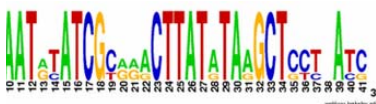
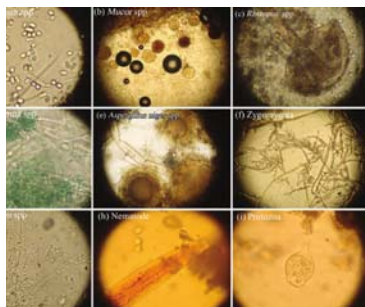




8èmes Rencontres du RMT Quasaprove « Recherche appliquée, Formation & Transfert »

Acteurs et indicateurs d'activité biologique des sols: Microorganismes & Vers de terre



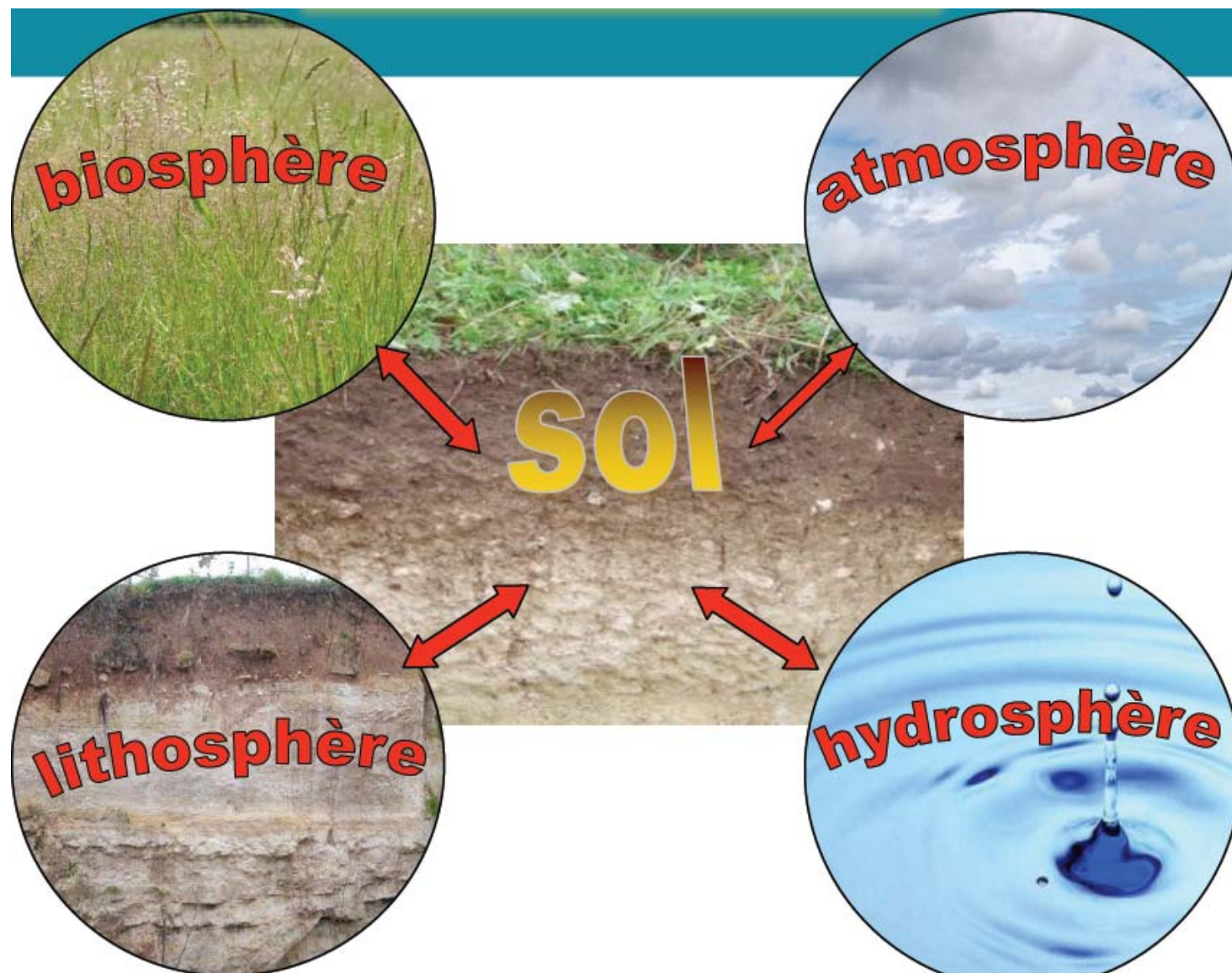
Olivier Crouzet & Céline Pelosi

INRA EcoSys, Versailles



avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »

Les sols : une interface primordiale

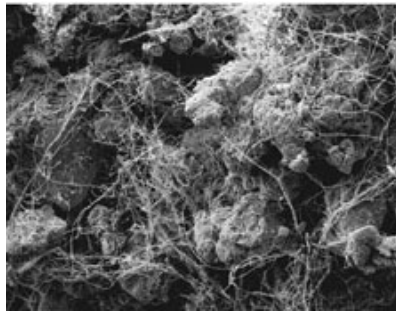


8èmes rencontres « Recherche Appliquée, Formation et Transfert » du RMT Quasaprove
26 septembre 2018, Gradignan

RMT Quasaprove



Les sols : des systèmes vivants et dynamiques

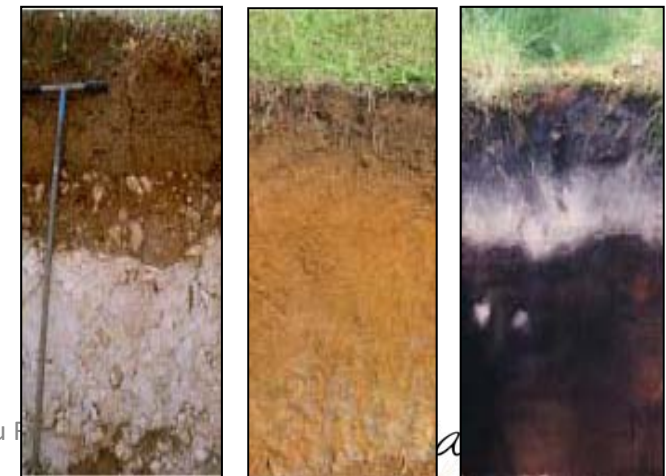


Agrégats (cm³)



mottes (dm³)

Profil de sol (m³)



Somme d'habitats

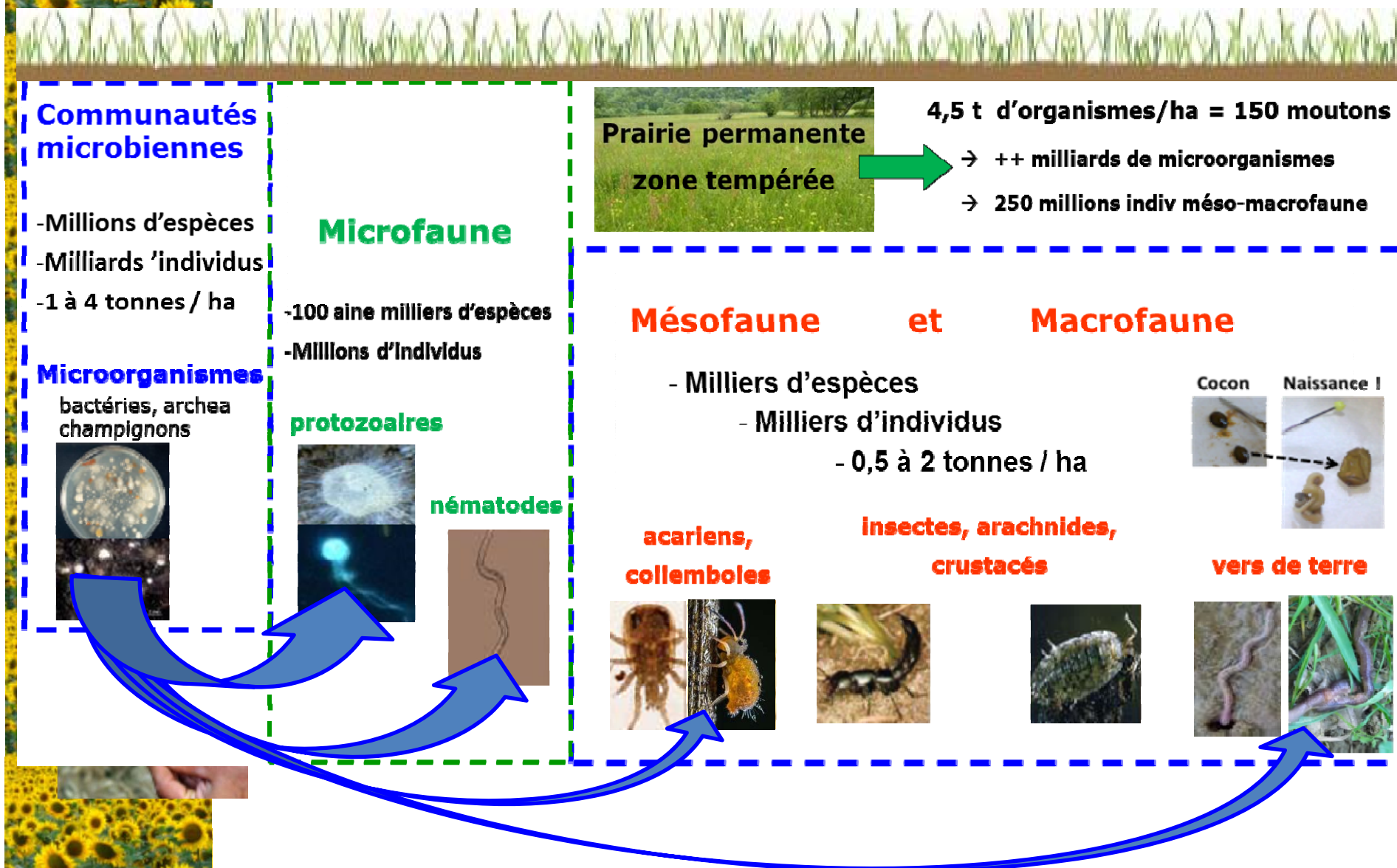
imbriqués...

Grande diversité

8èmes rencontres « Recherche Appliquée, Formation et Transfert » du F
26 septembre 2018, Gradignan



Biodiversité des sols... ordres de grandeur :



Biodiversité des sols... quelles fonctions ?

Ingénieurs chimiques



Recyclage des nutriments

Capture
Dynamique
Biodisponibilité N et P

Ingénieurs chimiques



Transformations du carbone

Décomposition
Dynamique de la MO

Maintenance de la structure du sol

Rétention en eau
Erosion
Fourniture d'habitats

Ingénieurs physiques

Régulation des populations

Contrôle des bioagresseurs

Régulateurs

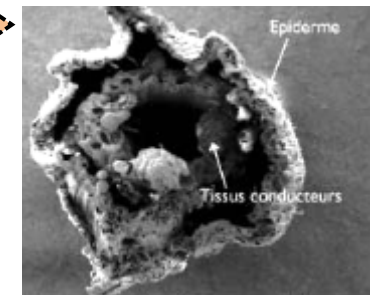
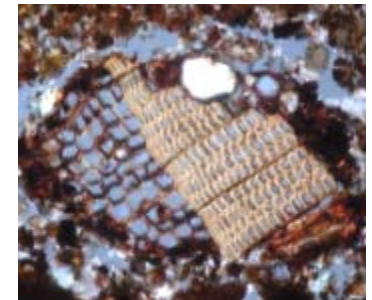
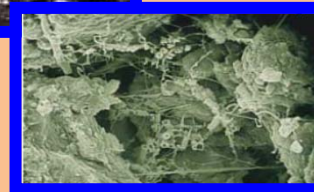
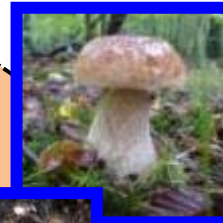
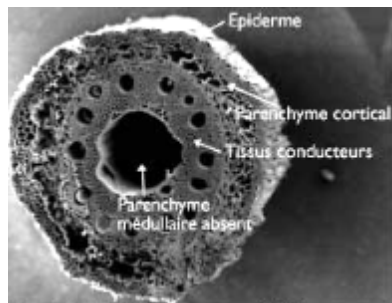
Adapté de blanchard et al., 2015

Biodiversité des sols... quelles fonctions ?

- Dégradation/recycle des matières organiques

⇒ Coopération entre de nombreux organismes

- fractionnée et décomposée par la méso & macrofaune
- minéralisée / recyclée par les microorganismes

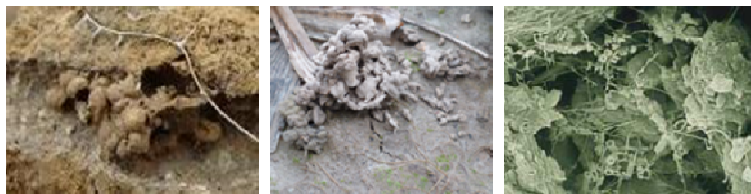


Biodiversité des sols... quelles fonctions ?

- Structure et agrégation des sols

⇒ surtout les Vers de terre mais aussi enchytréides et champignons

➤ **Renforce l'agrégation** (stabilité face à l'érosion)

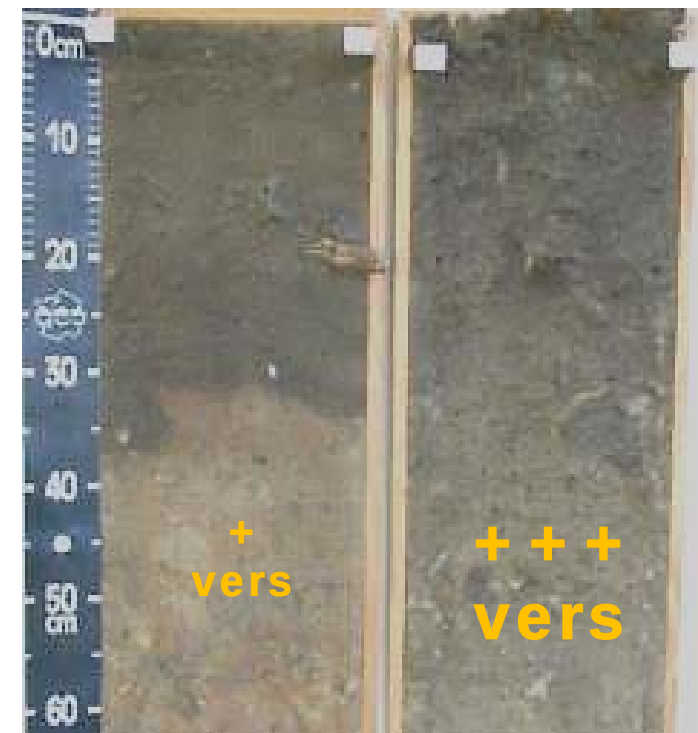


➤ **Entretient la porosité des sols** (infiltration de l'eau)



➤ **Incorporation + fragmentation des matières organiques dans les sols**

(→ rôle flux de Carbone)

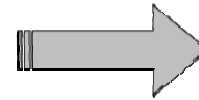


Biodiversité des sols... comment l'étudier ?

- Abondance et Diversité de ma méso/macrofaune

Échantillonnage

=> collecte / piégeage /
extraction



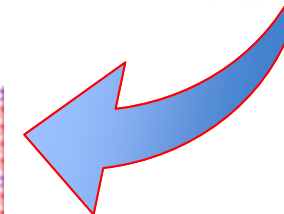
Tri passif ou actif



Identification et comptage
au laboratoire



Séquençage → bar - coding



Rôle bio-indicateur des microorganismes

- Rôles essentiels dans les fonctions des sols via des interactions avec d'autres composantes biologiques (plantes, méso/macrofaune)



Importance fonctionnelle des microorganismes en agriculture

- ⇒ rôles dans les cycles biogéochimiques
recyclage des nutriments, gestion des GES
- ⇒ symbiose avec des plantes
production alimentaire
- ⇒ structure des sols (+ macrofaune =>)
agrégation – stabilité limitant l'érosion
- ⇒ capacités de dégradation des polluants
rôle filtre/tampon des sols
- ⇒ régulation des organismes pathogènes
rôle barrière et contrôle des maladies



Rôle bio-indicateur des microorganismes

- Rôles essentiels dans les fonctions des sols et interactions avec d'autres composantes biologiques du sol (plantes, méso/macrofaune)
- Réponse rapide aux changements / stress du milieu
- Diversité des métabolismes => $\neq$ sensibilités aux stress (pratiques, contaminants, climat)
- Différents niveaux d'échelle biologique (souche isolée => communautés)



Outils d'évaluation: quels indicateurs ?

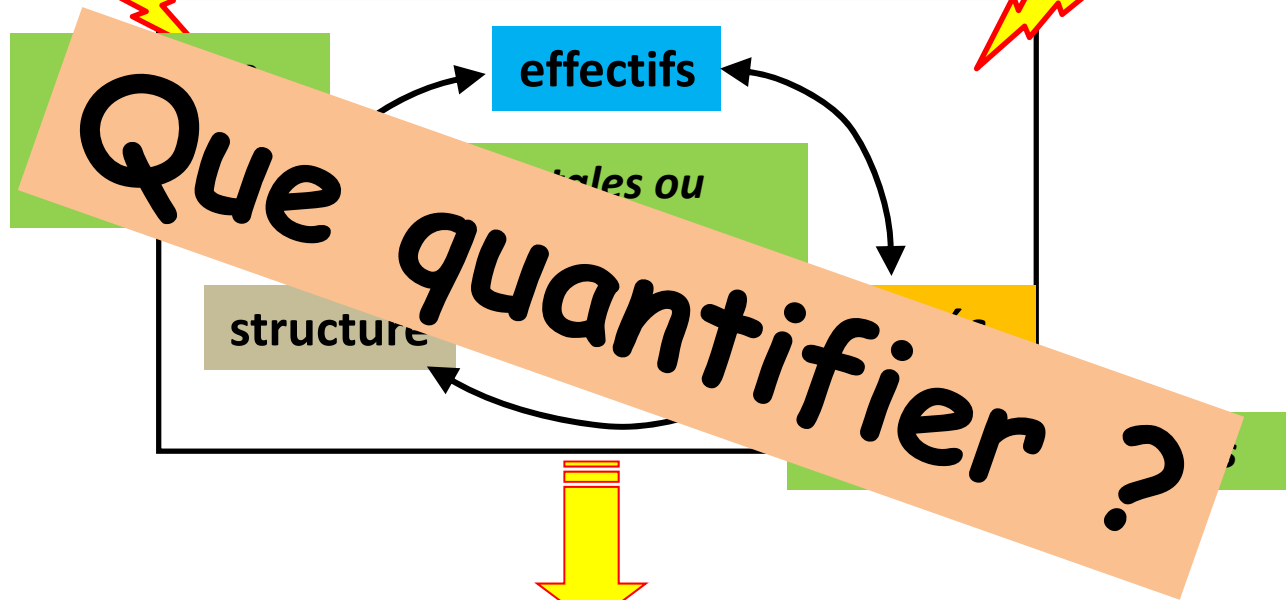
- Caractéristiques d'un bon indicateur

- ✓ **SENSIBLES** pour déceler rapidement (temps et dose faible) des changements (réponse observée avant que les fonctions du sol ne soient altérées → indicateur « sentinelle »)
- ✓ **SPECIFIQUES & ROBUSTES** : il faut que l'indicateur réponde spécifiquement au stress étudié et soit donc peu sensible aux facteurs « confondants » (MO, pH, texture sol, humidité) variant entre divers « pédoclimats ».



Outils d'évaluation: quels indicateurs ?

Modification des pratiques ou contaminations



Processus fonctionnels

(MO décomposition, cycle de l'N, dégradation des pesticides)

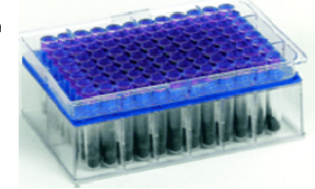
Biodiversité microbienne... comment l'analyser ?

- Activités et potentiels métaboliques microbiens

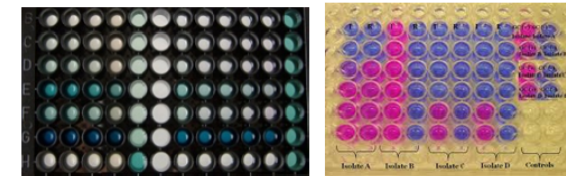
Échantillonnage

Analyses d'activités et flux de C ou N

- *Potentiel métabolique des microorganismes*
minéralisation du carbone
minéralisation de l'azote

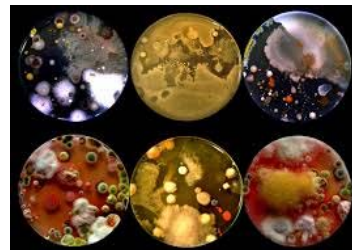


- *Mesures d'activités enzymatiques*



Isolement de souches d'intérêt

- **Screening des métabolismes**
Dégradation polluants
Production de métabolites d'intérêts
Mycorhization
Antibiorésistance



Biodiversité microbienne... comment l'analyser ?

- Abondance et Diversité des microorganismes

Échantillonnage

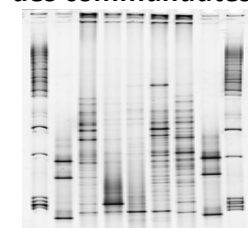


Biologie moléculaire : diversité génétique

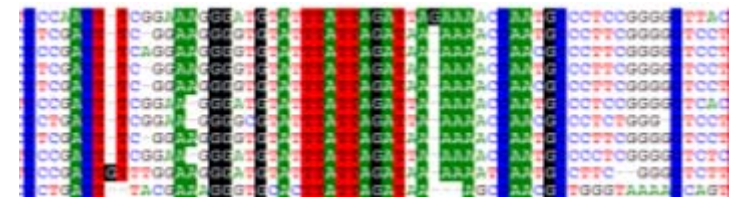
PCR quantitative



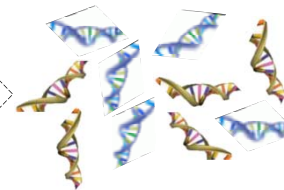
Empreinte génétique
des communautés



Séquençage => Inventaire de la diversité



Extraction ADN / ARN
totaux des sols



Biodiversité microbienne... comment l'analyser ?

- **De nombreuses méthodes et des normes**

⇒ **Mesurer les réponses des processus fonctionnels**

- Minéralisation de l'azote (ISO 14238:2012)
- Minéralisation du carbone : (ISO 16078:2002)
- Nitrification (ISO 15685:2012)
- Respiration et Biomasse microbienne d'un sol (ISO 16072:2002)
- Biodégradabilité aérobie des composés chimiques organiques (ISO 11266:1994, ISO 14239:1997)

⇒ **Mesurer les réponses des communautés et la diversité**

- Diversité microbienne par PLFA: ISO/TS 29843-1:2010
- Activités enzymatiques des sols: ISO/TS 22939:2010 / ISO 20130:2018
- Extrait ADN : ISO 11063:2012
- Abondance : ISO 17601:2016 (en cours)
- Diversité génétique : **en cours**

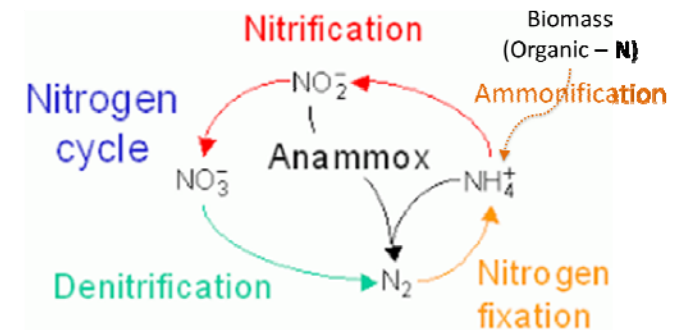


Exemple d'indicateurs microbiens des sols

• Activités microbiennes du N-cycle et contaminants

Sensibilité
+
↑
-

- Nitrification ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$)
- Fixation N_2
- Enzymes extracellulaires (uréase, peptidase)
- Dénitrification ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_x \rightarrow \text{N}_2\text{O} / \text{N}_2$)
- Ammonification, minéralisation MOS



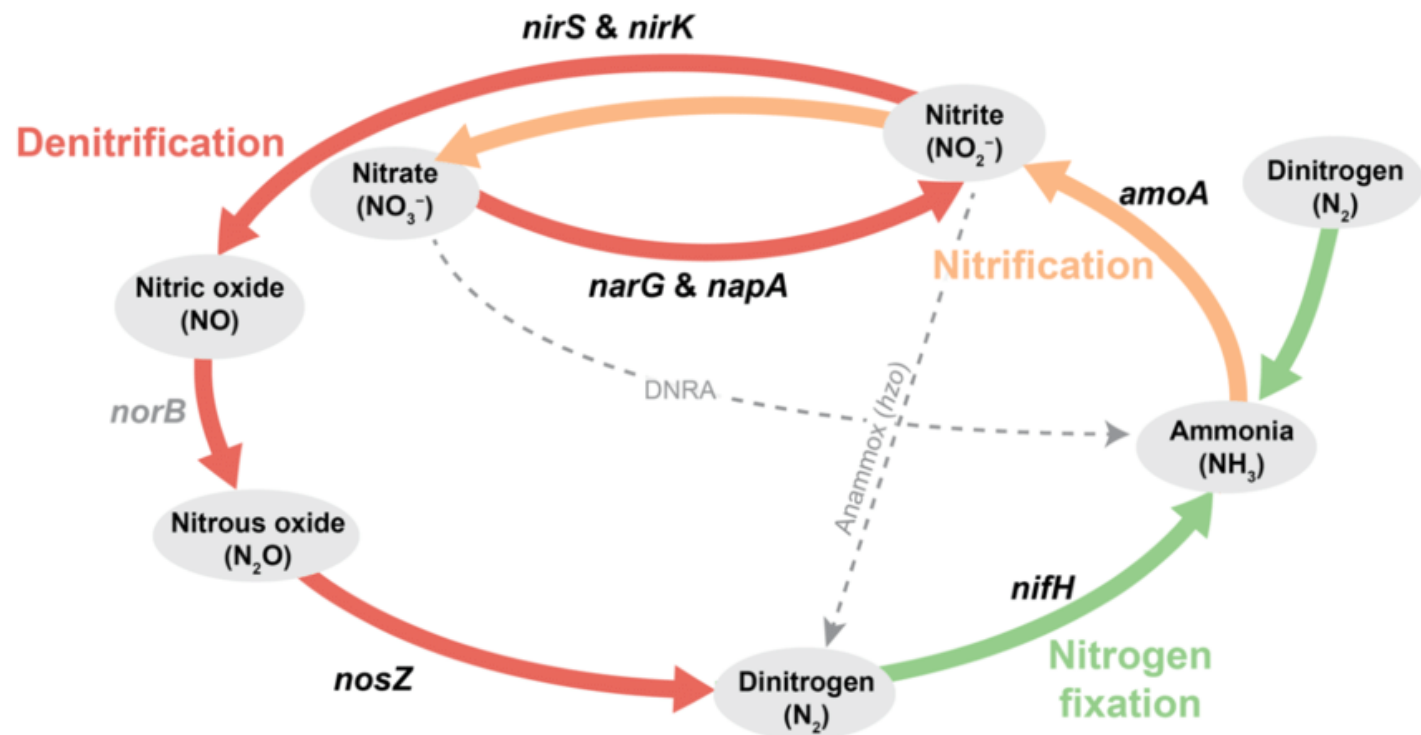
- ➔ Les différences de sensibilité dépendent de la diversité microbienne, qui n'est pas la même pour ces diverses fonctions.
- ➔ Les variations de teneur en MO ou les fertilisants modifient les effets.

Exemple d'indicateurs microbiens des sols

- Indicateurs moléculaires du cycle de l'azote

→ Biologie moléculaire: Abondance des groupes fonctionnels microbiens

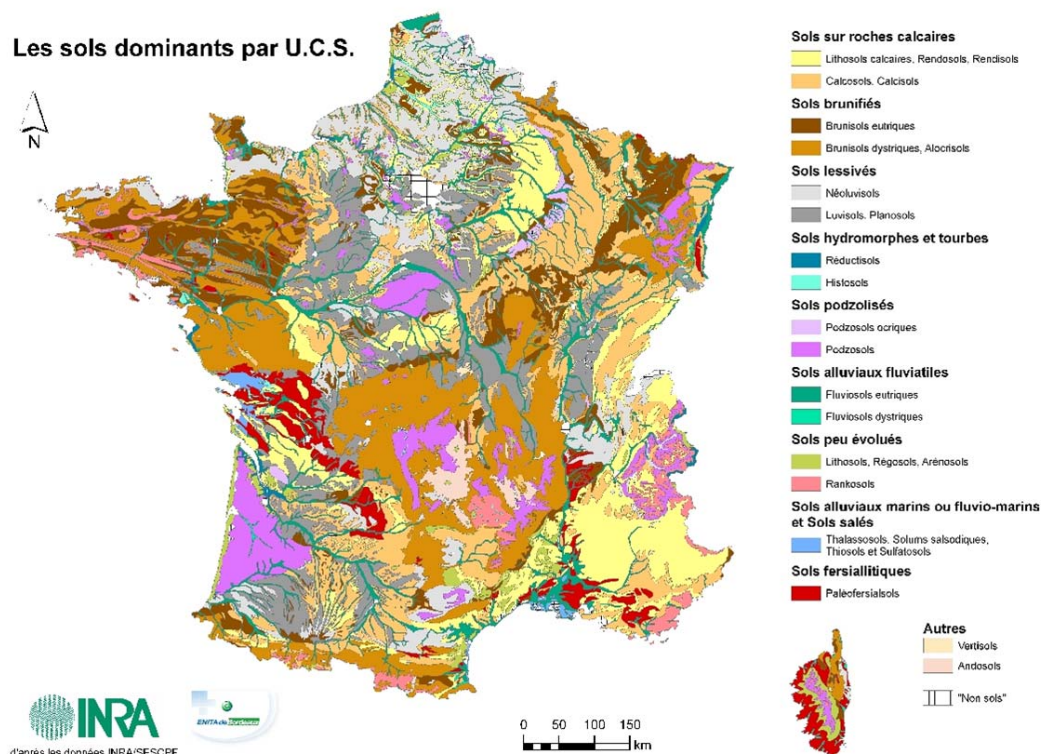
- ✓ extraction des ADNs du sol
- ✓ qPCR sur les divers gènes (techniques standardisées)



Interprétation des indicateurs ... quelles limites ?

➔ Diversité et activités fortement dépendantes du pédoclimat

Les sols dominants par U.C.S.



Interprétation des indicateurs ... quelles limites ?

- Diversité et activités fortement dépendantes du pédoclimat
- Diversité et activités dépendantes de l'occupation du sol

Mise en

-> rég

s

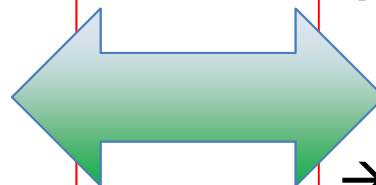
(-région) !



Exemples de réponses d'indicateurs en fonction de pratiques



- **Biomasse microbienne**
- **Activités microbiennes**
- **Diversité taxonomique**

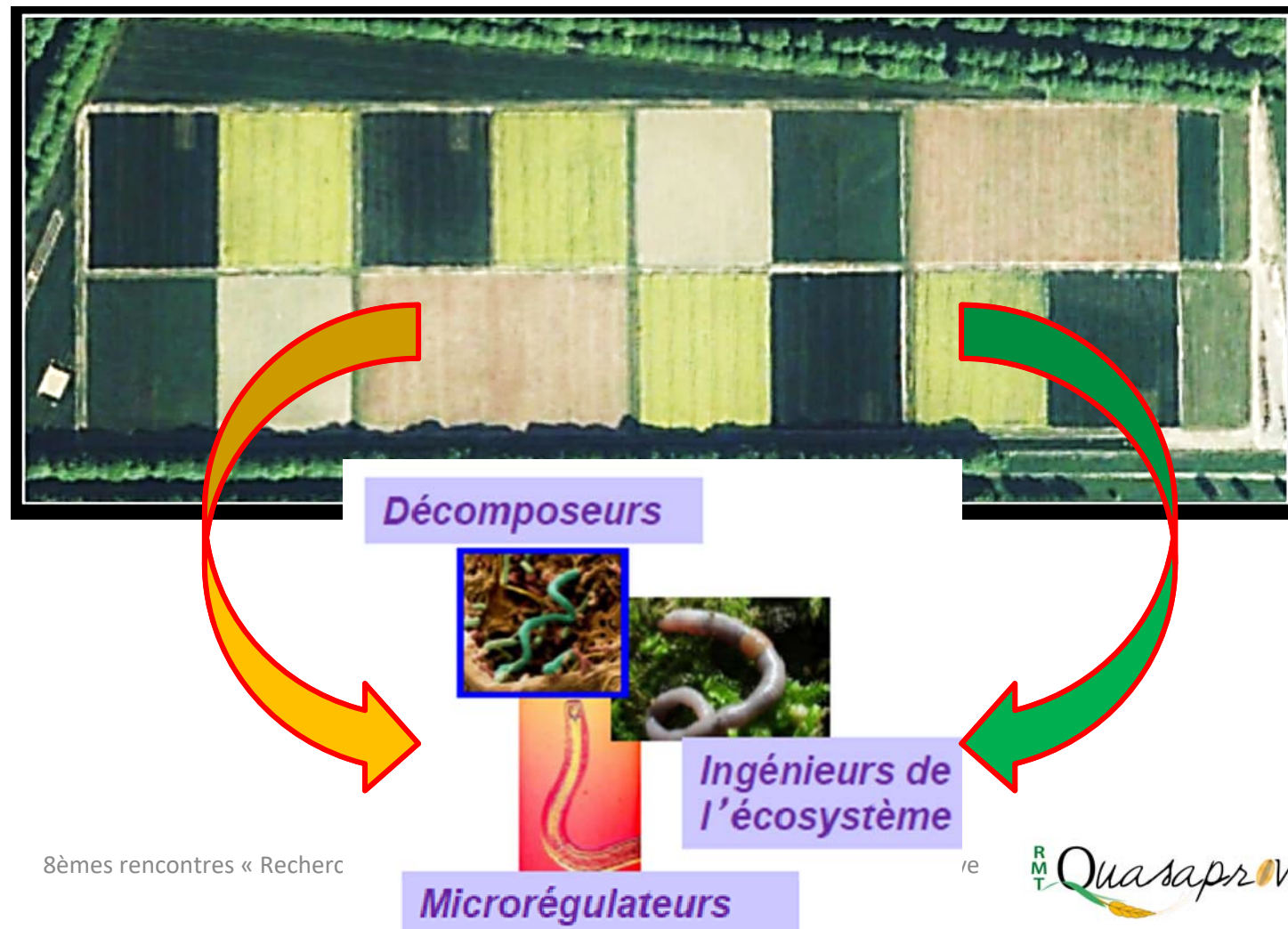


- **Travail du sol**
- **Amendements**
inorganiques / organiques
- **Pesticides**
- **Systèmes de culture**
(Bio / Conv)

Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

Henneron et al. (2014)

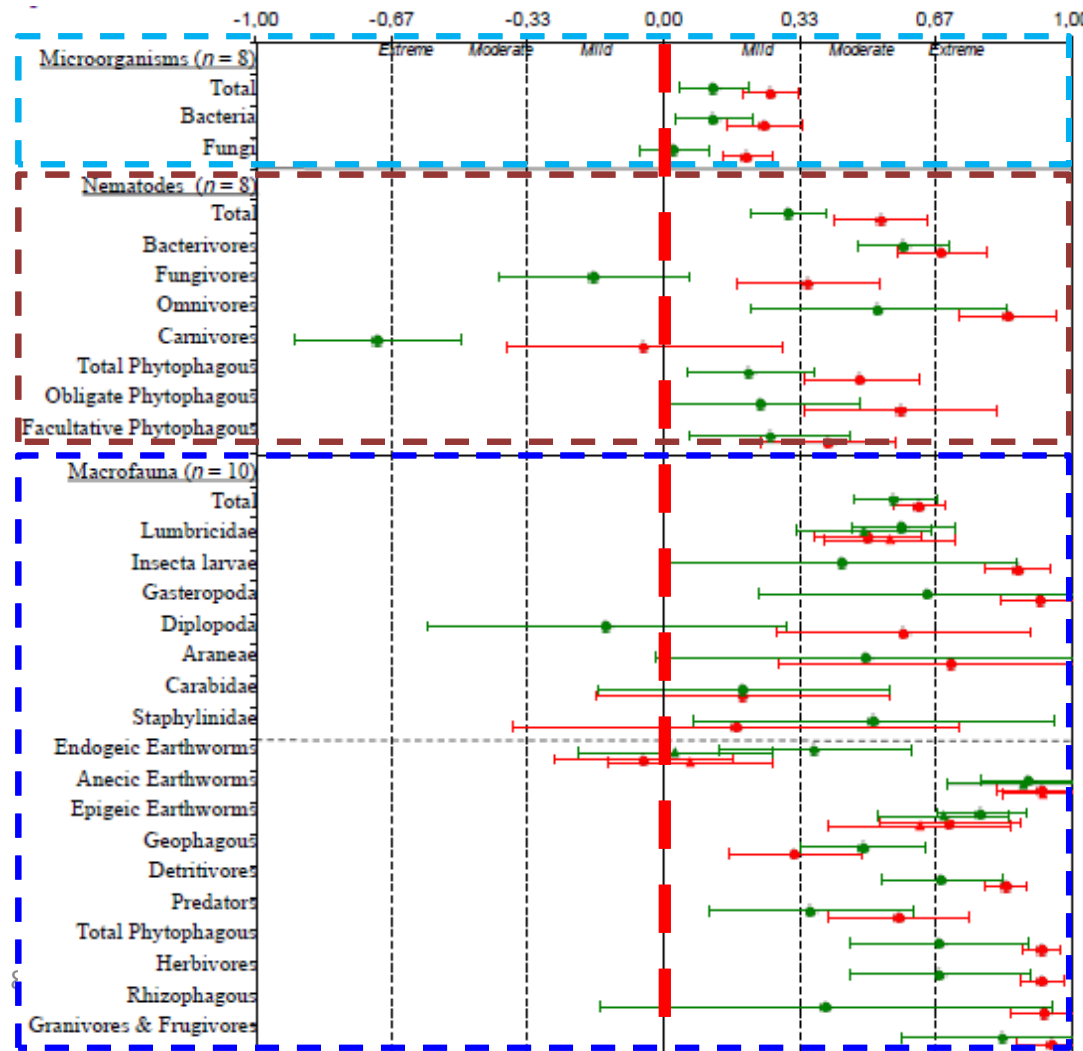


Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

Indice de réponse

Henneron et al. (2014)



● Conservation vs conventionnel

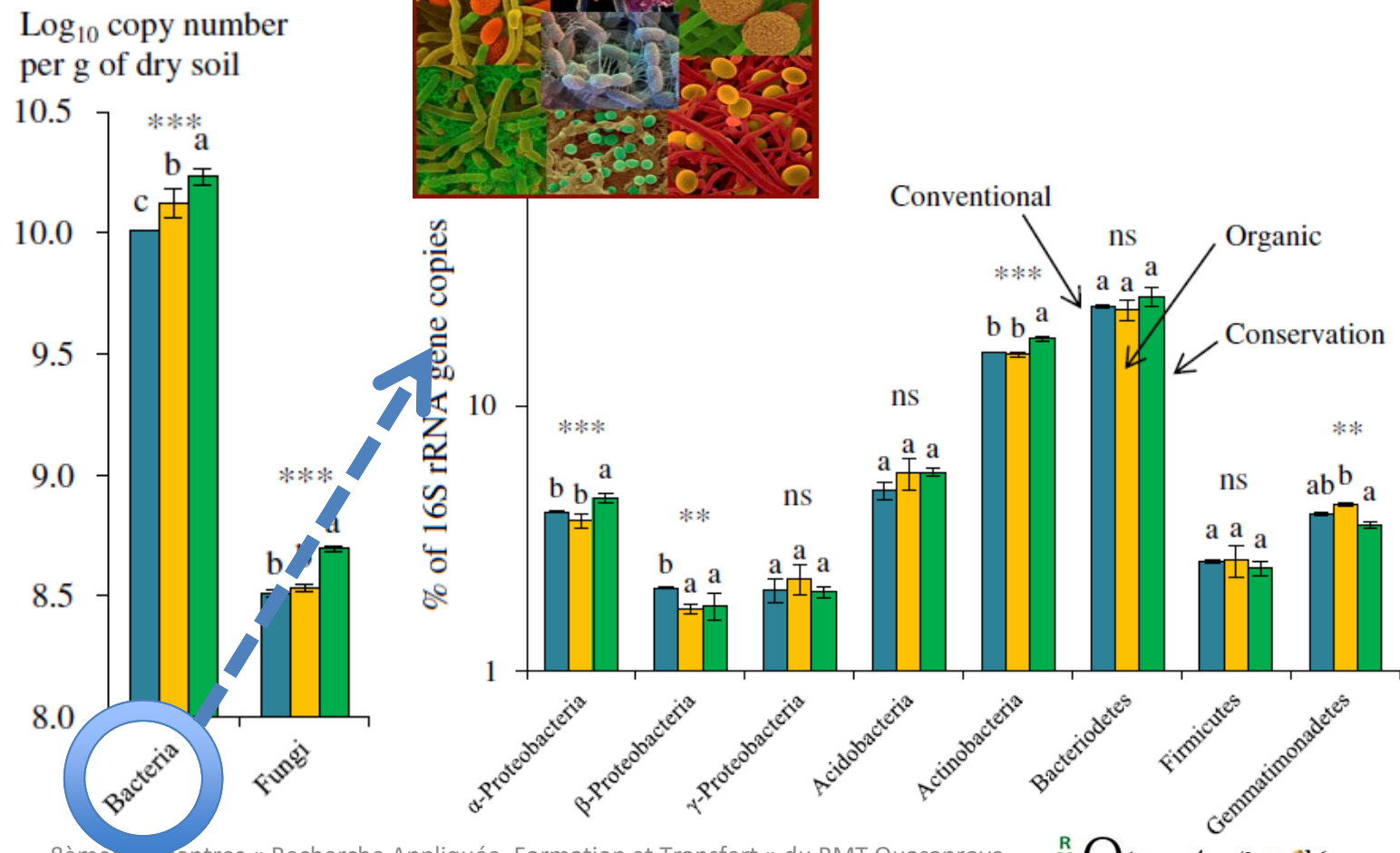
● Biologique vs conventionnel

RM T Ouasaprove

Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparative de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

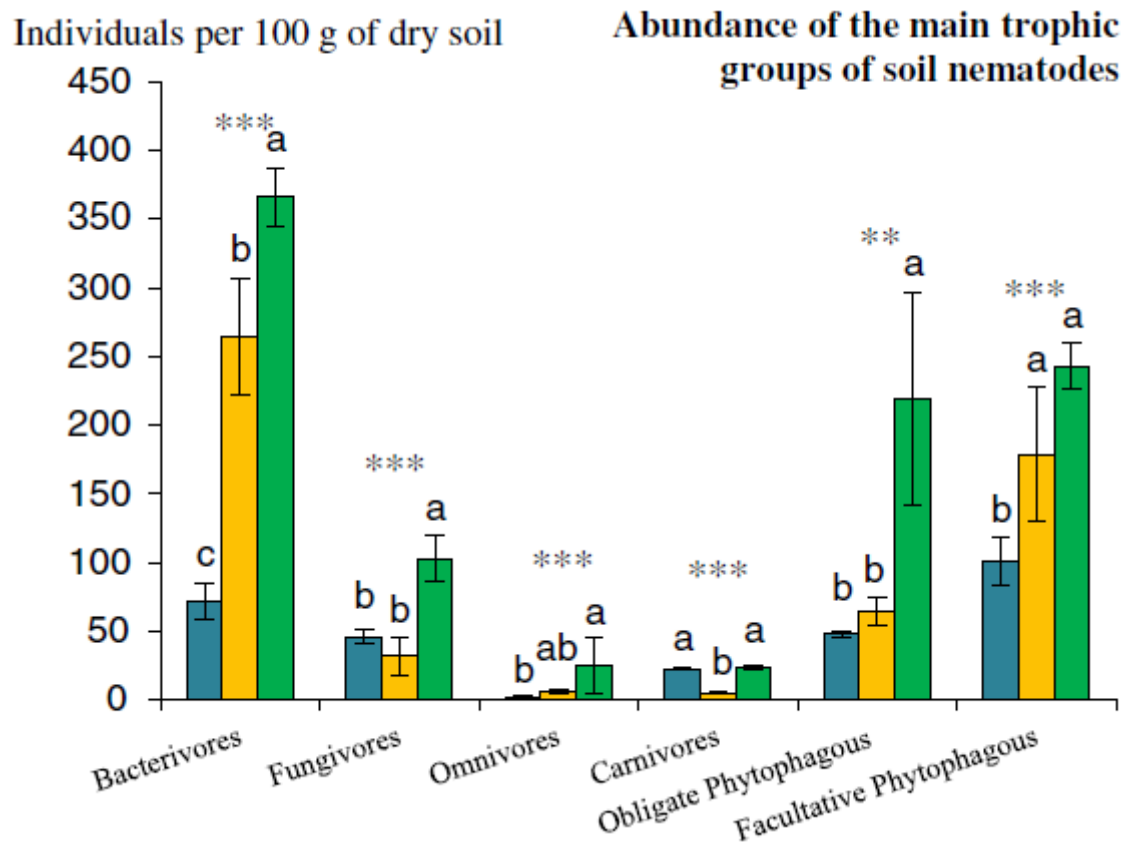
Henneron et al. (2014)



Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

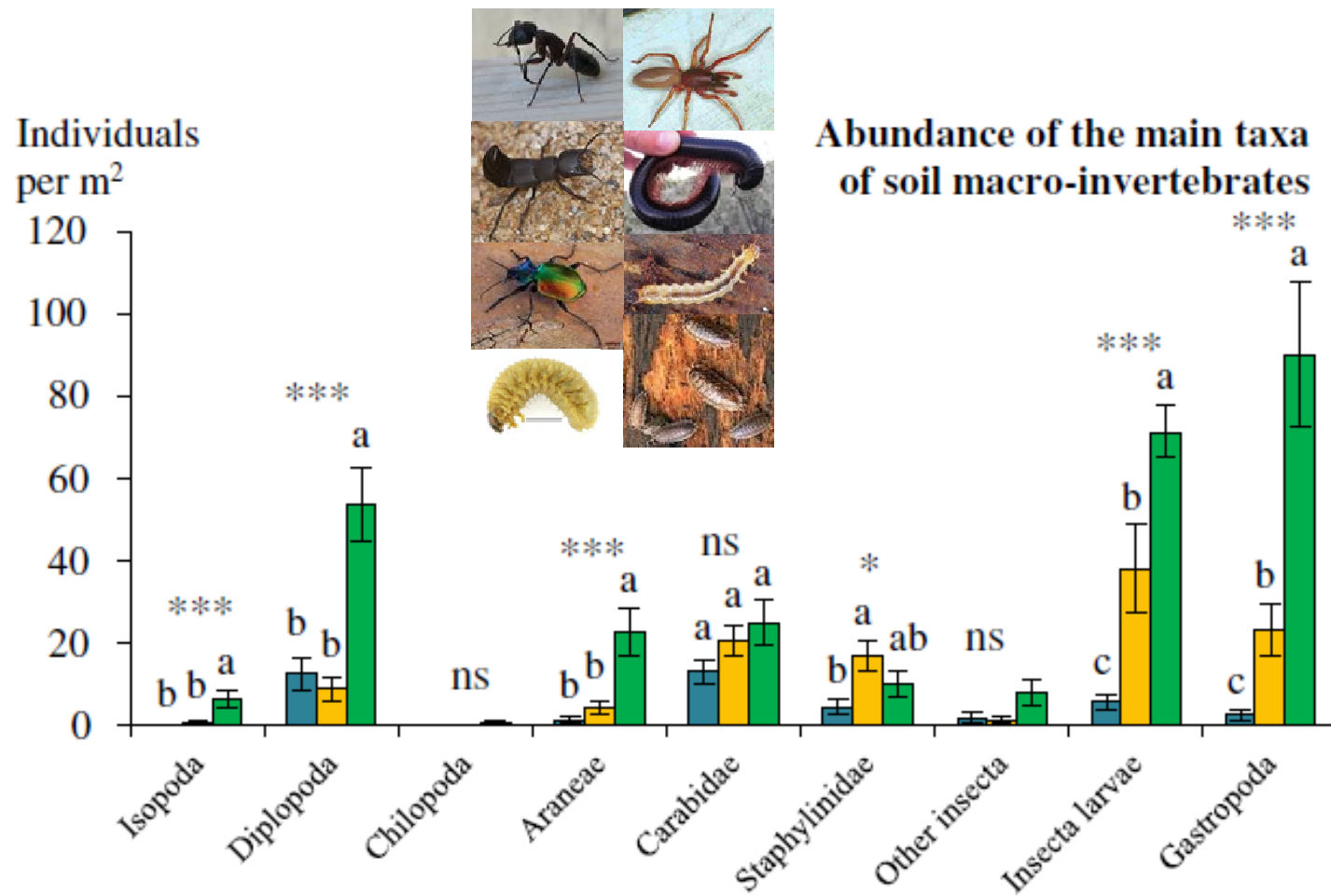
Henneron et al. (2014)



Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

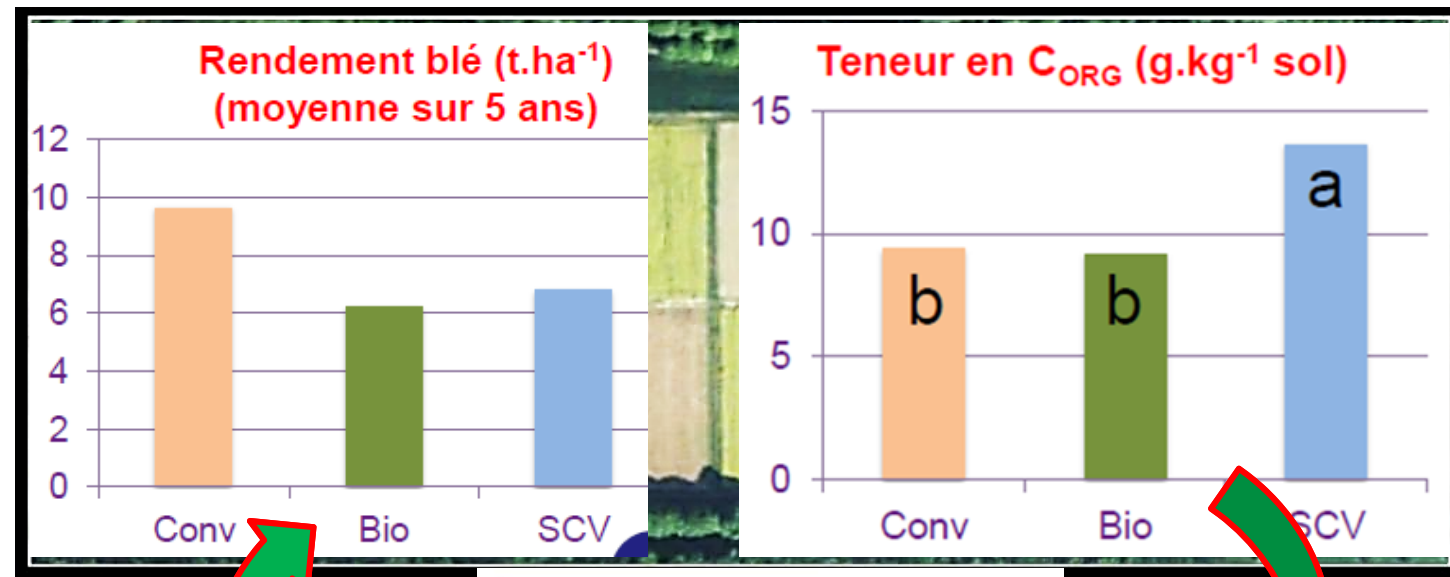
Henneron et al. (2014)



Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

Henneron et al. (2014)



?

Décomposeurs



Ingénieurs de l'écosystème



Microrégulateurs



Systèmes de culture et vie biologique des sols

- Analyse comparatives de différents systèmes de culture (Conventionnel, biologique, non travail du sol)

Henneron et al. (2014)

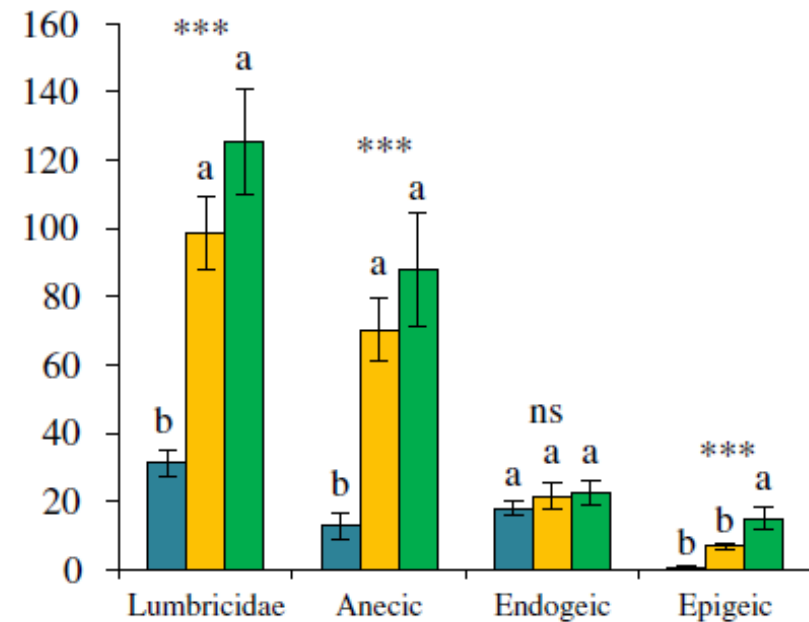
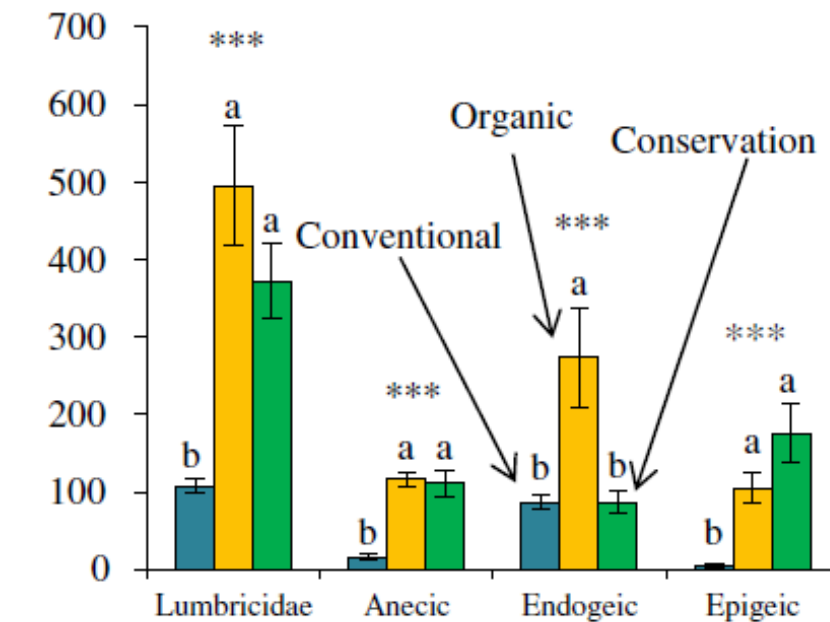


Individuals
per m²

Earthworms abundance

g per m²

Earthworms biomass



Systemes de culture et activités microbiennes

- Analyse comparative d'un réseau de parcelles sous agriculture **conventionnelle** ou **biologique**

→ Sites d'étude

- Parcelle(s) conventionnelle(s) et Parcelle(s) biologique(s) ou OPest (RMT Quasaprove)
- Pédoclimats variés
- Sous blé lors du prélèvement

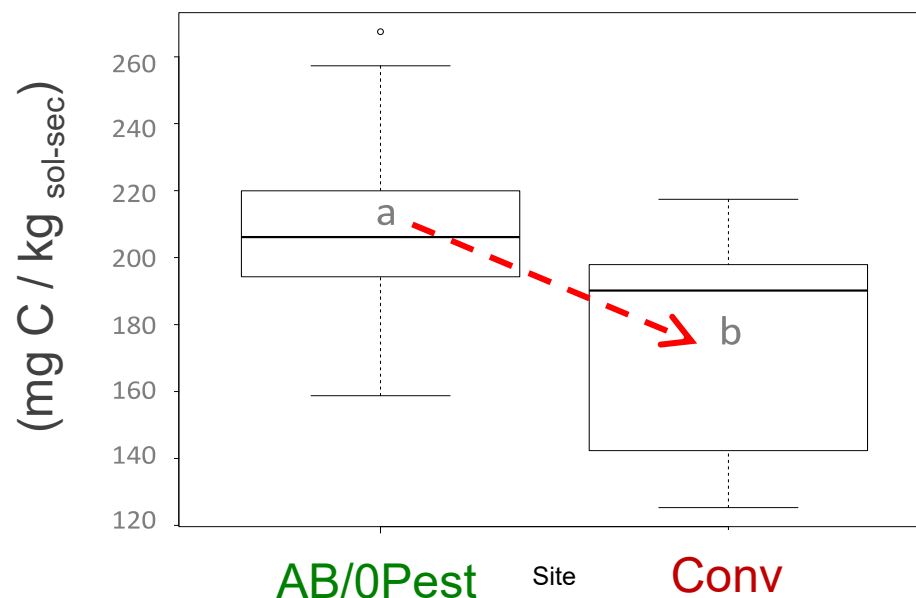


Systèmes de culture et activités microbiennes

- Analyse comparative d'un réseau de parcelles sous agriculture **conventionnelle** ou **biologique**

→ Biomasse microbienne totale

Biomasse microbienne

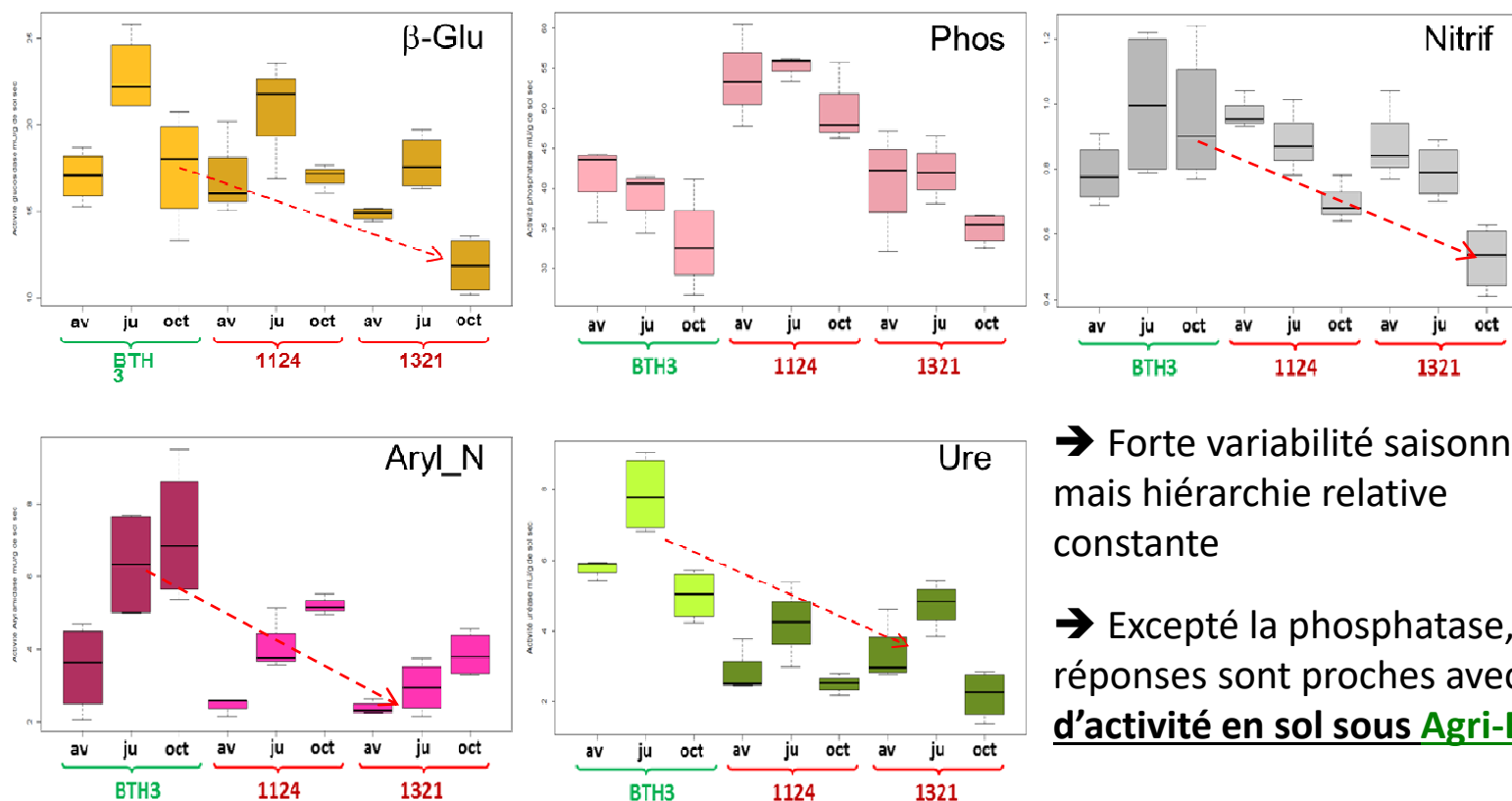


AB/0Pest > Conv

Systèmes de culture et activités microbiennes

- Analyse comparative d'un réseau de parcelles sous agriculture **conventionnelle** ou **biologique**

→ Activités enzymatiques des sols



→ Forte variabilité saisonnière mais hiérarchie relative constante

→ Excepté la phosphatase, les réponses sont proches avec $\pm$ d'activité en sol sous **Agri-Bio**

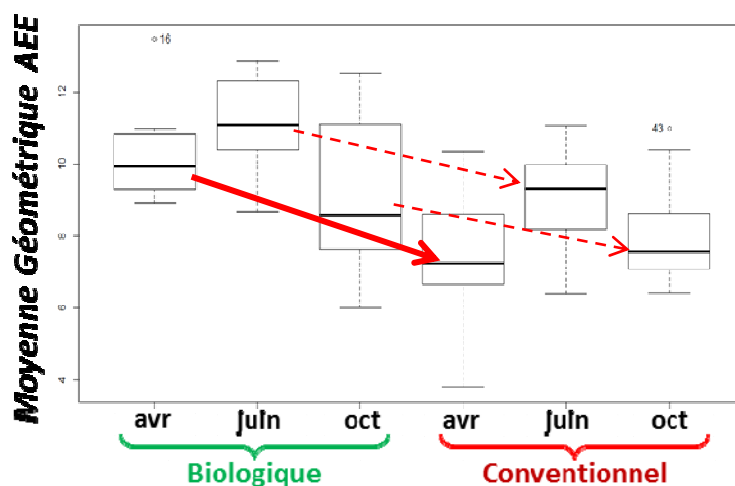
Systèmes de culture et activités microbiennes

- Analyse comparative d'un réseau de parcelles sous agriculture **conventionnelle** ou **biologique**

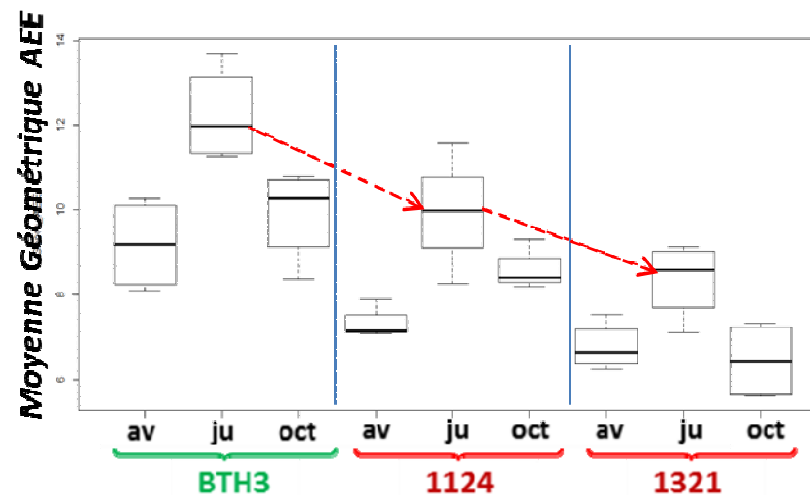
→ Activités enzymatiques des sols



→ tous les sites
(n = 20 parcelles)



→ zoom sur Boigneville
(n = 4 parcelles)



Bio > **Conv** => variable
selon saison

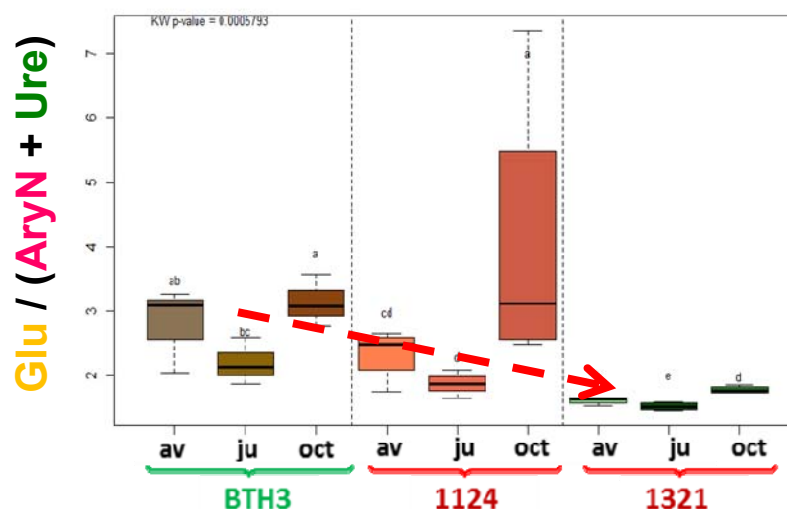
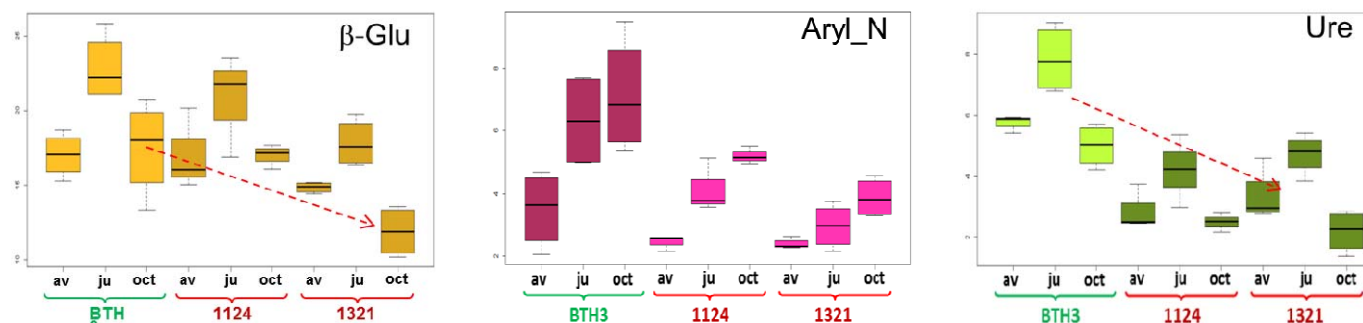
Bio > **Conv**



Systèmes de culture et activités microbiennes

- Analyse comparative d'un réseau de parcelles sous agriculture **conventionnelle** ou **biologique**

→ Activités enzymatiques des sols



C/N en CONV diminue

- activité N augmente pour acquérir N → N serait limitant ?
- activité C diminue → C moins limitant ?

Systèmes de culture et activités microbiennes

- Activité et diversité microbienne sous agriculture
conventionnelle ou biologique

1) Quelle différenciation entre Bio vs. Conv ?

- Biomasses et activités microbiennes plus élevées en **Bio & 0-Pest**
- Diversité taxonomique supérieure en **Bio / Conv** (Mäder et al., 2002; Fließbach et al., 2006; Fees and Benedito 2018)
- Potentielle limitation saisonnière en certains nutriments



Systèmes de culture et activités microbiennes

- Activité et diversité microbienne sous agriculture conventionnelle ou biologique

1) Quelle différenciation entre Bio vs. Conv ?

- Biomasses et activités microbiennes plus élevées en **Bio & 0-Pest**
- Diversité taxonomique supérieure en **Bio / Conv** (Mäder et al., 2002; Fließbach et al., 2006; Fees and Benedito 2018)
- Potentielle limitation saisonnière en certains nutriments

2) Déterminants / leviers agronomiques pour la restauration du fonctionnement biologique des sols ?

- Apports organiques (« fumier vert » et légumineuses , fumiers, résidus de culture) (Henneron et al., 2014; Fees and Benedito 2018)

Systèmes de culture et activités microbiennes

- Activité et diversité microbienne sous agriculture conventionnelle ou biologique

1) Quelle différenciation entre Bio vs. Conv ?

- Biomasses et activités microbiennes plus élevées en **Bio & 0-Pest**
- Diversité taxonomique supérieure en **Bio / Conv** (Mäder et al., 2002; Fließbach et al., 2006; Fees and Benedito 2018)
- Potentielle limitation saisonnière en certains nutriments

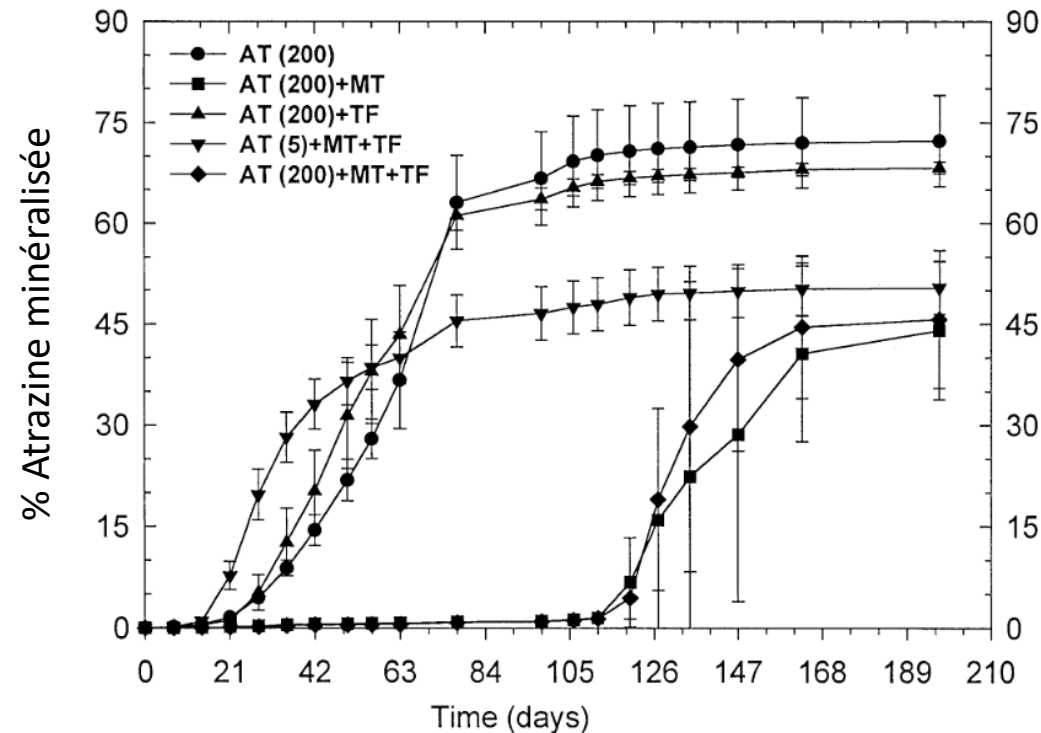
2) Déterminants / leviers agronomiques pour la restauration du fonctionnement biologique des sols ?

- Apports organiques (« fumier vert » et légumineuses , fumiers, résidus de culture)
(Henneron et al., 2014; Fees and Benedito 2018)
- Rotations → leur diversité favorise le fonctionnement microbien des sols
→ stabilité des fonctions d'autorégulation de l'agrosystème
(Yao et al., 2006; Venter et al., 2016)
- Effets des *pesticides* difficile à dé-corréler des facteurs majeurs
(*rotations et apports organiques*)



Pesticides et fonctionnement microbien des sols

- Mélanges de pesticides et biodégradation



Moorman et al. 2001

➔ Effet antagoniste de certains pesticides en mélange sur la biodégradation

Toxicité sur les microorganismes dégradants

Pesticides et fonctionnement microbien des sols

- Les grandes lignes et tendances ...

➔ **Les effets sont souvent indirects et peuvent être négatifs ou positifs sur l'activité et la diversité microbienne :**

- Effets des fongicides sur les champignons, les nématodes et protozoaires → diminue la prédation et compétition avec les bactéries qui sont parfois stimulées.
- Les herbicides (ex. du glyphosate), en détruisant les couverts végétaux, stimuleraient à court terme la minéralisation de la MO (recyclage des végétaux morts)

➔ **Les effets des pesticides s'atténuent dans le temps (< 1 mois)**

- Dans la majorité des cas où des effets sont observés sur les fonctions microbiennes → ils sont de courte durée (20 – 40j).
- Les communautés se régénèrent suite à la dissipation des pesticides (adsorption + dégradation) ...



Pesticides et fonctionnement microbien des sols

- Ce qu'il faut retenir

- ➔ Ce qui peut augmenter les effets des pesticides

- Les mélanges de pesticides (applications simultanées ou successives)
- Des pratiques intensives souvent associées (fertilisation, monoculture)

- ➔ Actionner différents leviers pour réduire les usages et les effets

- Les effets sont plus limités dans les sols riches MO et en argiles (pesticides moins disponibles)
 - ➔ résidus de culture et mulch en surface des sols
 - ➔ apports d'amendements organiques
- Allongement des rotations et complémentarité des cultures
 - ➔ intégrer fumiers verts et légumineuses
 - ➔ favorise couverture du sol (couverts intermédiaires)
 - ➔ réduit les applications d'un même produit



Quelques liens utiles pour aller plus loin !

- Colloque le 18 octobre (Dijon) : De la connaissance de la biologie des sols et de ses fonctions, à son pilotage

<https://www6.inra.fr/ciag/CIAG-Environnement/Fertilite-biologique-des-sols>

- Journée d'échanges multi-acteurs du 6 Novembre 2018 (Montpellier): Quels outils pour évaluer le fonctionnement biologique des sols agricoles ?

<https://journées.inra.fr/ecosols/>

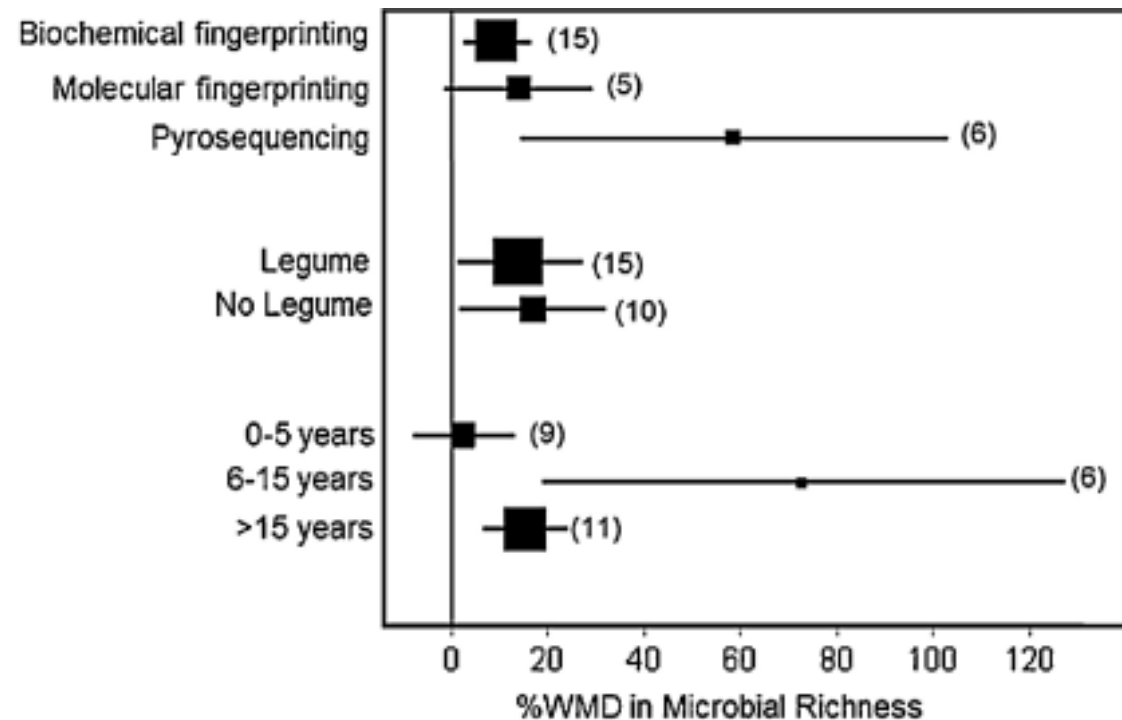


Merci de votre attention



Systèmes de culture et activités microbiennes

- effet rotation sur diversité microbienne



(Venter et al., 2016)

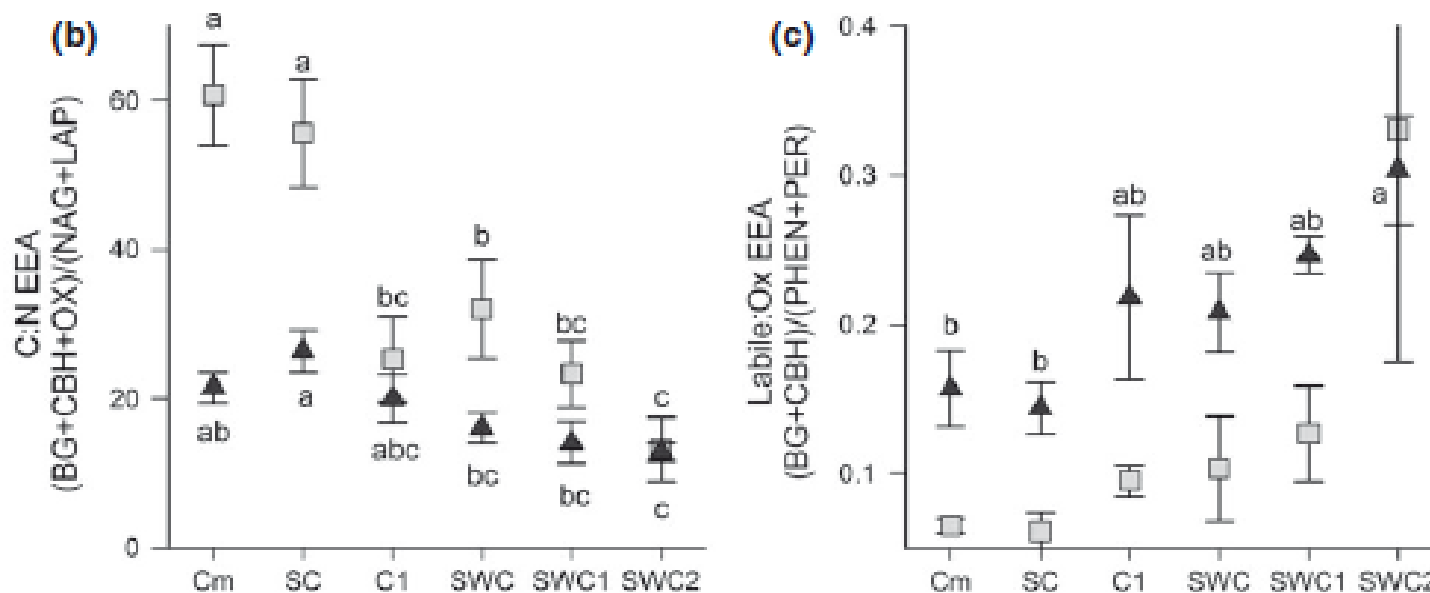
→ La diversité et âge des rotations augmentent la diversité et richesse microbienne

→ l'addition de légumineuses dans des rotations n'a pas d'effet

Systèmes de culture et activités microbiennes

- effet rotation sur les activités microbiennes

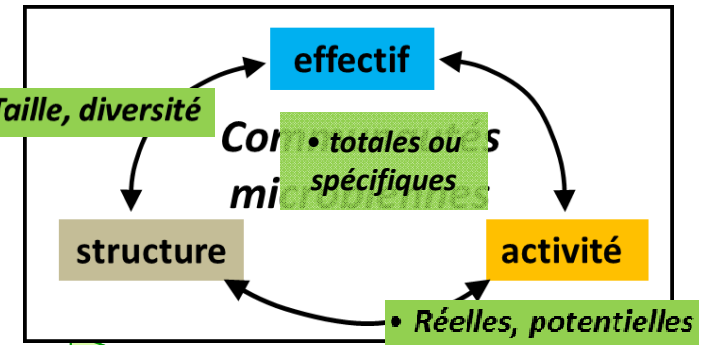
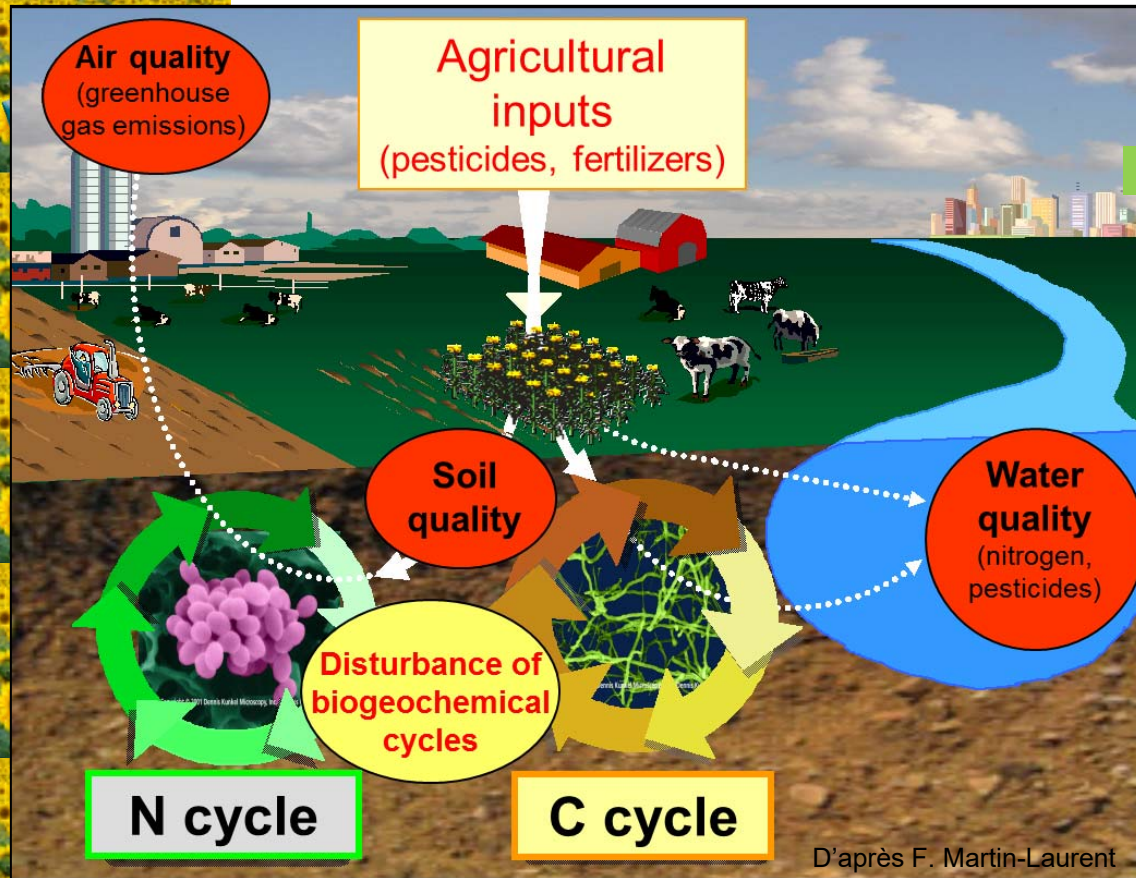
→ Rapports entre activités liées à l'acquisition de C ou nutriments N



→ Diminution des rapports $\text{enzC} / \text{enzN}$:

- > augmentation activité acquisition N -> limitation en N
- > diminution de la demande en C -> lever limitation C

Outils d'évaluation: quels indicateurs ?



FONCTIONS / PROCESSUS

- décomposition MO
- cycle de l'N
- dégradation des pesticides

Que quantifier ?