



# Les “4B”, une approche pour optimiser l’apport en éléments nutritifs du sol et réduire les émissions de GES



Joann K. Whalen, Ph.D., agr.

Department of Natural Resources Sciences, McGill University, Canada



CFCRA  
CANADIAN FIELD CROP  
RESEARCH ALLIANCE

ARCCC  
ALLIANCE DE RECHERCHE SUR LES  
CULTURES COMMERCIALES DU CANADA



McGill

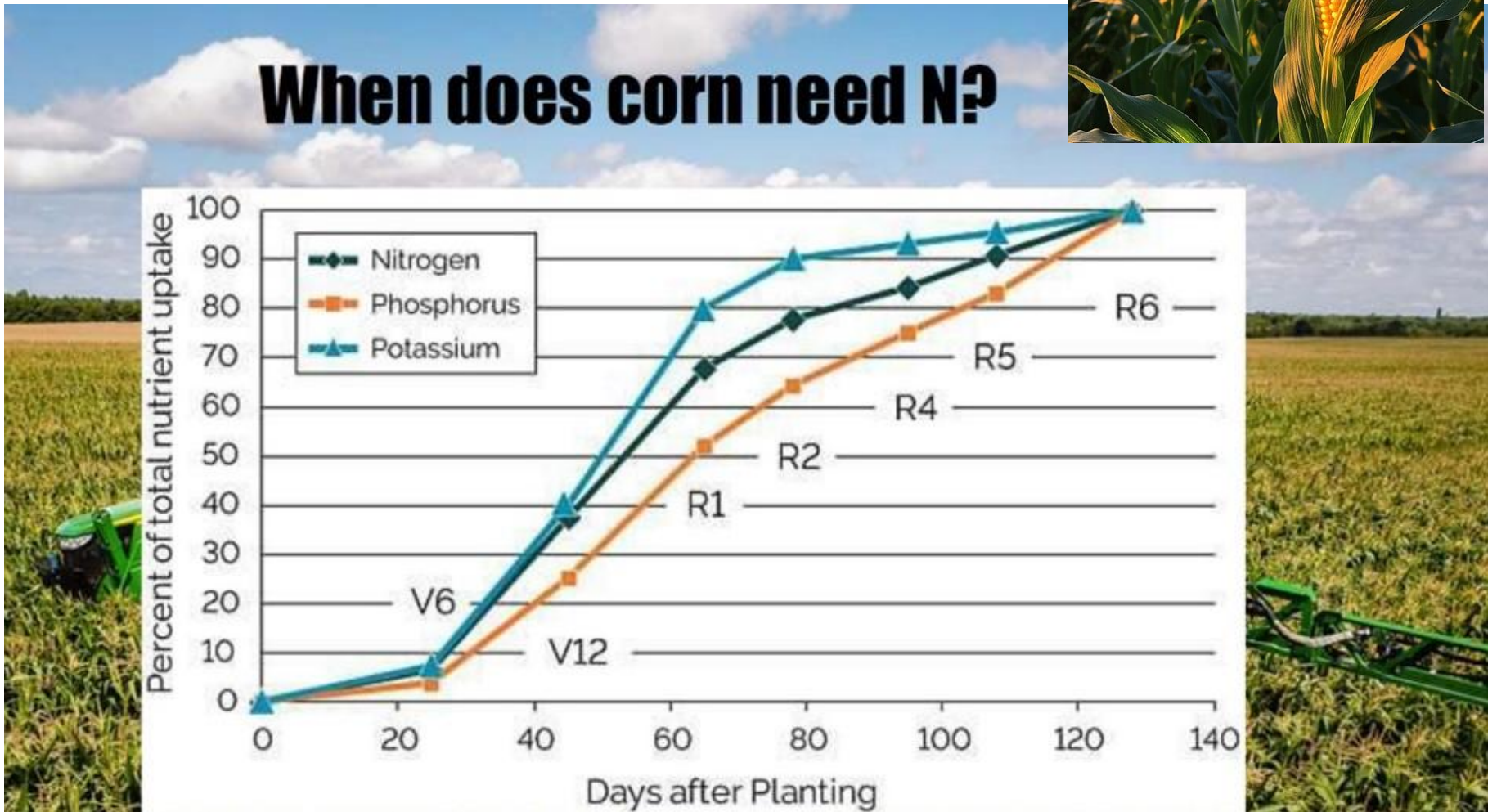
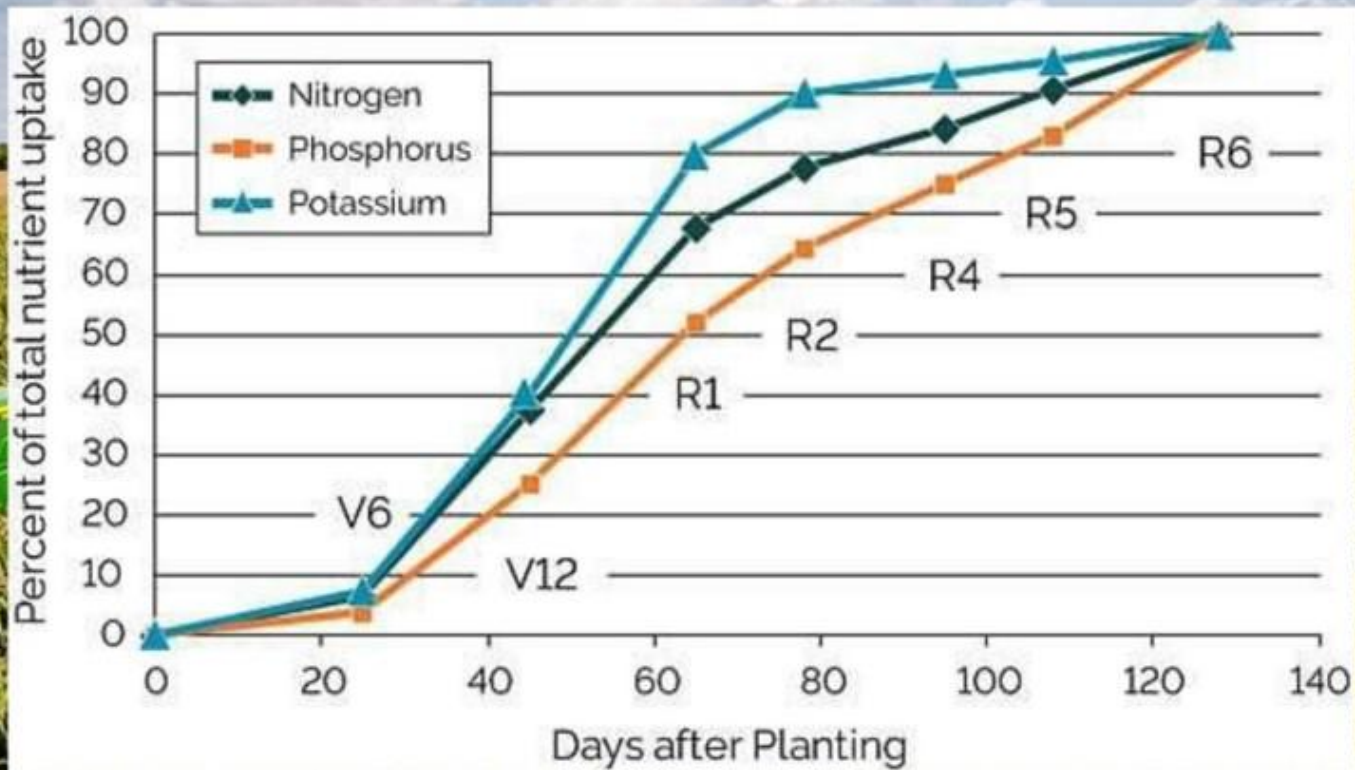


# Fertilizer is required for economic crop yield





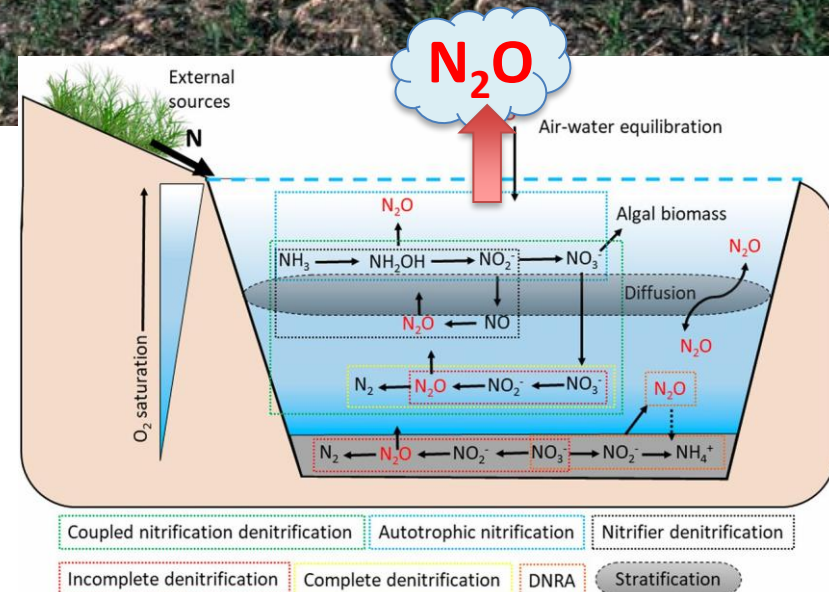
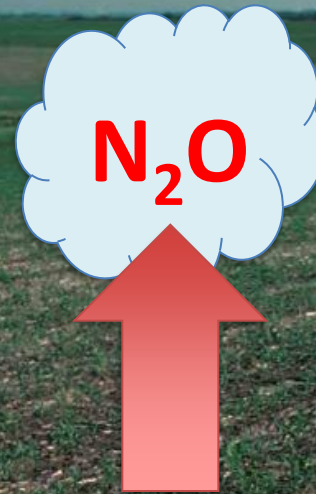
# When does corn need N?



# Broadcast fertilizer before planting the crop?





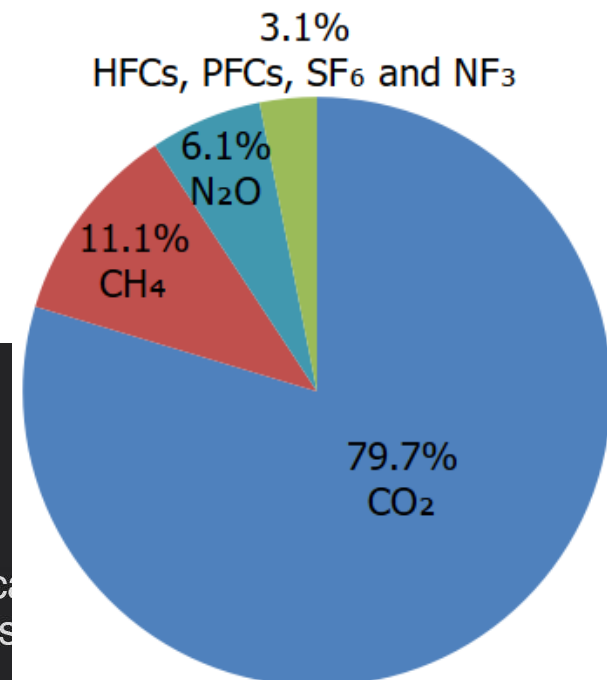


# The Greenhouse Effect

Energy from the sun warms Earth

Some escape  
back into space

Earth is about 60°F.  
Without the atmosphere it would be 0°F.



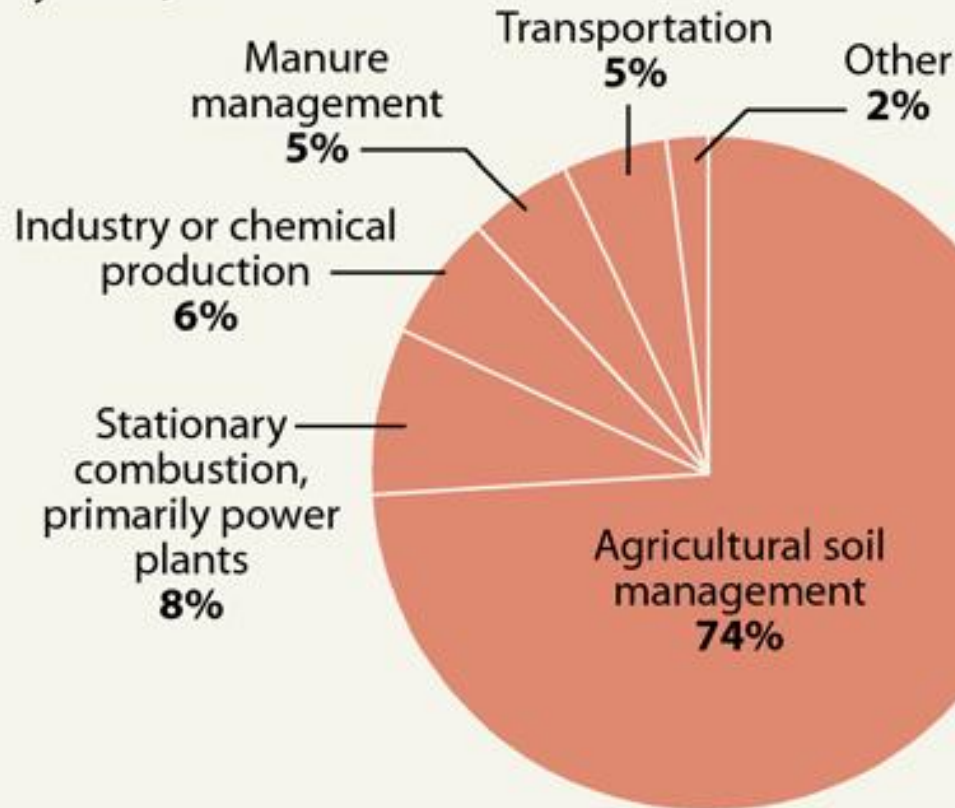


# Where Does N<sub>2</sub>O Come From?

Agriculture, particularly fertilized soil and animal waste, accounts for about three quarters of U.S. nitrous oxide emissions.

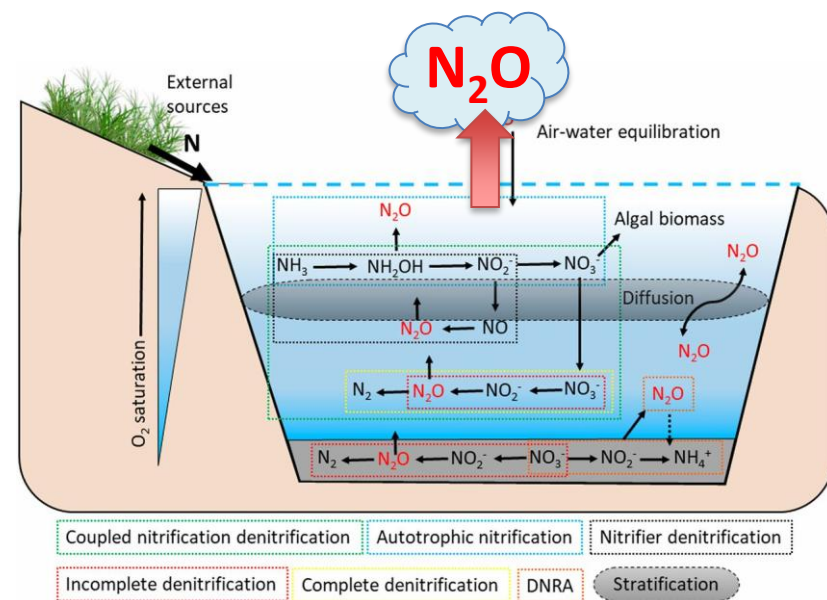
## U.S. NITROUS OXIDE EMISSIONS

*By source, 2017*



SOURCE: EPA

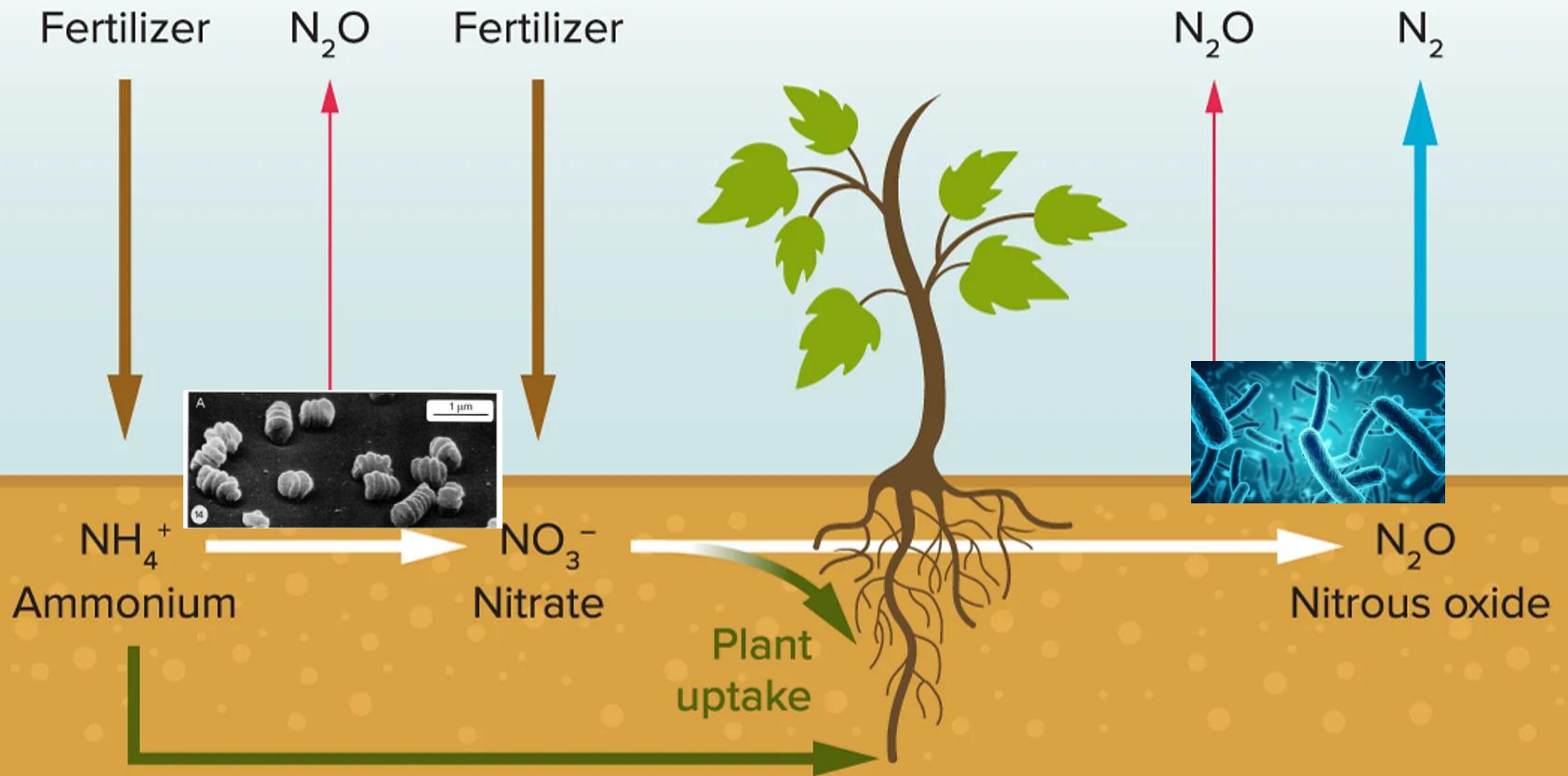
PAUL HORN / InsideClimate News





# Soil bacteria produce $\text{N}_2\text{O}$ gas...

## ... leaving less N for the crop

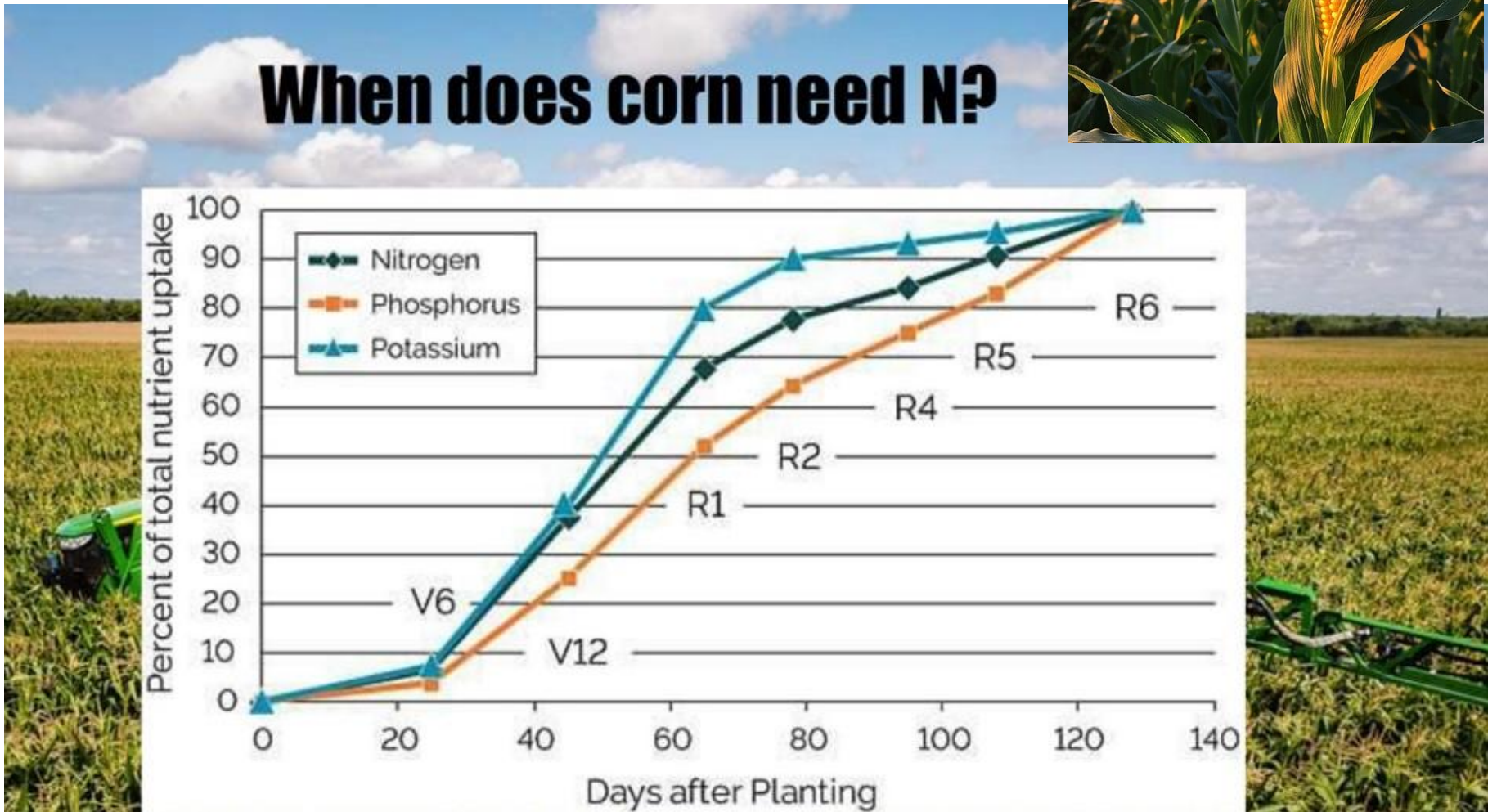
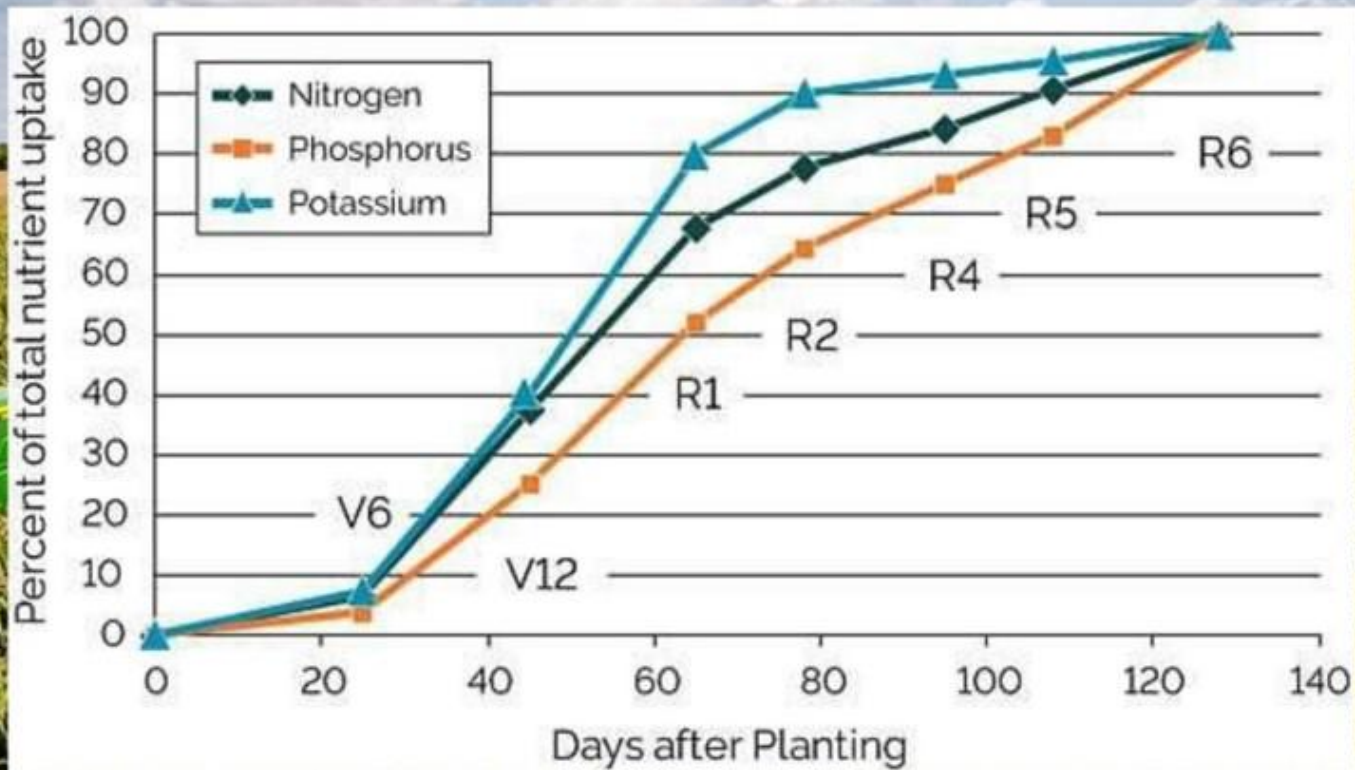


$\text{N}_2\text{O}$  loss = lower yield, less fertilizer efficiency





# When does corn need N?



# Crop Nutrition Guide for Maize



	1	2	3	4	5	6
CROP GROWTH STAGE	Pre-planting	Germination & Seedling	Vegetative Growth	Tasseling & Pollination	Silking & Grain Filling	Maturation & Harvesting
FERTILIZATION GUIDE	Soil Testing	Starter Fertilizer	Topdressing Fertilizer	Leaf Testing	Foliar Fertilizer where applicable	

RELIABILITY & TRUST



During the critical growth stages, conducting regular soil testing and leaf testing, and implementing a planned fertilizer program, farmers can optimize maize crop nutrition and achieve better overall crop health.

#fertilizer #agriculture #cropnutrition #soilhealth #sustainability #plantnutrition #foodsecurity



## 4R Principles of Nutrient Stewardship



### RIGHT SOURCE

Matches fertilizer type to crop needs.



### RIGHT RATE

Matches amount of fertilizer to crop needs.



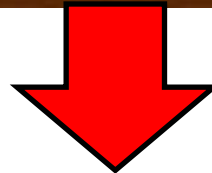
### RIGHT TIME

Makes nutrients available when crops need them.



### RIGHT PLACE

Keeps nutrients where crops can use them.



## 4R Plus is...

4R NUTRIENT  
STEWARDSHIP  
PRACTICES

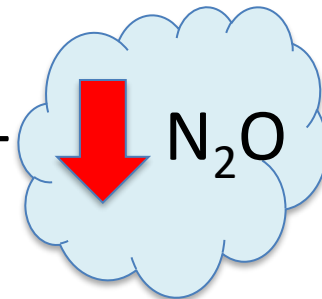


CONSERVATION  
PRACTICES



IMPROVED YIELD,  
SOIL HEALTH & WATER  
QUALITY

+





PUBLICATIONS

## Nitrous Oxide Emission Reduction Protocol (NERP)

Summary

Detailed Information

DESCRIPTION

Provides a brief introduction to Nitrous Oxide Emission Reduction Protocol (NERP)

UPDATED

July 1, 2014

TAGS

AGRICULTURAL CARBON OFFSETS

AGRICULTURAL EMISSION OFFSETS


CARBON OFFSETS

NITROUS OXIDE

NITROUS OXIDE EMISSIONS

RESOURCES

 [Nitrous Oxide Emission Reduction Protocol \(NERP\) \(Updated July 2014\)](#)

 MORE INFORMATION


 DOWNLOAD



TABLE 1. Overview of the 4-R N Stewardship Plans and BMP Performance Levels for the Drier Soils in Canada\*

Performance Level	Right Source	Right Rate	Right Time	Right Place	Reduction Modifier
Basic	Ammonium-based formulation  <b>LE BON PRODUIT</b>	Apply nitrogen according to recommendation of 4-R N stewardship plan**, using annual soil testing and/or N balance to determine application rate.	Apply fertilizer in spring; or Split apply; or Apply after soil cools in fall <b>LE BON MOMENT</b>	Apply in bands/ Injection	0.85
Intermediate	Ammonium-based formulation; and  Slow/ controlled release fertilizers; or  Inhibitors; or  Stabilized nitrogen. <b>LA BONNE DOSE</b>	Apply nitrogen according to qualitative estimates of field variability (landscape position, soil variability)	Apply fertilizer in spring; or Split apply; or Apply after soil cools in fall if using low/controlled release fertilizer or inhibitors/ stabilized nitrogen <b>LE BON ENDROIT</b>	Apply in bands/ Injection	0.75
Advanced	Formula must be ammonium based; and  Use slow/controlled release fertilizers; or  Inhibitors; or  Stabilized nitrogen	Apply nitrogen according to qualified field variability (e.g. digitized soil maps, grid sampling, satellite imagery, real time crop sensors) and complimented by in season crop monitoring	Apply fertilizer in the spring; or Split apply; or Apply after soil cools in the fall if using slow/controlled release fertilizer or inhibitors/stabilized nitrogen.	Apply in bands/injection	0.75***

\* Most of Alberta Drier soils defined as those Ecodistricts with a Precipitation/Potential Evapotranspiration ratio (P/ PE) < 1.0

\*\*4-R N Stewardship Plan must account for all sources of N, including previous crop residues, fertilizer, manure or biosolids applications. Plan also prescribes assessment of N in crop, so this serves to supplement or replace information from soil testing.

\*\*\*Consensus was not achieved at the science workshop to determine Advanced level modifier; review scientists were not confident that actual measurable differences between Intermediate and Advanced can be proven at this time.

Changements climatiques

Plan pour une économie verte 2030

Marché du carbone

Engagements du Québec

Partenariats

Gaz à effet de serre

Plan d'action 2013-2020

Déclaration obligatoire des  
émissions atmosphériques

Réglementation - véhicules

Le climat du Québec

Air

## Le marché du carbone, un outil pour la croissance économique verte!

### Consultation publique

**Du 3 mars au 17 avril 2021** : Modification réglementaire visant le projet de règlement modifiant le Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre, le projet de règlement relatif aux projets de valorisation et de destruction de méthane provenant d'un lieu d'enfouissement admissibles à la délivrance de crédits compensatoires et le projet de règlement relatif aux projets de destruction d'halocarbures admissibles à la délivrance de crédits compensatoires.

Fixer un prix au carbone dans l'économie pour que les décisions de tous prennent en compte les émissions de gaz à effet de serre (GES) et leurs impacts constitue une mesure essentielle pour relever le défi des changements climatiques.

Le Québec a mis sur pied, en 2013, un système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre (SPEDE) pour lutter contre les changements climatiques. Son objectif premier est d'inciter les entreprises et les citoyens à innover et à modifier leurs comportements afin de réduire les émissions de GES.

En 2014, le Québec a lié son système à celui de la Californie dans le cadre de la [Western Climate Initiative](#), créant ainsi le plus grand marché du carbone en Amérique du Nord et le premier à avoir été conçu et à être géré par des gouvernements infranationaux de pays différents. Ce marché s'est de nouveau élargi avec la signature d'une entente avec l'Ontario en septembre 2017, qui officialisait la liaison des marchés du Québec, de la Californie et de l'Ontario le 1<sup>er</sup> janvier 2018. Malgré le retrait de cette province, qui a abrogé le règlement relatif à son programme de plafonnement et d'échange le 3 juillet 2018, le Québec et la Californie poursuivent leur excellente collaboration et s'engagent à maintenir et à développer leur marché régional du carbone.

Le Québec a fait le choix de verser au [Fonds d'électrification et de changements climatiques](#) la totalité des [revenus issus des ventes aux enchères](#) du marché du carbone, afin de financer la mise en œuvre de mesures pour soutenir les entreprises, les municipalités et les citoyens dans la réduction des émissions de GES et l'adaptation aux impacts des changements climatiques et pour poursuivre le virage vers une économie forte, novatrice et de plus en plus sobre en carbone. Il finance les mesures de mise en œuvre découlant du [Plan pour une économie verte 2030](#), de même que les engagements en cours pris dans le cadre du [Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques](#).

### Renseignements sur le fonctionnement du SPEDE pour les émetteurs et les participants

- [Inscription au SPEDE](#)
- [Ventes aux enchères](#)
- [Crédits compensatoires](#)
- [Allocation gratuite d'unités d'émission](#)
- [Documentation](#)

[Voir tous les renseignements](#)

LE MARCHÉ  
DU CARBONE

Système de plafonnement et d'échange de droits d'émission  
de gaz à effet de serre (SPEDE)  
[Système de délivrance de crédits compensatoires](#)



# Essais des émissions de $N_2O$ émanant des fertilisants inorganiques en utilisant des pratiques 4B

Centre de recherche agronomique Emile A. Lods  
Campus Macdonald de l'université McGill



Saisons de  
2018  
2019  
2020

Saisons de  
2021  
2022  
2023

 **CANADIAN  
AGRICULTURAL  
PARTNERSHIP**

**PARTENARIAT  
CANADIEN pour  
l'AGRICULTURE**

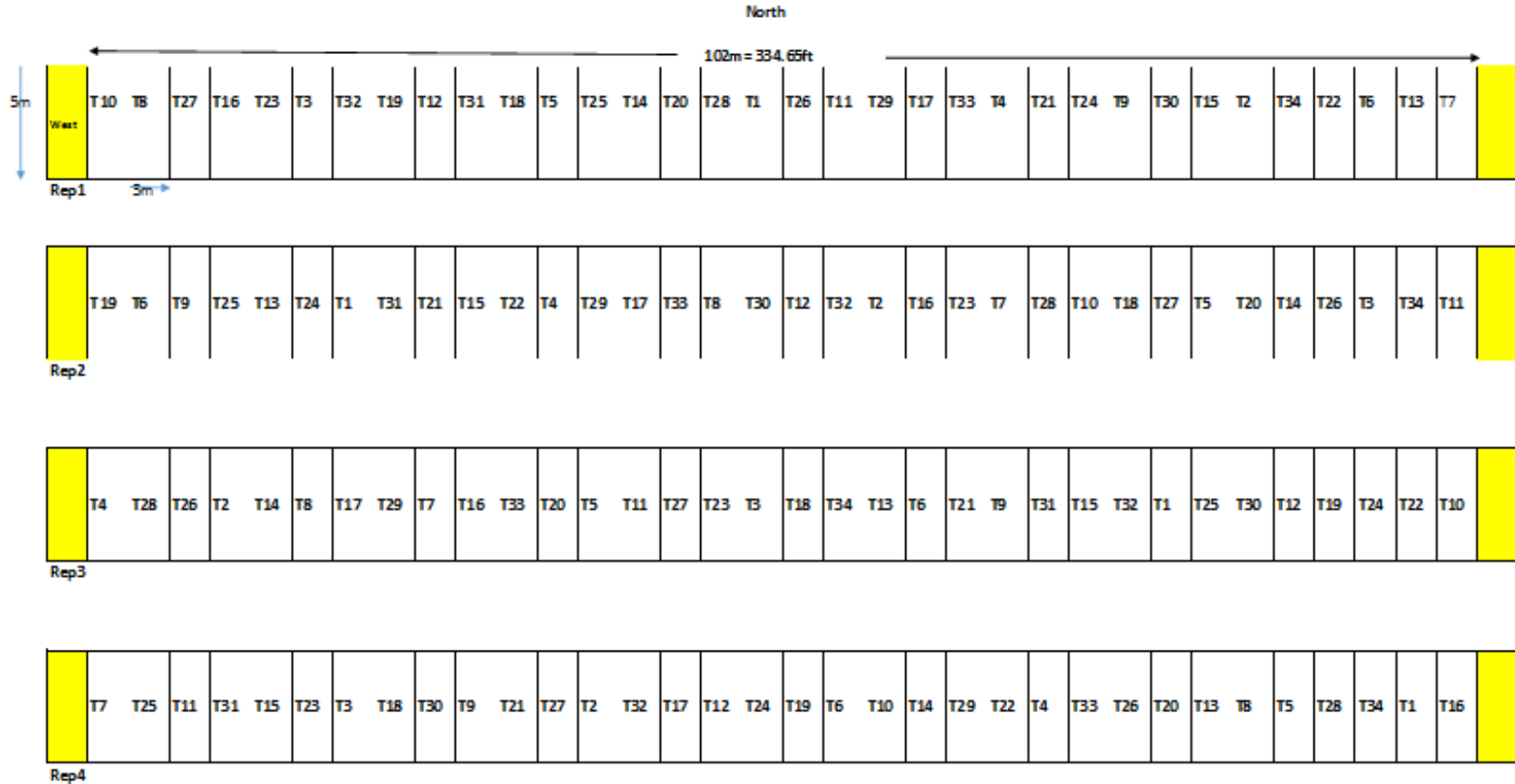
**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**  
**Québec** 



**CFCRA**  
CANADIAN FIELD CROP  
RESEARCH ALLIANCE

**ARCCC**  
ALLIANCE DE RECHERCHE SUR LES  
CULTURES COMMERCIALES DU CANADA

## 4R Nutrient Stewardship Project



Plan de blocs complets aléatoires

34 traitements d'engrais inorganiques x 4 blocs = 136 parcelles expérimentales

Paramètres: taux d'application (doses)      méthodes d'application

produits d'engrais N      périodes d'application



**Taux d'application: 85, 130, 170 et 255 kg N ha<sup>-1</sup>**



## Produits appliqués à la volée et incorporés avant de semer:



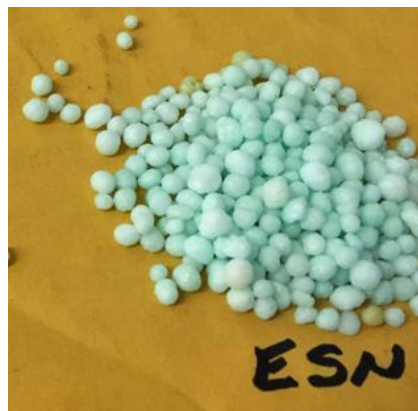
**Urée 46-0-0**



**Urée plus inhibiteurs (urease & nitrification) 44-0-0**

**Environmentally  
Smart Nitrogen**

**Urée plus polymer  
44-0-0**





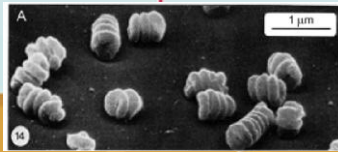
# Urée 46-0-0



Fertilizer



Fertilizer



Ammonium



Nitrate

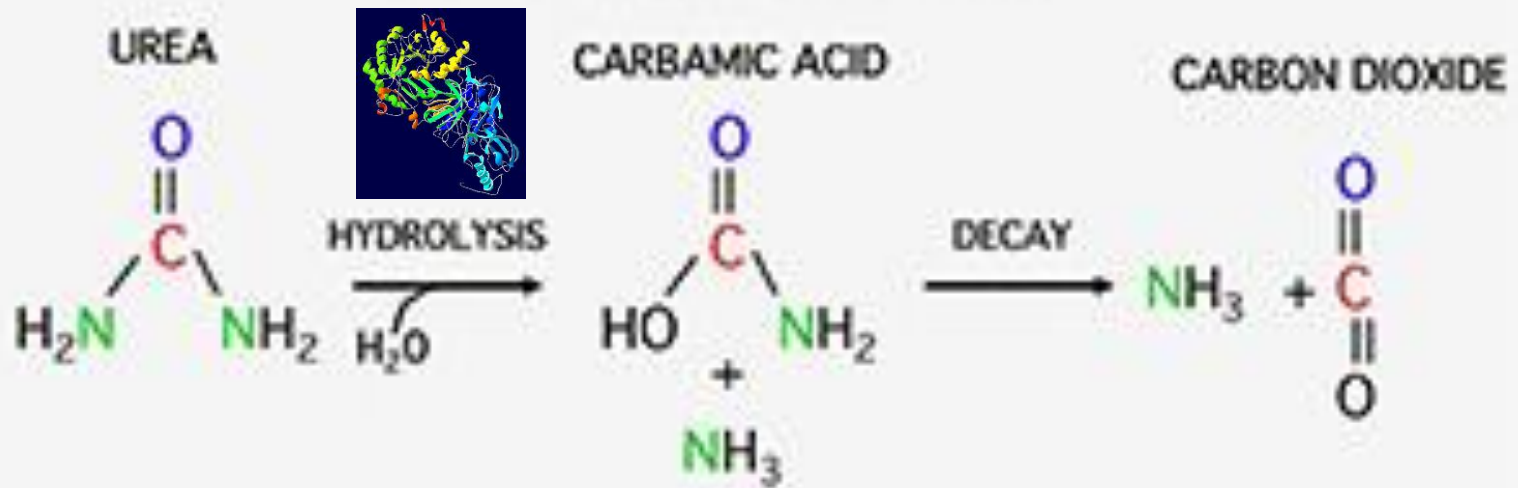
Plant uptake



Nitrous oxide



# UREASE REACTION

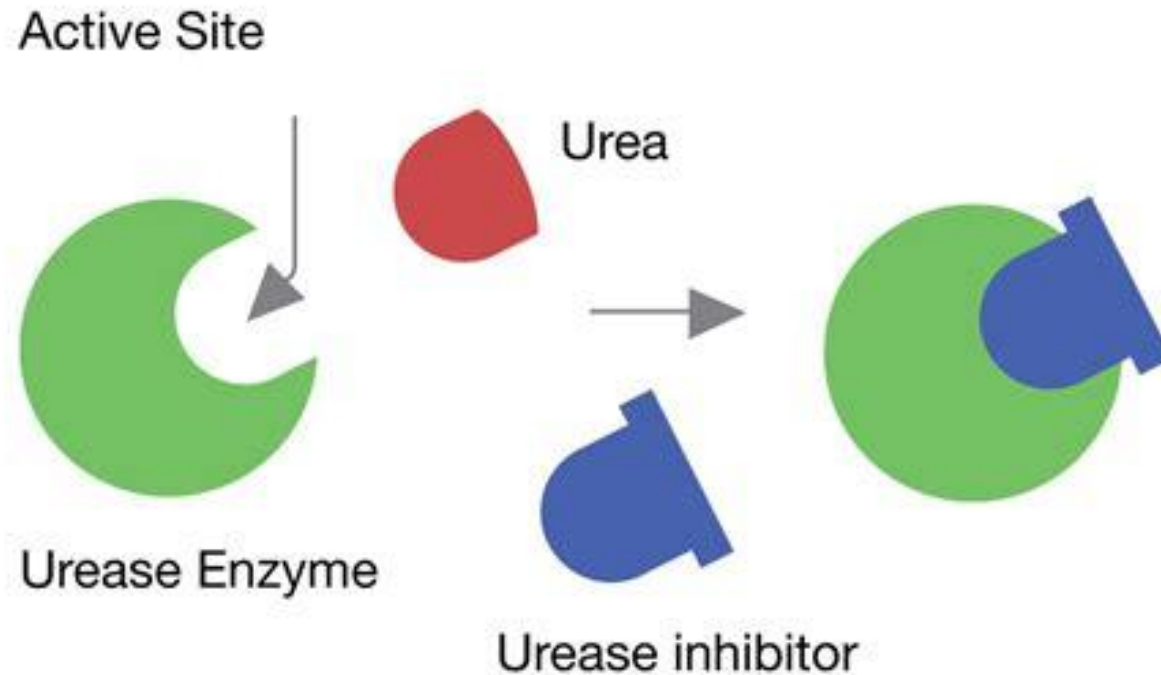


AMMONIA PROTONATION TO AMMONIUM ION





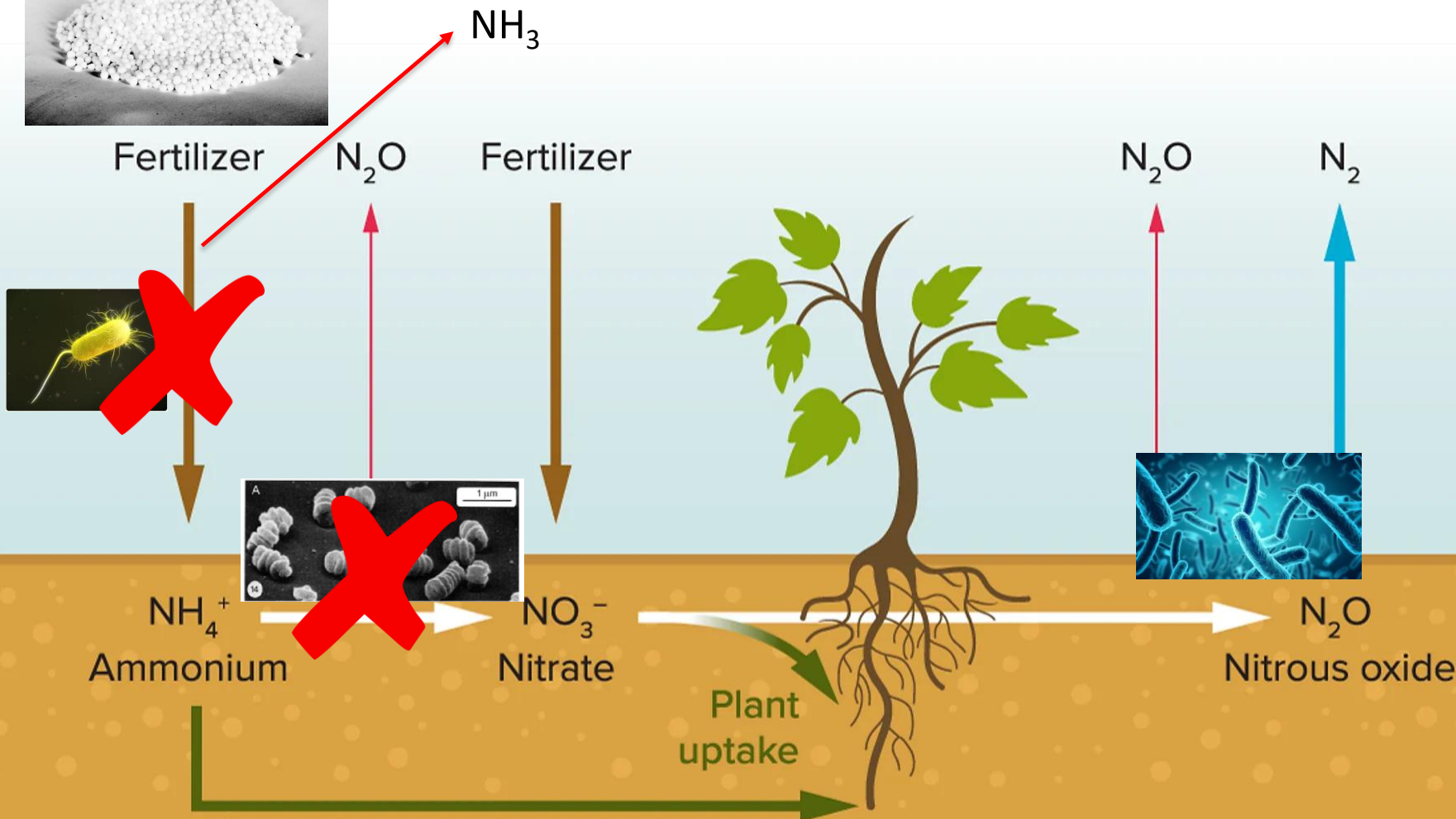
# We can use urease inhibitors to slow down the reaction



Agrotain: N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT)

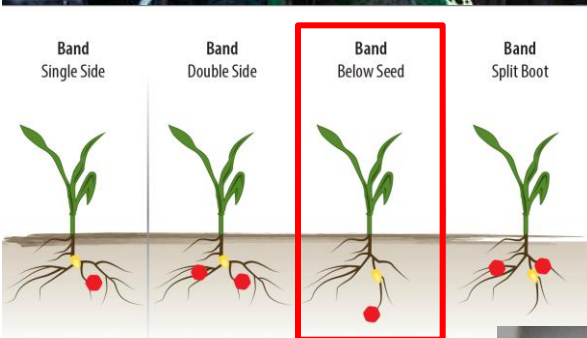
Urée 46-0-0

# Inhibitors prevent $\text{NH}_3$ and $\text{N}_2\text{O}$ loss

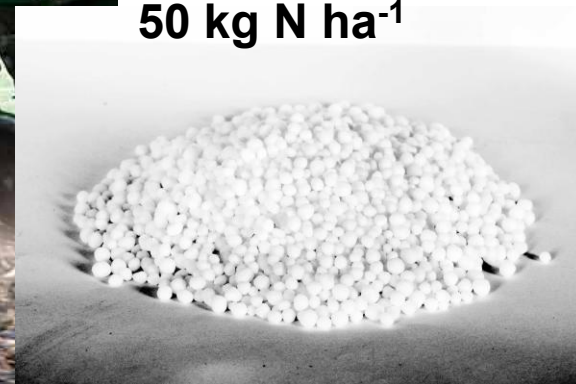




## Produits appliqués à la semence et au stade V4-V6:



**Urée 46-0-0**  
**50 kg N ha<sup>-1</sup>**



**Urée- Nitrate d'ammonium (UAN)**  
**32-0-0, 35 a 205 kg N ha<sup>-1</sup>**



## Mode d'application d'UAN au stade V4-V6:



Urée- Nitrate d'ammonium (UAN)  
32-0-0, 35 à 205 kg N ha<sup>-1</sup>



Injection superficielle = 2.5 cm; Injection profonde = 6 cm



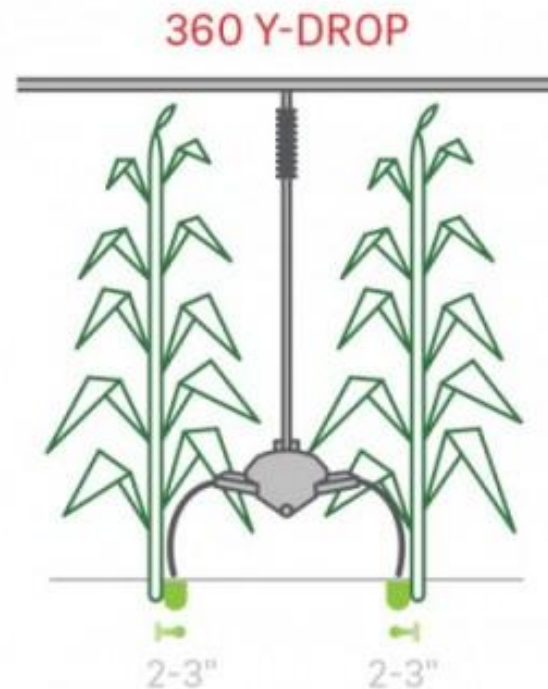
Application à la surface du sol: 360° Y-drop



## Mode d'application d'UAN au stade V4-V6:



Application à la surface du sol: 360° Y-drop



**Urée-Ammonium-Nitrate (UAN)**  
**32-0-0, 35 à 205 kg N ha<sup>-1</sup>**



UAN +





# Chambres pour la collecte des flux de $N_2O$



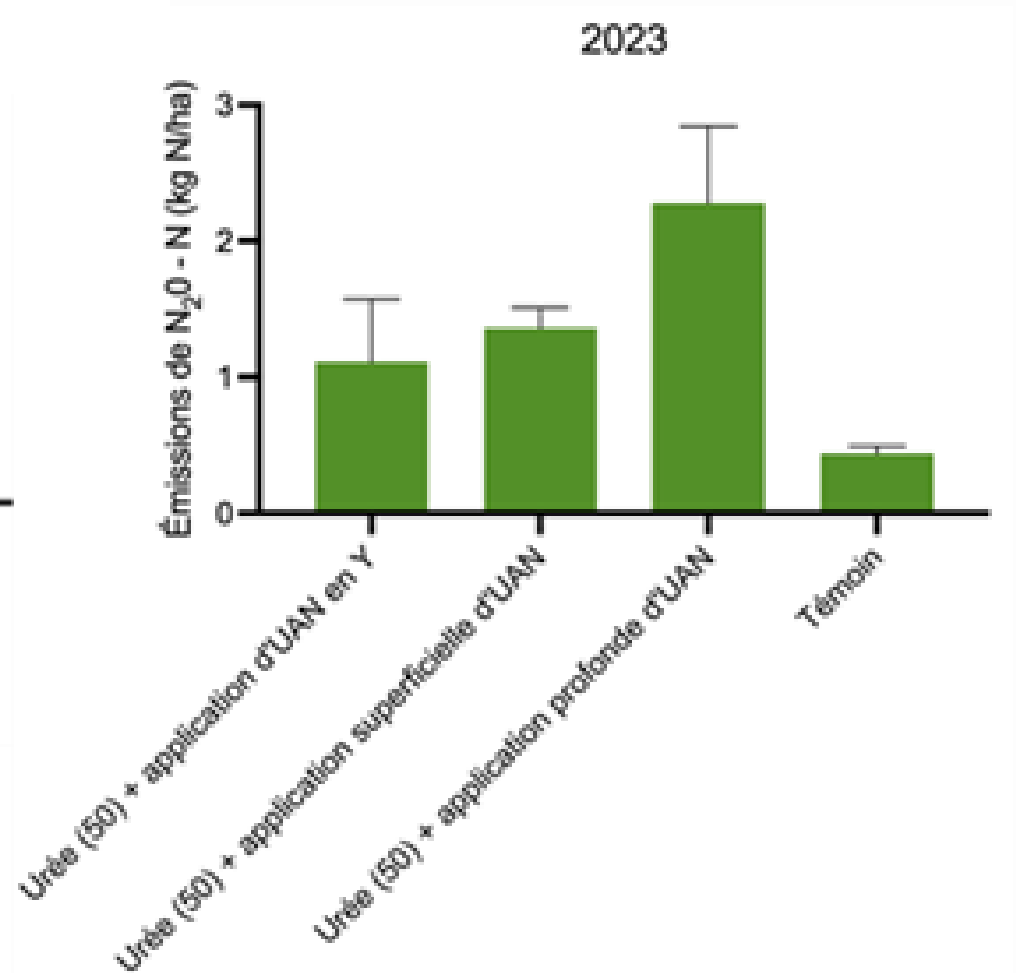
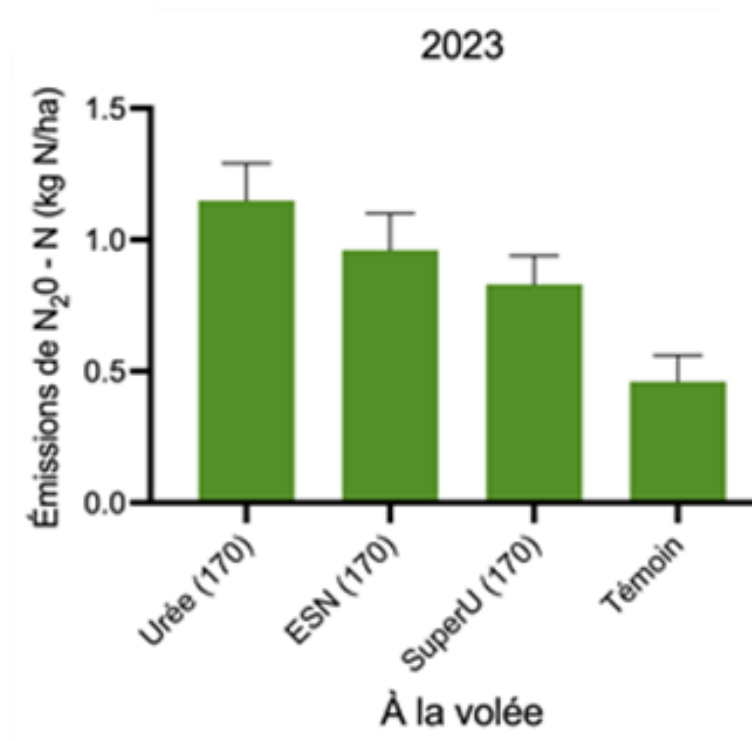


# Échantillonnage des gaz à effet de serre



Autres mesures: température et humidité du sol, pression dans l'espace libre de la chambre

Analyse de gaz par chromatographie, analyse des données par la méthode HMR



Émissions de  $N_2O$  (en kg N ha<sup>-1</sup>) selon la source d'urée et la méthode de l'application de UAN.

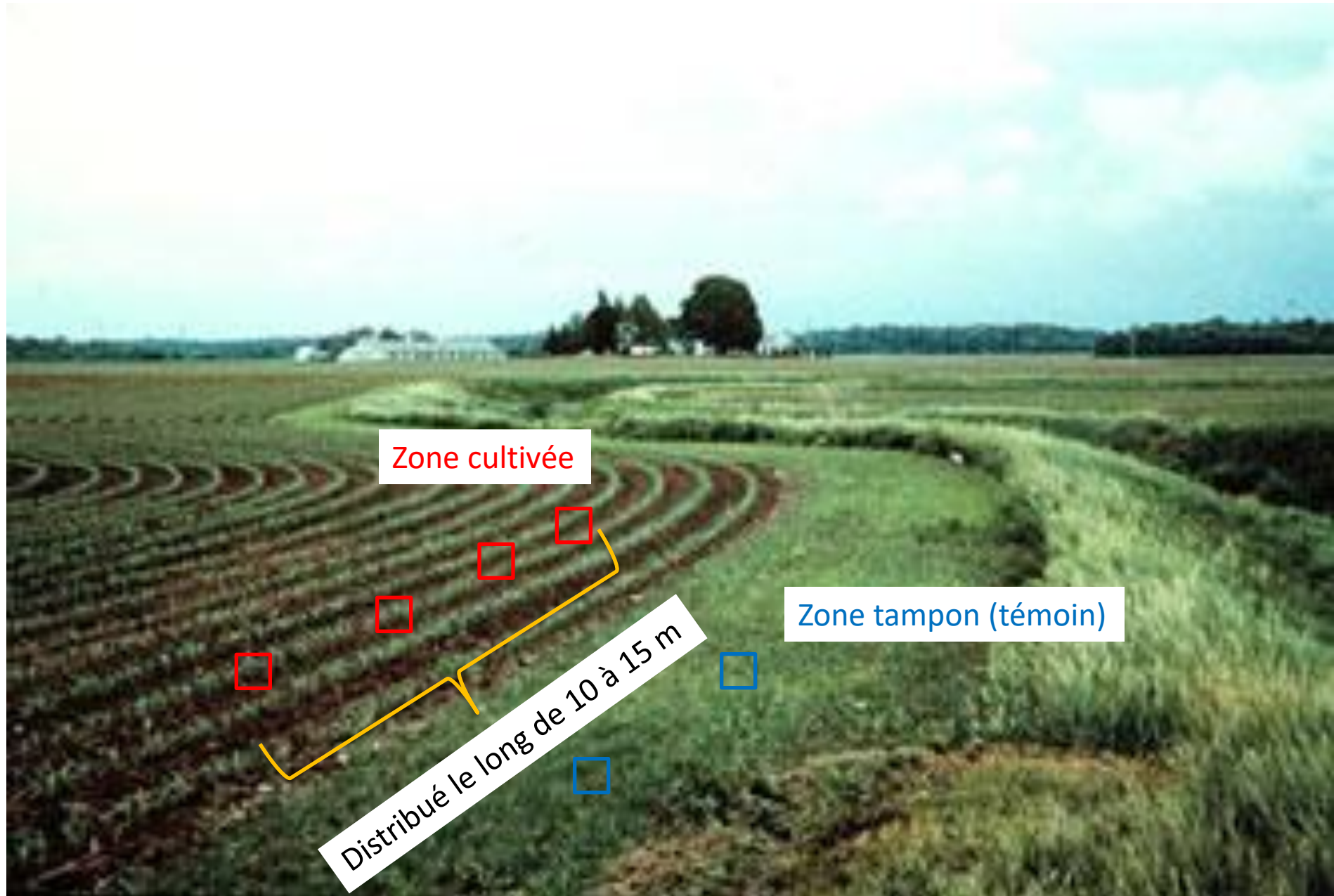


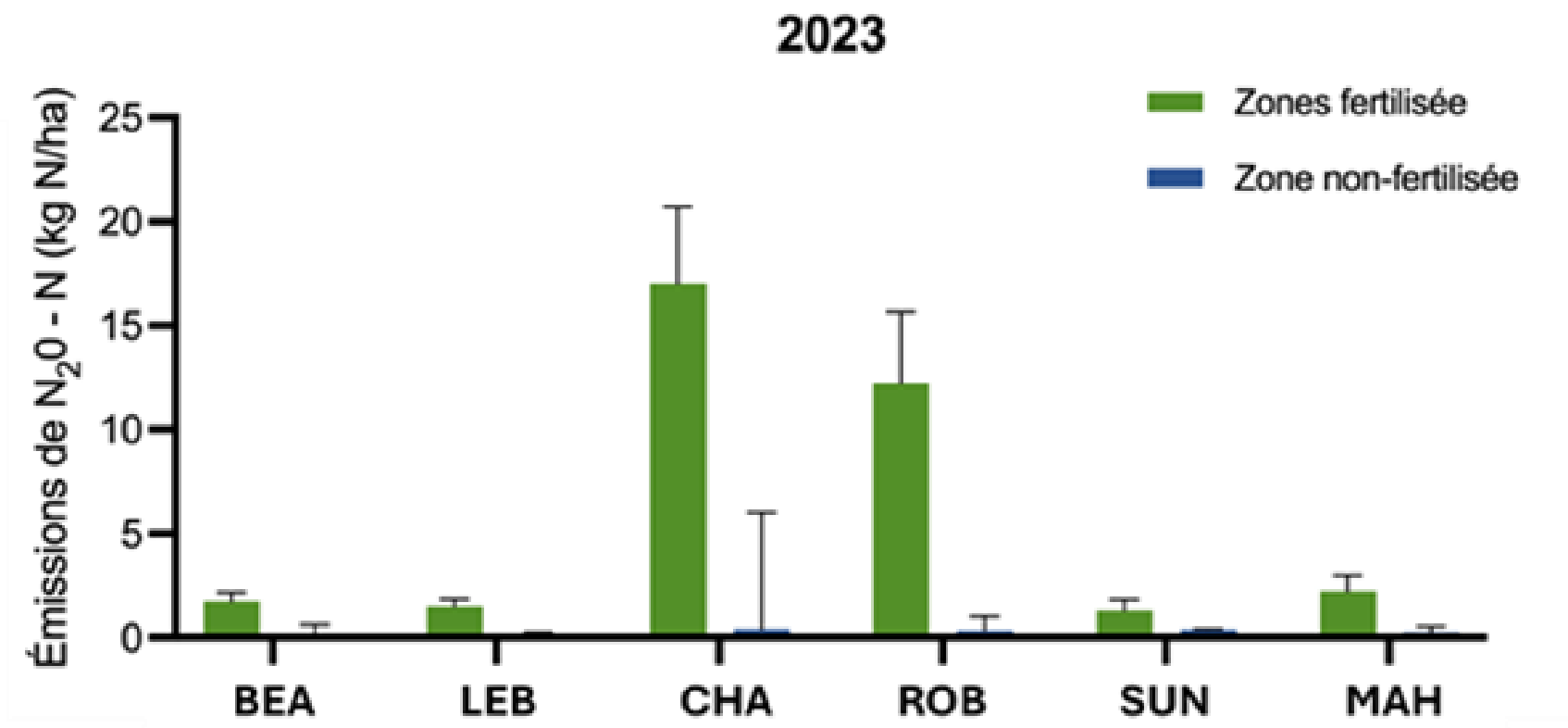
# Échantillonnage dans les champs commerciaux





# Échantillonnage dans les champs commerciaux





*Émissions de  $N_2O$  (en kg N ha<sup>-1</sup>) selon les fermes et la zone fertilisée ou non fertilisée en 2023.*



**Tableau 1.** Cadre pour la réduction des émissions d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) provenant des engrais azotés au Québec, selon les principes des 4B.

Potentiel des émissions de $N_2O$	Bonne Dose	Bonne Source	Bonne Endroit	Bonne Moment
Faible	< 150 kg N ha <sup>-1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urée avec inhibiteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Injecté en bande</li> <li>• Y-drop à 360°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fractionné au cours de saison</li> </ul>
Moyenne	150-250 kg N ha <sup>-1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urée stabilisé</li> <li>• Lisier</li> <li>• Fumier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• À la volée et incorporé</li> <li>• Injecté en bande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantation</li> <li>• Fractionné au cours de saison</li> </ul>
Haut	> 250 kg N ha <sup>-1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urée conventionnelle</li> <li>• Lisier</li> <li>• Fumier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• À la volée, incorporation retardée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Au printemps</li> <li>• En automne, après la récolte</li> </ul>

# Cover crops and 4R strategies to mitigate GHG emissions

Centre de recherche agronomique Emile A. Lods  
Campus Macdonald de l'université McGill

Saisons de  
Fall 2022  
2023  
2024  
2025  
2026

 **CANADIAN  
AGRICULTURAL  
PARTNERSHIP**

**PARTENARIAT  
CANADIEN pour  
l'AGRICULTURE**



**CFCRA**  
CANADIAN FIELD CROP  
RESEARCH ALLIANCE

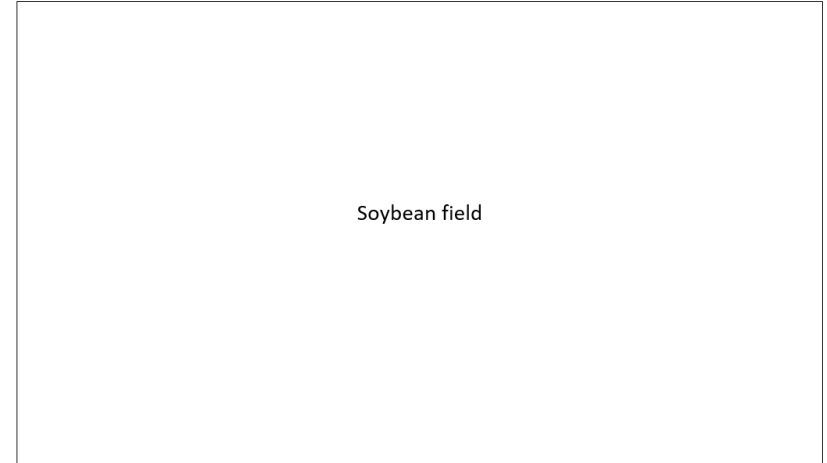
**ARCCC**  
ALLIANCE DE RECHERCHE SUR LES  
CULTURES COMMERCIALES DU CANADA

**CFCRA Cluster Project:** Cover Crops and 4R Strategies to Mitigate GHG Emissions

Plot plan for the 2022 fall cover crop seeding in the **CORN field**

Corn field

Block 4							
RT UAN	No-till UAN+IN	No-till UAN+IN Rye CC	No-till UAN	RT UAN+IN Rye CC	No-till UAN Rye CC	RT UAN+IN	RT UAN Rye CC
Block 3							
No-till UAN+IN Rye CC	No-till UAN Rye CC	RT UAN	RT UAN Rye CC	RT UAN+IN	No-till UAN	RT UAN+IN Rye CC	No-till UAN+IN
Block 2							
No-till UAN+IN	RT UAN+IN Rye CC	No-till UAN	RT UAN+IN	No-till UAN Rye CC	No-till UAN+IN Rye CC	RT UAN Rye CC	RT UAN
Block 1							
RT UAN+IN	No-till UAN	RT UAN+IN Rye CC	No-till UAN+IN Rye CC	RT UAN	RT UAN Rye CC	No-till UAN+IN	No-till UAN+IN Rye CC



No-till: direct seeding with no-tillage; RT: conservation tillage that leaves at least 30% residue cover on the soil surface, and is only done in the corn planting year, such as shallow disk harrow (5 cm depth) in the spring before planting and the fall after harvest.

**UAN:** side-dress injected UAN that delivers ~90% of the targeted N rate = 140 kg N ha<sup>-1</sup>. This is in addition to the 30 kg N ha<sup>-1</sup> of granular urea applied as starter fertilizer at planting.

**UAN + IN:** side-dress injected UAN containing urease and nitrification inhibitors (Tribune, NBPT+pronitridine) that delivers ~90% of the targeted N rate = 140 kg N ha<sup>-1</sup>, in addition to the 30 kg N ha<sup>-1</sup> of granular urea applied as starter fertilizer at planting.

**Rye CC:** cereal rye, a winter hardy non-legume is planted after soybean harvest

Both phases of the **corn-soybean rotation** are grown each year, in two separate, adjacent fields.

There is no tillage in the soybean phase of the rotation.

**Rye CC:** cereal rye, a winter hardy non-legume is planted after soybean harvest























# Soil is the foundation for resilient crop production

*Thank you!*

