

Changements Climatiques, Engrais de Synthèse et Émissions de N₂O

Philippe Rochette
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Québec

Congrès OAQ 2016

Fertilisation Azotée et N₂O

Le N₂O est le principal gaz à effet de serre émis par l'agriculture canadienne (60%)

De ces émissions, la fertilisation azotée en engendre plus du tiers

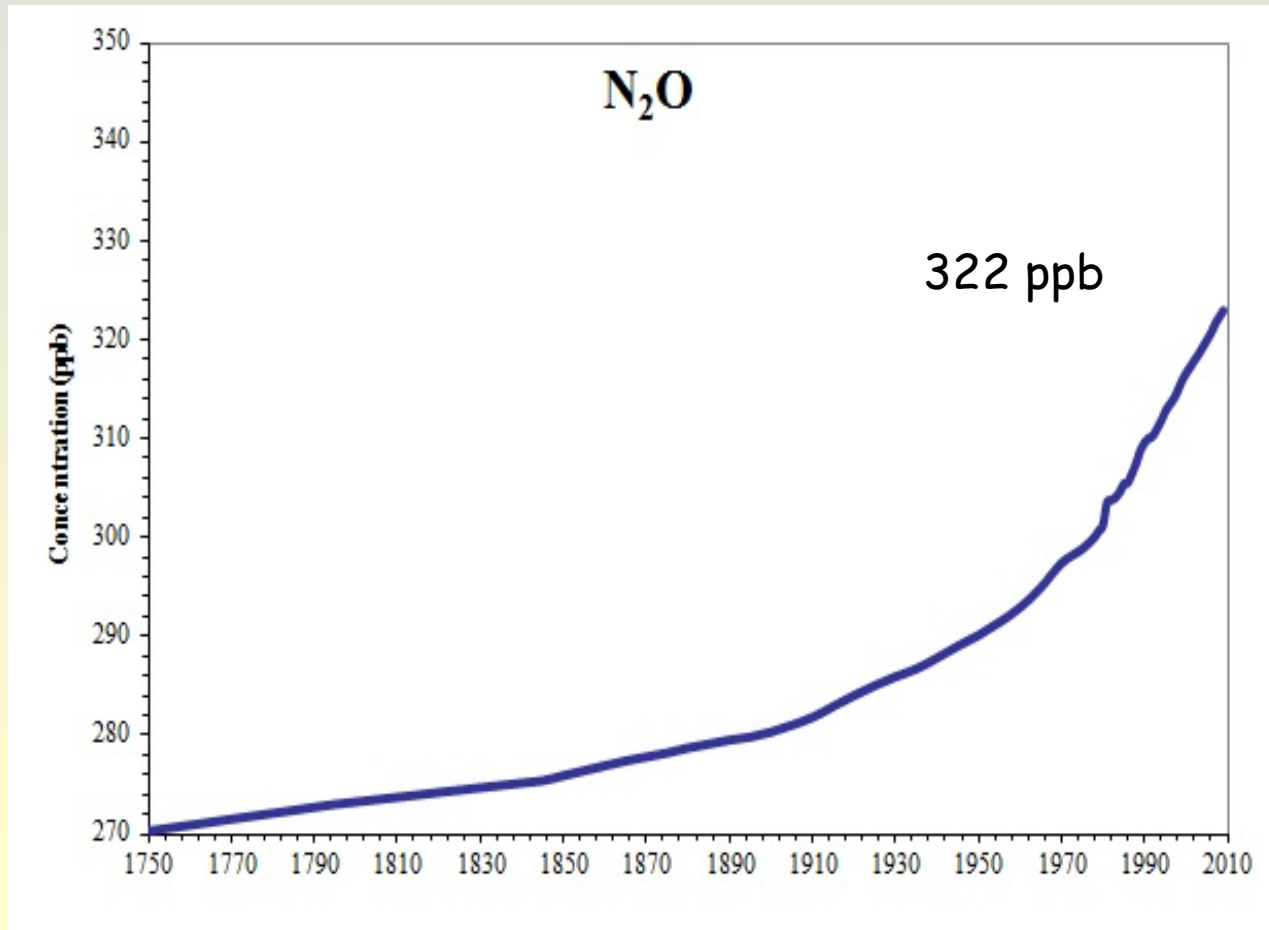
Donc, la réduction des émissions nationales de N₂O est difficile sans considérer celles issues de la fertilisation

Comment pouvons-nous les minimiser?

Quels sont les impacts des pratiques de fertilisation sur les émissions de N₂O?

Fertilisation Azotée et N₂O

Concentration Atmosphérique



EPA (2010)

Fertilisation Azotée et N₂O

En se basant sur les résultats de la recherche,

Quelles pratiques pouvons-nous recommander pour diminuer les émissions associées à la fertilisation azotée?

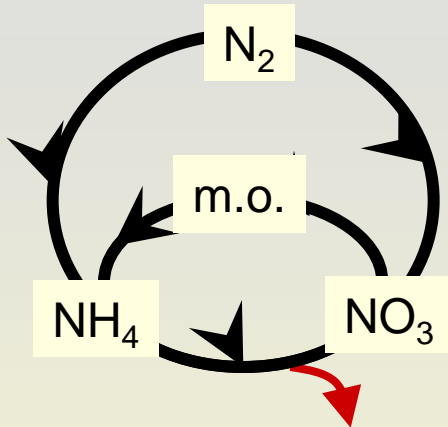
Sommaire de la Présentation

Production et Émission du N₂O

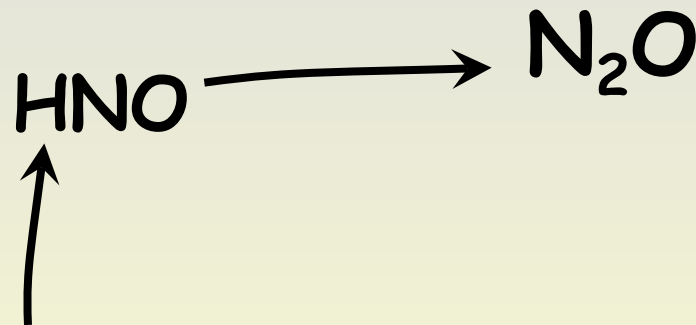
Pratiques de Fertilisation Azotée :

- Quantité
- Type
 - NH₄ ou NO₃
 - "Améliorés"
- Application
 - Incorporation
 - Bandes
 - Fractionnement
- Autres options
 - Légumineuses

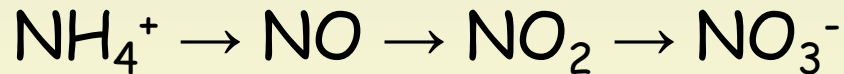
Comment le N₂O est-il produit dans les sols?



Réaction Aérobice (besoin de O₂)



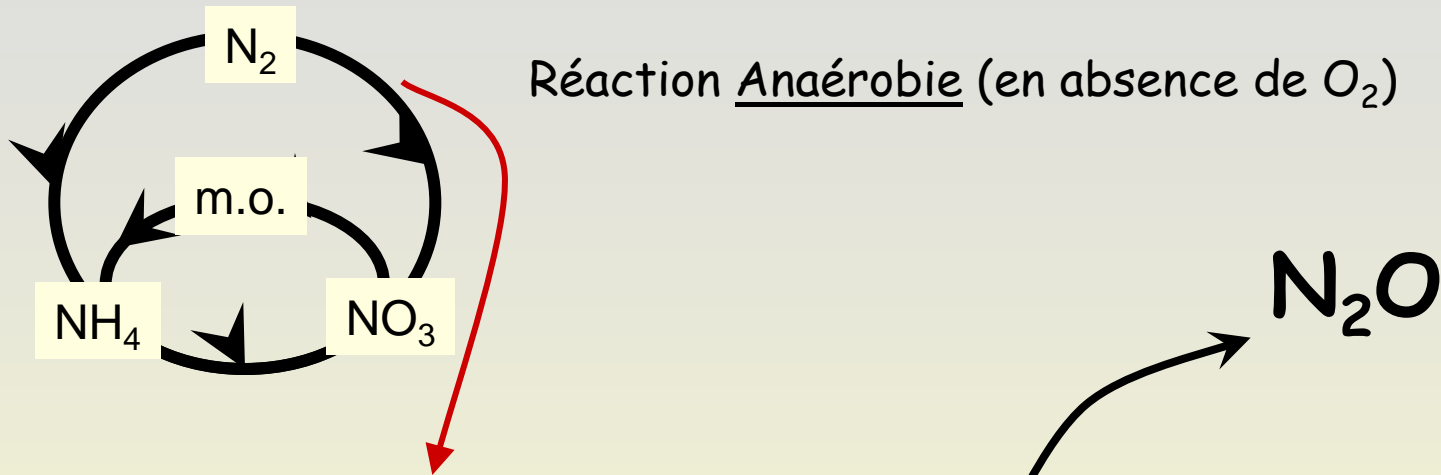
- Nitrification:



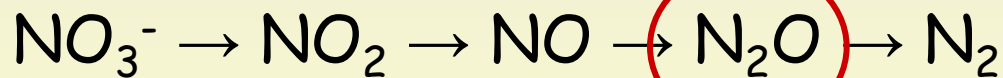
- Le N₂O produit augmente:

- avec la teneur du sol en ammonium (NH₄)
- lorsque l'aération du sol est imparfaite

Comment le N_2O est-il produit dans les sols?



- **Dénitrification:**



- Le N_2O produit augmente:

- Avec la teneur du sol en nitrates (NO_3)
- lorsque l'aération du sol est imparfaite

Dans les sols agricoles, le N_2O est donc produit par...

La transformation de l'azote minéral du sol
lorsque l'aération du sol est imparfaite

Les sols ne sont pas tous une source de N₂O

- Peu d'émission de N₂O à partir de la plupart des écosystèmes naturels
 - peu d'azote minéral (NH₄, NO₃) libre



- Émissions plus fortes par les sols agricoles
 - de l'azote est ajouté pour compenser l'exportation
 - les pratiques visent d'abord à augmenter les rendements
 - l'environnement est une préoccupation récente



Pour diminuer l'émission de N_2O par les sols agricoles, il faut donc:

Réduire la teneur du sol en azote minéral (NH_4 et NO_3)

Nourrir les plantes plutôt que les processus de pertes environnementales!

"Synchronicité" entre la disponibilité de l'azote du sol et les besoins de la culture

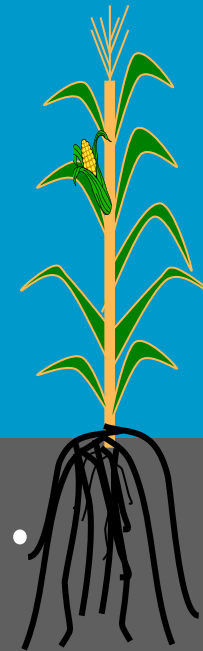
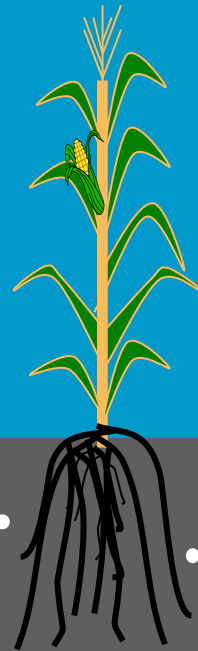
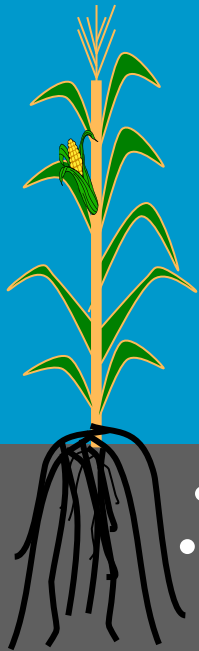
Qu'en est-il dans la pratique?

Fertilisation Azotée

- Quantité
- Localisation
- Timing
- Type / Forme




Quantité Appliquée



- AUCUNE IMPACT RÉDUCTEUR !

- Augmente concentration en N dans le sol
- Peut changer le pH du sol (urée)



Facteur d'Émission

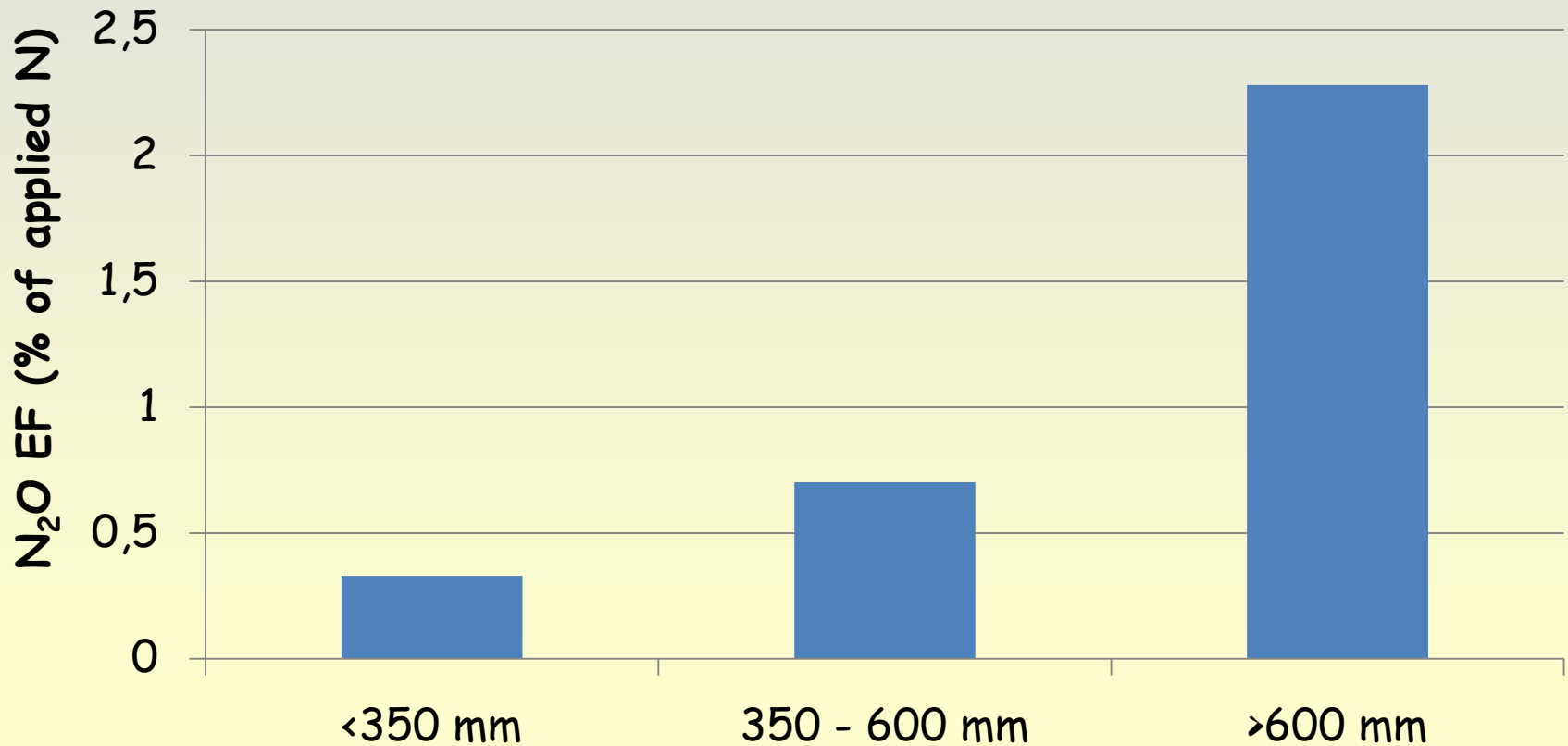
- Pratiquement toutes les études rapportent une augmentation de N_2O lorsque les quantités appliquées augmentent
- De combien?
- On estime généralement les émissions par un "facteur d'émission", exprimé en % du N appliqué perdu sous forme de N_2O
- GIEC = 1%
- Canada = 0.15 à 1.7 %

Facteur d'Émission

- Le Facteur d'Émission attribué aux application de fertilisants N varie en fonction des conditions environnementales

Facteur d'Émission au Canada

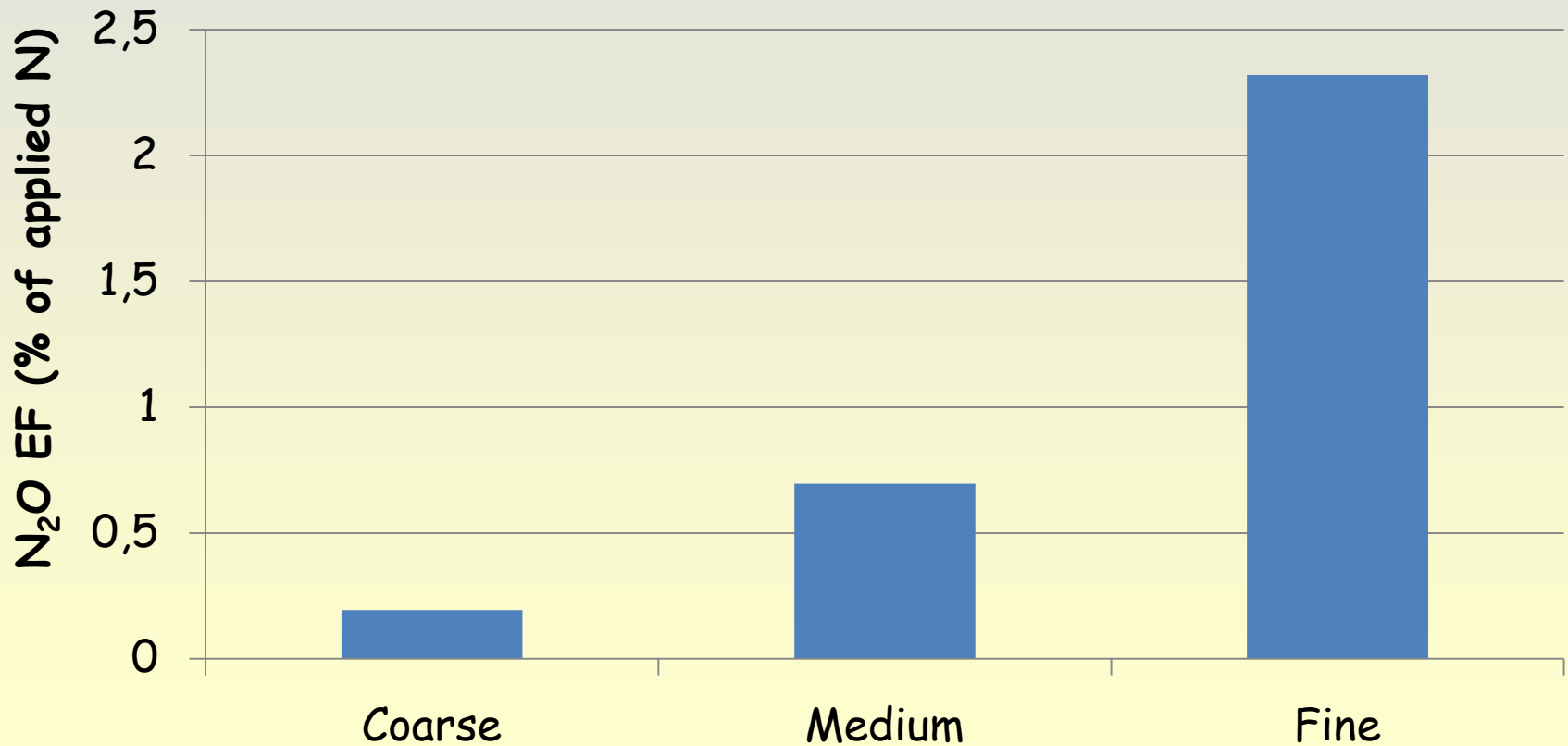
Impact de la Pluie



(Rochette et al., 2008)

Facteur d'Émission au Canada

Impact de la Texture du Sol



(Rochette et al., 2008)

Facteur d'Émission

- Le facteur d'émission est influencé par les conditions environnementales du sol
- Au Canada, 71% des variations entre les études est expliqué par des variations des conditions pédologiques et climatiques
- Le facteur d'émission nous aide à cibler où les pratiques d'atténuation auront le plus d'effet pour réduire les émissions

Le N₂O est essentiellement un problème de sols lourds et humides !

Réponse des émissions de N_2O aux fertilisants N

Linéaire ou Non-Linéaire?

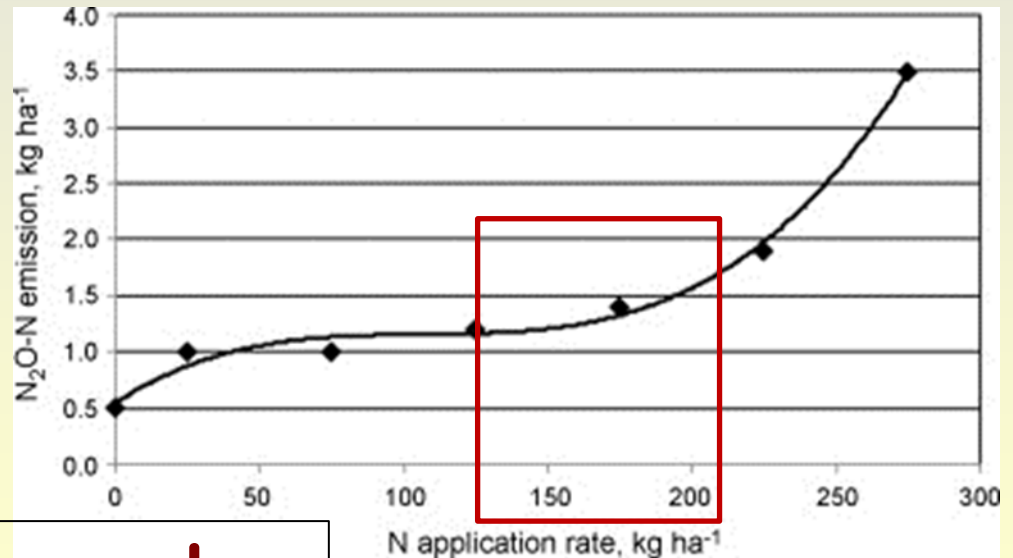
Le facteur d'émission est-il constant avec la dose de N ?

Méta analyse (Kim et al., 2013)

- 18 études = non-linéaire
- 4 études = linéaire

Résultats similaires en France

Non linéarité est expliquée par le N excédant les besoins des cultures (Van Groenigen et al., 2011)



Bonnes nouvelles pour le potentiel d'atténuation

Options pour réduire le taux d'application

- Éviter les excès
 - Éviter la "petite assurance"
 - Considérer les sources de N du sol (décomposition des résidus de culture)
 - Mais, réduire en-deçà de la dose optimale agronomique peut entraîner des impacts négatifs comme l'augmentation des surfaces en culture (pas de gain net)
- Optimiser les sources organiques de N (fumiers)
- Fertilisation équilibrée (NPK)
- Remplacer des cultures non fixatrices par des légumineuses
- **Agriculture de précision**
 - 34% de réduction (Sehy et al., 2003)

Type de Fertilisant N



- NH_4^+ ou NO_3^-
- Source (urée, AA, CAN, UAN, AN, AS,...)
- Inhibiteurs de Nitrification (e.g., DCD, nitrapyrine)
- Libération lente (SCU, PCU, etc.)

N Fertilization - NH_4 vs NO_3

- En théorie, NH_4 a un plus grand potentiel d'émission que NO_3 parce qu'il peut contribuer à stimuler à la fois la nitrification et la dénitrification.
 - $\text{NH}_4 > \text{NO}_3$ (Bouwman et al., 2002; Tenuta and Beauchamp, 2003; Velthof et al., 2003; Liu et al., 2007)
 - Urée entraîne les émissions les plus fortes (Tenuta and Beauchamp, 2003)
- En pratique, les interactions avec l'environnement masquent souvent cet effet:
 - $\text{NO}_3 > \text{NH}_4$ seulement dans des sols humides (Velthof et al., 1996; Zanatta et al., 2010; Huang et al., 2014)
- "At this stage, it is difficult to say with any certainty whether a strategy based on urea or AN would result in the smaller N_2O emissions" (Harrison and Webb, 2001)

Type de fertilisant N

- Urée
 - = AA (Burton et al., 2008)
 - < AA (Thornton et al., 1996)
 - > AS, PN et AN à capacité au champ (Pathak and Nedwell, 2001)
 - = AS < CN et CAN (Velthof et al., 1996)
 - < AN (Sistani et al., 2011; Signor et al., 2013)
 - > AN = CN = AS (Tenuta and Beauchamp, 2003)
 - = AN > AS et PN (Hénault et al, 1998)
 - < AN en conditions inondées (Pathak and Nedwell, 2001)
- AA
 - < AN (Gagnon et al, 2011)
- NH₄-based types
 - AS > CN (McTaggart and Tsuruta, 2003)

Type de fertilisant N

- Recommandations doivent tenir compte des conditions environnementales du sol ("Site-Specific")
- Choisir NH_4 ou NO_3 en fonction du processus le plus susceptible de contribuer aux émissions
- Pas de tendance claire de l'impact du type de fertilisant N
- La plupart des différences peut être expliquée par des facteurs environnementaux
- Types NH_4 émettent davantage là où la nitrification est favorisée
- Types NO_3 émettent davantage là où la dénitrification est favorisée
- Dans la littérature scientifique, l'effet du type de N est souvent confondu avec celui du mode d'application

Type de Fertilisant N

- L'urée est le type de fertilisant N le plus utilisé
- Proposer des stratégies pour diminuer le N_2O suivant son application est une priorité

Urée - Inhibiteurs de Nitrification

En théorie, ils devraient éviter complètement la production de N_2O suivant l'application de fertilisants de type NH_4 en bloquant à la fois la nitrification et la dénitrification.

En pratique:

- Très efficace avec urée:
 - 38% de réduction (Meta analysis; 35 studies; Akiyama et al., 2010)
 - 3 à 60% réduction (moyenne=32%) (Halvorson et al., 2010a, 2010b; Dawar et al., 2011; Pfab et al., 2012; Menéndez et al., 2012; Halvorson and Del Grosso, 2013; Yamamoto et al., 2013; Liu et al., 2013; de Antoni Migliorati et al., 2014)
 - Pas d'impact avec PCU (Akiyama et al., 2013): pas additif...
- ... et le lisier de porc (Vallejo and Sanz-Cobena; Aita et al., 2014)

Urée - Inhibiteurs de Nitrification

- Contrôler la nitrification est essentiel
- Les inhibiteurs de nitrification sont très efficaces mais...
 - Demi-vie dépend de température (Di and Cameron, 2004)
 - Ajoute $\approx 10\%$ au prix du N fertilisant (Snyder et al., 2009)
 - Option économique? (Chambers et al., 2000; Harris et al., 2013)

Fertilisants à Libération Lente

En théorie, diminuent la production de N_2O en évitant les excès de N suivant leur application. Le taux de libération est en phase avec l'utilisation par les plantes.

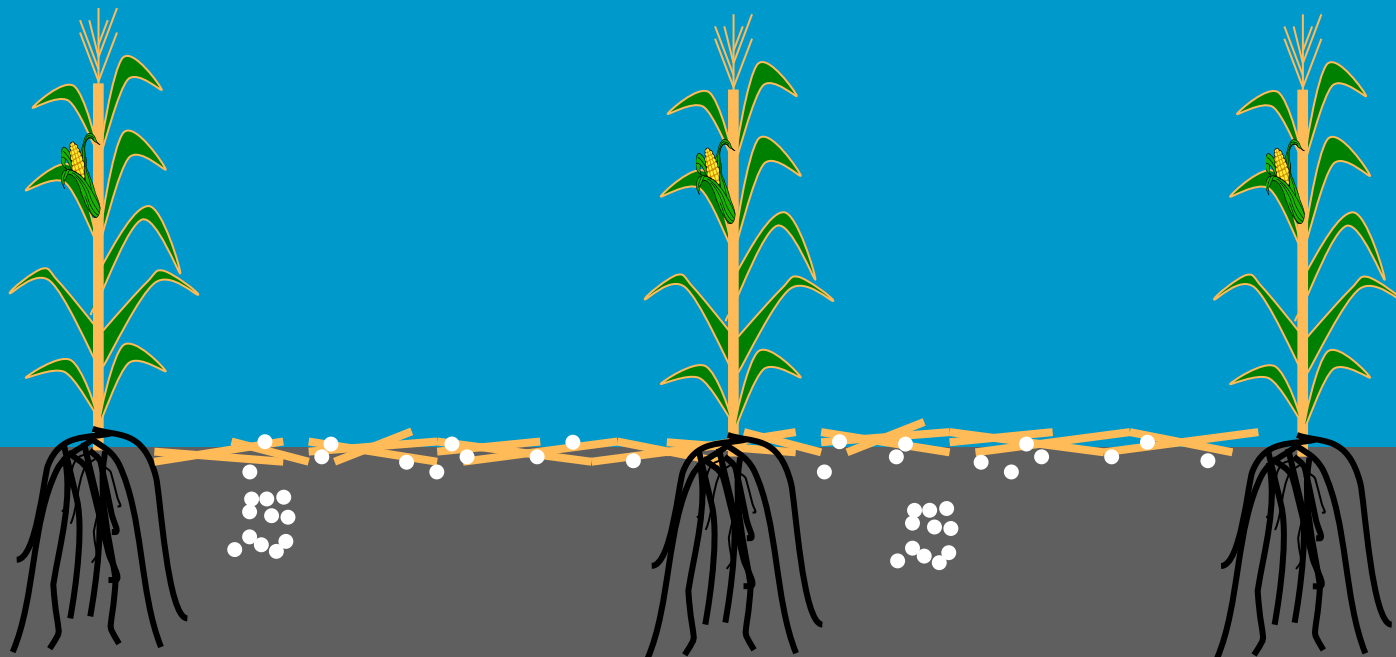
En pratique:

- Réduction moyenne de 10% dans sols arables (Meta analyses; Akiyama et al., 2010)
- Réduction de 30 à 60% dans zones semi-arides irriguées (Zanatta et al., 2010; Halvorson and del Grosso, 2012; 2013)
- Variable (émissions réduites ou égales) selon l'année (Drury et al., 2012)
- Pas de réduction dans les régions humides (Sistani et al., 2011; Venterea et al., 2011)
- Émissions augmentées (Wagner-Riddle, 1998; Li et al., 2002; Akiyama and Tsuruta, 2002; Hu et al., 2013)

Fertilisants à Libération Lente

- Tend à diminuer les émissions mais pas aussi efficace qu'inhibiteurs de nitrification
- Interactions avec climat et type de culture (annuelles ou pérennes)
- Peut augmenter les émissions quand la libération du N se produit à une période de faible prélèvement du N par les plantes

Bandes Incorporées (semis direct)

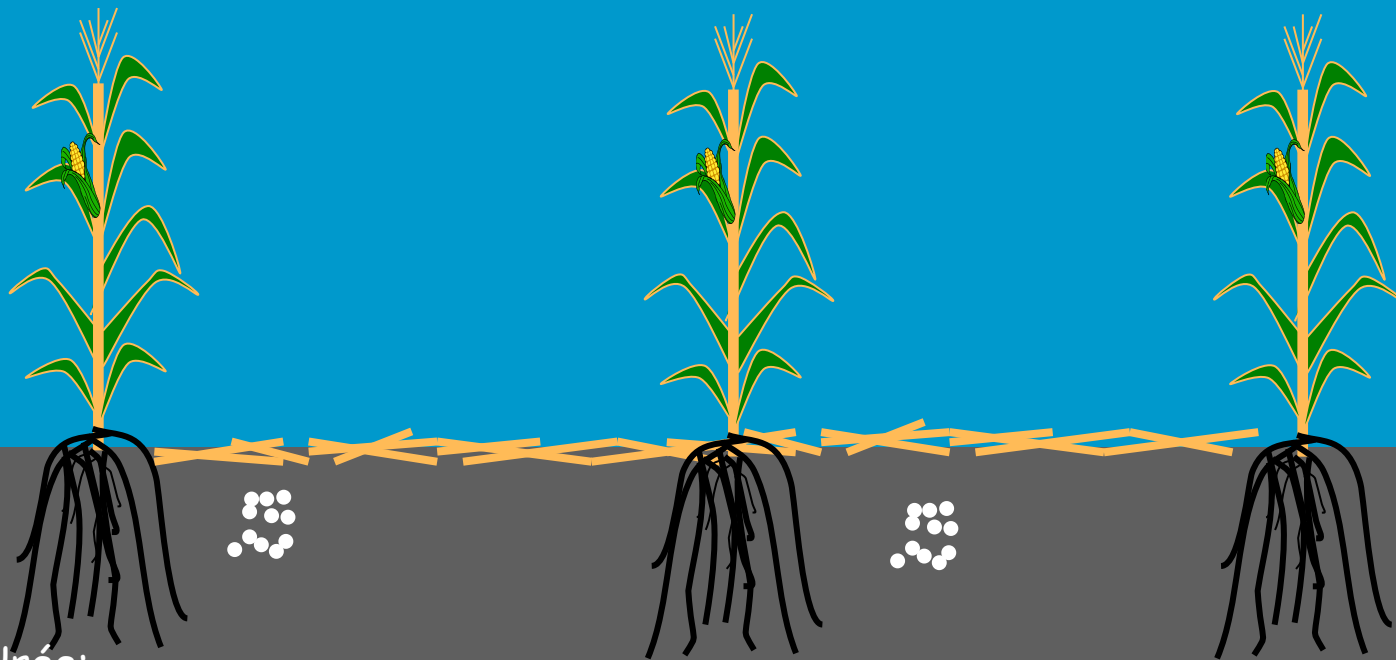


- Améliore l'utilisation du N
- Contact plus faible entre sol et N

- Concentration en N augmentée
- Environnement moins aéré
- Peut amener un accumulation de NO_2

Effet net sur le N_2O ?

Bandes Incorporées (semis direct)



- Urée:
 - Bandes → 50% > volée (Halvorson and del Grosso, 2013)
 - Bandes → 100% > volée (Engel et al., 2010)
- Émissions diminuent (Liu et al., 2006) ou augmentent (Drury et al., 2006) avec la profondeur

Bandes Incorporées (semis direct)

- Application de N en bandes augmentent souvent les émissions de N_2O
 - Faut aussi considérer les pertes indirectes de N_2O
 - Volatilisation de NH_3
 - Utilisation du N par les plantes
- Émissions diminuent (Liu et al., 2006) ou augmentent (Drury et al., 2006) avec la profondeur

Application Fractionnée du N

- En théorie:
 - Améliore la synchronicité entre la disponibilité du N et son prélèvement par les plantes (↓)
 - Diminue la concentration en N minéral dans le sol (↓)
- En pratique:
 - Émissions diminuées (Matson et al., 1998)
 - Diminutions de 50% (Drury et al., 2012)
 - Pas d'impact (Phillips et al., 2009)
 - Émissions augmentées (Zebarth et al., 2008)

Application Fractionnée du N

- En théorie:
 - Améliore la synchronicité entre la disponibilité du N et
- Résultats variables dus à interaction avec climat (application d'une fraction du N quand les sols sont plus chauds)
- Timing en fonction du prélèvement pas en fonction de la production de N_2O ...
- Prévisions météo importantes (pluie)
 - Émissions augmentées (Zebarth et al., 2008)

Fixation biologique de N



Ajout de légumineuses dans la rotation

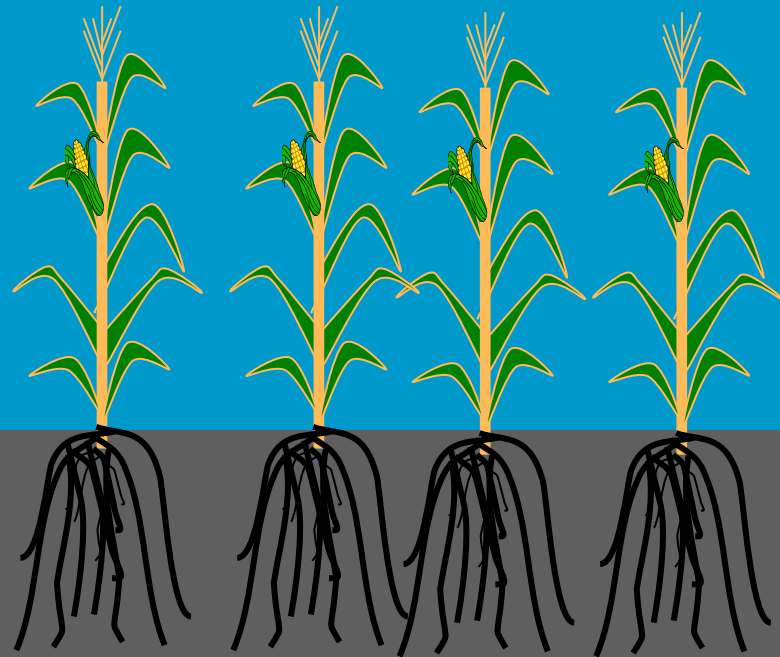
- Soya
- Luzerne

Légumineuses

Légumineuses



Non-fixatrices



N_2O

Pas de N synthétique

Résidus riches en N

- Luzerne = C:N 25
 - Maïs= C:N 50-75
 - Céréales C:N >50
- Nodules

Légumineuses

Légumineuses



Non-fixatrices



Réduction nette des émissions de N_2O
quand les légumineuses remplacent des
plantes non-fixatrices dans la rotation

Résidus riches en N

- Luzerne = C:N 25
 - Maïs= C:N 50-75
 - Céréales C:N >50
- Nodules



Fertilisation Azotée et N₂O

En se basant sur les résultats de la recherche,

Quelles pratiques pouvons-nous recommander pour diminuer les émissions associées à la fertilisation azotée?

En conclusion...

Option	# d'études	Potentiel atténuation	incertitude
Taux Application	medium	medium	basse
Inhibiteur de nitrification	Medium/	haut	basse
Libération lente	bas	medium	medium
Agriculture de Précision	bas	haut	basse
Fumiers	haut	haut	medium