



Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada



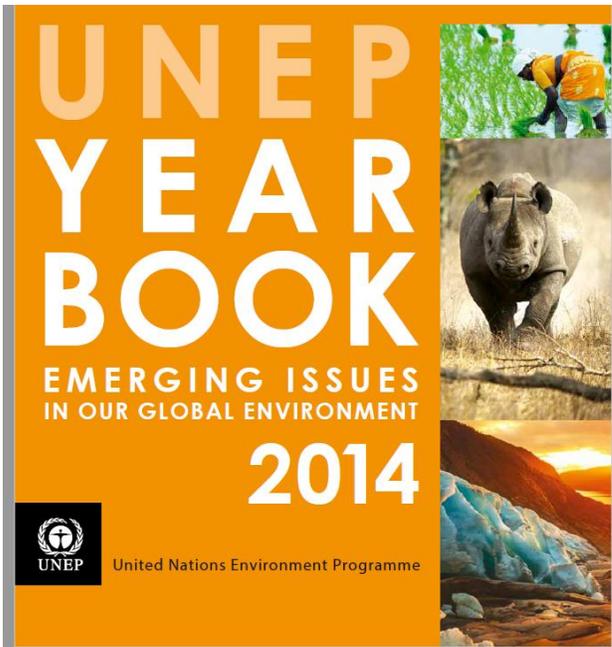
# Fertilisation azotée :

Peut-on concilier la prédiction des besoins et la  
capacité du sol à fournir l'azote ?

Martin Chantigny, Ph.D.

Centre de recherche et de développement de Québec

Canada 



Credit photo: cicki / Shutterstock.com

## La solution de l'azote : de la pollution du cycle de l'azote à l'économie circulaire de l'azote

### Le défi mondial de la gestion de l'azote

L'Annuaire 2014 du PNUE a mis en lumière l'importance de l'excès d'azote réactif dans l'environnement<sup>1</sup>. Ses conclusions sont alarmantes, non seulement du fait de l'ampleur et de la complexité de la pollution azotée, mais aussi en raison du peu de progrès réalisés pour la réduire. Quelques-unes des solutions identifiées ont été déployées à plus grande échelle, tandis que le monde continue de générer de la pollution azotée qui contribue largement à la dégradation de la qualité de l'air, à la détérioration des environnements terrestres et aquatiques, à l'accélération du changement climatique et à l'appauvrissement de la couche d'ozone<sup>2,10</sup>. Ces impacts freinent la progression vers la réalisation

consommation et de la production ont notamment été repensées afin de traiter sérieusement le problème de l'azote<sup>16-24</sup>.

On retrouve l'azote en grande abondance dans l'atmosphère terrestre. Sous la forme de la molécule  $N_2$ , l'azote est inoffensif et compose jusqu'à 78 pour cent de l'air que nous respirons. Les deux atomes d'azote sont rattachés l'un à l'autre par une triple liaison solide (NEN) qui rend la molécule extrêmement stable et chimiquement non réactive. L'azote est bénéfique à la planète, car il permet une atmosphère saine dans laquelle la vie peut se développer, tout en évitant l'effet inflammable d'une trop grande quantité d'oxygène. Si l'azote suscite un intérêt d'ordre environnemental, c'est essentiellement parce qu'il est possible

## La gestion de l'azote en agriculture sera le défi du 21<sup>e</sup> siècle.

- L'utilisation incontrôlée de l'azote est à la source d'un ensemble de problèmes environnementaux
- **20%** de l'azote appliqué se retrouve dans nos assiettes...



Briefing: Nov 2021

## Rediscovering Nitrogen!



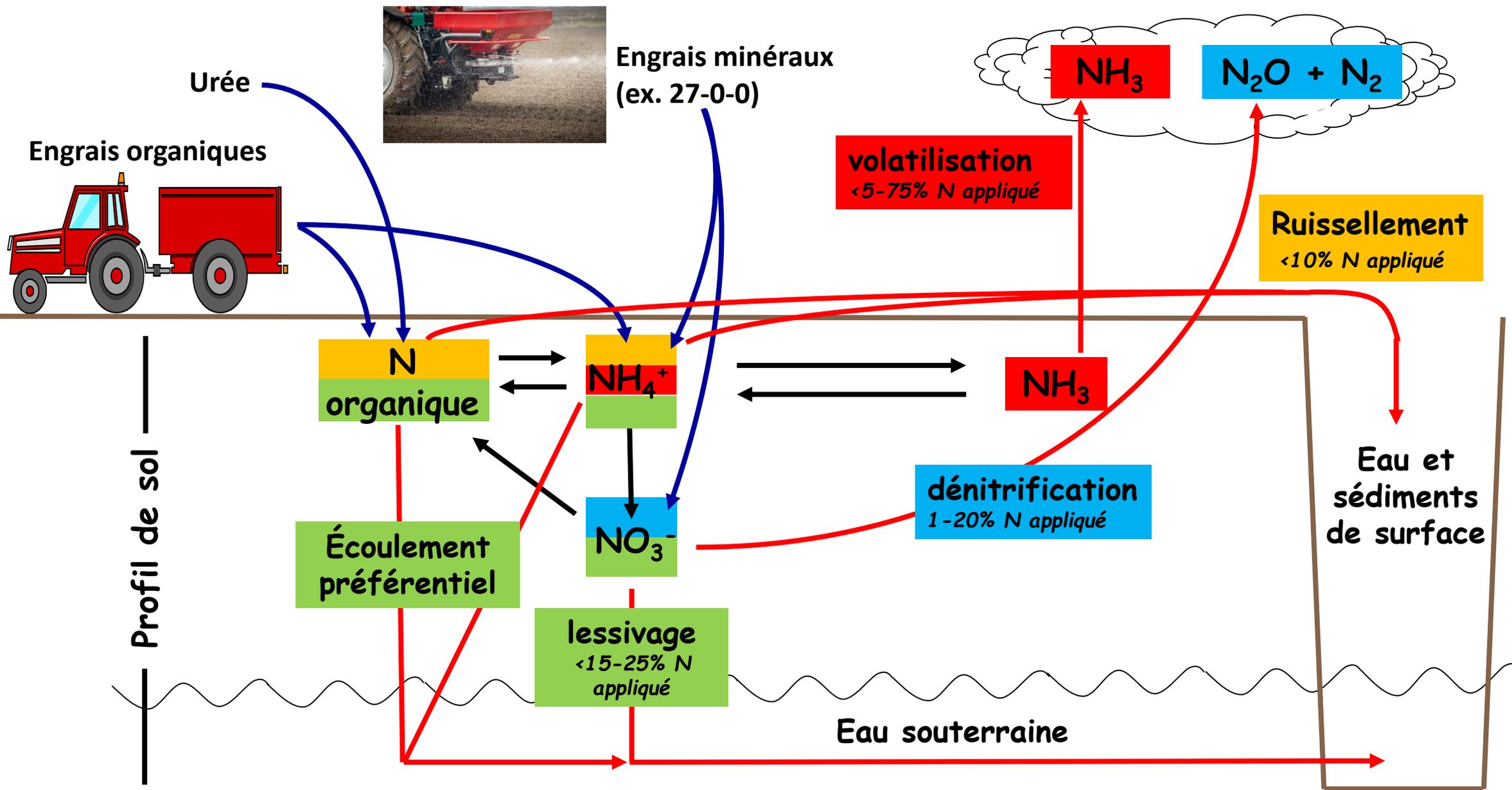
It is nearly 250 years since Daniel Rutherford discovered nitrogen in 1772 at the University of Edinburgh in Scotland. With the world now assembling in Glasgow for COP26, it is time to find nitrogen again. It is a chance to embrace action on nitrogen as one of the world's great environmental challenges and a key solution to climate change. The "" event heralds a "new enlightenment" on the importance of nitrogen interactions with carbon. **Action on carbon must be at the heart of our commitment to Net Zero, but to get to Net Zero we also need to take action on nitrogen.** This is why the Scottish Government has committed to a [Scottish National Nitrogen Balance Sheet](#) as part of the Scottish Climate Act. This is an opportunity for us to show the multiple benefits of better nitrogen management for climate, air, water, biodiversity, health and the economy. The International Nitrogen Management System (INMS) is itself based in Edinburgh, and we look forward to working with countries in COP26 and beyond as we grasp the climate challenge – with nitrogen as an integral part.

# Fertilisation azotée =

- ✓ perturbation, déséquilibre du cycle
- ✓ réactions en chaîne



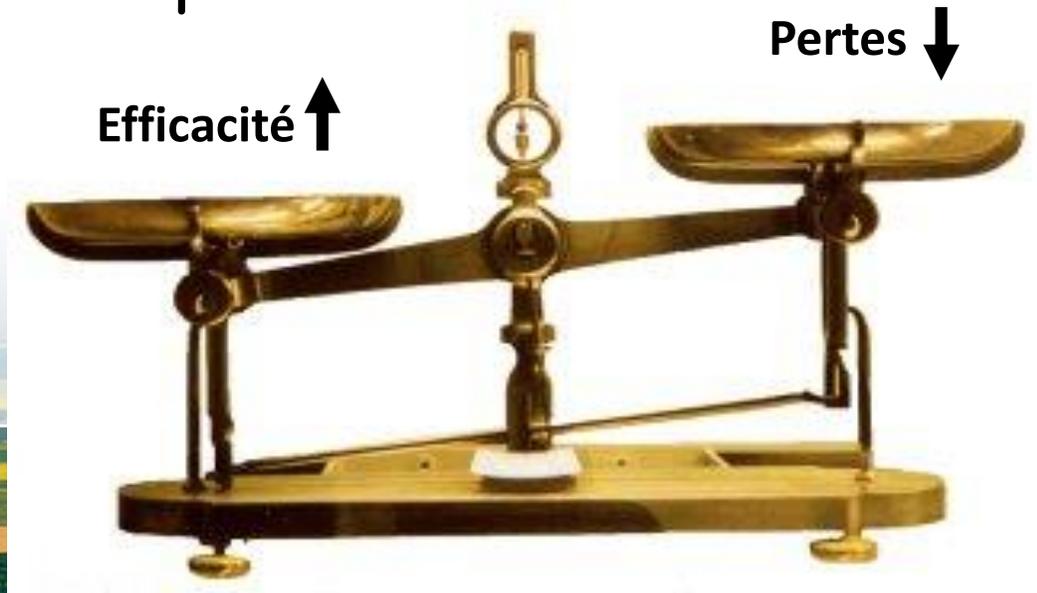
# Fertilisation azotée et risques environnementaux



# Azote en agriculture et risque environnemental

## Principes clés:

1. C'est l'excès d'azote qui génère l'essentiel des pertes; la portion inutilisée (inefficace).
2. Toute pratique qui améliore l'efficacité de récupération de l'azote par la culture réduit le risque de perte.
3. Augmenter l'efficacité = réduire les besoins en intrants azotés



# Efficacité de prélèvement des engrais azotés

---

- Engrais minéraux (moyenne)
  - Céréales : 33% (Grahmann et al. 2013)
  - Dépasse rarement 50% pour les grandes cultures  
(Tran et al. 1995; Nyiraneza et al. 2010; Chantigny et al. 2004, 2014; Thivierge et al. 2015)
- Engrais organiques (effluents d'élevage, engrais verts, composts)
  - Encore moins (azote pas tout disponible l'année même)
- Beaucoup de potentiel à l'amélioration...
  - Ajuster la recommandation:
    - Gestion des 4 B (<https://nutrientstewardship.org/4rs/>)
      - bonne source, bonne dose, bon endroit, bon moment
    - Mieux comprendre et tirer profit de la capacité du sol à fournir l'azote
    - Dépasser la vision « comptable » des crédits d'azote

# Comment améliorer l'efficacité de la fertilisation ?

---

## Règles du pouce

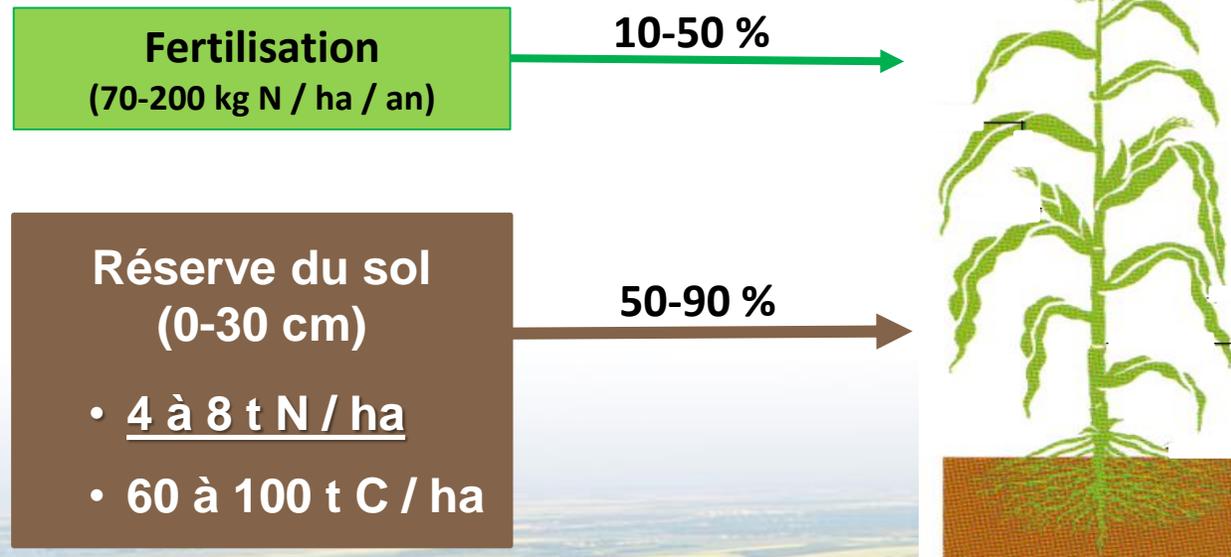
1. Éviter excès et accumulation de  $\text{NO}_3$  dans le sol (lessivage et GES)
  - ✓ Tous types d'engrais
2. Éviter la présence de  $\text{NH}_4$  à la surface (volatilisation d'ammoniac)
  - ✓ Engrais ammoniacaux, effluents d'élevages
3. Retenir l'azote dans le système sol-plante
  - ✓ Applications sur végétaux en croissance
    - Post-levée, céréales d'automne, prairies
    - Cultures de couverture (pleine saison, intercalaires, dérobée)
  - ✓ Fractionnement démarreur / post-levée / et +...
    - Inhibiteurs d'uréase et nitrification
    - Engrais à libération lente
  - ✓ Combler une partie des besoins par les légumineuses

# Réserve d'azote du sol

- Source principale pour les cultures

(Tran et al. 1995; Chantigny et al. 2004-2014; Nyiraneza et al. 2010; Thivierge et al. 2015)

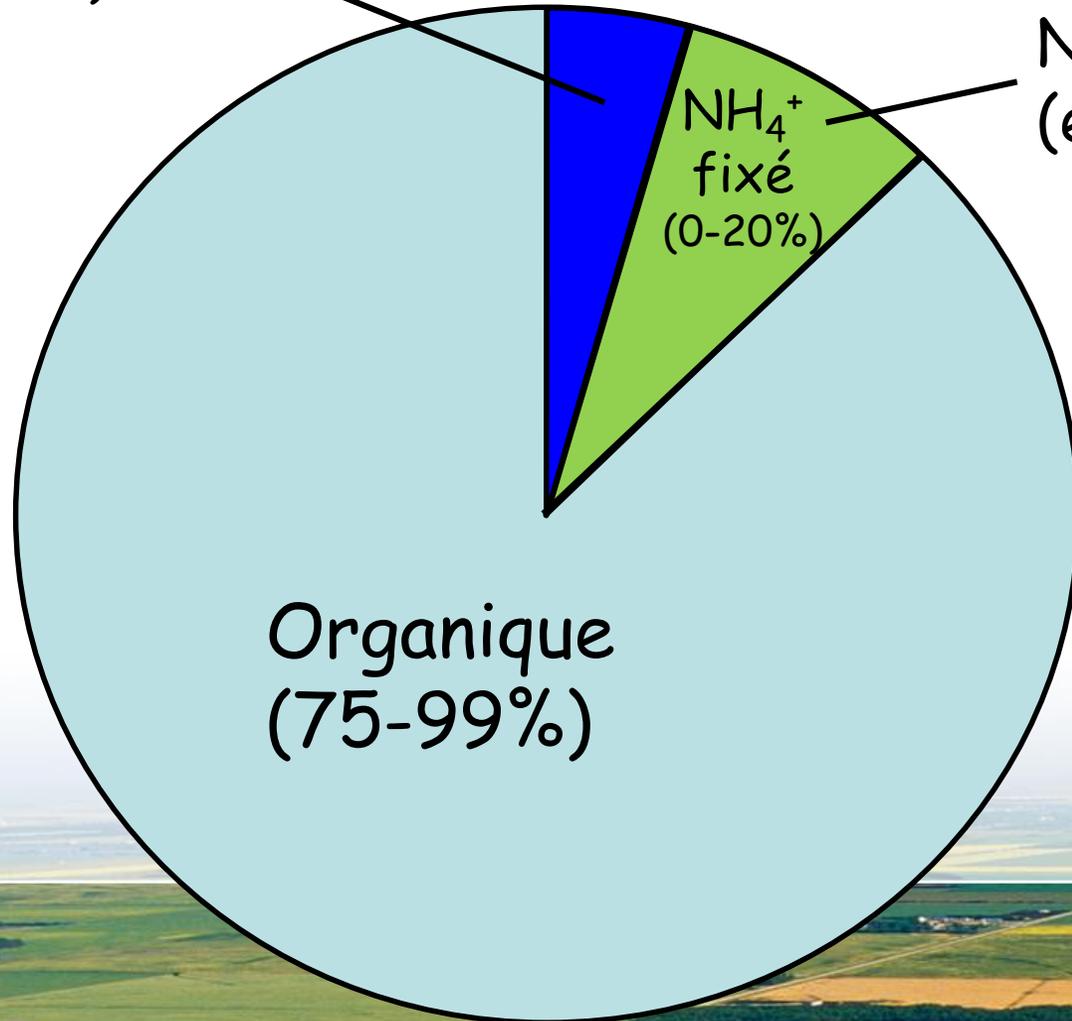
## Origine de l'azote retrouvé dans les cultures à la récolte



- 1 à 3% de la réserve est minéralisé annuellement:  
✓ 40-240 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

# Formes d'azote de la réserve du sol - sols minéraux

Minéral ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ )  
(1-5%)



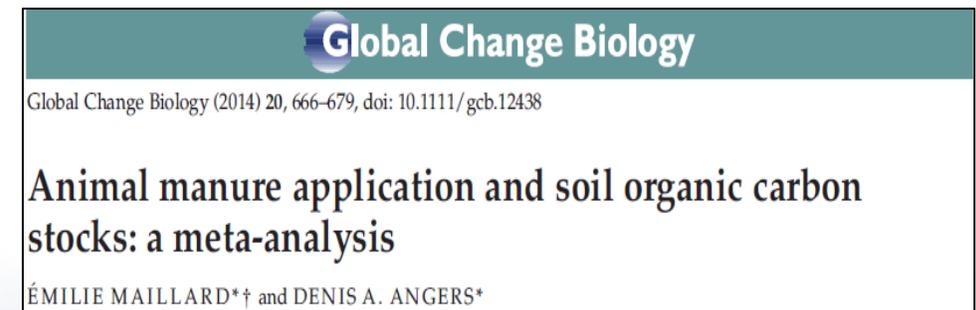
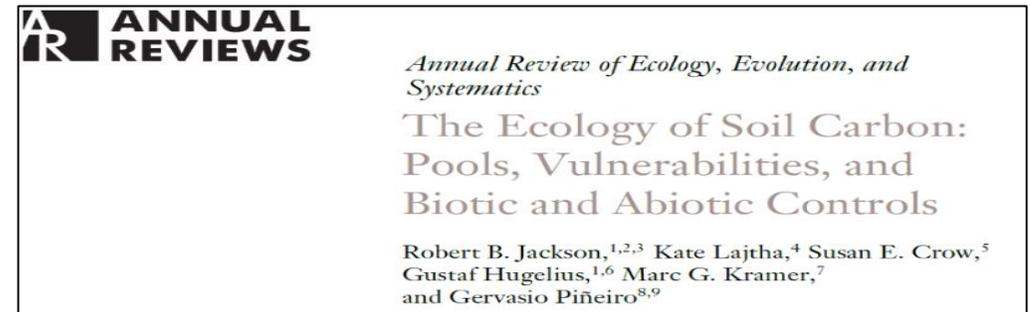
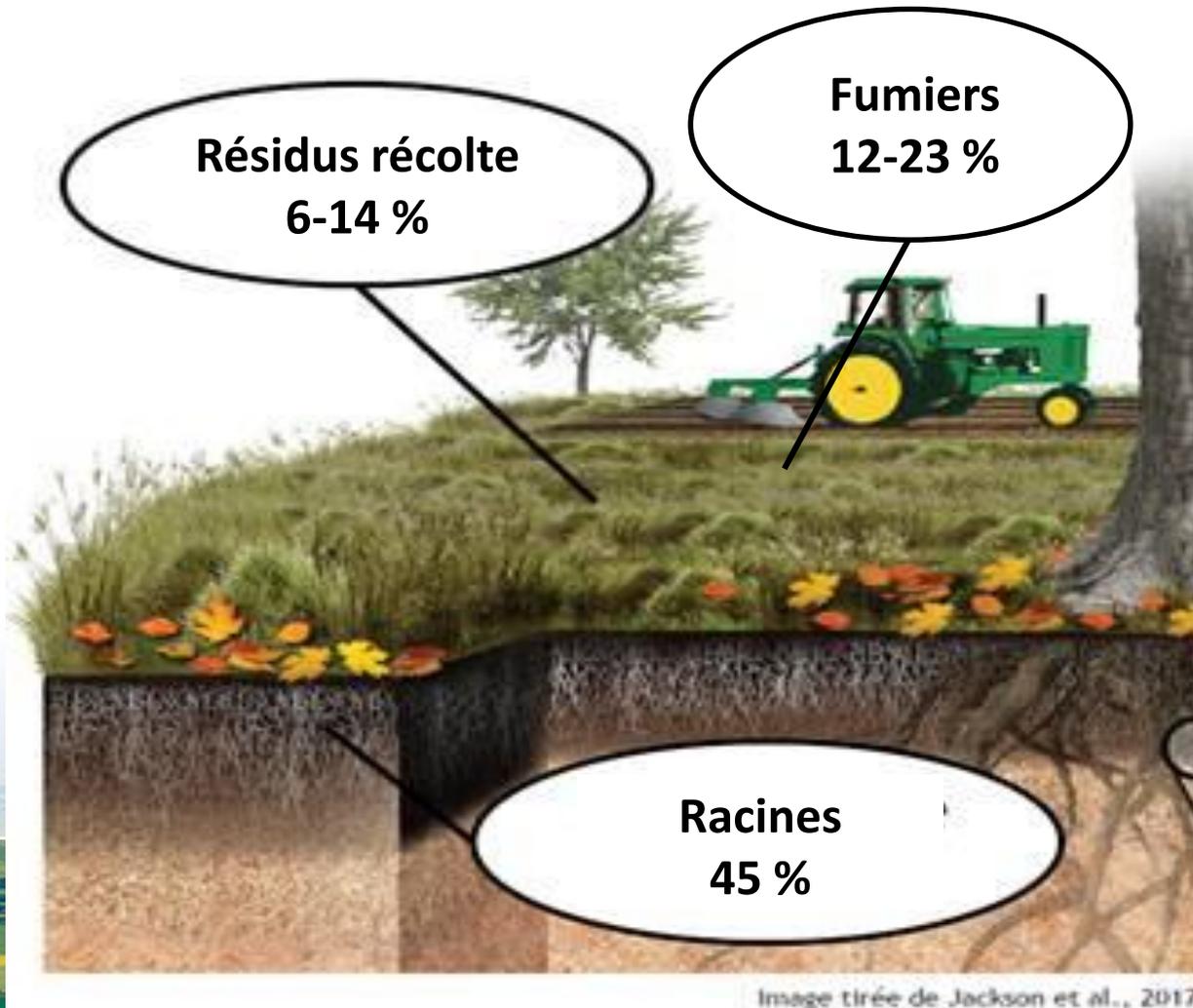
$\text{NH}_4^+$  fixé dans les argiles 2:1  
(ex.: chlorite; vermiculite)

L'azote est surtout organique

- ✓ favoriser l'accumulation de matière organique
- ✓ augmente la réserve de N du sol

# Tous les résidus contribuent à la formation de MO mais...

- Le taux de formation de MO dépend du type de résidu !

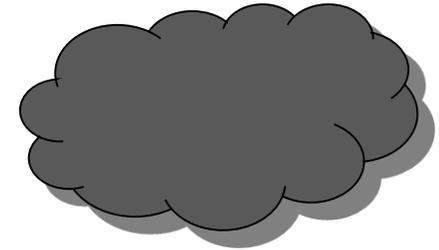
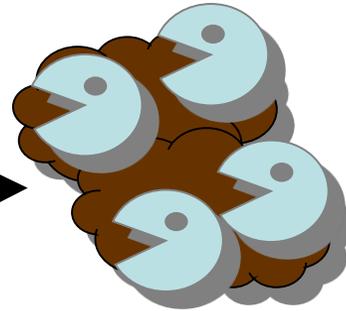


- Racines = le summum 😊
- Cultures de couverture...
- Mixité de patrons racinaires

# Tous les résidus contribuent à la formation de MO mais...



Matière organique  
stable



temps



# MOS: accumulation et fourniture d'azote

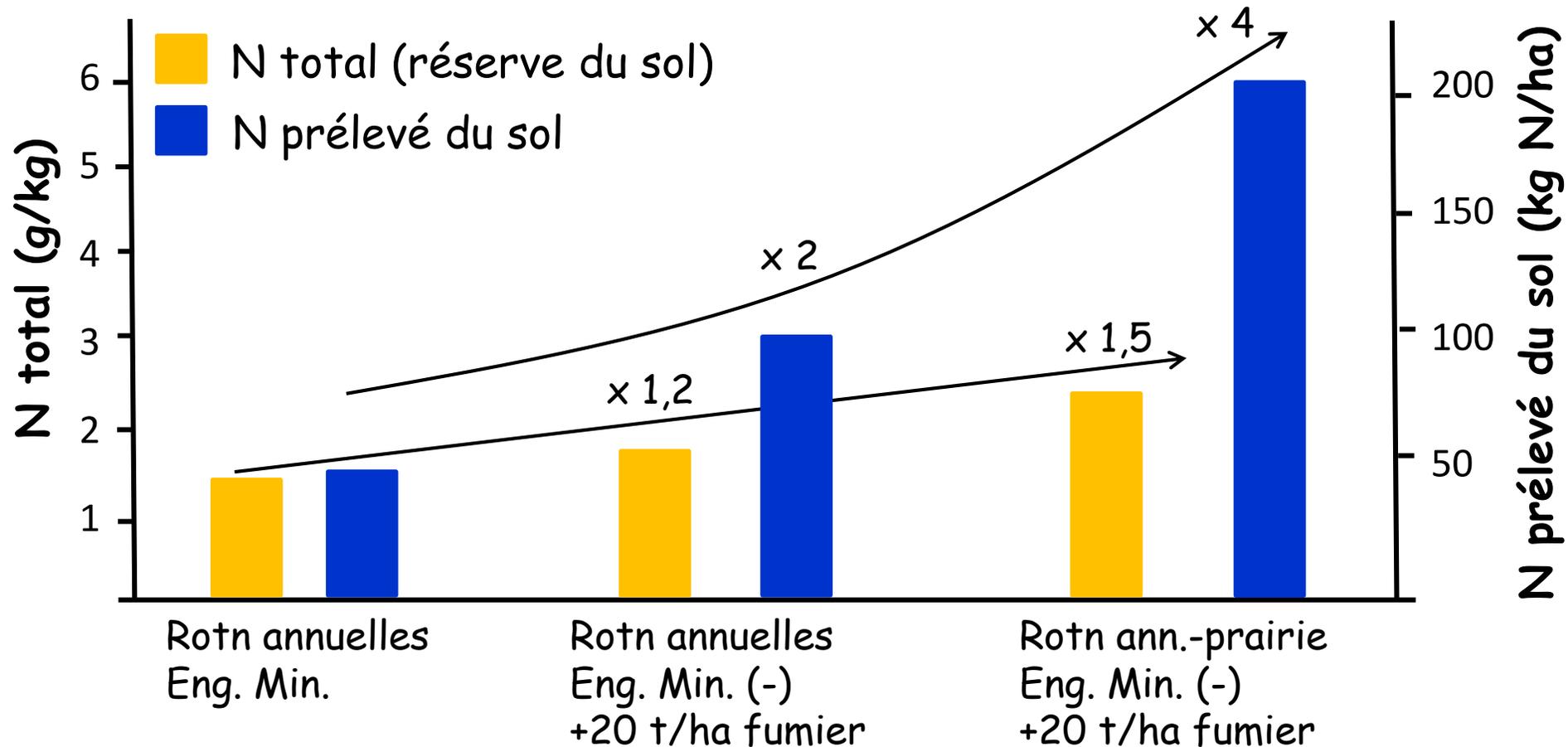


Long-Term Manure Application and Forages Reduce Nitrogen Fertilizer Requirements of Silage Corn–Cereal Cropping Systems

J. Nyiraneza,\* M. H. Chantigny, A. N'Dayegamiye, and M. R. Laverdière

Agronomy Journal 102:1244-1250 (2010)

Bilan après 25 ans de pratique :

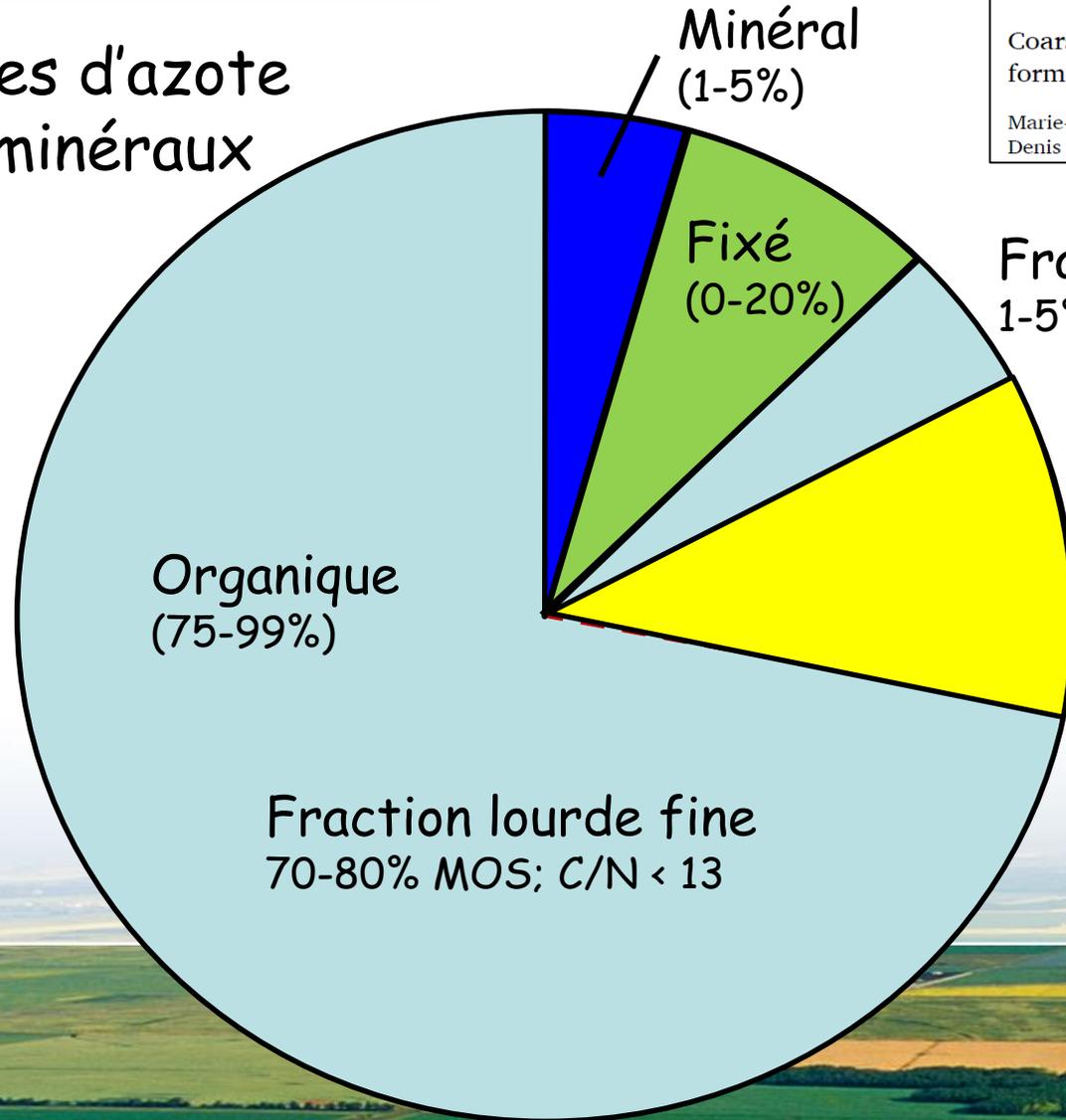


Carbon accumulates in organo-mineral complexes after long-term liquid dairy manure application

Émilie Maillard<sup>a,b</sup>, Denis A. Angers<sup>a,\*</sup>, Martin Chantigny<sup>a</sup>, Shabtai Bittman<sup>c</sup>, Philippe Rochette<sup>a</sup>, Gabriel Lévesque<sup>a</sup>, Derek Hunt<sup>c</sup>, Léon-Étienne Parent<sup>b</sup>

Agriculture, Ecosystems and Environment 202 (2015) 108–119

## Formes d'azote Sols minéraux



Soil Biology and Biochemistry 149 (2020) 107935

Contents lists available at ScienceDirect

Soil Biology and Biochemistry

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/soilbio>

ELSEVIER

Check for updates

Coarse mineral-associated organic matter is a pivotal fraction for SOM formation and is sensitive to the quality of organic inputs

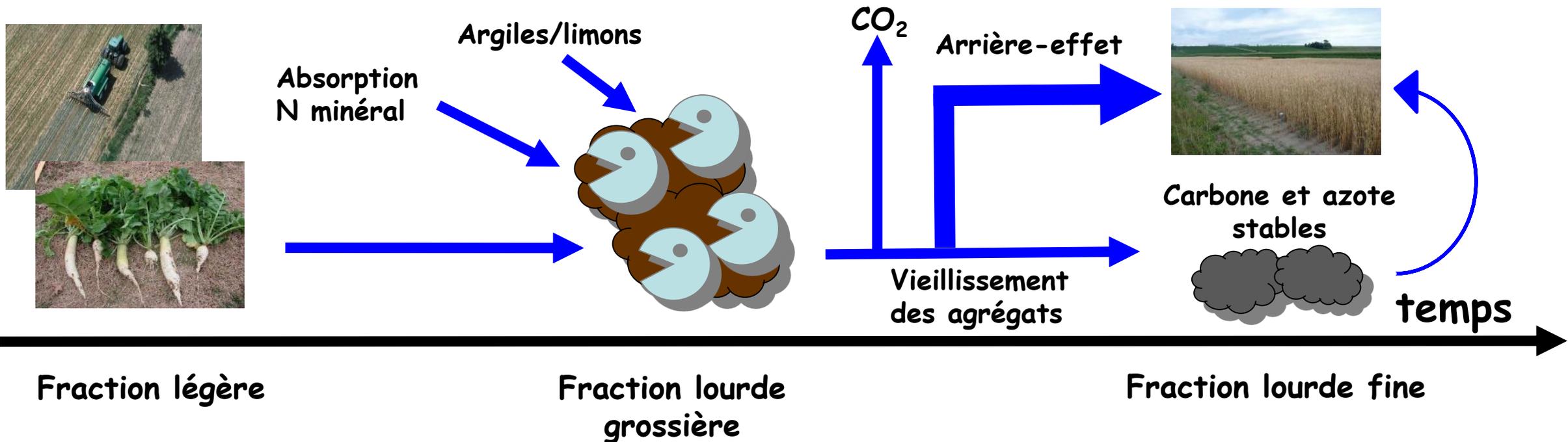
Marie-Élise Samson<sup>a,b,c</sup>, Martin H. Chantigny<sup>b,\*</sup>, Anne Vanasse<sup>a</sup>, Safya Menasseri-Aubry<sup>c</sup>, Denis A. Angers<sup>b</sup>

**Fraction lourde grossière**  
8-12% MOS; C/N 15-17

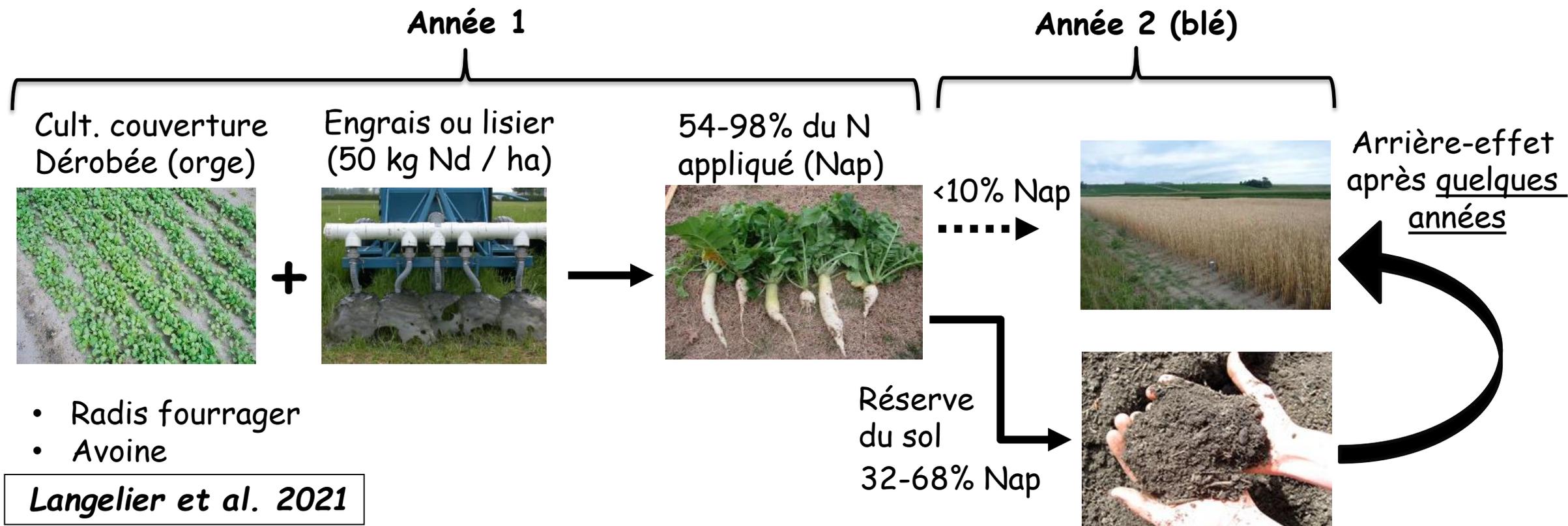
- Accumulation préférentielle du C et du N des fumiers dans la « fraction lourde grossière »
- Cet azote est-il plus « disponible » ?

# À l'étude: nouveau modèle du cycle de l'azote du sol

1. Les matières organiques fraîches sont colonisées par les microorganismes;
  - a) des macro-agrégats sont formés autour des fragments de matière organique
  - b) absorption d'azote par les microorganismes pour leur croissance
2. Les agrégats « vieillissent » et se fragmentent en plus petites unités de + en + stables
3. Au cours du vieillissement, il y a mort de microorganismes et (re)minéralisation d'azote (arrière-effet)



# Suivi de l'azote en système avec culture de couverture



Fourniture d'azote par le sol =

1. Il faut nourrir le sol pour qu'il nourrisse les cultures
2. Contribution du sol par arrière-effet = décalage dans le temps
3. Ne pas se limiter à l'effet de l'année suivante; évaluer les bénéfices sur l'ensemble d'une rotation

# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

---

## Tests/outils conventionnels (liste non exhaustive)

### ■ Diagnostics (photographiques)

- Efficacité variable: viser période cruciale de croissance de la culture pour effectuer la mesure
  - ✓ Nitrates (tiges et sol), Test de nitrate en pré-semis; en post-levée; en post-récolte
    - Nitratecheck,...
    - Résines d'échange ionique (plus cher mais pas plus efficace que autres tests de  $\text{NO}_3$ )
  - ✓ Analyse foliaire (chlorophylle-mètre; indice de nutrition azotée)

### ■ Prédicatifs

- Incubations labo et in situ (respiration; N minéralisable 7 à 14 jours)
- Solvita™, Microbiometer™ (semblent pas très sensible)
- Simulateurs:
  - ✓ SCAN (développé à AAC; maïs-grain)
  - ✓ STYX et DNDC-can (utilisés par les scientifiques)

# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

---

## Tests/outils en développement ou à considérer

### ■ Diagnostics

- Multi-sonde Chrysalab :
  - méthode *in situ* instantanée (proche infra-rouge; géoréférencé)

### ■ Prédicatifs

- Carbone oxydable au permanganate (POXC; C labile) (CETAB+)
- Labo : N minéralisable anaérobie 16h à 50 °C (Chantigny et al. 2010)
- Simulateurs:
  - ✓ NLOS (<http://www.nlos.ca>)
  - ✓ Calculateur d'azote GOCorn.net (Ontario)  
(<http://www.gocorn.net/v2006/Ncalc/Nitrogen%20Calculator%20-%20GOCorn%203011810.pdf>)
- Et d'autres à venir... Intelligence Artificielle

# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

---

- Aucun test ou outil applicable de façon élargie à ce jour pour prédire la fourniture annuelle d'azote par les sols !
- Pourtant, on met beaucoup d'emphasis sur la fourniture saisonnière
  - Approche comptable
  - Calquée sur l'utilisation des engrais de synthèse qui sont prévisibles
- La fourniture d'azote par le sol est peu prévisible
  - Dépend beaucoup de la variabilité météo de l'année
    - Affecte le développement de la culture (racines)
    - Affecte la vitesse de minéralisation de la réserve du sol
    - Affecte le synchronisme entre les pics de besoins et la mise en disponibilité



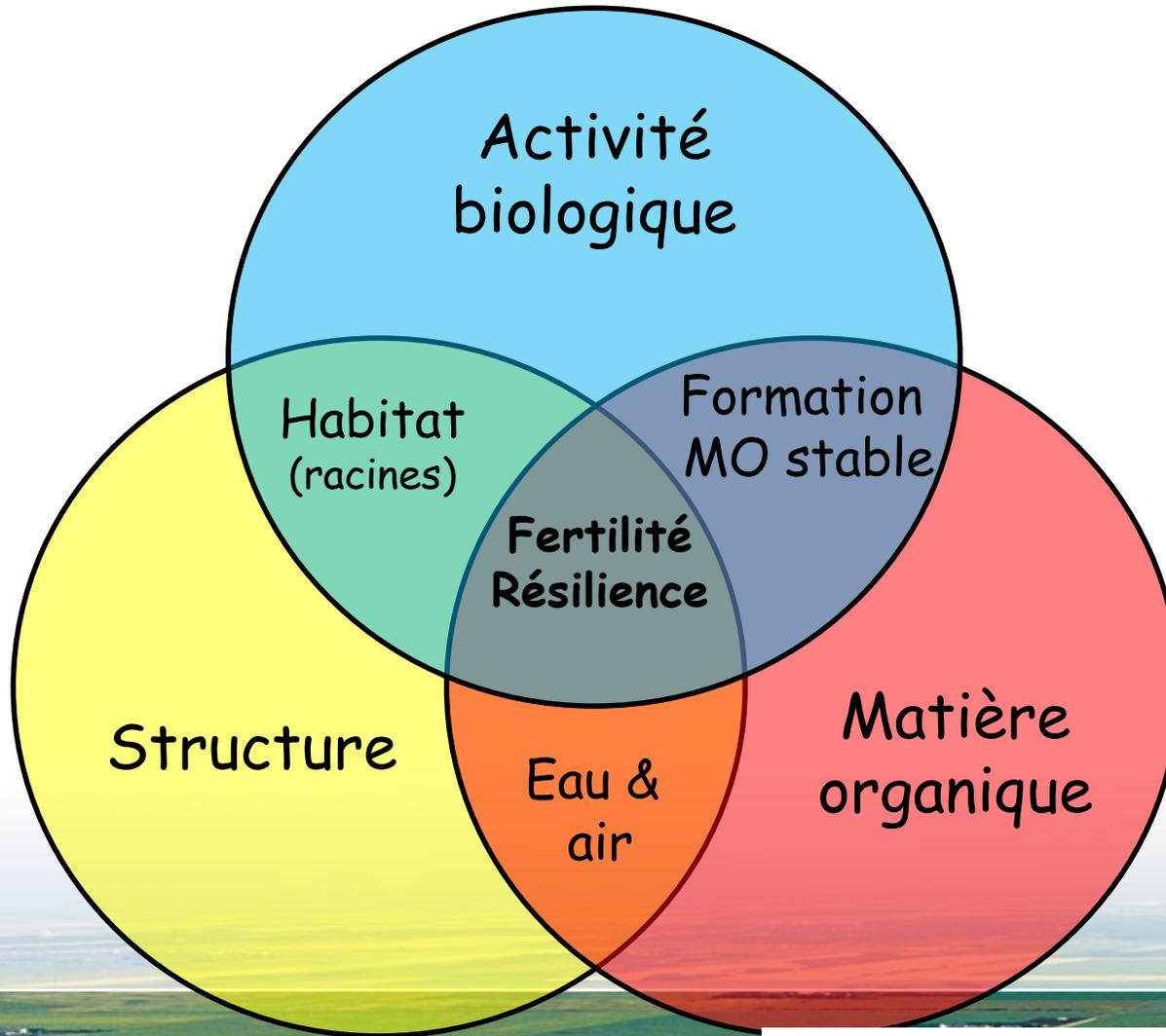
# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

---

- Penser plus globalement (approche holistique)
  - **Nourrir le sol et miser sur les arrières-effets**
    - ✓ Couverts vivants le plus possible (cultures de couverture; prairies)
    - ✓ Couverts complexes (mélange d'espèces); pas seulement des légumineuses
    - ✓ Rotations diversifiées
  - **Retenir l'azote dans le système sol-plante**
    - ✓ fumier automne sur culture de couverture ou prairie
    - ✓ fractionnement des apports
  - **Penser à la santé du sol**
    - ✓ détermine le niveau des bénéfices obtenus d'une pratique



# Santé du sol : trois piliers interreliés



- Une **approche intégrée d'amélioration des trois piliers** est requise pour obtenir des sols en santé et augmenter leur fertilité et la résilience de l'entreprise.
- Une bonne gestion de l'azote sur des sols dégradés apportera des bénéfices très limités...
- Prendre le temps d'évaluer l'état structurel et de santé des sols avant d'amorcer la mise en place de bonnes pratiques

# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

En attendant les outils prévisionnels...

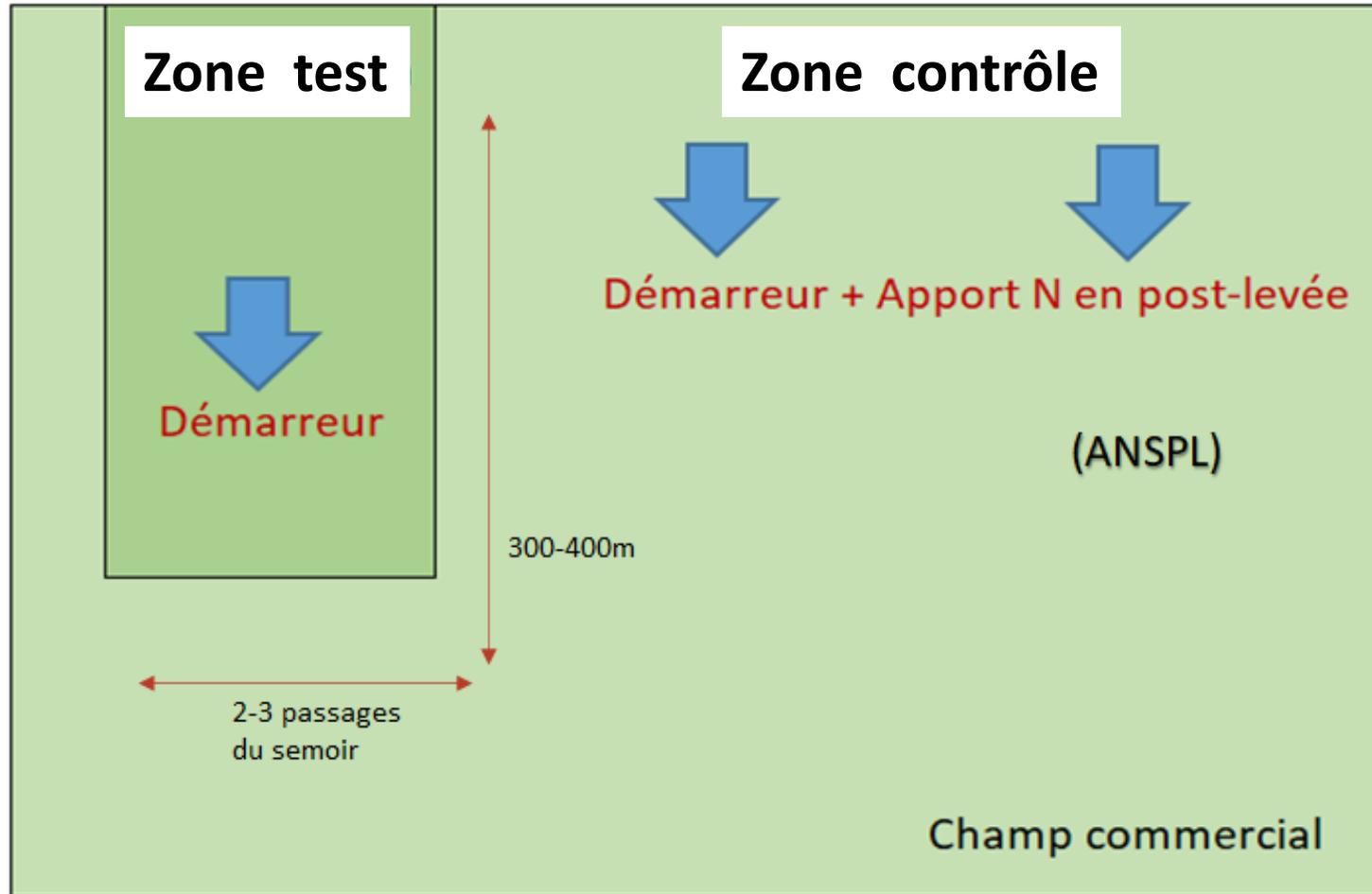
- **Essais à la ferme**

- Ex.: Réseaux sentinelle azote des PGQ
- Être accompagné par conseiller(ère); chercheur (lab vivant)
- Documenter ce qui se passe dans le sol et la plante (ex.: mesures de nitrate à moments clé)
- Répéter les essais plus d'une année !



# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

En attendant les outils prévisionnels...



Rendement relatif:

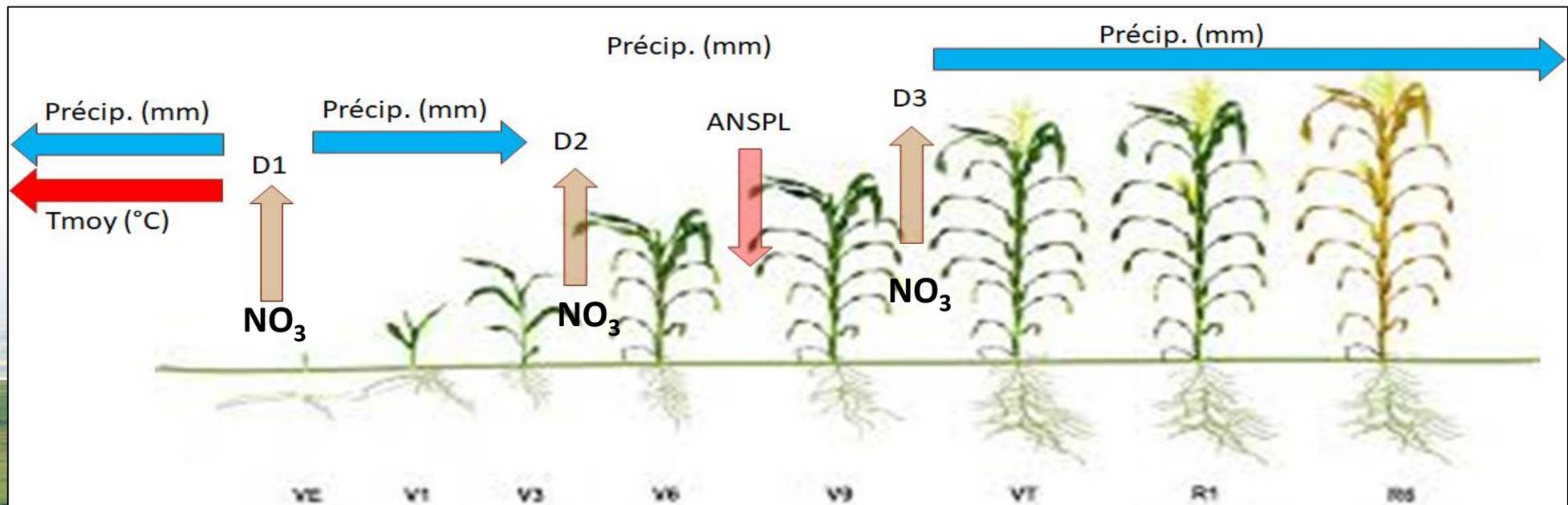
$$\frac{\text{Zone test}}{\text{Zone contrôle}} \times 100$$

# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

En attendant les outils prévisionnels...



- Mesures stratégiques :
  - Mesures de nitrates (sol et tiges) à des moments clé: validation de l'efficacité des pratiques
- Documenter pour utiliser l'intelligence artificielle
  - météo, propriétés de sol, pédopaysage, historique de culture, état de santé du sol,...



# Prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?

---

- Penser à plus long terme
  - Cheminer vers une réduction progressive de la fertilisation
    - ✓ Tester une réduction progressive des doses sur des surfaces limitées
    - ✓ Répéter l'essai quelques années
    - ✓ Trouver « son X » pour chaque culture
    - ✓ Évaluer les plus et les moins en fonction de la rotation complète; pas juste en fonction de l'année suivante...
  - Développer une connaissance du potentiel de nos sols à fournir de l'azote basée sur l'observation
    - ✓ Connaître le flux de minéralisation d'azote au cours du temps
    - ✓ Incubations in situ pour identifier les « moments chauds »
    - ✓ Pour définir les meilleures pratiques et augmenter l'efficacité de l'azote



# Connaître le flux d'azote: minéralisation *in situ*

- Le flux d'azote varie selon le climat et le type de sol
- Où sont les moments « chauds » ?

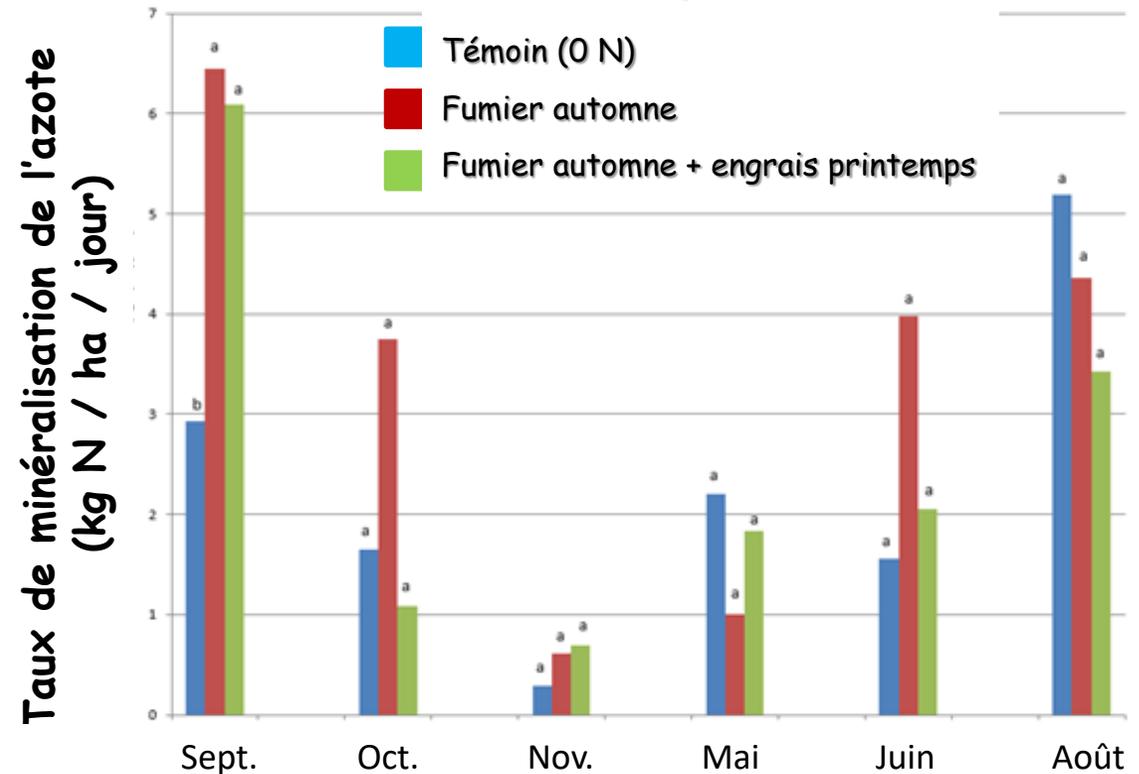
- Mesures de minéralisation *in situ*  
✓ 2016-2018

- Loams sableux/limoneux;  
✓ 3 à 10% MOS

- 50-60% minéralisation annuelle  
entre août et octobre

- ✓ Cult. Couverture

- ✓ Céréales d'automne



Club de gestion des sols du Témiscouata, 2019

# À retenir

---

- La réserve du sol est la principale source d'azote pour vos cultures
- Nourrir le sol et en augmenter le taux de matière organique améliore la capacité du sol à fournir de l'azote
- L'état de santé d'un sol devrait être connue avant d'envisager l'adoption de bonnes pratiques de gestion de l'azote
  - Les bénéfices obtenus de ces pratiques seront proportionnels au niveau de santé initial...
  - Régler d'abord les problèmes sous-jacents comme la compaction
- À court et moyen terme, les essais « accompagnés » à la ferme sont une approche intéressante pour améliorer l'efficacité des apports d'azote
  - Se concerter pour créer une base de données massive et bénéficier de l'IA serait souhaitable pour développer des outils prédictifs pour la province





Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada



# Questions