



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Matière organique et capacité du sol à fournir l'azote

Comprendre les mécanismes pour mieux produire

Martin Chantigny, PhD

Centre de recherche et de développement de Québec

Canada

Plan

- Matière organique du sol (MOS)
 - Rôles de la MOS
 - Mise à jour des connaissances: formation et stabilisation de la MOS
 - Comment l'augmenter ? Est-ce toujours possible ?
- Sol et fourniture d'azote
 - Mise à jour des connaissances: mécanismes d'accumulation et de fourniture de l'azote du sol
 - Bien prédire la fourniture d'azote du sol - est-ce possible ?
 - D'une approche comptable à une approche holistique



Rôles de la MOS: Nourrir les cultures et les org. du sol

- Source principale d'azote 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

Fertilisation
(70-200 kg N / ha / an)

10-50 %

Réserve du sol
(0-30 cm)

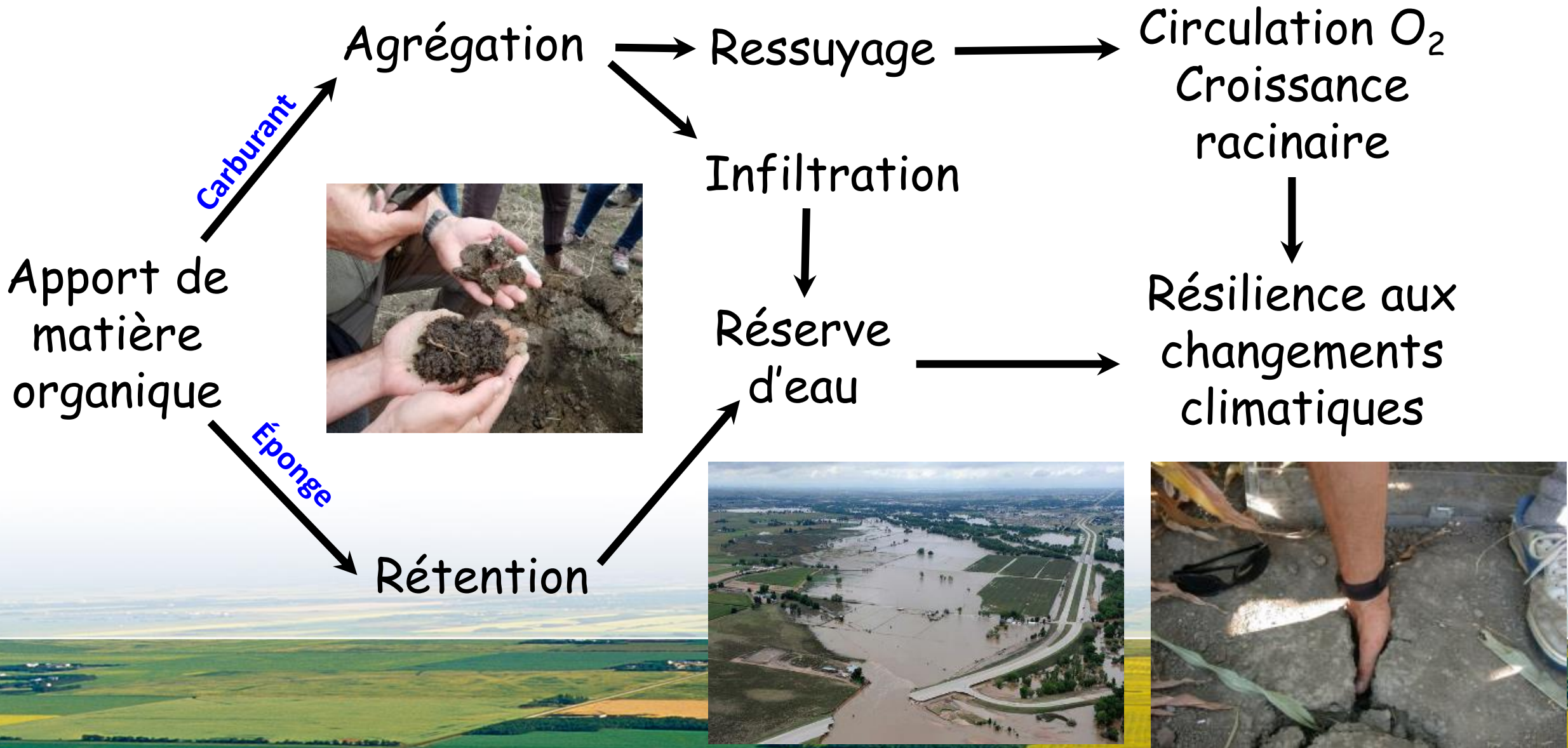
- 4 à 8 t N / ha
- 60 à 100 t C / ha

50-90 %

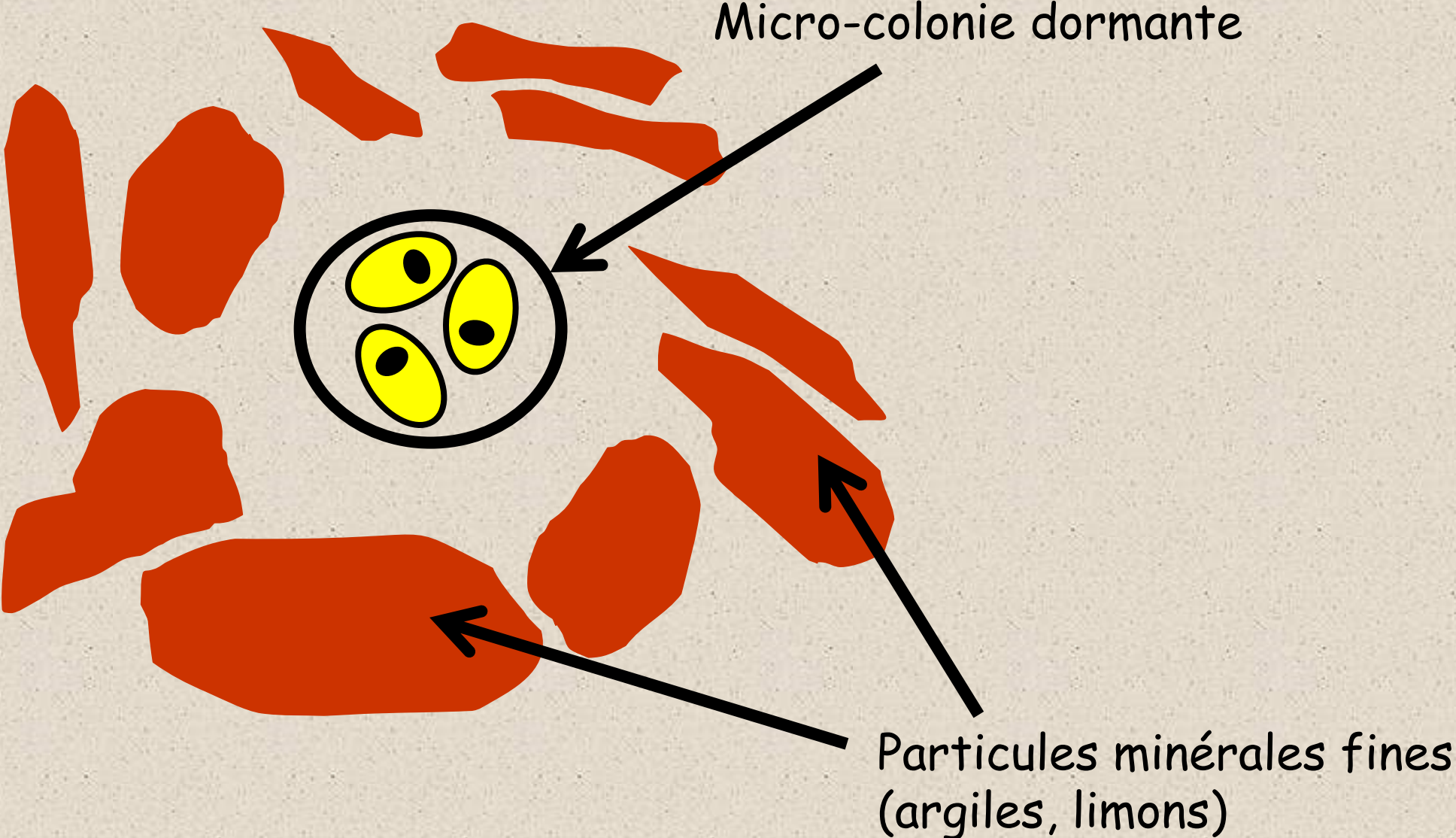


- 1 à 3% de la réserve est minéralisé annuellement:
✓ 40-240 kg N ha⁻¹ an⁻¹

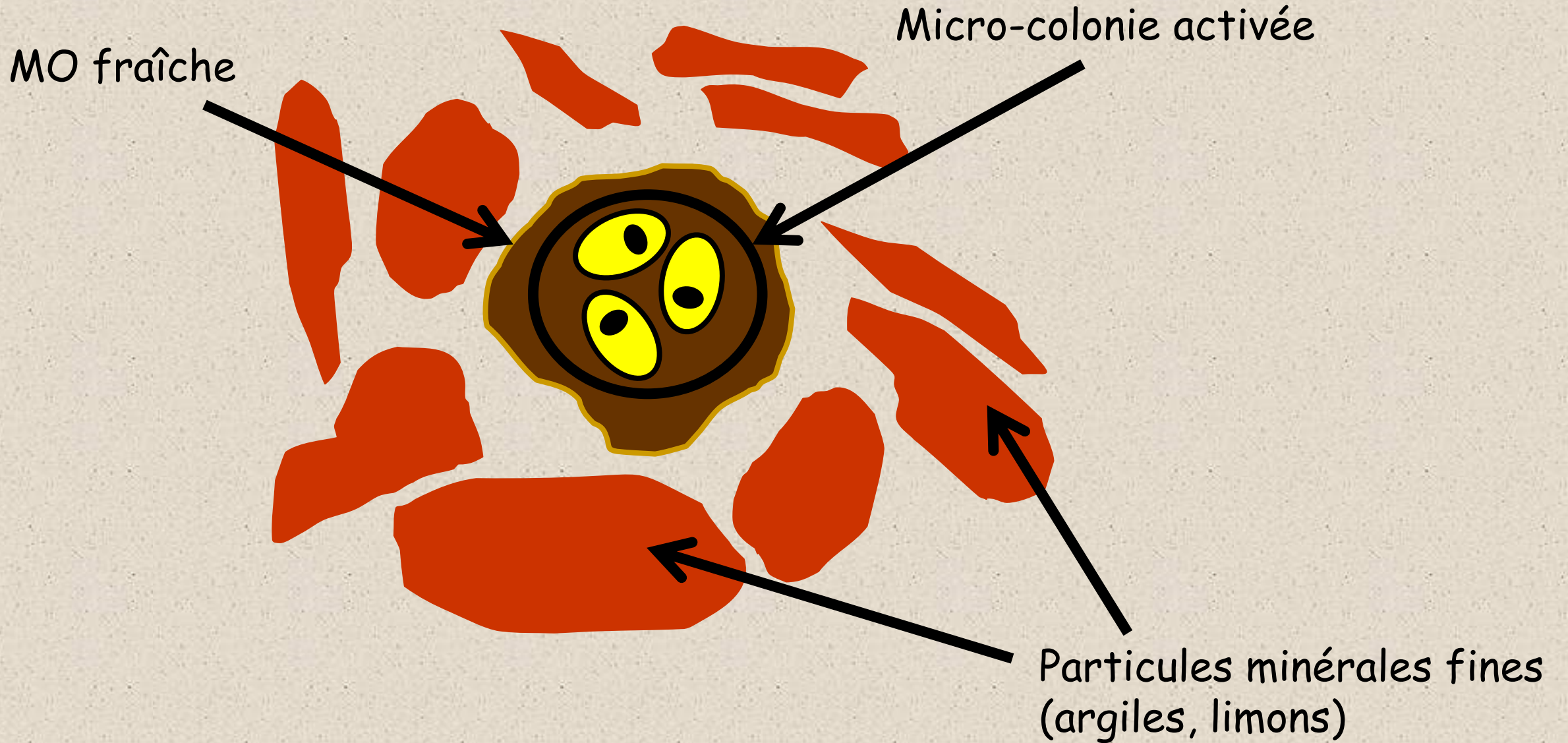
Rôles de la MOS: permettre à l'eau et l'air de circuler



Processus d'agrégation

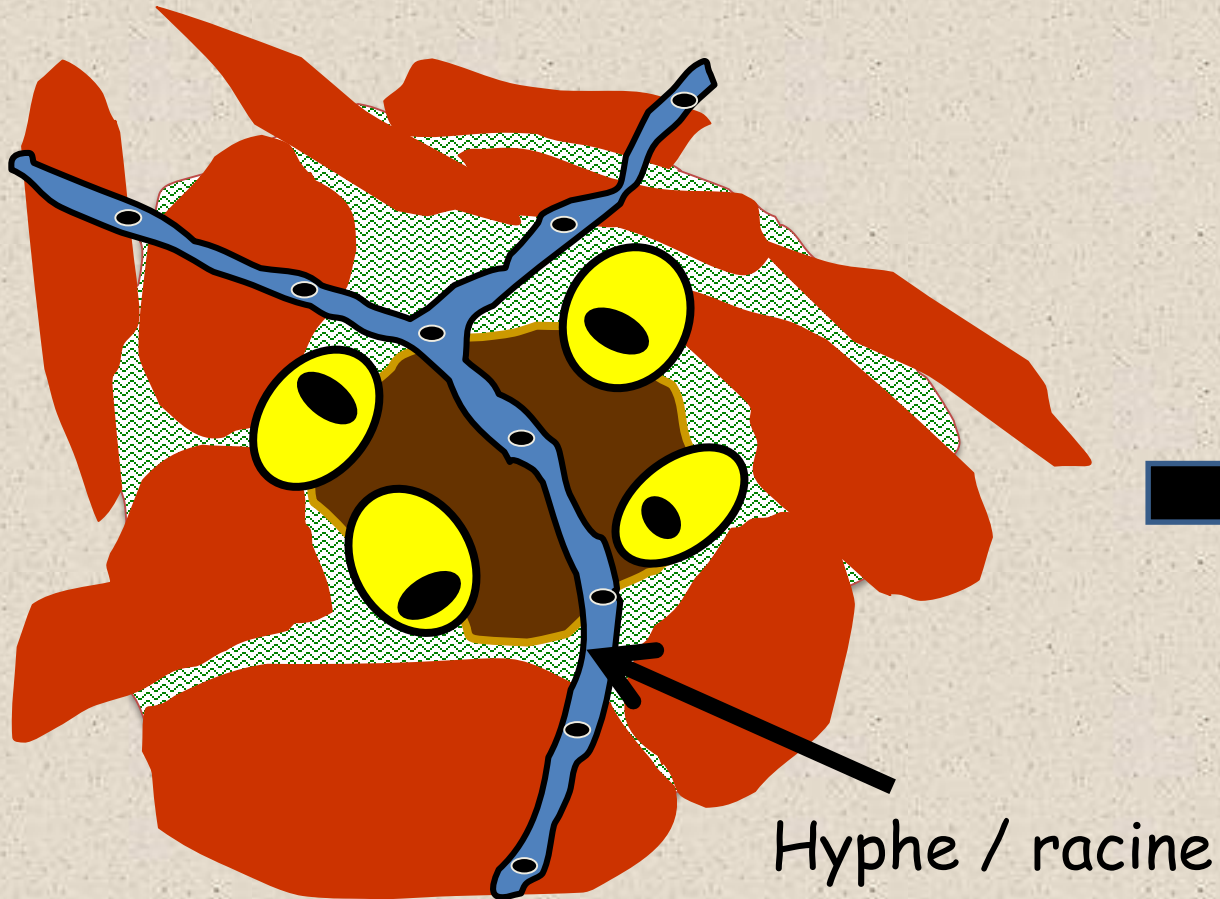


Processus d'agrégation - apport de MO



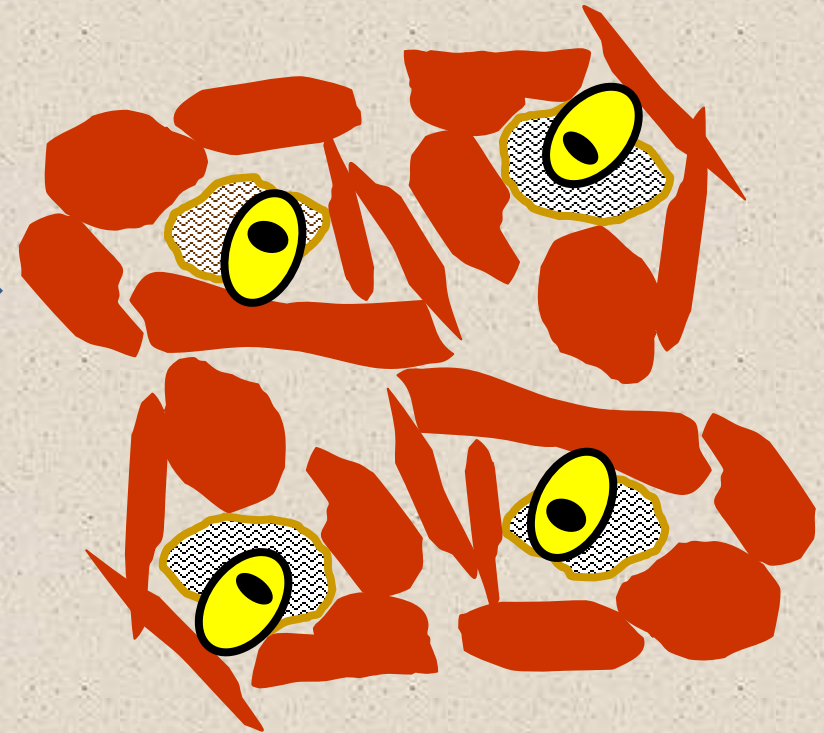
Processus d'agrégation

Macroagrégats (> 0,25 mm)



Microagrégats (< 0,25 mm)

- Macroagrégats se fragmentent
- MO riche en produits microbiens
- MO protégée par les minéraux fins : « stable »



Agrégation - Résidus de récolte



Formation d'agrégats - décomposition résidus

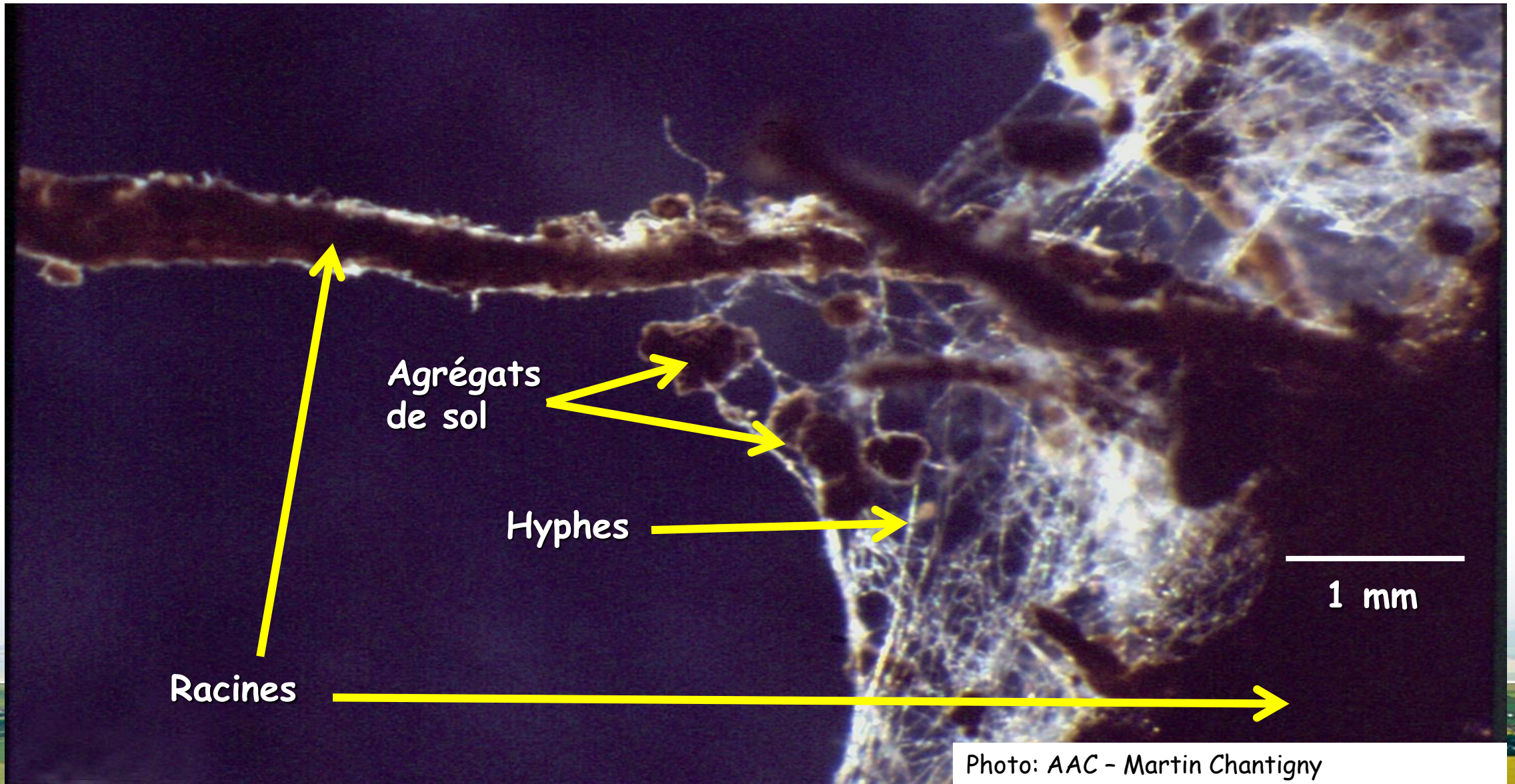


a

0.1 mm

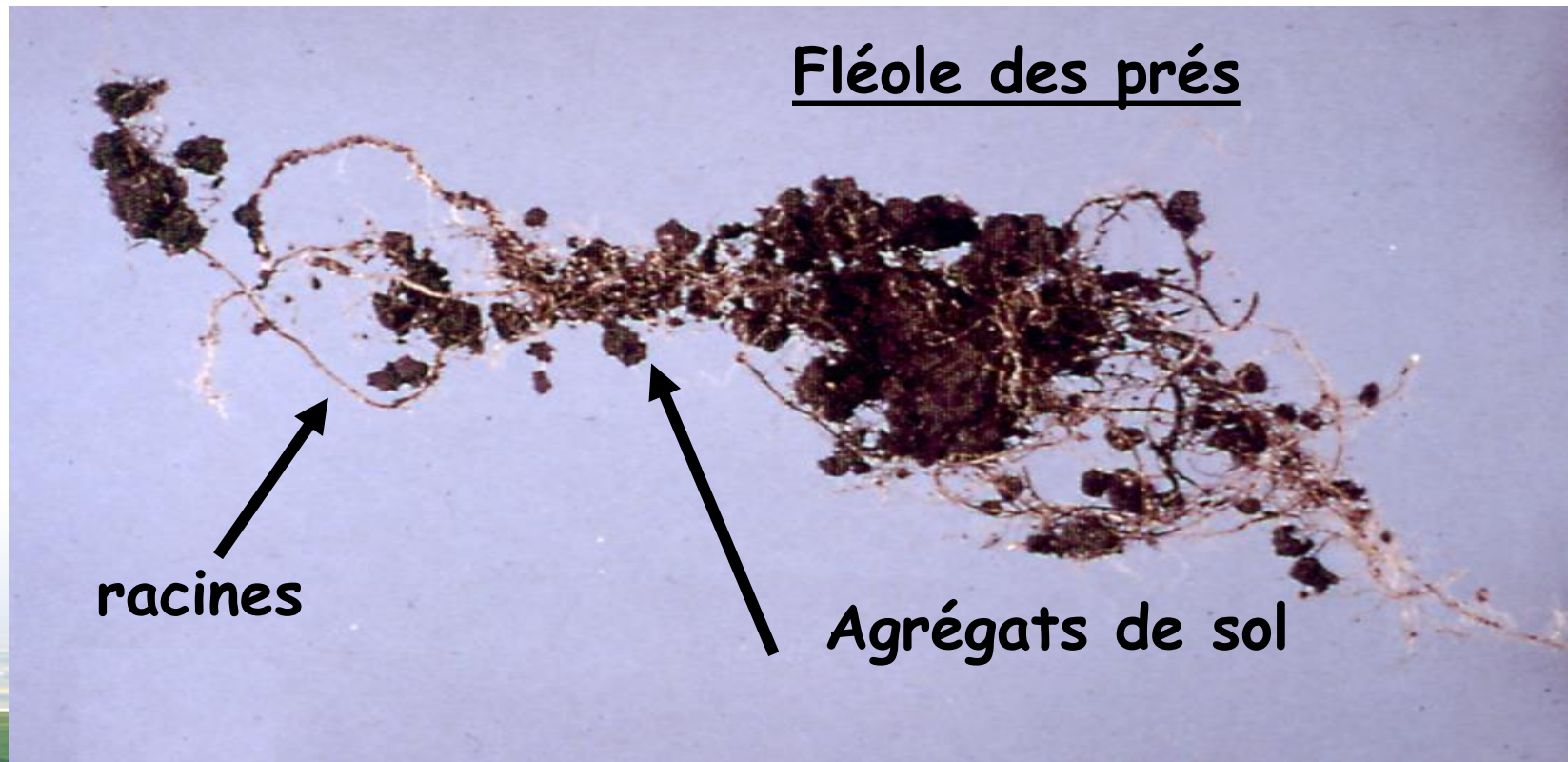
Angers et Chenu, 1997

Formation d'agrégats - rôle des champignons

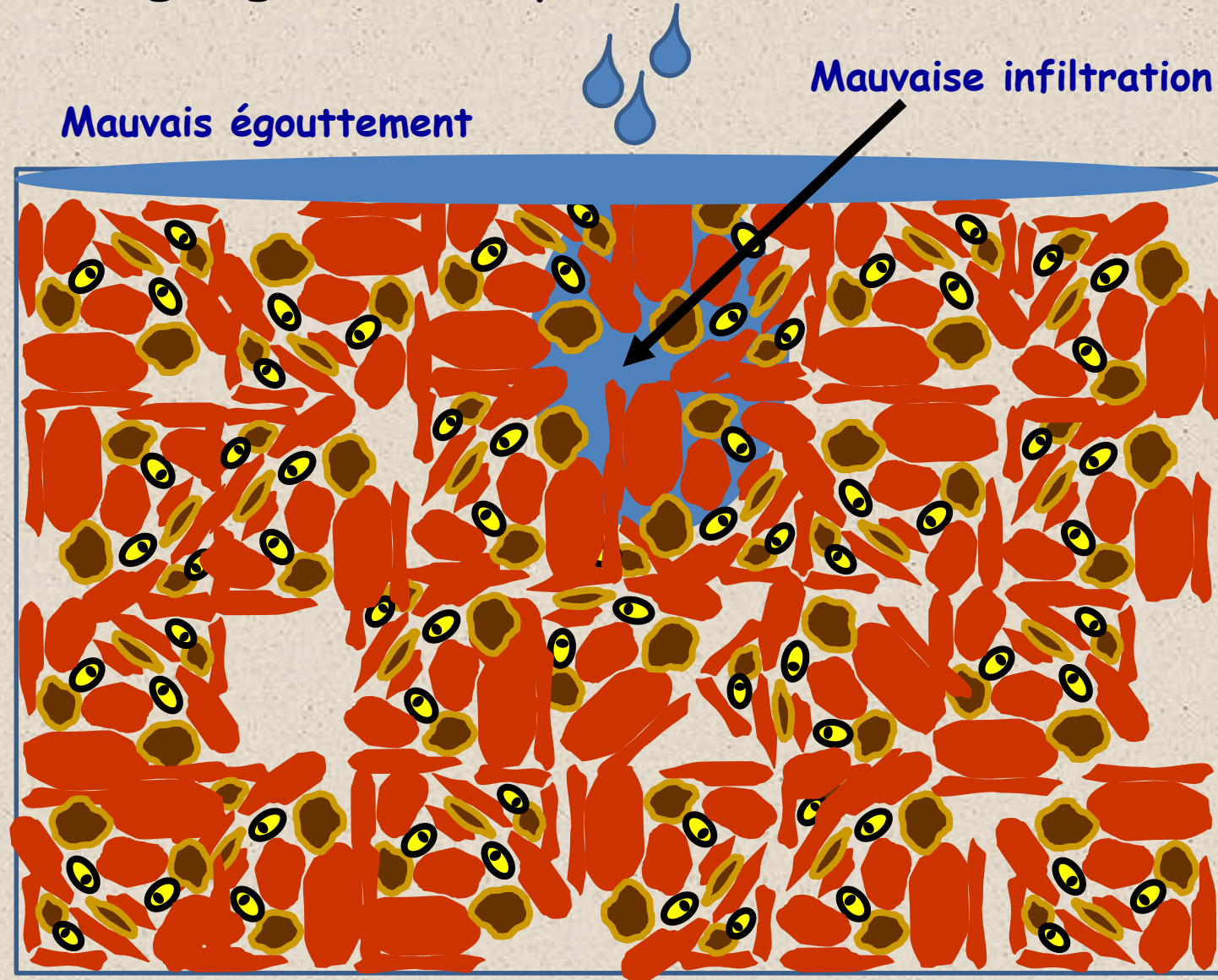


Formation d'agrégats - rôle des racines

- ✓ Racines stimulent activité microbienne = agrégats
- ✓ Fines racines consolident les agrégats



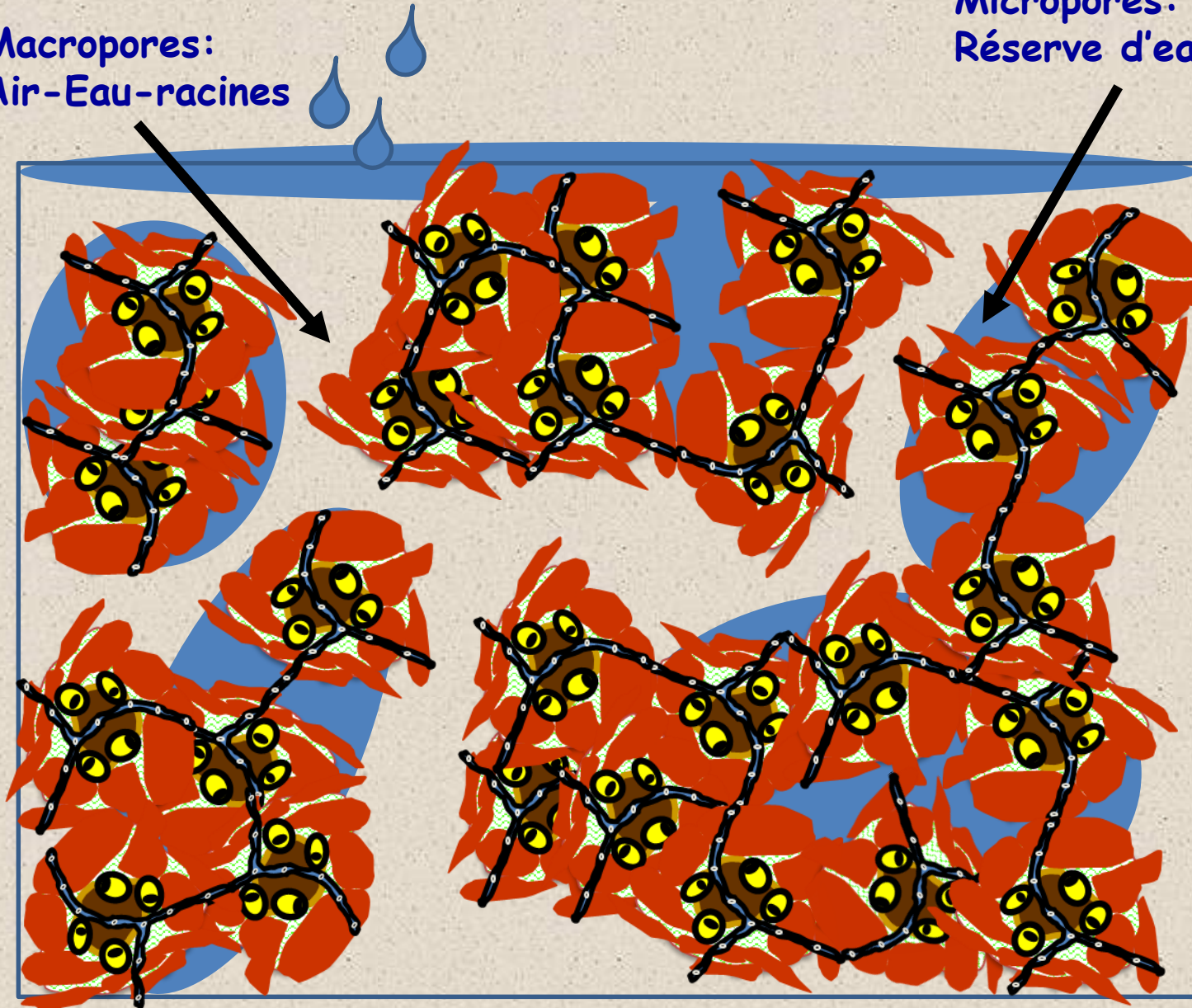
Sol non agrégé ou compacté



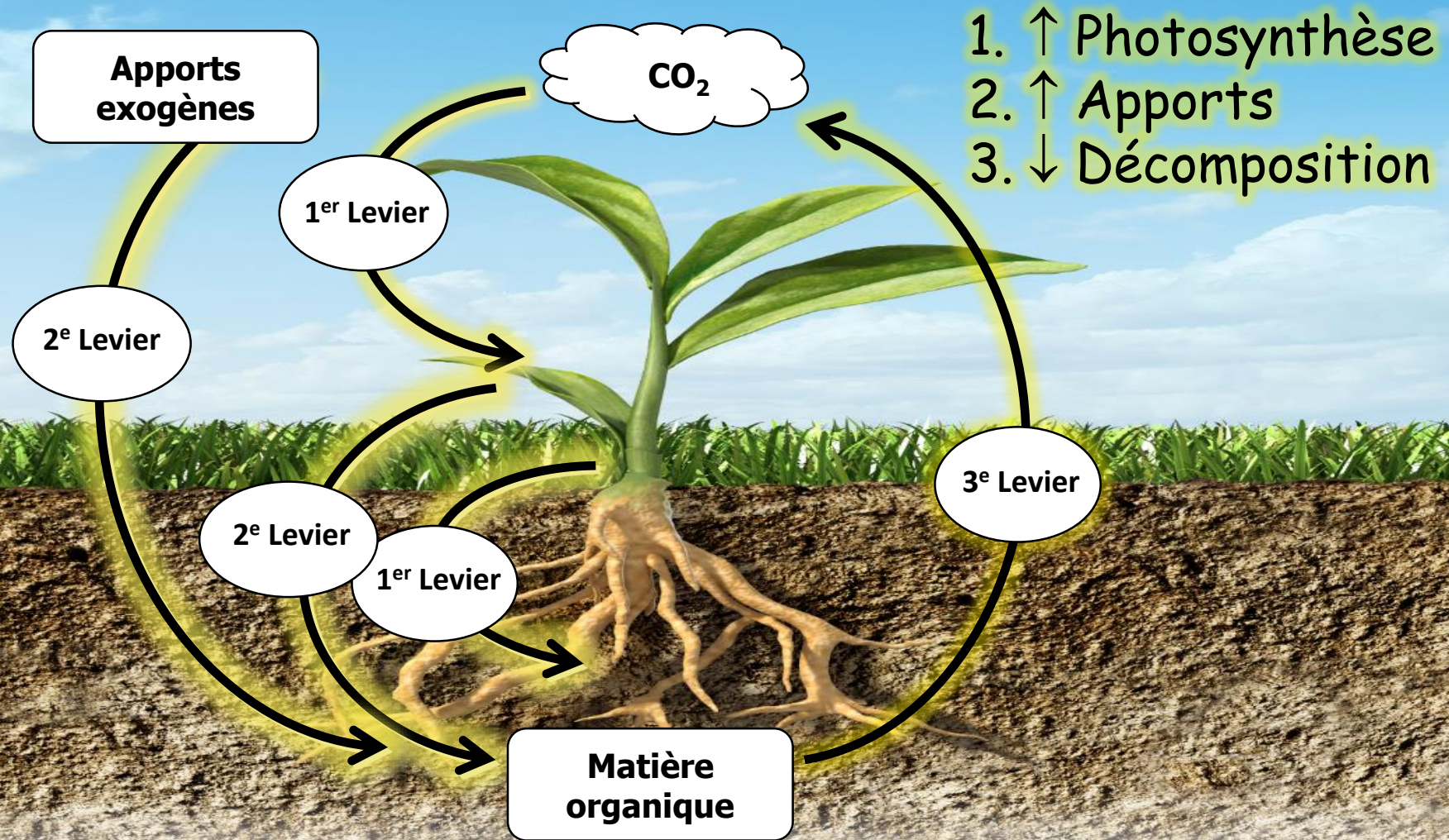
Sol agrégé (structuré)

Macropores:
Air-Eau-racines

Micropores:
Réserve d'eau utile

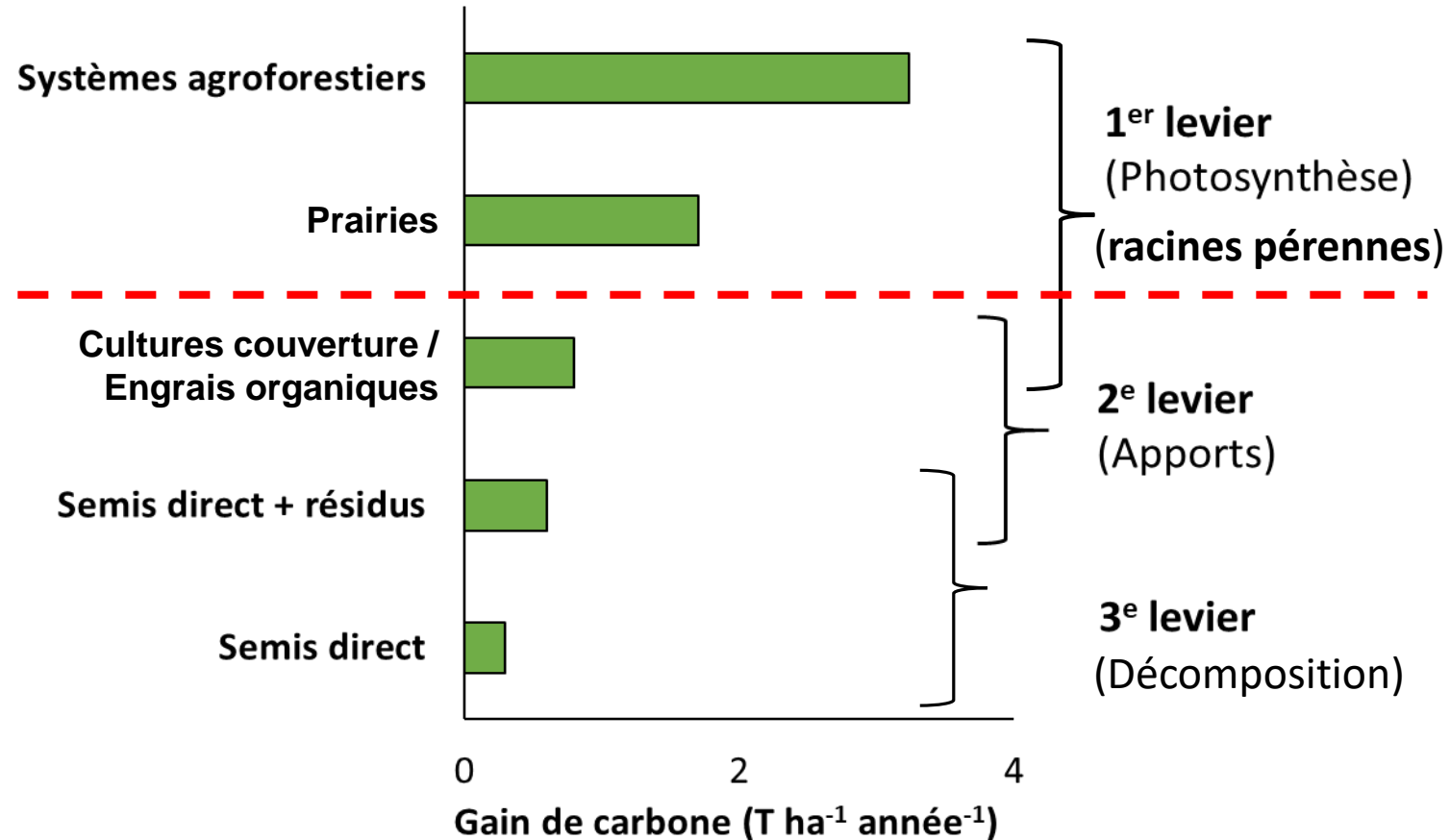


Comment augmenter la MO du sol ? Trois leviers possibles



Augmenter la MO du sol:

Les pratiques bénéfiques ne sont pas toutes égales !



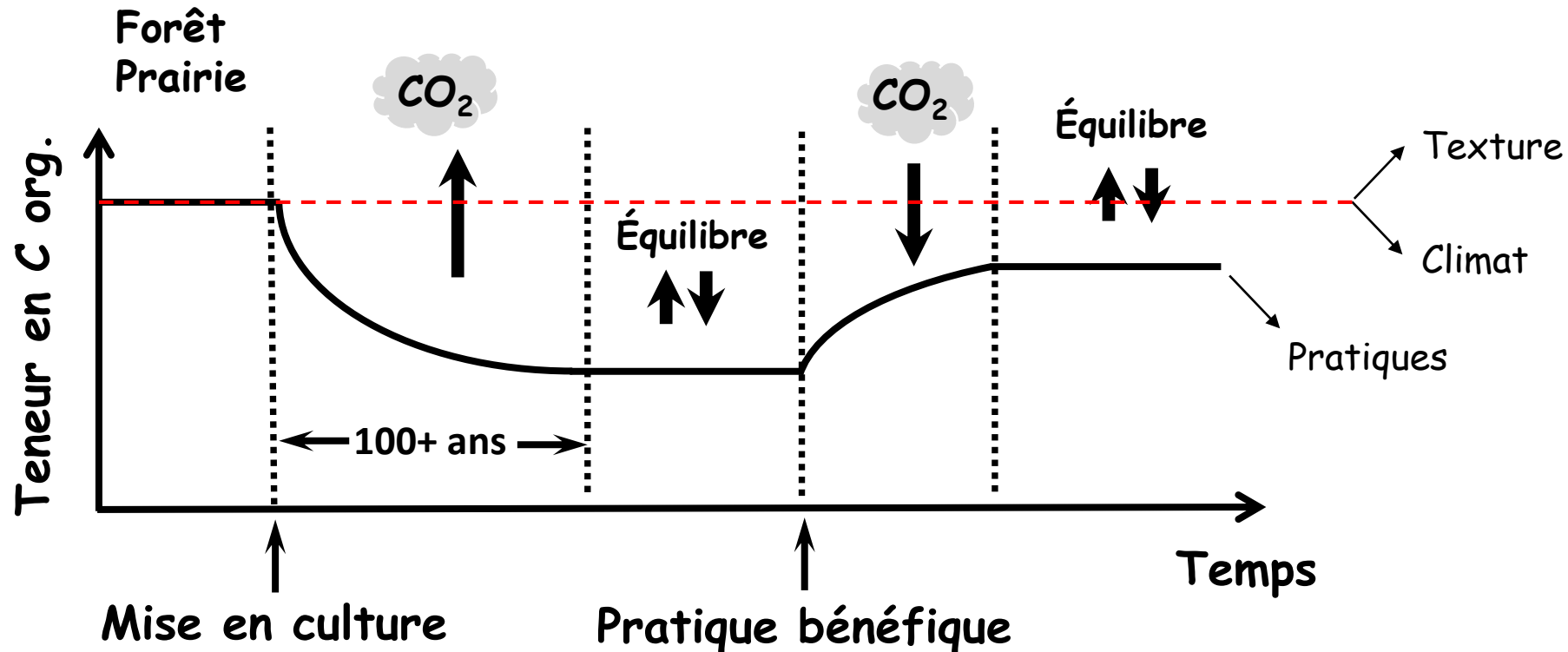
Adapté de Toensmeier, 2016

Vous avez dit "séquestrer du carbone" ?

- Malgré mes bonnes pratiques, ma matière organique n'augmente pas (continue de diminuer) !
 - Pour savoir où on va, faut savoir d'où on vient
 - L'évolution du taux de MOS dépend aussi des pratiques passées (**MOS héritée**)

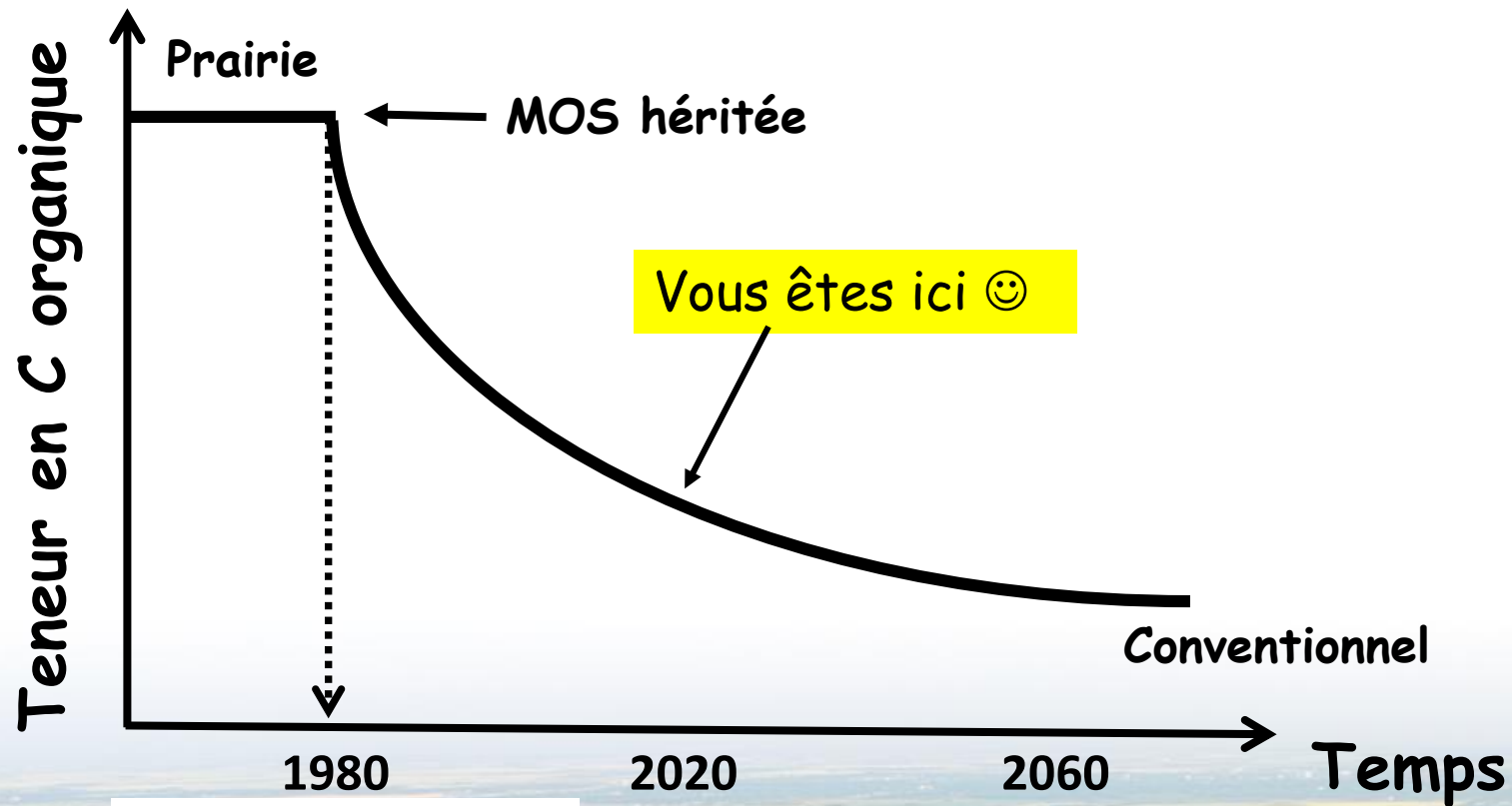
Vous avez dit "séquestrer du carbone" ?

Explication générale des flux de carbone (MO) dans le sol



Vous avez dit "séquestrer du carbone" ?

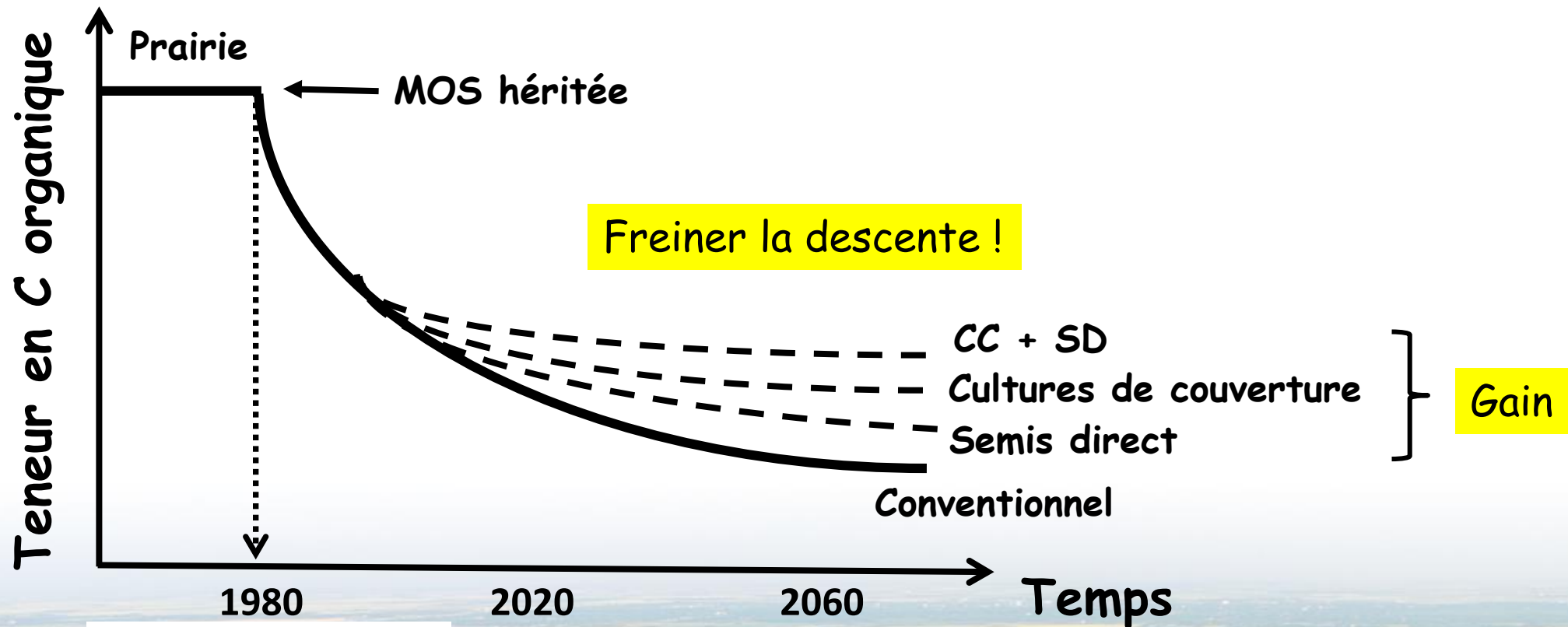
Explication spécifique des flux de carbone (MO) dans le sol – Québec



Mise en cultures
annuelles

Vous avez dit "séquestrer du carbone" ?

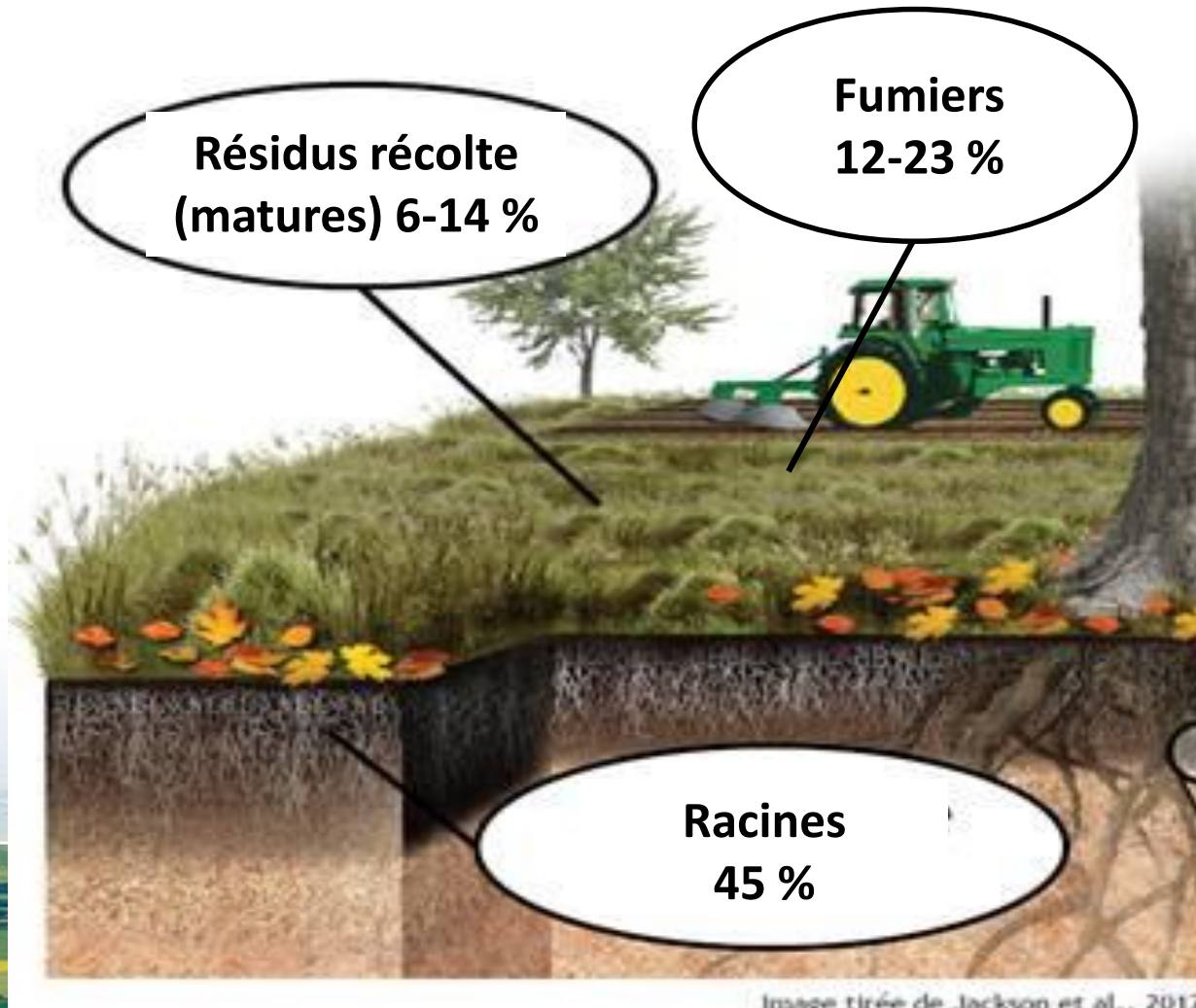
Explication spécifique des flux de carbone (MO) dans le sol – Québec



Mise en cultures annuelles

Tous les résidus contribuent à la formation de MOS mais...

- Le taux de rétention du carbone dépend du type de résidu !

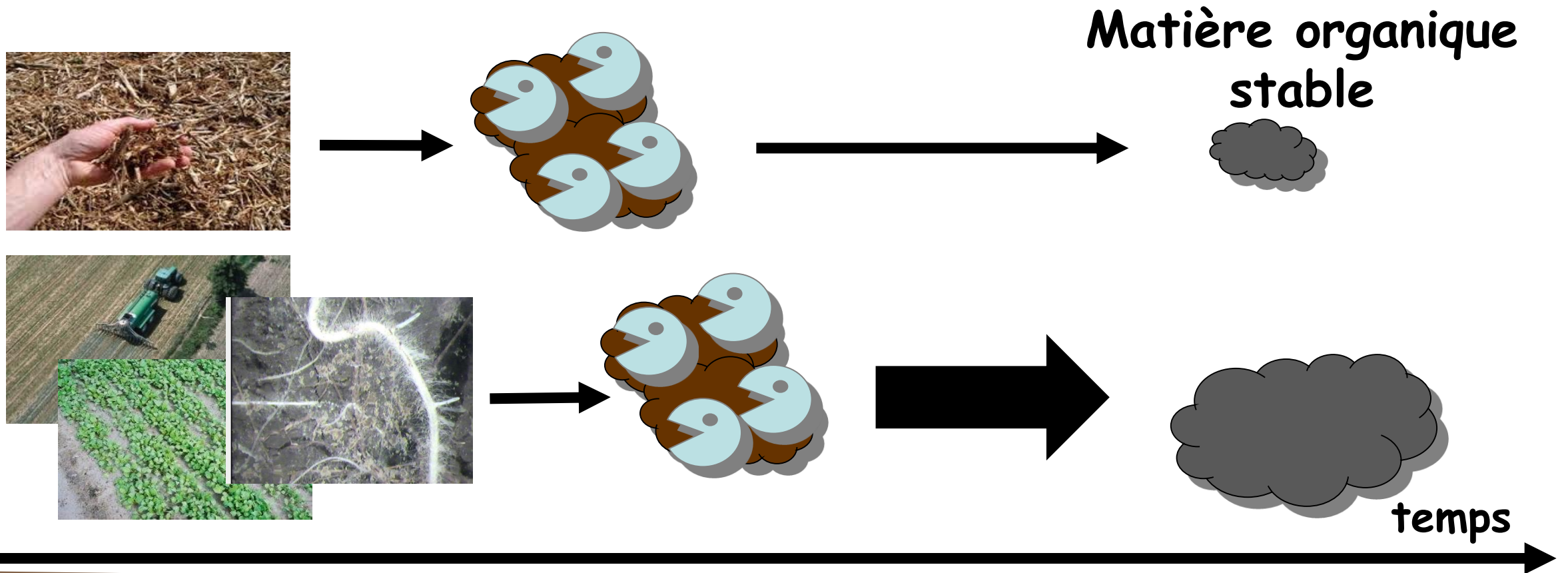


ANNUAL REVIEWS
Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics
The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls
Robert B. Jackson,^{1,2,3} Kate Lajtha,⁴ Susan E. Crow,⁵ Gustaf Hugelius,^{1,6} Marc G. Kramer,⁷ and Gervasio Piñeiro^{8,9}

Global Change Biology
Global Change Biology (2014) 20, 666–679, doi: 10.1111/gcb.12438
Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis
ÉMILIE MAILLARD*† and DENIS A. ANGERS*

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

Tous les résidus contribuent à la formation de MOS mais...



Composés microbiens

Composés végétaux

Réserve d'azote du sol - formes, sols minéraux

Minéral (NH_4^+ et NO_3^-)
(1-5%)

Fixé dans les argiles 2:1
(Chlorite; vermiculite)

NH_4^+
fixé
(0-20%)

Organique
(75-99%)

L'azote est surtout organique

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



SOL: accumulation et fourniture d'azote

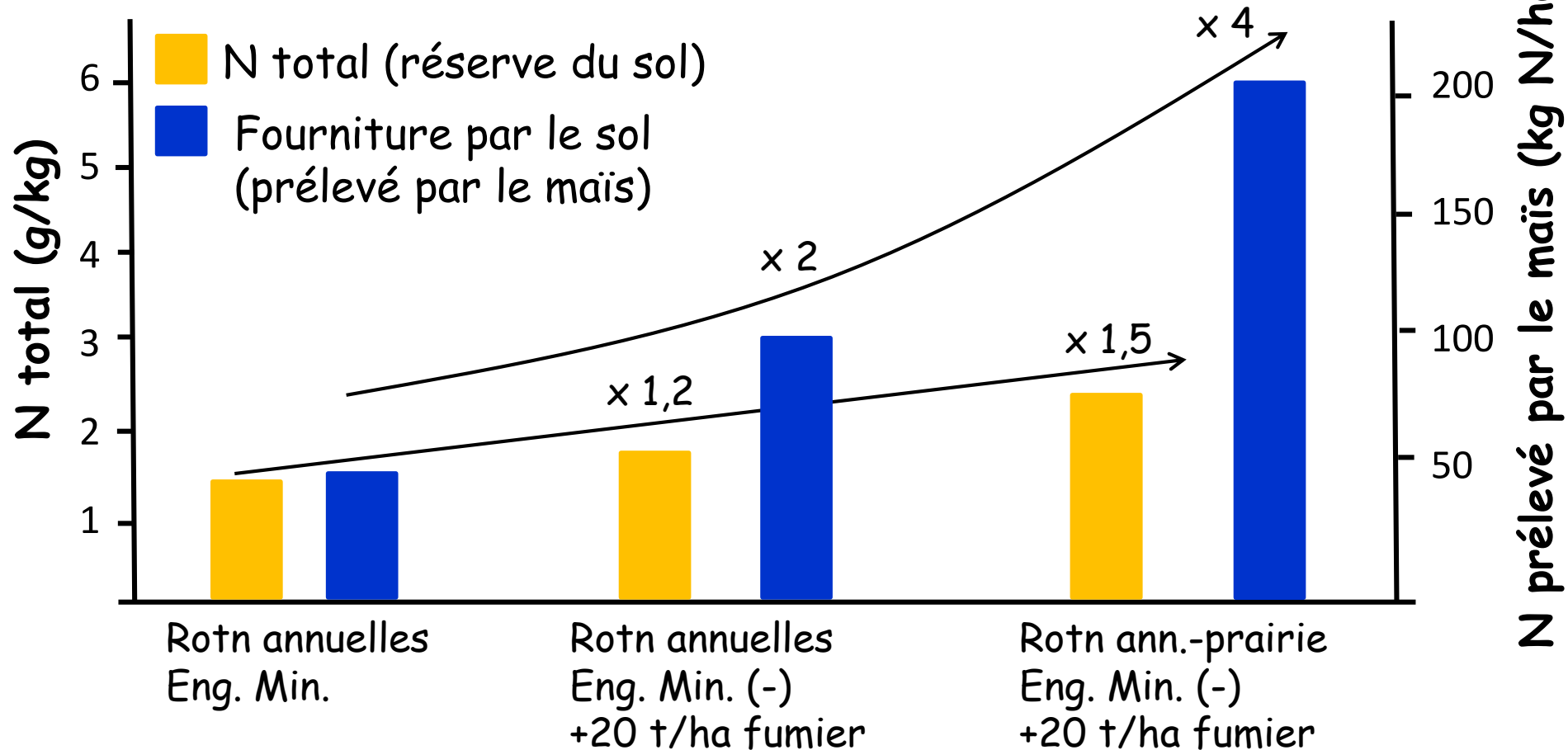


Long-Term Manure Application and Forages Reduce Nitrogen Fertilizer Requirements of Silage Corn–Cereal Cropping Systems

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

Agronomy Journal 102:1244-1250 (2010)

Bilan après 25 ans de pratique :

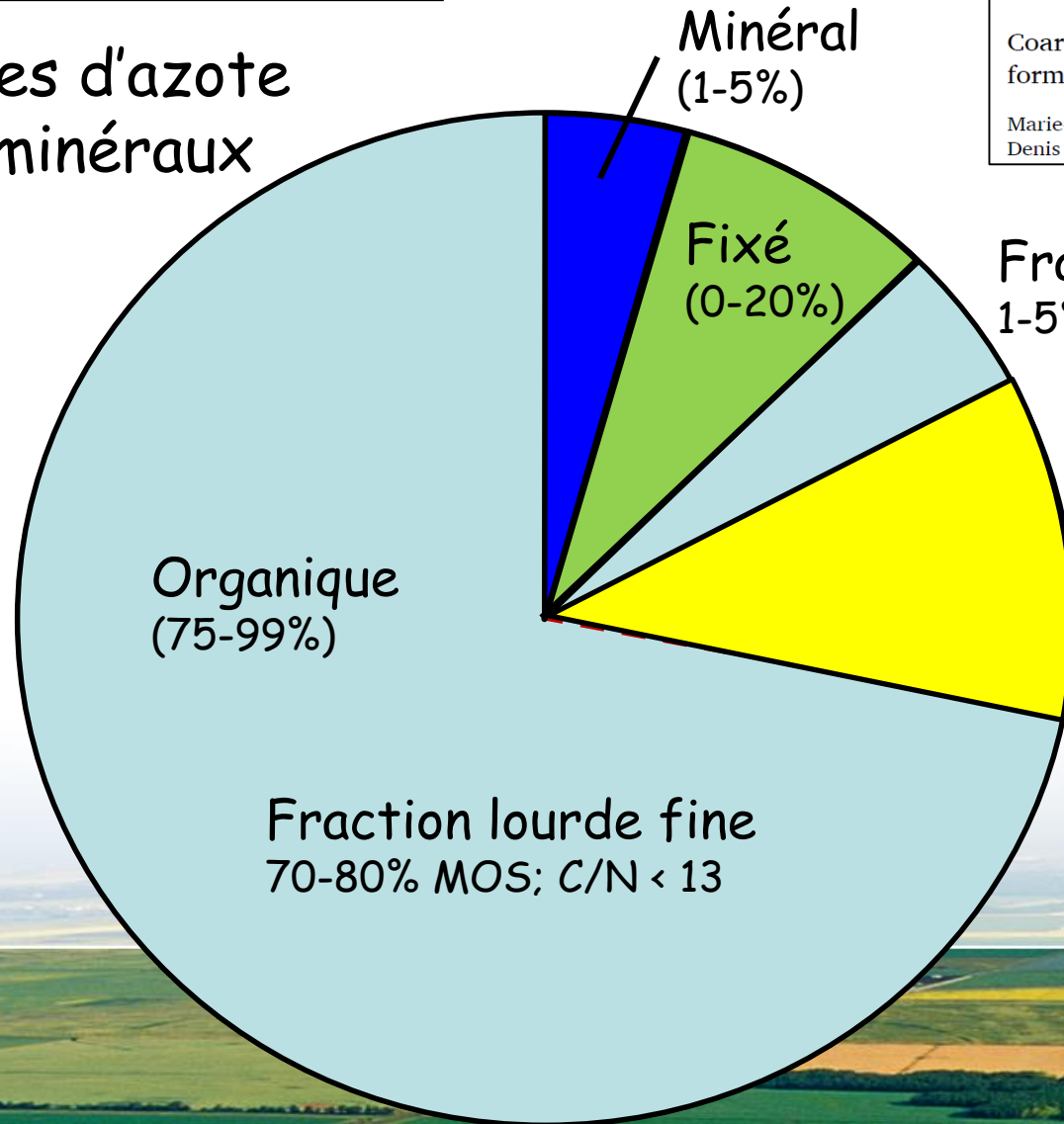


Carbon accumulates in organo-mineral complexes after long-term liquid dairy manure application

Émilie Maillard^{a,b}, Denis A. Angers^{a,*}, Martin Chantigny^a, Shabtai Bittman^c, Philippe Rochette^a, Gabriel Lévesque^a, Derek Hunt^c, Léon-Étienne Parent^b

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

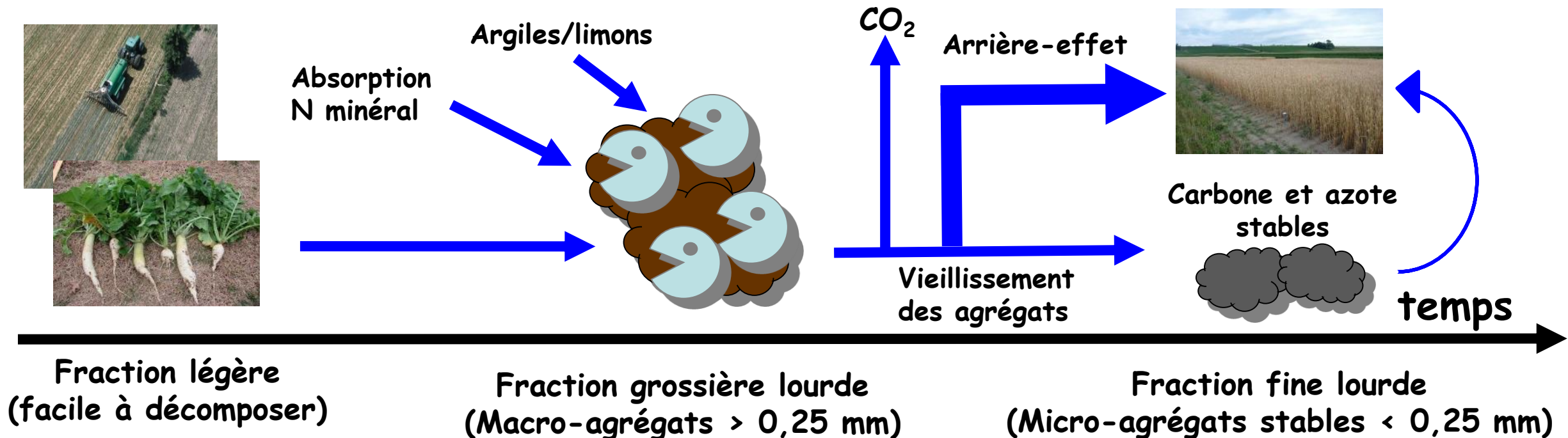
Marie-Élise Samson^{a,b,c}, Martin H. Chantigny^{b,*}, Anne Vanasse^a, Safya Menasseri-Aubry^c, Denis A. Angers^b

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

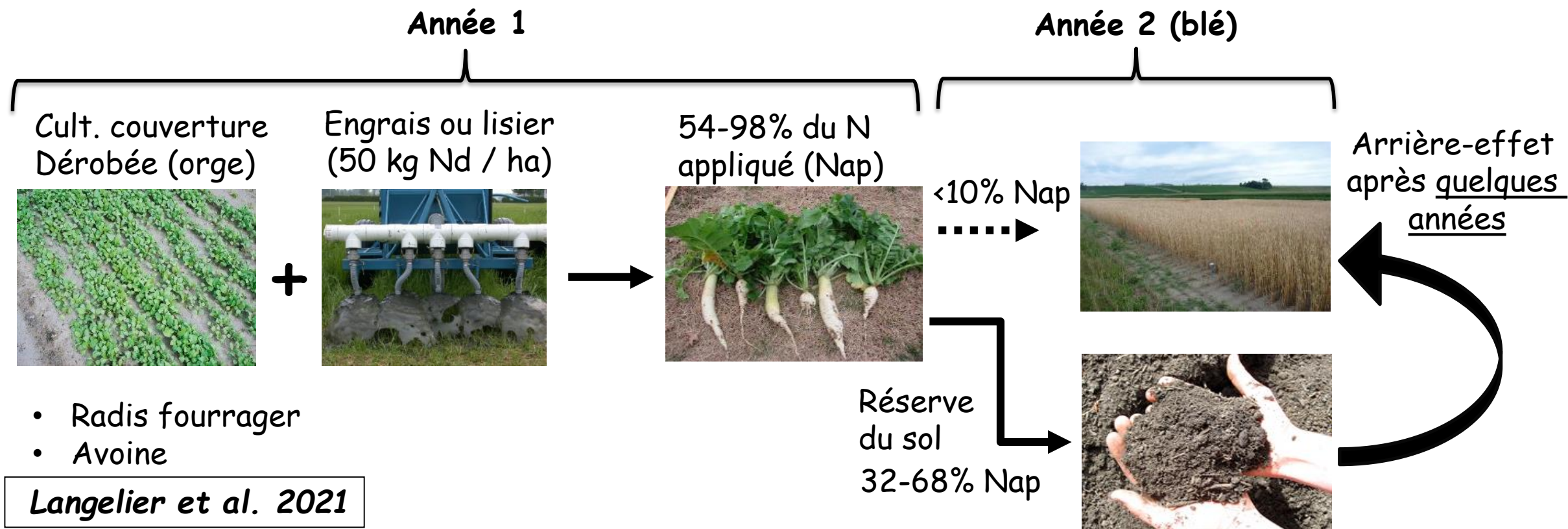
- Accumulation préférentielle du C et N des fumiers dans la « fraction lourde grossière »
- Cet azote est-il plus « disponible » ?

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 mais évaluer sur l'ensemble d'une rotation

Les sols sableux (< 15-20% d'argile) - un défi particulier

- Il manque d'argile !
 - Pas assez d'argile = faible protection physique de la MOS
 - Les limons peuvent aider, mais...
 - MOS plus facile à décomposer et plus difficile à accumuler
 - Réserve d'azote moindre et plus vulnérable
 - Ça se complique avec les changements climatiques
 - Plus chaud : la MOS se décompose plus vite
 - Morale:
 - Tout faire pour protéger/augmenter la MOS c'est la meilleure police d'assurance pour maintenir une bonne fertilité pour l'avenir

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

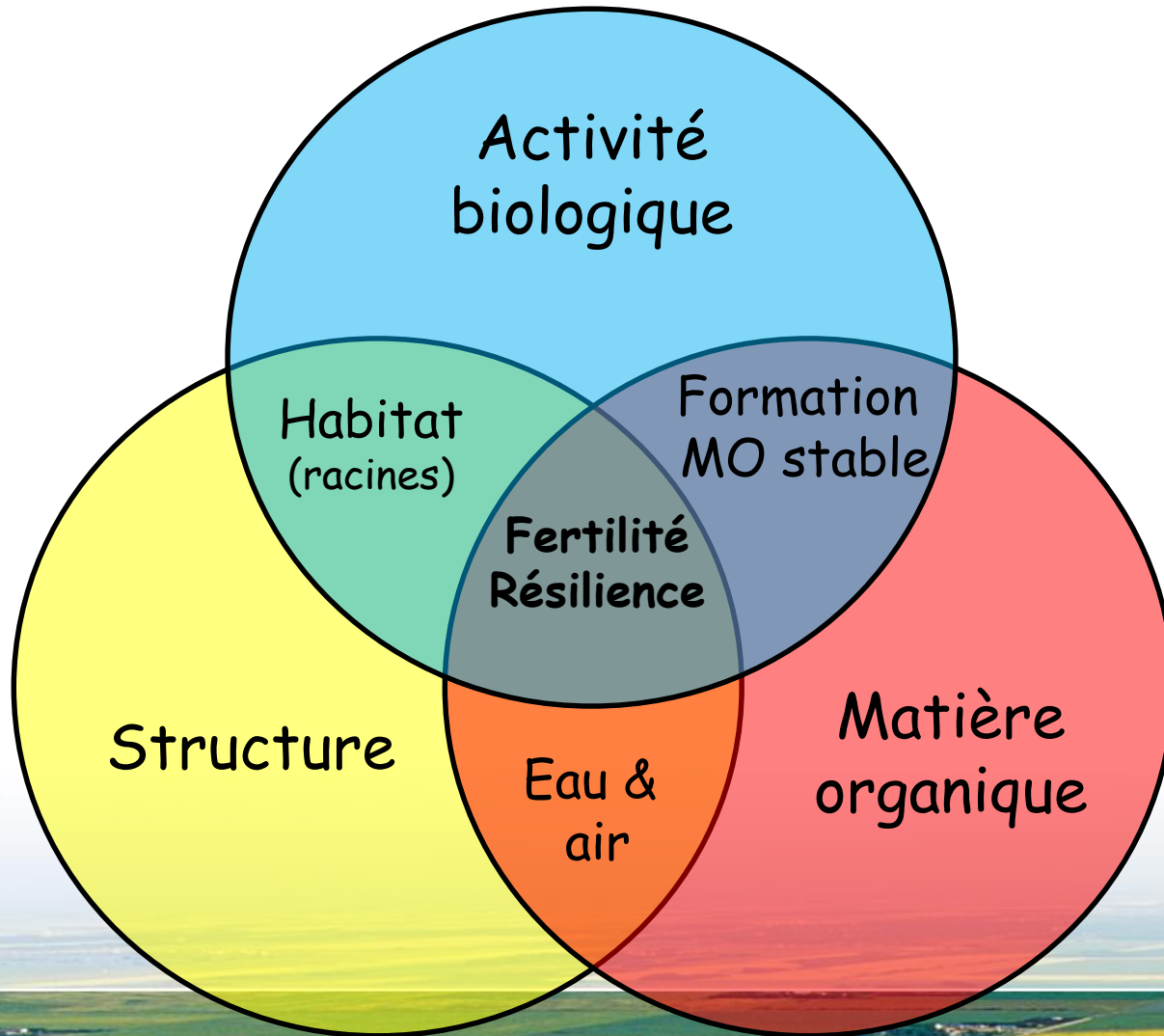
- Beaucoup d'emphasis sur fourniture saisonnière (approche comptable)
 - Variabilité météo interannuelle
 - Développement racinaire (gel tardif, sécheresse);
 - Synchronisme entre minéralisation et prélèvement
- Prédiction de la fourniture d'azote par le sol
 - Pas de test/outil applicable de façon élargie pour prédire la fourniture annuelle d'azote
 - La recherche et développement se poursuivent... IA



Fourniture d'azote du sol - Recadrer notre vision

- Dépasser l'approche comptable des unités d'azote
 - Ça ne marche pas dès qu'on utilise des engrais organique !
- 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; mixité de systèmes racinaires
 - 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.
- Augmenter la MO et une bonne gestion de l'azote auront des bénéfices limités sur des sols compactés.
- Prenez le temps d'évaluer l'état structurel des sols

Fourniture d'azote du sol - Recadrer notre vision

- 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 la culture suivante...



Fourniture d'azote du sol - Recadrer notre vision

En attendant les outils prévisionnels...



- **Essais à la ferme**

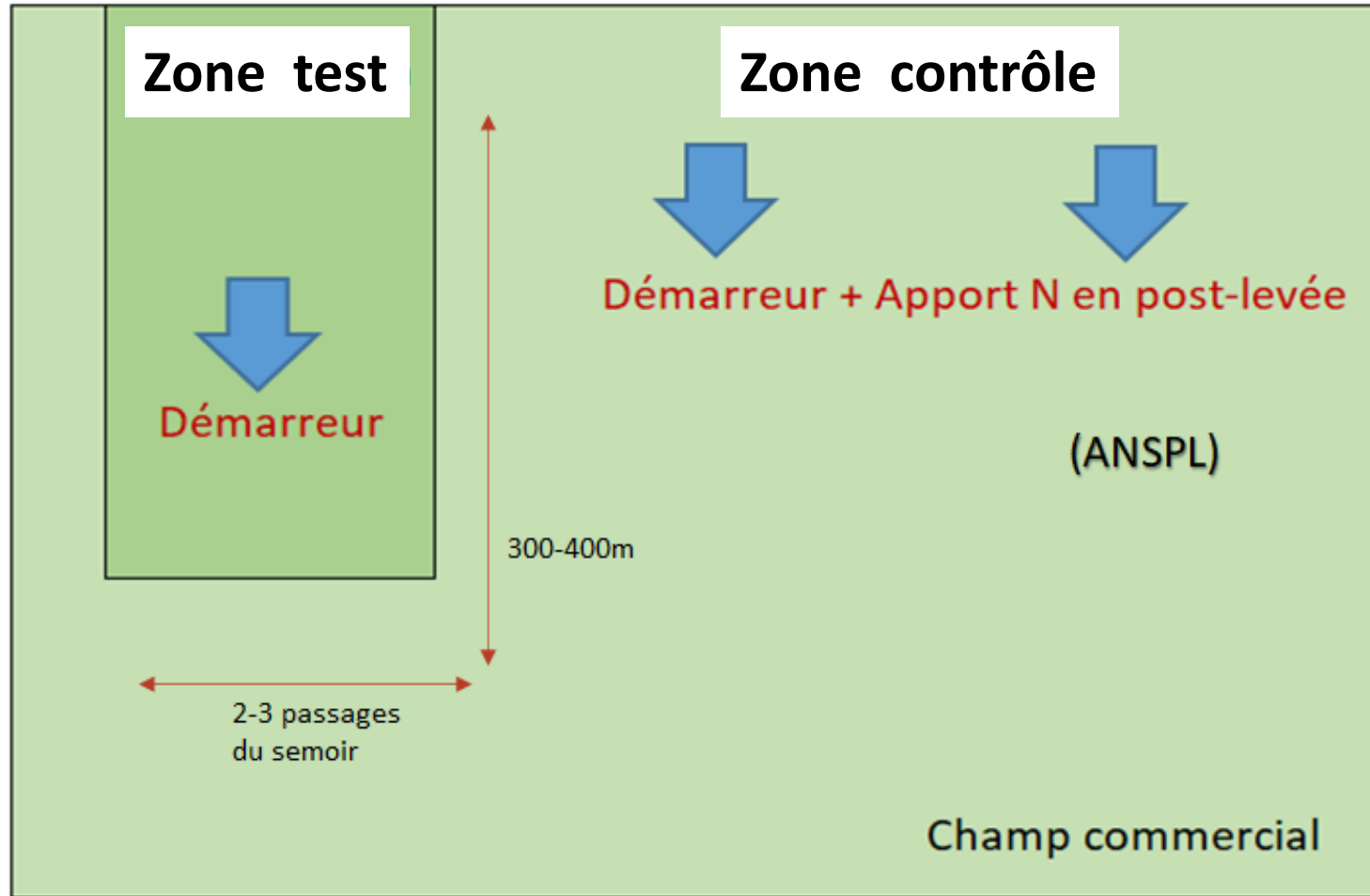
- Ex.: Réseaux sentinelle azote des PGQ
- Être accompagné par conseiller(ère); chercheur (lab vivant)
- Documenter ce qui se passe dans le sol et la plante (croissance, tests NO_3); données pédoclimatiques; historique de culture; etc... Intelligence artificielle
- Répéter les essais plus d'une année !

The image shows the cover of a report. The left side features a black and white photograph of a cornfield. The right side is a solid yellow background with white text. The title 'RÉSEAU SENTINELLE AZOTE RÉSULTATS DES ESSAIS DE 2018 ET 2019' is written in large, bold, white capital letters. Below the title, there is a paragraph of smaller text: 'Projet financé par les Producteurs de grains du Québec et réalisé en collaboration avec le CÉROM, des producteurs et des clubs-conseils en agroenvironnement'. At the bottom of the yellow section, it says 'Résultats compilés par le CÉROM et présentés par : Samara Driessen, agr. Professionnelle de recherche au CÉROM'. In the bottom left corner of the image, there is a small logo for 'PRODUCTEURS DE GRAINS DU QUÉBEC'. On the far right edge, there is a vertical white bar with the text 'MARS 2020' written vertically.

MARS 2020

Fourniture d'azote du sol - Recadrer notre vision

En attendant les outils prévisionnels...



Rendement relatif:

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

Fourniture d'azote du sol - Recadrer notre vision

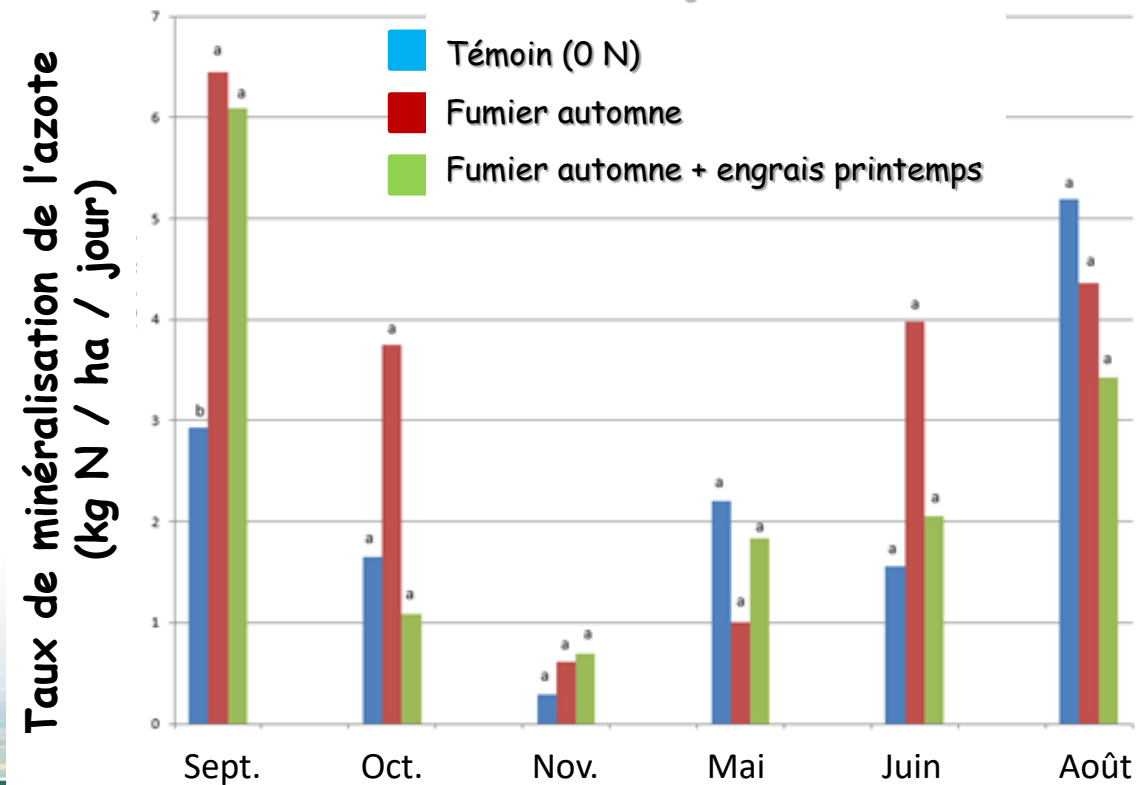
- Penser à plus long terme
 - Développer une connaissance du potentiel de nos sols à fournir de l'azote basée sur l'observation
 - ✓ Connaître son flux de minéralisation au cours du temps
 - ✓ Incubations *in situ* pour identifier les « moments chauds »
 - ✓ Pour ajuster les pratiques et augmenter l'efficacité de récupération de l'azote



Connaître son flux d'azote: minéralisation *in situ*

- Quantité et synchronisme
- Le flux d'azote varie selon le climat et le type de sol

- 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



Les champignons sont des alliés !

- En général (décomposeurs et mycorhizes)
 - Stabilisation des agrégats
 - Produits microbiens propices à la formation de MO stable et riche en azote
 - Augmentent le cyclage/acquisition des nutriments
 - Améliore l'approvisionnement des cultures en eau
- N'aiment pas le travail du sol !
 - Détruit leur hyphes

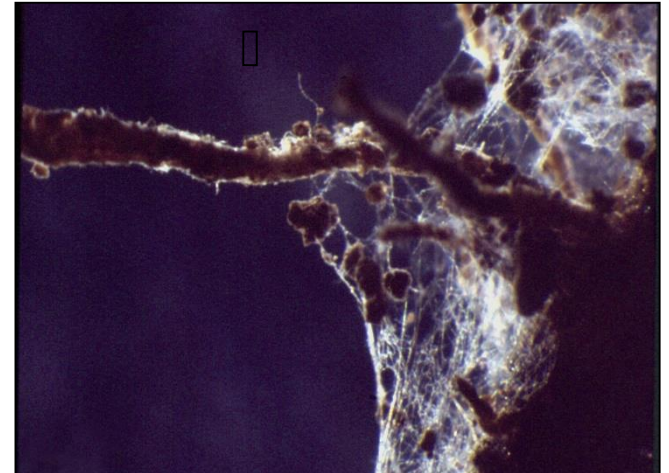


Photo: AAC - Martin Chantigny

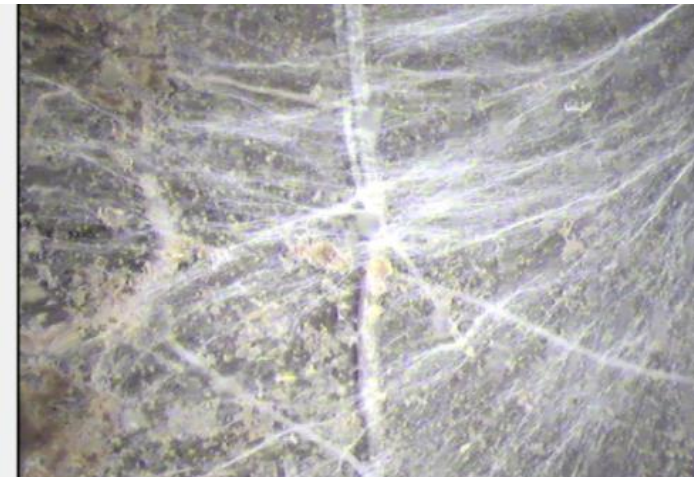
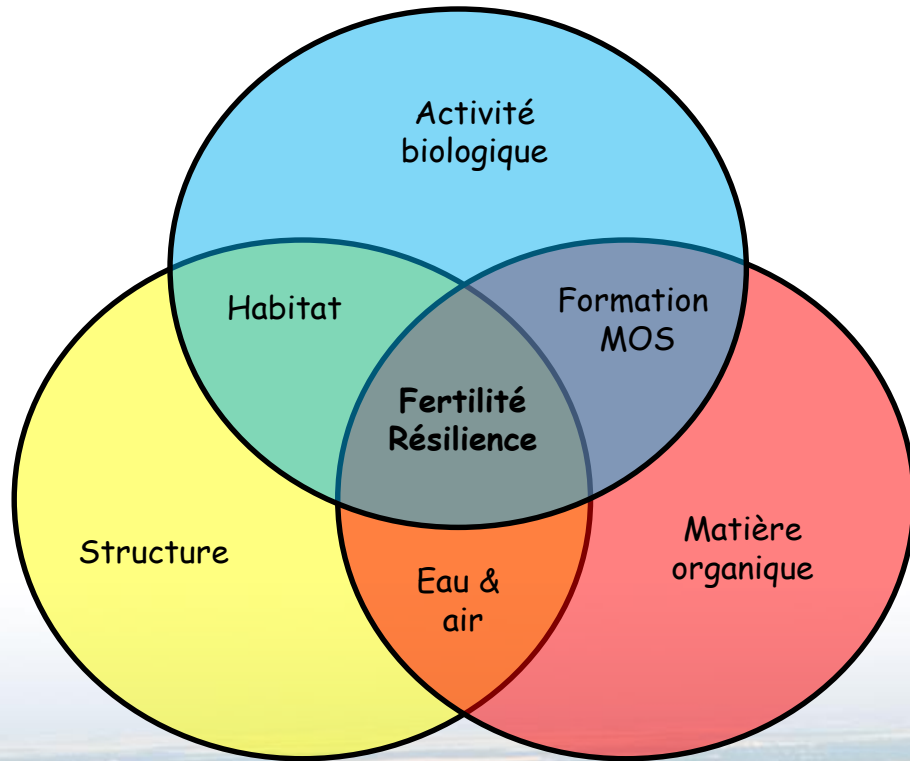


Photo: AAC - Marie-Noëlle Thivierge

Questions ?



Taux de minéralisation de l'azote
(kg N / ha / jour)

