulage, urée et autres engrais carbonés	0,26	0,37	0,11	40,4	0,5

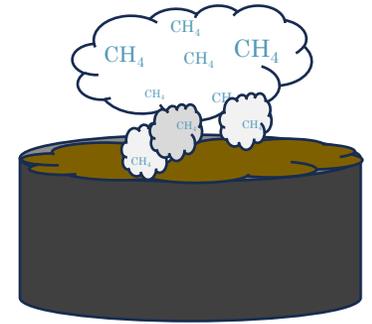
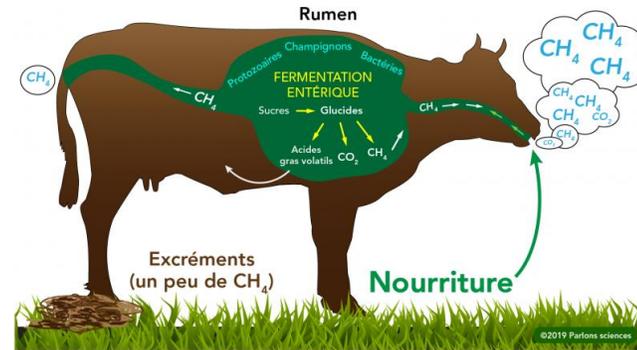
Proportion des GES en agriculture (MELCCFP, 2023)

Méthane (CH₄)

54% des émissions agricoles

Ruminants (digestion) **67%**

Gestion liquide des déjections **33%**



Protoxyde d'azote (N₂O)

42% des émissions agricoles

Sols: Fertilisants minéraux et effluents d'élevages **79%**

Gestion solide des fumiers et compostage **21%**



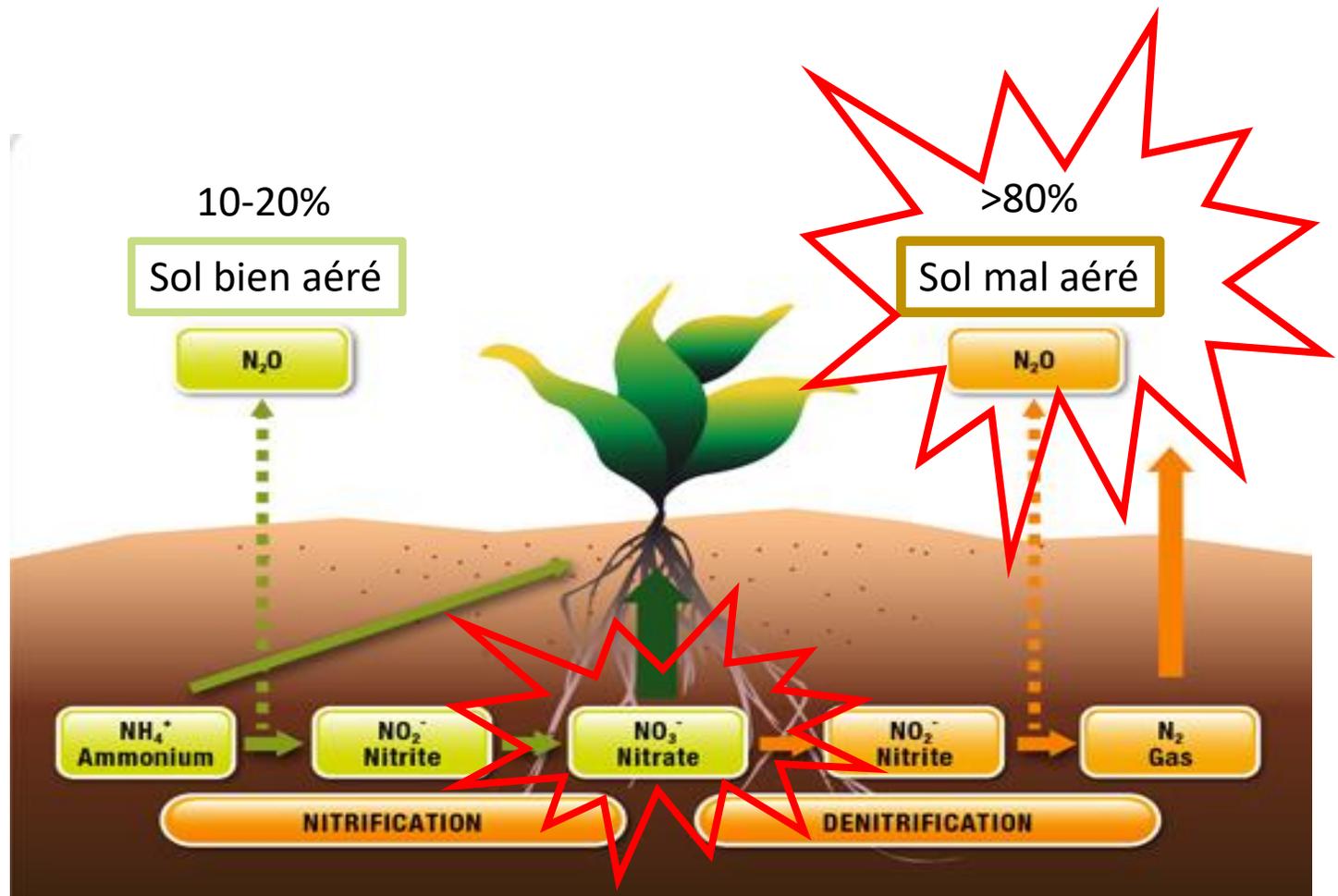
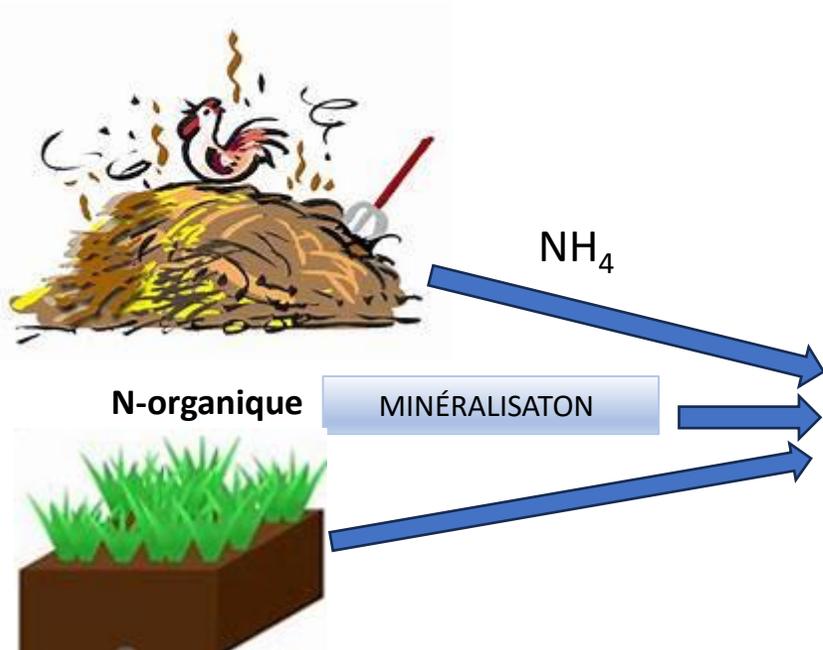
Dioxyde de carbone (CO₂)

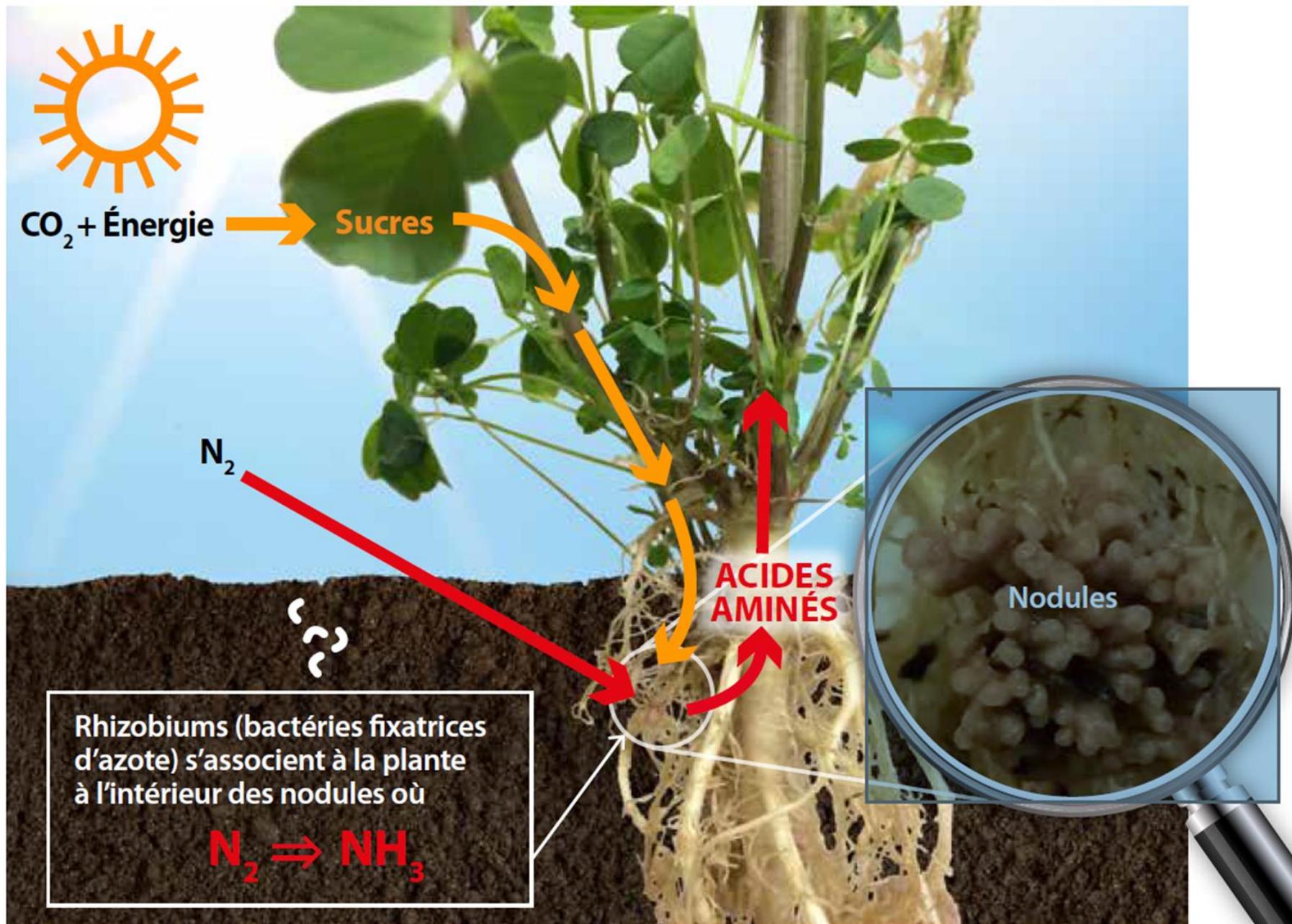
5% des émissions agricoles

Chaulage, engrais synthétiques et machinerie



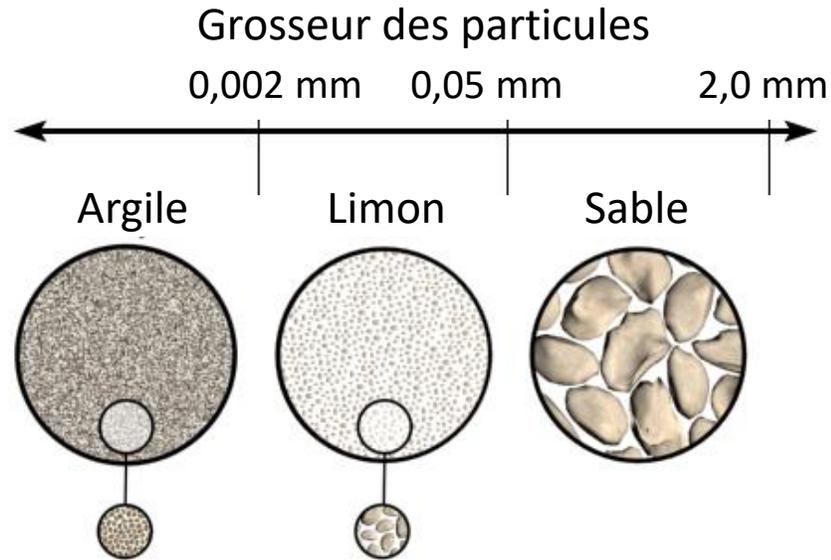
Production de N₂O des sols agricoles





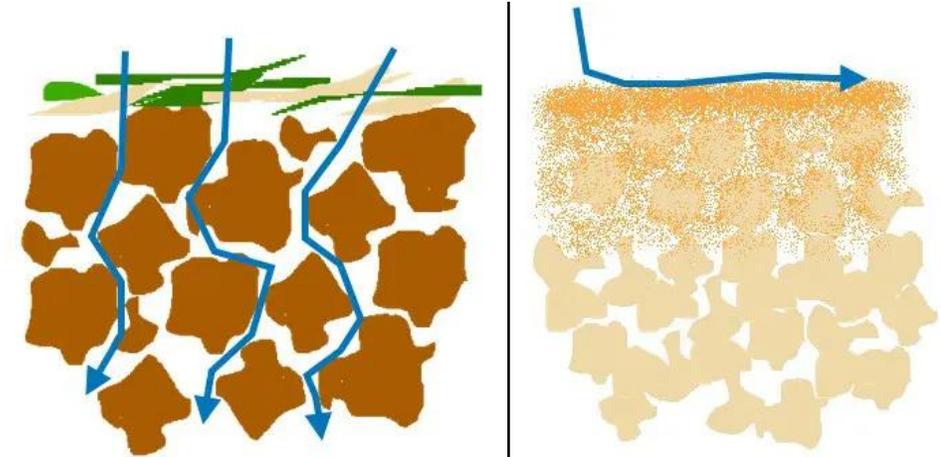
Facteurs qui influencent l'aération du sol

Texture du sol



©The COMET Program

Santé du sol



Sol en santé

Bonne structure
Infiltration de l'eau dans les pores du sol
Bon drainage
Haute teneur en matière organique
Présence de résidus

Sol dégradé

Sol compacté
Peu d'infiltration dans les pores du sol
Érosion
Faible en matière organique
Sol nu et croulé

Source: Symbiosis, 2020

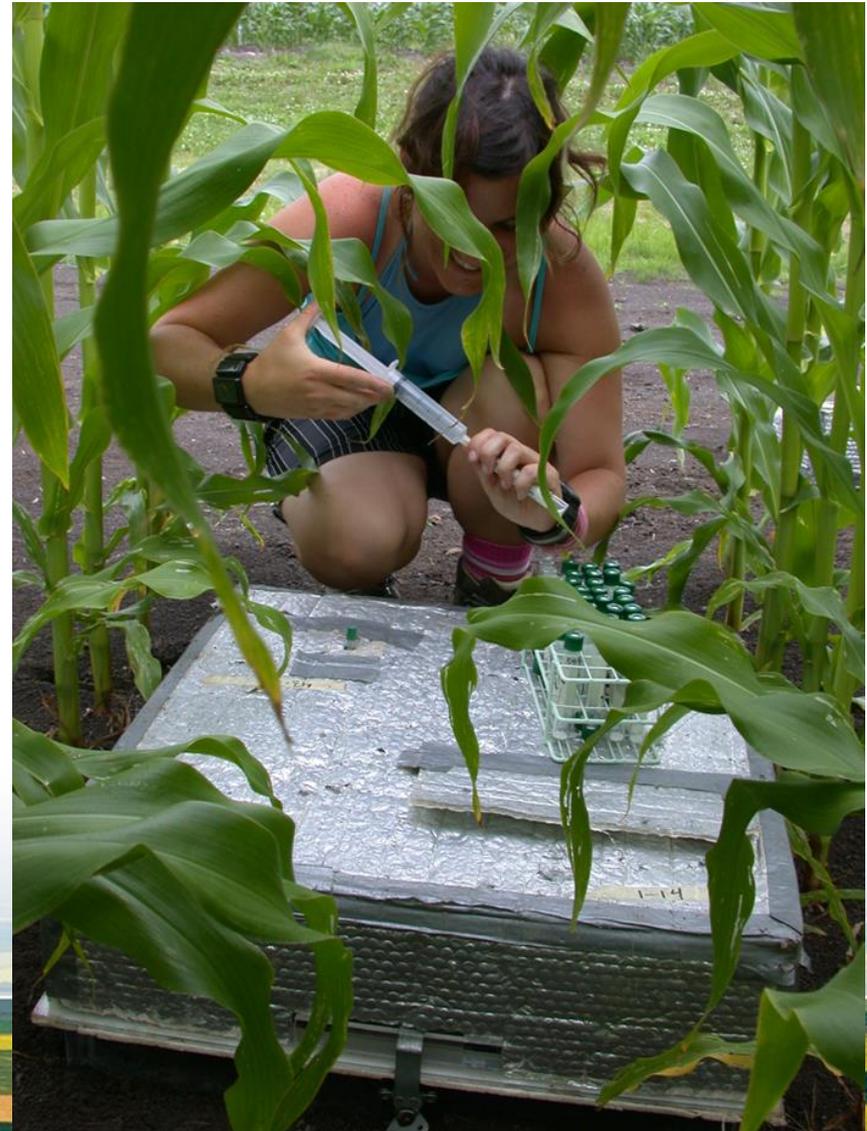
Sol Humide; O ₂	--	-	+
N ₂ O	+++	++	+

Disponibilité de l'AZOTE dans le sol

- **Dépend des pratiques agricoles:**
- **Quantité et type d'engrais (lisier, fumier, engrais vert)**
- **Où (profondeur, type de sol, drainage)**
- **Quand (semis, post levée, automne)**
- **Culture (céréales, prairies, légumineuses)**



Chambres statiques : mesure de l'accumulation des gaz en fonction du temps = Flux de N_2O



Même technique en hiver: en ajoutant des cadres selon la hauteur de neige



Projet Fumier long terme (FLT); (Martin Chantigny AAC et Anne Vanasse U.L.)

Rotation blé-maïs-soya; depuis 2009

- **2 sols, Loam sableux, Argile limoneuse**
- **Labour et semis direct**
- **Avec et sans résidus**
- **5 fertilisants: fumier de poulet, lisier de bovin et porc, NPK, témoin**
- **3 répétitions**
- **120 parcelles**



Impact de la texture des sols: FLT Saint-Augustin

Lisier de porc, incorporation superficielle,
rotation blé-maïs-soya, 2016-2018 (semis direct et labour)

Perte de N-N₂O (kg ha⁻¹ année⁻¹)

moyenne labour et semis direct	
argile limoneuse	loam sableux
4,0	1,3



Impact du travail du sol: FLT Saint-Augustin

Perte de N-N₂O (kg ha⁻¹), lisier de porc, 2016-2018

argile limoneuse		loam sableux	
labouré	semis direct	labouré	semis direct
3,0	5,0	1,3	1,2

Après 10 ans

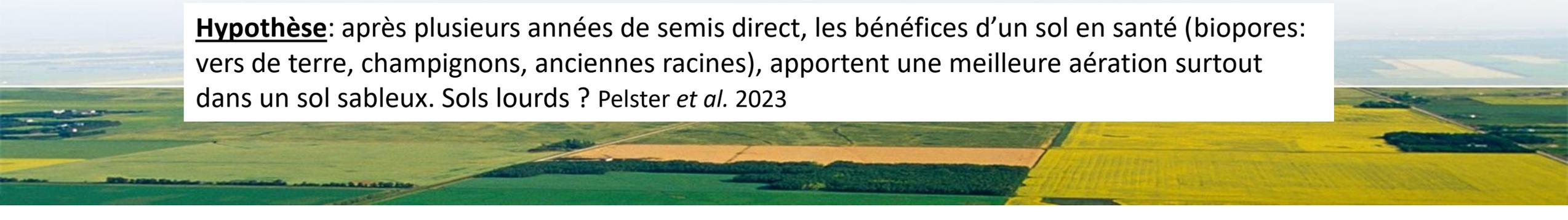
Pelster *et al.* 2021

Perte de N-N₂O (kg ha⁻¹), lisier de bovin, 2023

argile limoneuse		loam sableux	
labouré	semis direct	labouré	semis direct
0,8	4,3	1,1	0,8

Après 15 ans

Hypothèse: après plusieurs années de semis direct, les bénéfices d'un sol en santé (biopores: vers de terre, champignons, anciennes racines), apportent une meilleure aération surtout dans un sol sableux. Sols lourds ? Pelster *et al.* 2023



Effet de la culture (annuelle): FLT Saint-Augustin

Perte de N-N₂O (kg ha⁻¹ année⁻¹), Lisier de porc, incorporation superficielle

Année	culture	dose N	moyenne labour et semis direct	
			argile limoneuse	loam sableux
2016	blé	90	4,7	1,6
2017	maïs	120	4,7	1,9
2018	soya	0	2,6	0,4



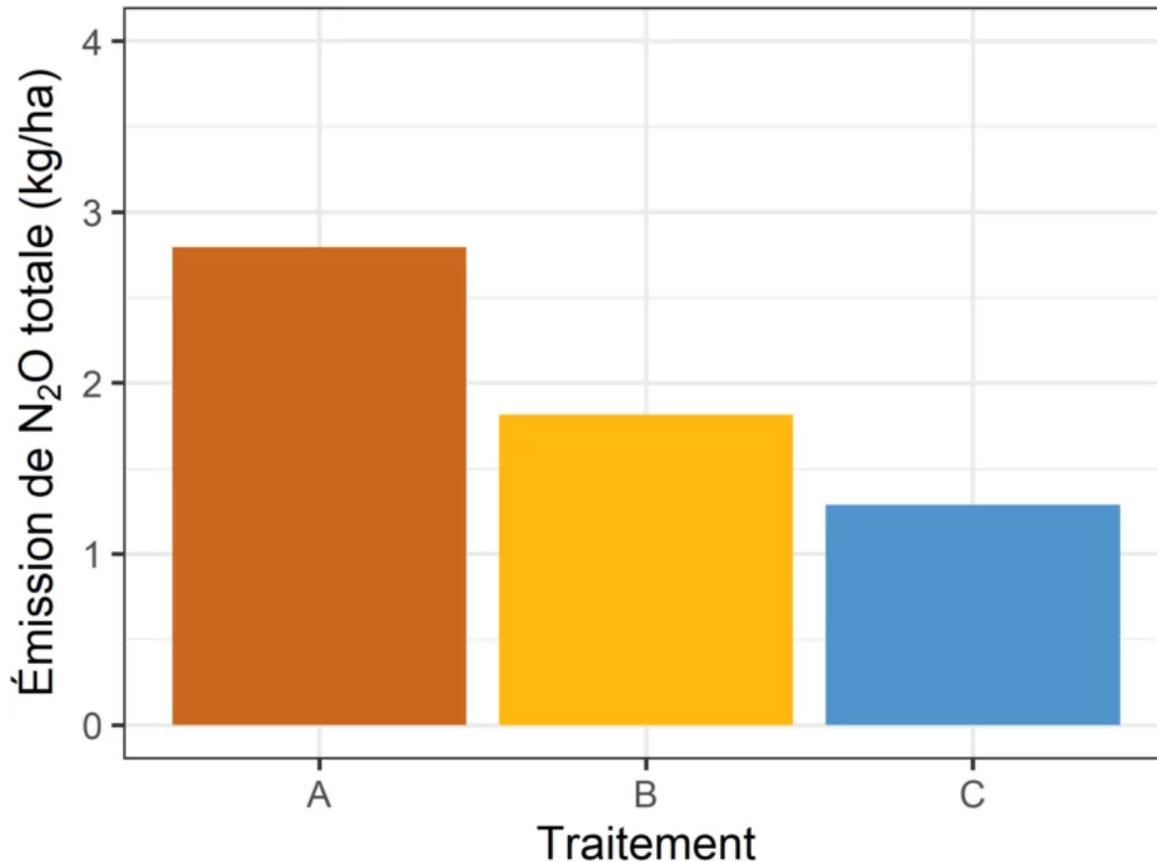
Effet d'enfouir le fumier

Expérience du CETAB+ au CÉGEP de Victoriaville en 2018 sur un loam sableux

2017: orge avec trèfle rouge et labour à l'automne

2018: fumier de poulet enfouis à 20 cm et 2 cm dans le sol (maïs grain)

2018



Traitement



- A Incorporation du fumier par labour (20 cm)
- B Incorporation superficielle du fumier (2-3 cm)
- C Engrais vert enfouis l'année précédente

Gagné *et al.* 2020



Photo: Joannie D'Amours



Engrais vert (E.V.) enfouis à 20 cm

E.V. plus fumier de poulet à 10 cm

Cultures: avoine-maïs grain

Engrais vert vs engrais vert plus fumier de poulet

émissions de N ₂ O	rendements	N ₂ O/rendement en grain
-49%	-35%	-22%

Source: D'Amours *et al.* 2023

E.V.: La minéralisation apporte progressivement NH₄ et NO₃

Lisier vs Fumier

Nature de l'engrais	Rapport C/N	N-NH ₄ /N total
Lisier de porcs	3	70
Lisier de porcs (surnageant)	2	80
Lisier de porcs (fond de fosse)	6	55
Lisier de poules	4	65
Lisier de bovins laitiers	11	52
Lisier de bouvillons	14	41
Lisier de veaux de lait	3	67
Fumier de porcs	24	30
Fumier de poulets	13	19
Fumier de bovins laitiers	18	32
Fumier de bouvillons	22	32
Fumier de veaux lourds	25	16
Fumier de bovins composté	22	23

Source: Marie-Michelle Gamache, 2014

N-NH₄/N

61%

25%

Lisiers:

C et N décomposés facilement utilisables

Conditions de Dénitrification (<O₂) = fort flux de N₂O

Est du Canada: deux fois plus de N₂O avec lisier que fumier (Gregorich *et al.* 2005)

Fumiers:

Matière organique plus complète. À minéraliser

Conditions de Nitrification (>O₂) = flux de N₂O modérés



Prairies vs cultures annuelles



Projet Permanence (Marie-Noëlle Thivierge)

- Près de Québec
- Argile limoneuse

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1							
2							
3							
4							
5							
6							





Photo: Marie-Noëlle Thivierge

Comparaison: cultures annuelles en rotation 3 ans vs prairies établies

pertes Kg N-N ₂ O ha ⁻¹	2018	2019	2020
Cultures annuelles	maïs fourrager	maïs grain	soya
N-P-K	3,6	4,7	1,9
lisier de bovin	3,0	6,4	1,3
Prairies de graminées			
N-P-K	0,6	1,0	1,3
lisier de bovin	0,2	0,6	1,4
plus luzerne 5 ans	0,6	0,5	1,0

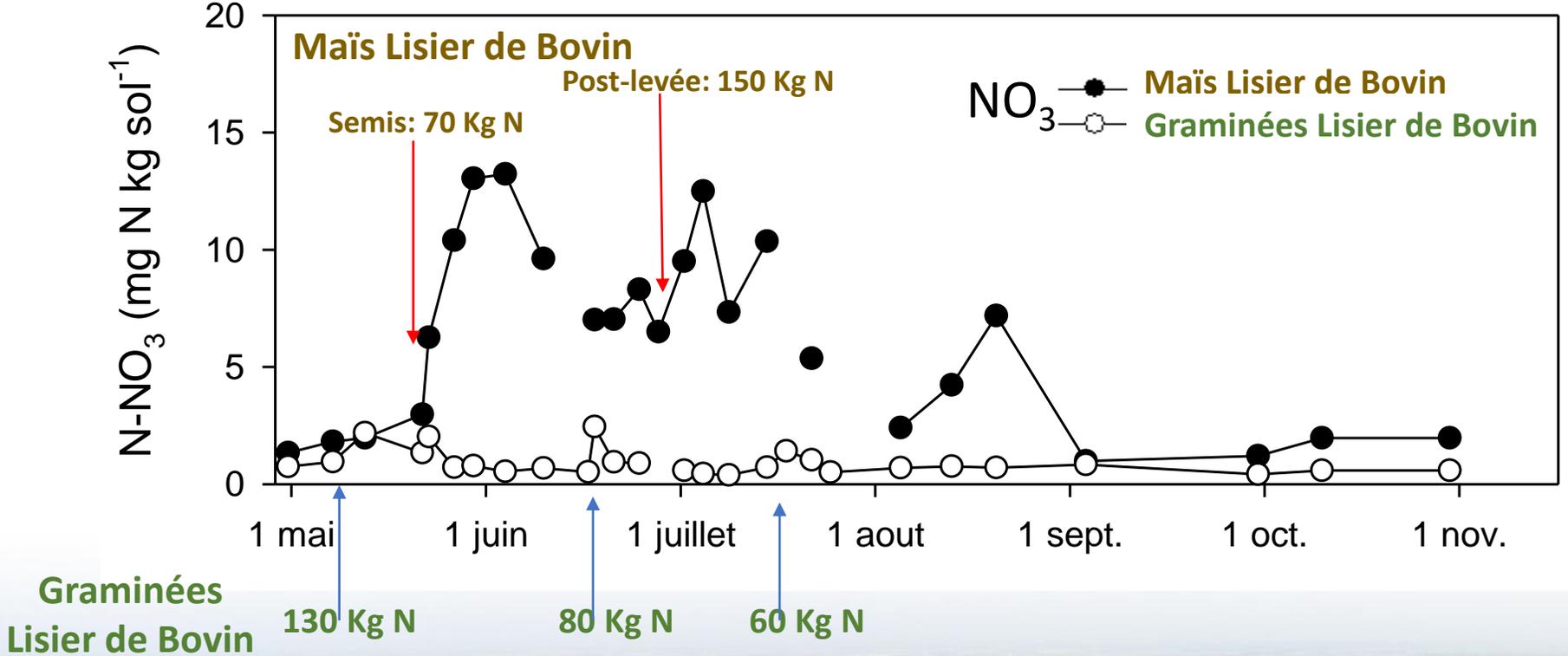


Réseau racinaire des prairies
Pompe l'azote du sol

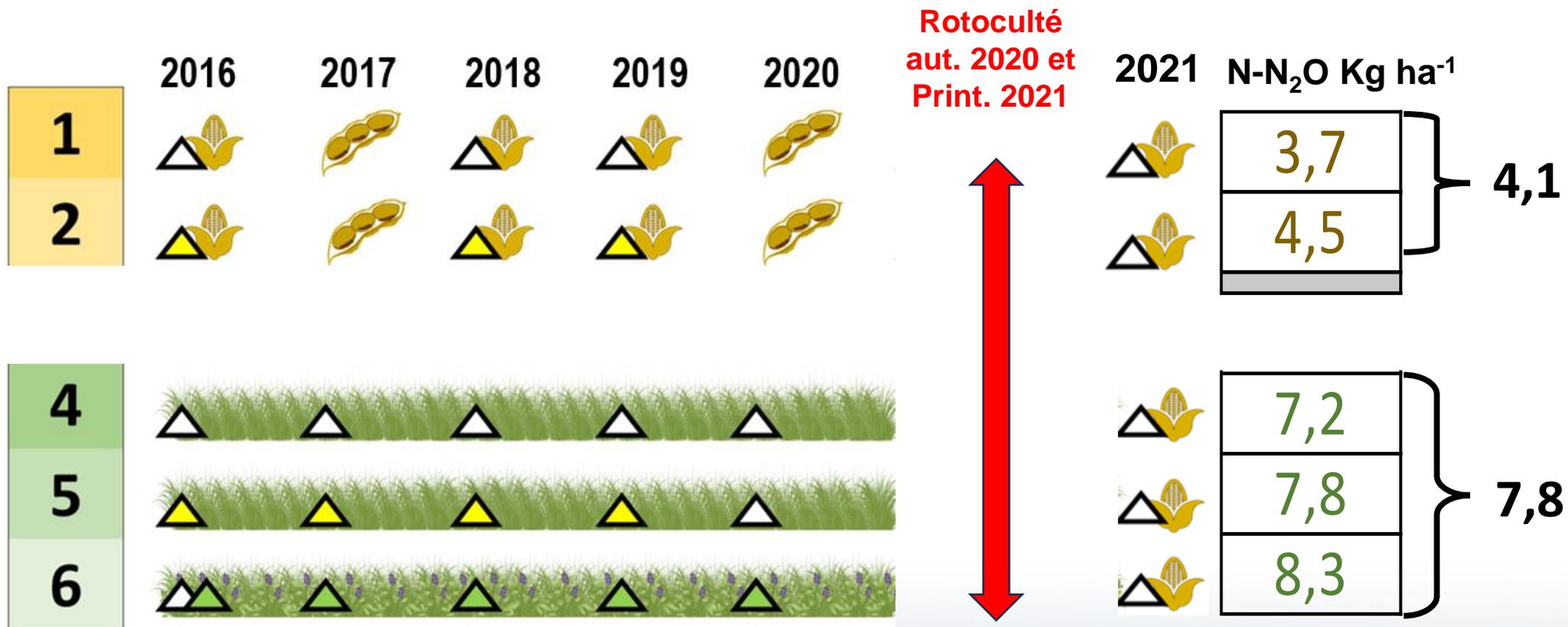
Source: Marie-Noëlle Thivierge, 2023



Comparaison de la concentration des nitrates du sol entre le Maïs et les Graminées ayant reçu du lisier de bovin (2019)



Retour des prairies après 5 ans



Compilation des pertes de N-N₂O après un cycle de 7 ans

pertes Kg N-N ₂ O ha ⁻¹ sur 7 ans	
Cultures annuelles	somme
N-P-K	20,4
lisier de bovin	27,4
Prairies de graminées	
N-P-K	14,7
lisier de bovin	15,2
plus luzerne 5 ans	17,3

23,7

Baisse de 34 % de N₂O en intégrant les prairies

15,7



Autres avantages des prairies en rotation

1. ↑ **matière organique** et structure du sol (biopores)
2. ↓ **érosion** des sols et ↓ **pertes d'azote** par lessivage
3. ↑ **biodiversité** (microbiome, vers de terre, oiseaux, insectes prédateurs)
4. ↑ **stock de carbone**

Source: Marie-Noëlle Thivierge, 2023



Flux de N₂O l'hiver

- Présence de NO₃ dans le sol (décomposition des résidus et des racines)
- Sol humide
- Activité microbienne à des températures < 0°C
- Réduction des échanges gazeux avec l'atmosphère (neige et glace)
- Conditions anaérobiques
- Action gel-dégel amène le bris des agrégats et de micro-organismes = N, C
- Conditions favorables pour la dénitrification (N₂O)

Représente, en moyenne, 36% des pertes annuelles. *Pelster et al. 2022, Chantigny et al. 2017*

Éviter de laisser le sol sans cultures de couverture à l'automne



Conclusion: pour diminuer les émissions de N₂O sur les sols agricoles

Diminuer la charge de NO₃ été comme hiver

Apporter la bonne dose d'azote

Fractionner l'azote (post-levé dans le maïs)

Favoriser les cultures de couverture (éviter les jachères l'automne)

Favoriser les prairies dans les rotations

Fumier solide ou liquide? Sols: Solide mais dépend de la météo, Entreposage: liquide

Favoriser l'aération du sol (santé des sols)

Éviter la compaction

Éviter d'enfouir (zones anaérobiques et plus humides)

Travail du sol minimum: sur sol sableux **oui** ; sols argileux **autres considérations**

Prairies (M.O., mort des racines, champignons, biopores)



Merci



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Martin Chantigny, Marie-Noëlle Thivierge, Isabelle Royer,
Noura Ziadi.



Gilles Gagné, Joannie D'Amours.



Anne Vanasse

