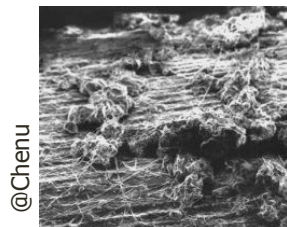


La biomasse microbienne du sol: rôle dans le contrôle et le couplage des cycles du carbone et de l'azote dans les systèmes sol-plante

S. Recous*, G. Lashermes, I. Bertrand, P. Garnier

INRA, UMR FARE Reims, UMR Eco&Sols Montpellier, UMR ECOSYS Grignon

* Membre correspondant de l'AAF



Questions

- Les enjeux de la gestion des matière organiques et des fonctions biologiques des sols
- Comment les cycles C et N sont couplés et quel rôle de la biomasse microbienne ?
- Est-ce que la composition des communautés a de l'importance pour les flux et les stocks ?
- Pourquoi toute la matière organique ne se décompose pas ?
- Comment la végétation impacte les communautés et les flux ?
- Quelles perspectives pour développer une agriculture valorisant les processus écologiques ? Quelques exemples.



Enjeux

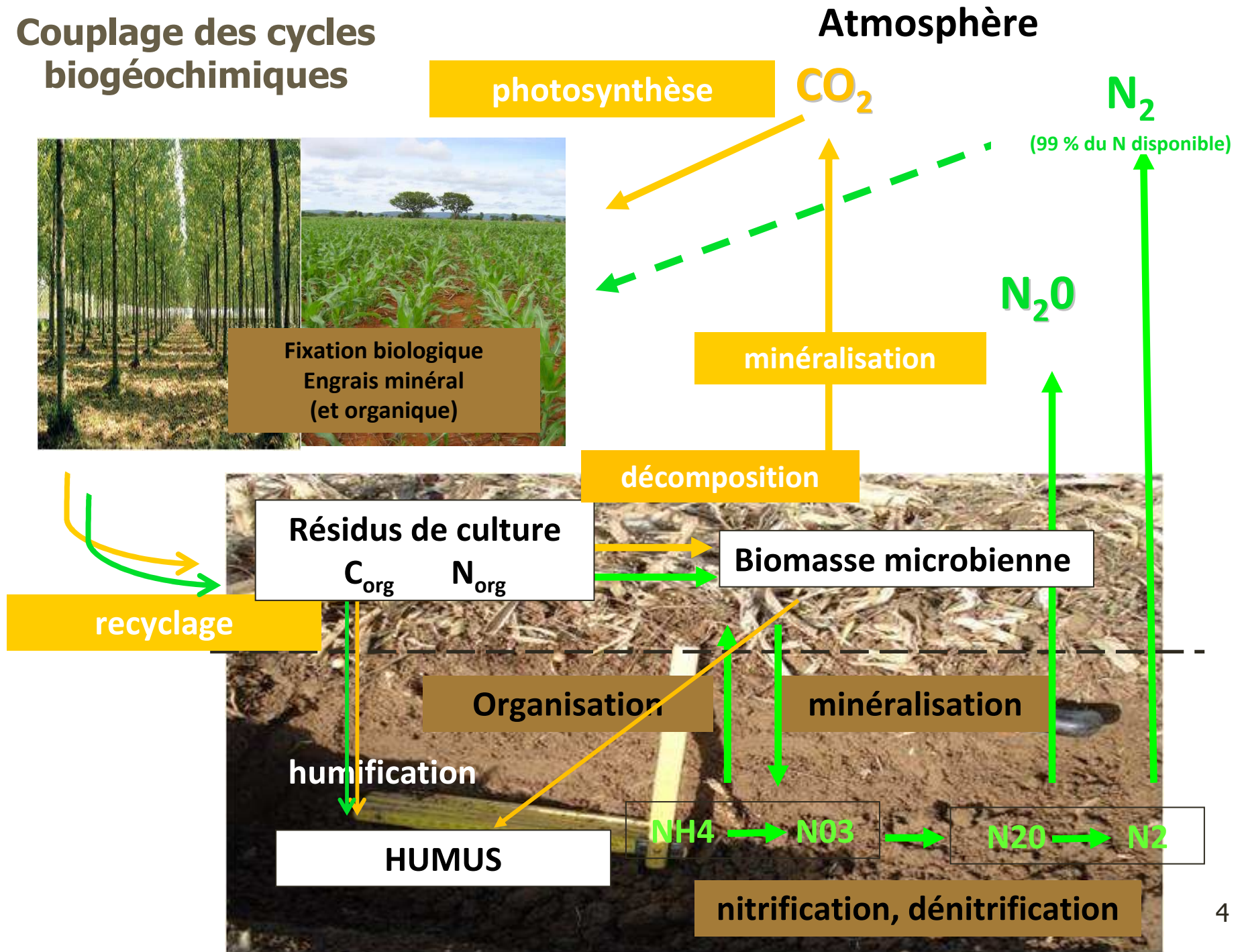
Les transformations du carbone et de l'azote des matières organiques dans les sols : **essentiellement (micro) biologiques** car leurs ressources trophiques !

- **Au centre de nombreux services écosystémiques** rendus par les sols : approvisionnement (minéralisation des nutriments), régulation (flux de nitrates, émissions GES), support (qualité des sols, biodiversité)
- **Leur gestion est questionnée et mobilisée** dans l'évolution des systèmes de culture, dans la réduction des impacts environnementaux liés à l'azote, dans le potentiel de séquestration du carbone par les sols.

Très nombreuses recherches actuelles sur les communautés microbiennes des cycles du carbone et de l'azote et leurs activités, les relations entre diversité et fonctions, les relations entre couverts végétaux et communautés du sol, les effets sur le stockage du carbone à long terme.

=> La plupart de ces travaux sont développés en écosystèmes naturels (adaptation des écosystèmes aux changements globaux)

Couplage des cycles biogéochimiques

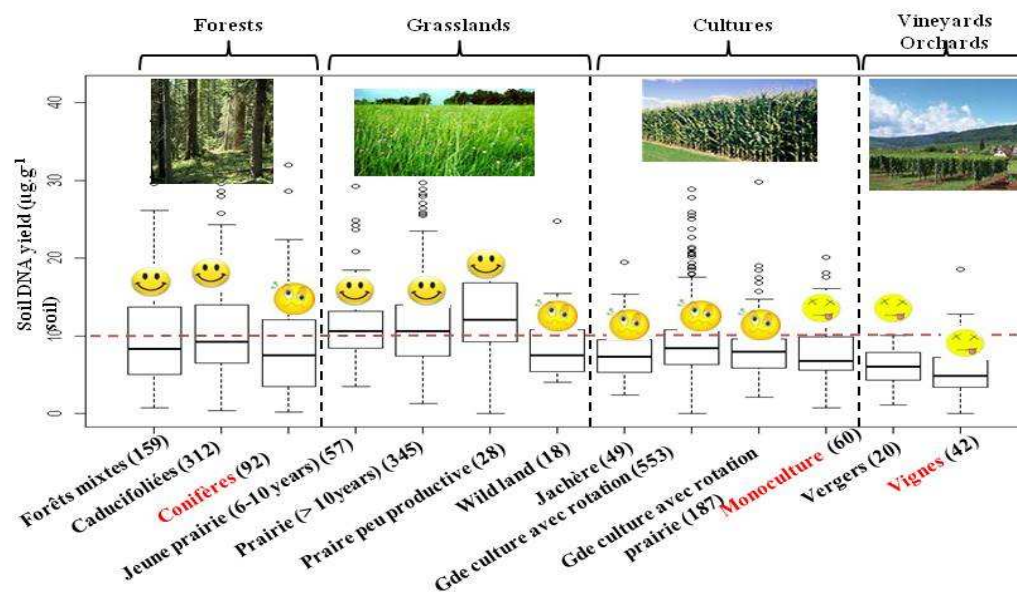


Les microorganismes hétérotrophes contrôlent la dynamique des matières organiques

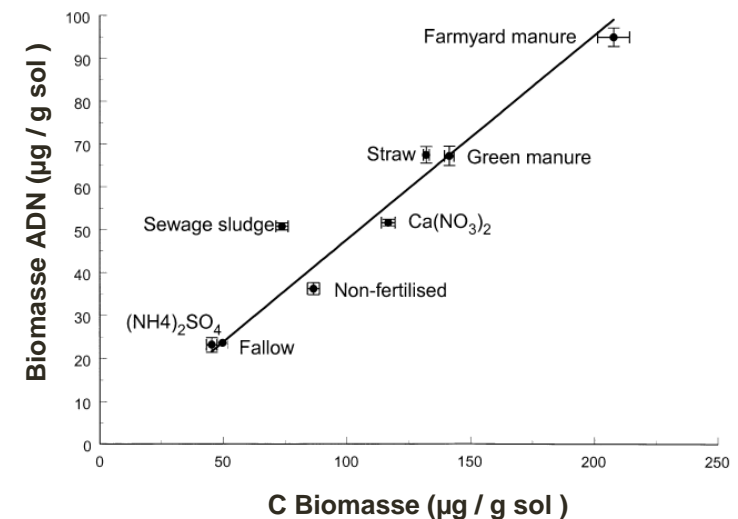
- Faune : 1-5 T/ha ; **Champignons** : 3,5 T/ha ; **Bactéries** : 1,5 T/ha

↳ 1g de sol > 500 00 champignons, 1 000 000 000 bactéries

↳ accès à l'ADN microbien du sol ⇒ 10^4 – 10^6 génotypes bactériens / g sol

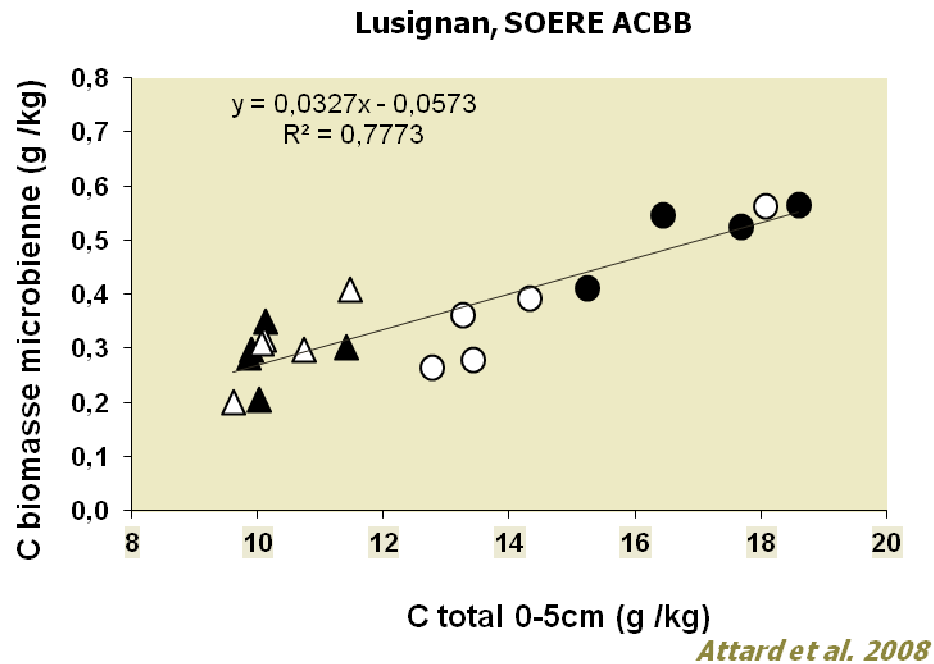


Dequiedt et al. *Global Ecol. Biogeogr.* 20:641-652.
Ranjard et al. *Nature Comm.* 4:1434.

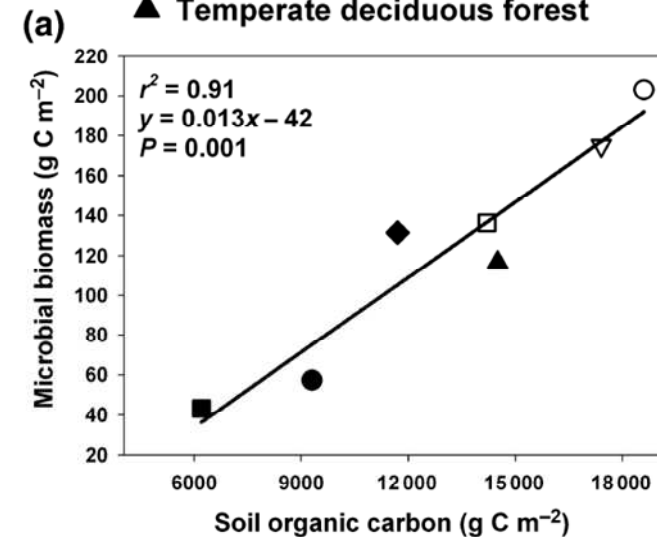
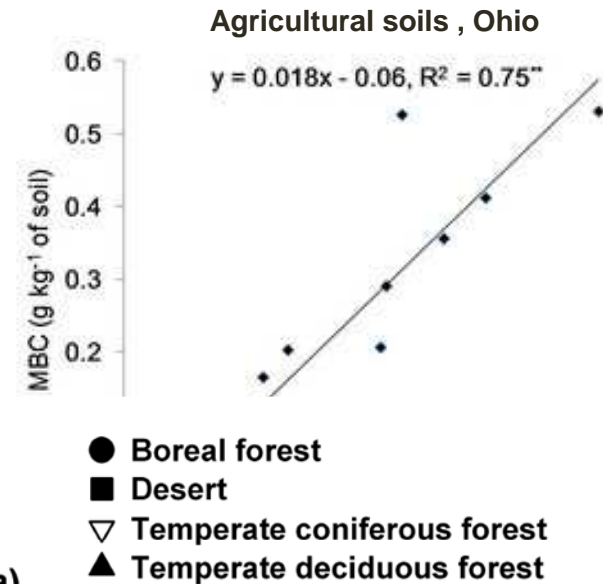


Marstorp et al. 2000

La microflore bactérienne et fongique des sols: fortement corrélée à la concentration en C organique



0.6 to 1.1% total C (Fierer et al. 2009); 1-3% total C
Wardle (1992), Zak et al. (1994) (0.3 – 3% total C)

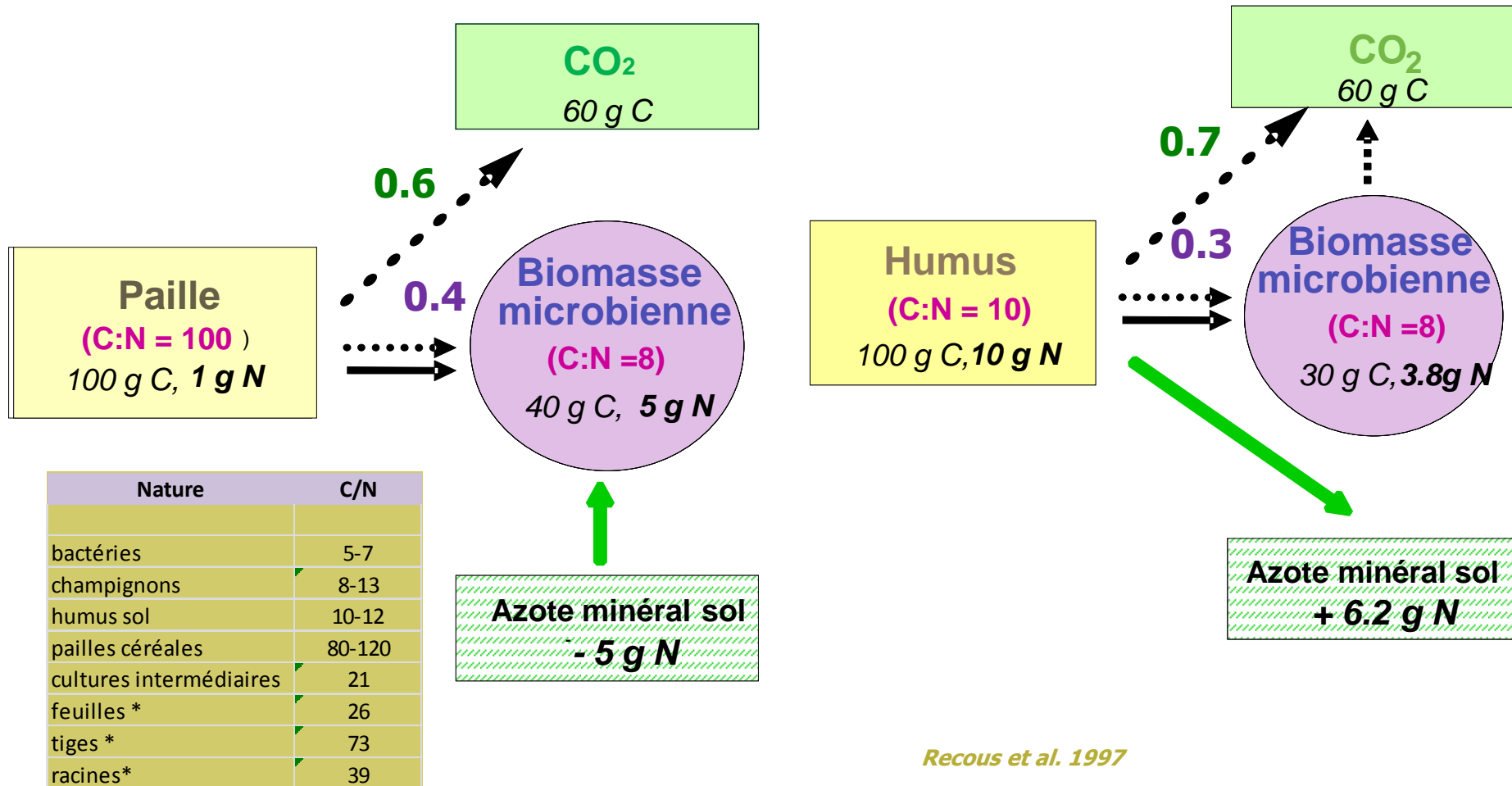


Fierer et al. 2009

La stœchiométrie régit les flux des nutriments au cours de la dégradation (rapports C:N:P:S)

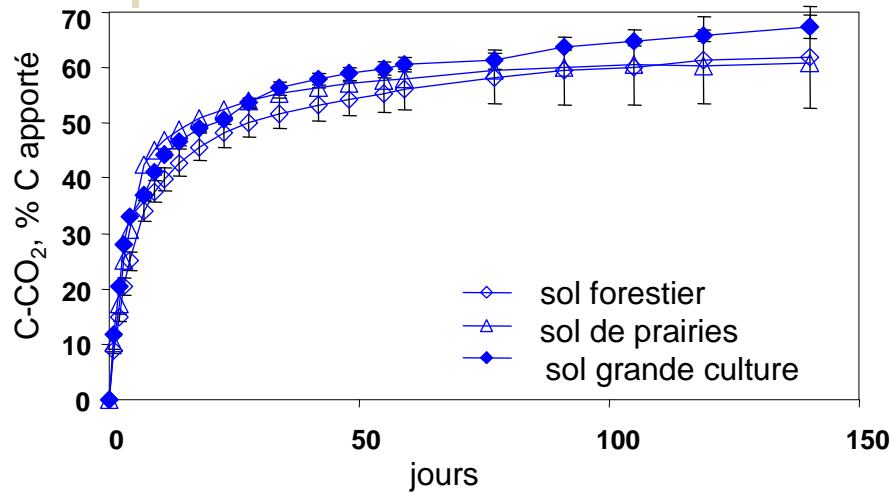
➤ Ex: la décomposition d'une paille provoque une organisation nette d'azote

➤ Ex: la décomposition de l'humus provoque une minéralisation nette d'azote

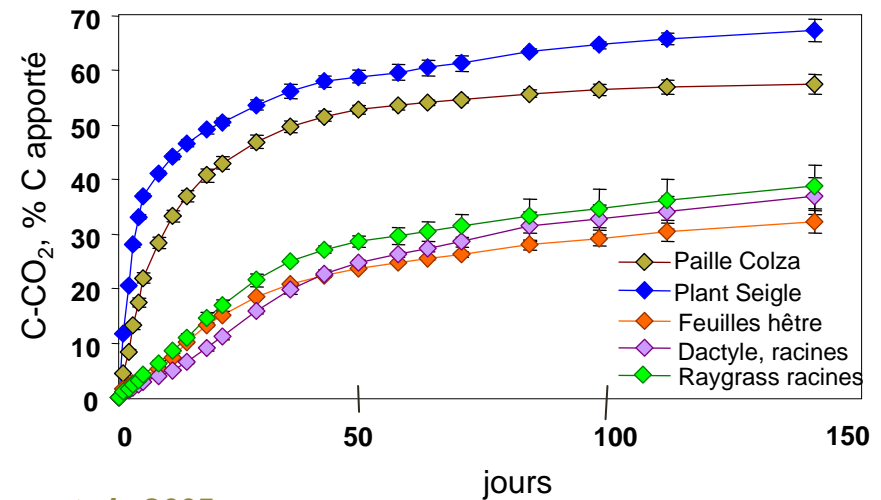


Quels effets de la qualité des litières et du type de sol sur la décomposition

Résidus de seigle dans trois sols

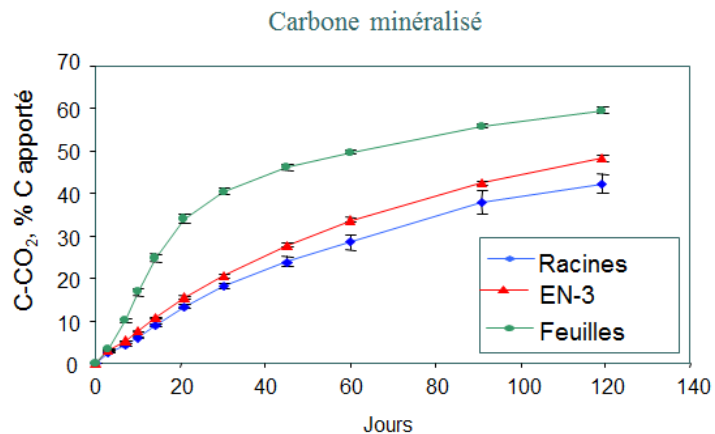


Cinq résidus de culture dans un même sol



Coppens et al., 2005

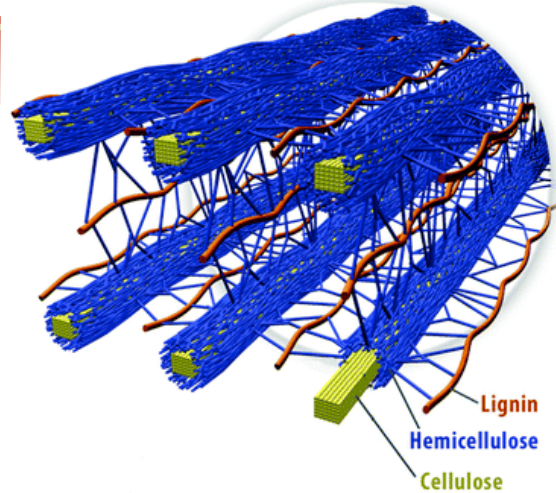
Trois organes d'une même plante



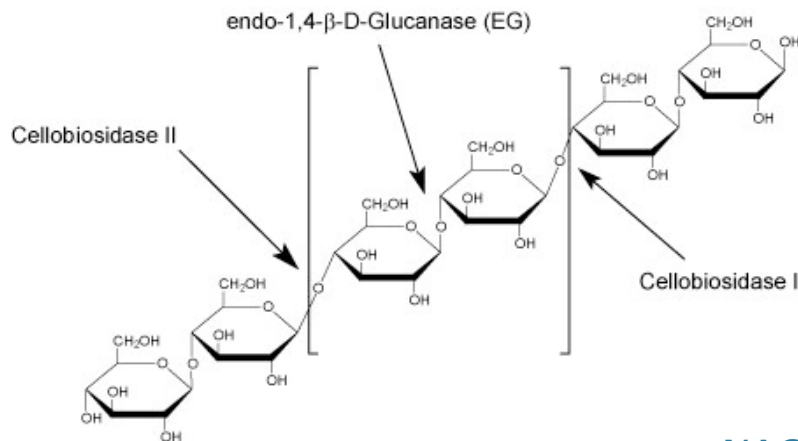
Bertrand et al., 2010

- Le seul C:N des litières végétales ne permet pas de prédire leur décomposition !
- La composition chimique détermine la qualité de la ressource pour les communautés

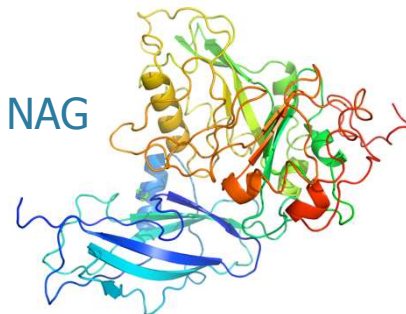
Les enzymes sont les agents de la décomposition



- **Les enzymes** sont substrat-spezifiques, comme la β -1,4-glucosidase, qui catalyse l'hydrolyse de la cellulose
- Les microorganismes équilibrent l'acquisition de leurs ressources (C, N, P..) en équilibrant la production de leurs enzymes, e.g., **β -1,4-glucosidase (BG)** pour **C**, **N-acetylglucosaminidase (NAG)** pour **N**, et **acide (alkaline)-phosphatase (AP)** pour **P**.



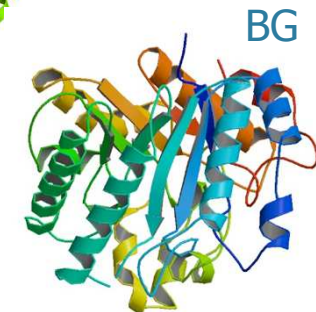
NAG



www.topsan.org



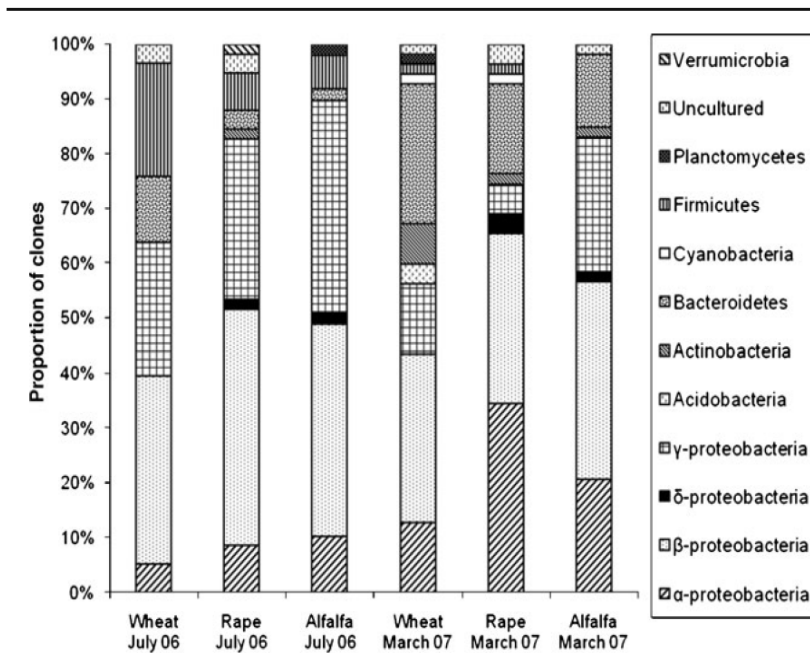
en.wikipedia.org



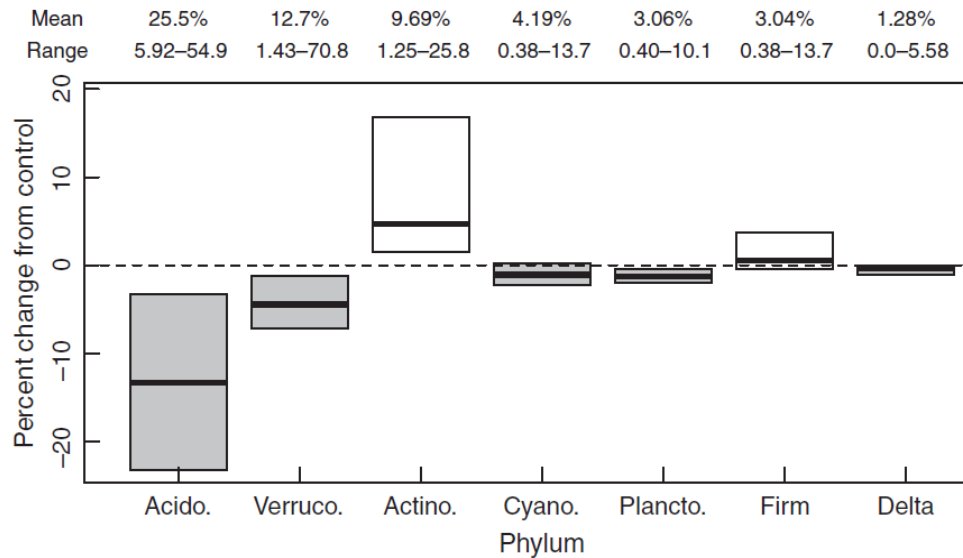
www.rcsb.org

La qualité des litières et la richesse en nutriments (ici N) impactent la composition des communautés microbiennes

La nature des substrats (composition chimique) modifie la structure de la communauté



Pascault et al., 2008

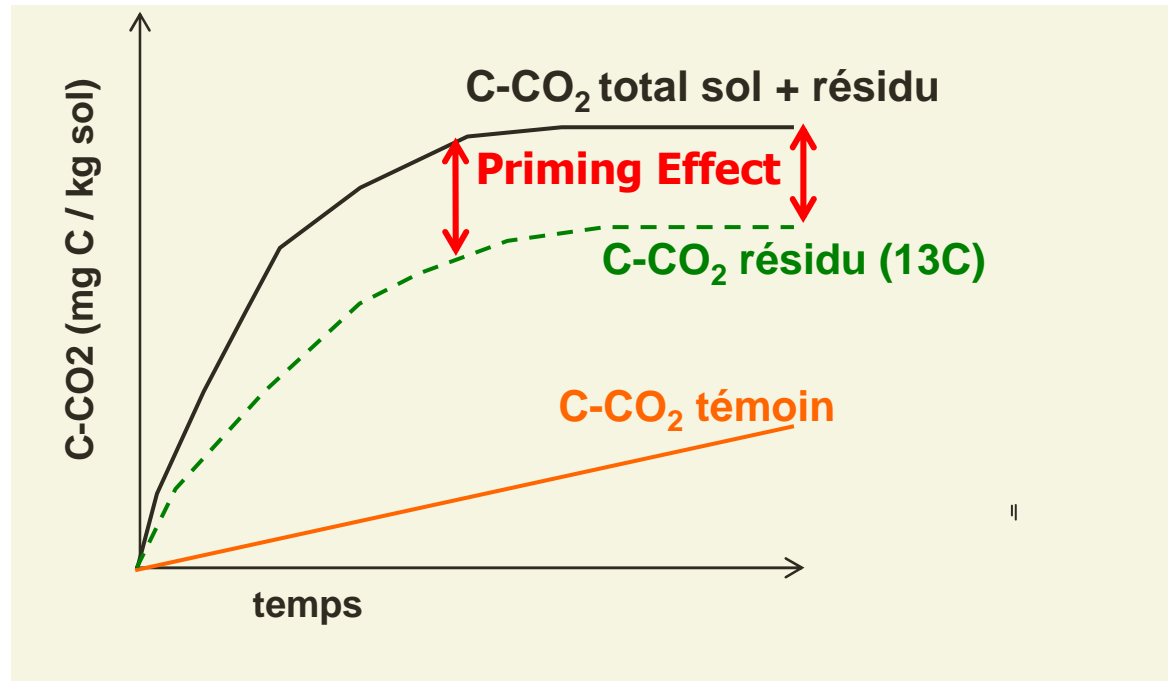


Ramirez et al 2009



La richesse en azote des sols modifie la composition de la communauté microbienne

Disponibilité du carbone, de l'azote et « priming effect », quels processus ? (1)



- H1: La décomposition de la matière organique des sols est limitée par l'énergie disponible pour les décomposeurs: l'apport de C labile permet alors la dégradation de MO stabilisée.
- H2 : Le besoin en nutriments des microorganismes: quand il y a déséquilibre entre C N disponible pour les hétérotrophes, les communautés fongiques équipées « enzymatiquement » récupèrent N grâce à la minéralisation des matières organiques humifiées (« mining »)

Disponibilité du carbone, de l'azote et « priming effect », quels processus ? (2)

➤ *Ex: effet sur la stabilisation du C profond des sols*

(Fontaine et al., Nature, 2007)

Propriétés du C non marqué émis

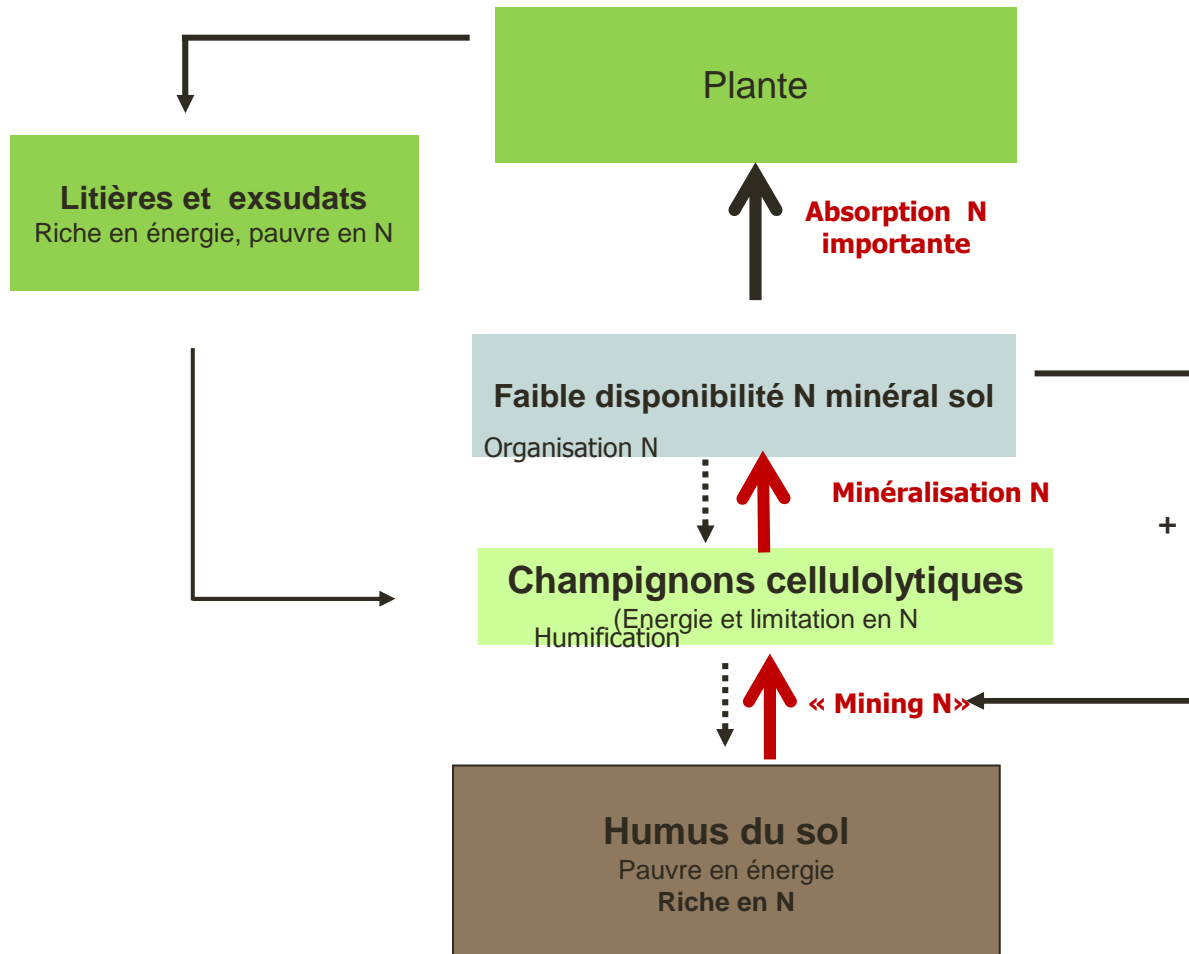
	Quantity (mg C kg ⁻¹)	¹⁴ C activity (MC%)	¹⁴ C age (yr BP)
Control soil	100 ± 4	97 ± 1.4	222 (+119/−117)
Soil with cellulose	172 ± 3	85 ± 1.6	1,329 (+154/−152)
Priming effect	72 ± 2	73 ± 2	2,567 (+226/−219)

Quantity, ¹⁴C activity and ¹⁴C age of unlabelled soil C released as CO₂ by the control, the soil with cellulose and the priming effect during the 161 days of incubation of the subsoil. Values are given as mean ± s.e.m. (n = 3). Standard errors of ¹⁴C age are asymmetric owing to the exponential decay of ¹⁴C.

Disponibilité du carbone, de l'azote et « priming effect », quels processus ? (3)

ex: Faible disponibilité en azote : déstockage des matières organiques

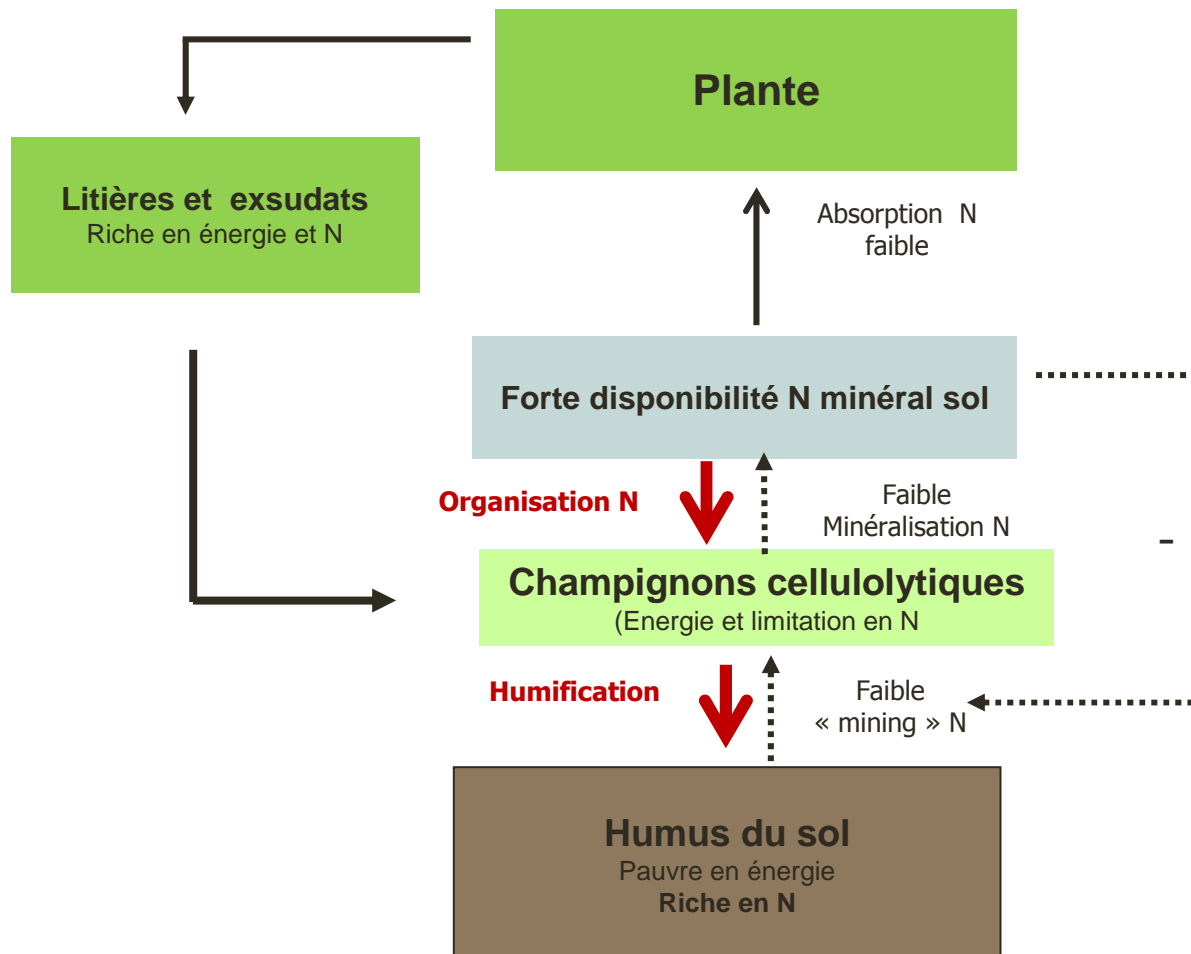
Fontaine et al. 2011



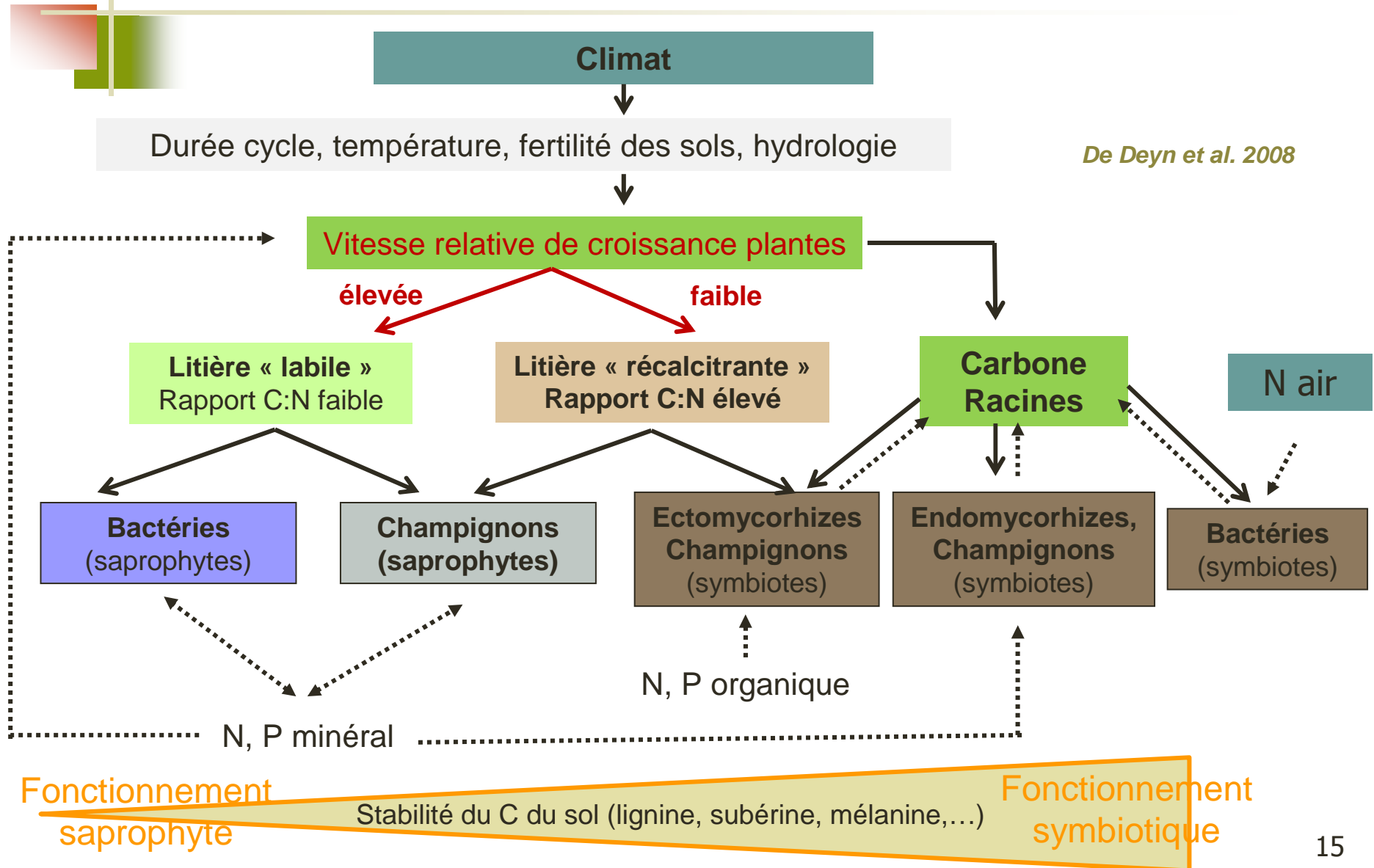
Disponibilité du carbone, de l'azote et « priming effect », quels processus ? (4)

Ex: forte disponibilité en azote : stockage des matières organiques

Fontaine et al 2011

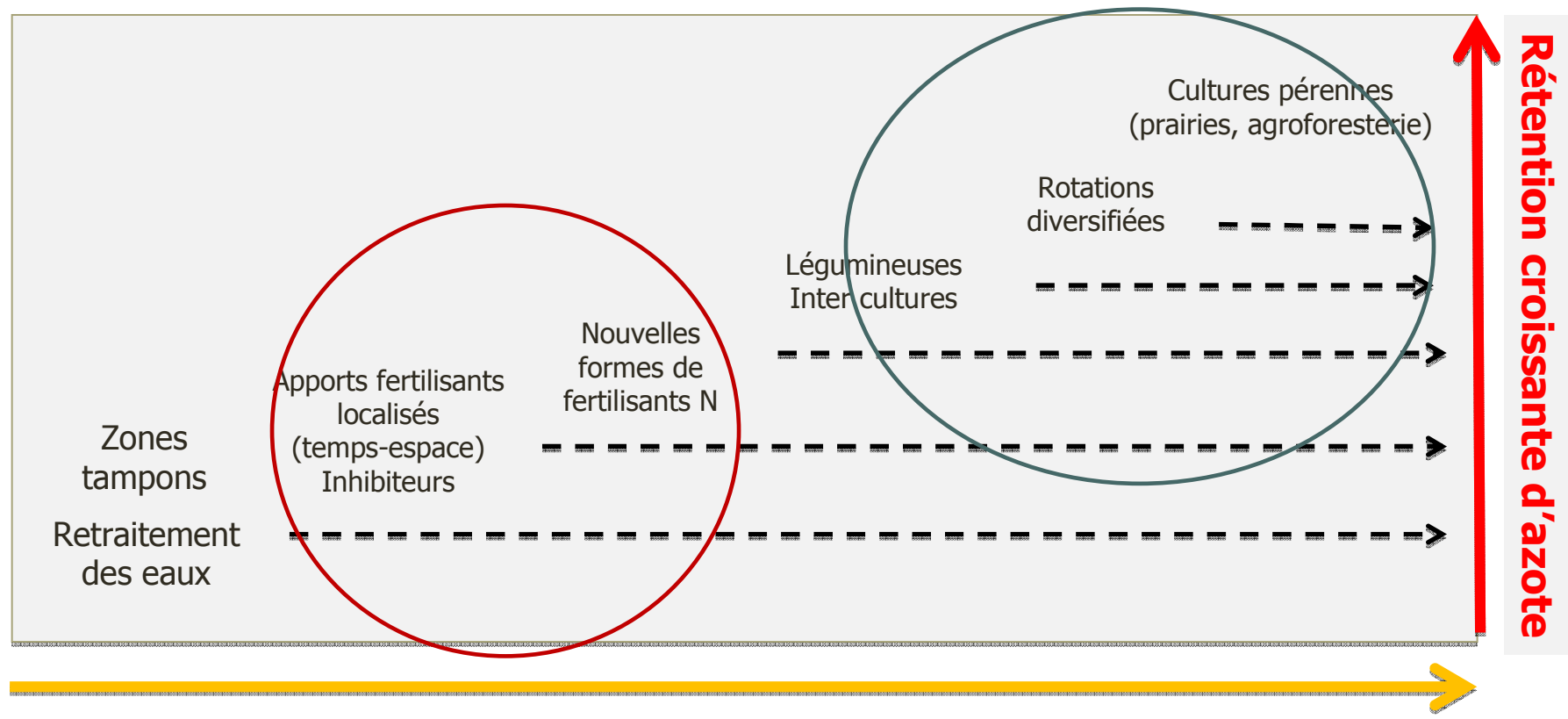
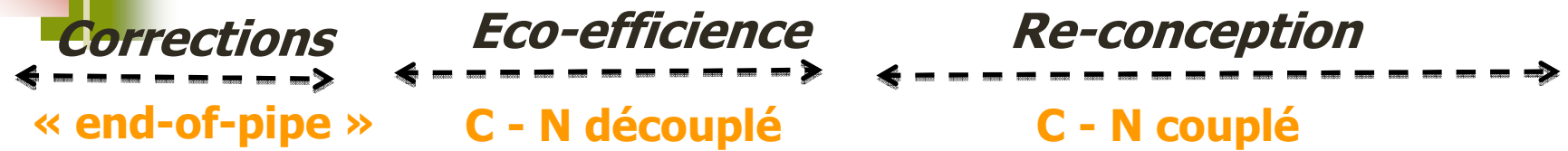


Une vision globale possible des relations directes & indirectes entre types de cultures et communautés du sol dans les agroécosystèmes



Gestion des ressources et couplage-découplage des cycles C et nutriments : quelles options ?

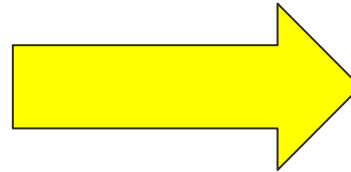
Hufnagl-Eichiner et al. 2011



Gestion des ressources et couplage-découplage des cycles C et nutriments : quelles options ?

Duru et al 2015

Efficiency-substitution



Biodiversité

End-of-the-pipe



Interception des pertes N des champs

Optimisation des pratiques



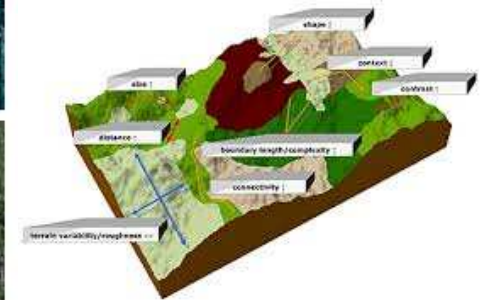
Réduction des pertes N dans les champs

Systèmes de culture diversifiés



Réduction les apports fertilisants N synthèse

Paysage multi-services



Gestion des ressources à l'échelle territoriale

Diversification et mélanges des espèces (1)



Mélange légumineuse+ non légumineuse en cultures intermédiaires

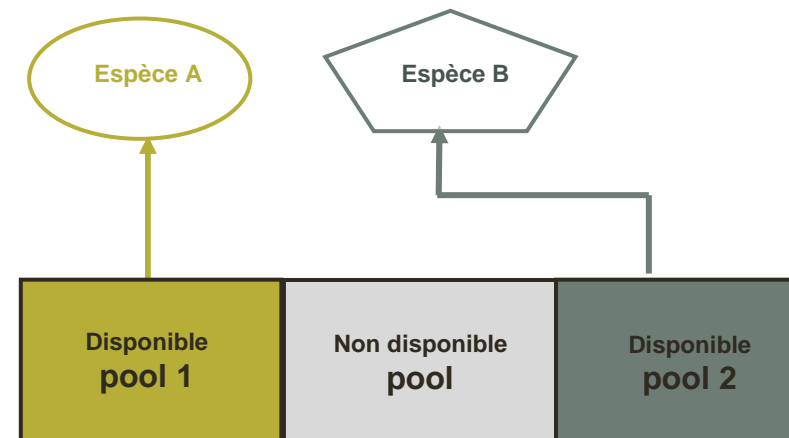
Combiner potentiel de piégeage du nitrate (céréale, crucifère) et capacité de recyclage en engrais vert (légumineuse)



Tribouillois et al. 2015



Complémentarité de niche : deux espèces utilisent des ressources différentes (nutriments, eau) et ont des caractéristiques différentes (traits fonctionnels)

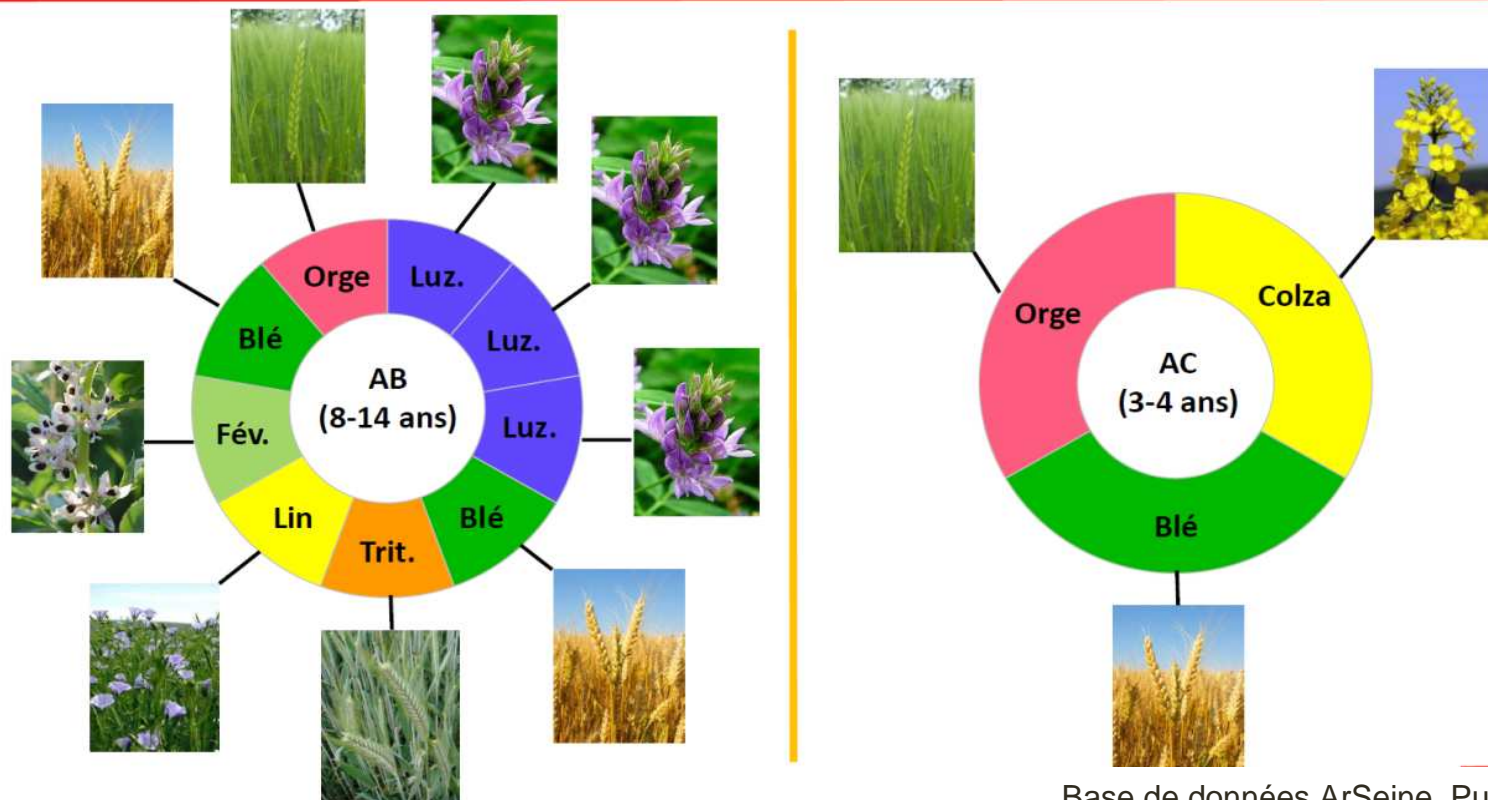


Diversification et mélanges des espèces (2)

Diversification des espèces, allongement des rotations & augmentation de la part de légumineuses (exemple sur un réseau d'exploitations en AB du bassin de la Seine) .

Rotations dominantes en AB et AC

J. Anglade et al. 2015



En résumé ...

- **La minéralisation de la matière organique par les microorganismes hétérotrophes** constitue la base de la chaîne trophique, pilote globalement les cycles du carbone et des nutriments, et impacte la production végétale et la composition atmosphérique
- **Les agents de la décomposition des matières organiques sont les exoenzymes** produits par les microorganismes qui déconstruisent les parois végétales, dépolymérisent les macromolécules et produisent des substrats solubles pour l'assimilation microbienne
- **La stœchiométrie régit les flux de carbone et des nutriments** entre les divers compartiments. Les communautés microbiennes diverses (types de sol, type de climat, de végétation, de milieux) ont en commun **une même stœchiométrie fonctionnelle** (enzymes) => principes écologiques très génériques
- **La diversité taxonomique et fonctionnelle des microorganismes des sols** est modifiée par la quantité et qualité des substrats (litières), la richesse en azote du milieu (fertilisation, teneur en matières organiques, nature des litières) et **impacte l'équilibre entre minéralisation et stabilisation**

Et Conclusion ...

- Gérer des matières organiques c'est **gérer un compromis entre minéralisation et stabilisation des matières organiques**, toutes deux indispensables au fonctionnement du système sol-plante. Ce compromis est potentiellement **facilité par l'usage simultané dans l'espace et/ou dans le temps de combinaison d'espèces** ayant des caractéristiques fonctionnelles (traits) différents : modes de croissance, allocation de biomasse, caractéristiques chimiques; explorations racinaires.
- **Les pertes vers l'environnement notamment d'azote peuvent être réduites voire supprimées, par un couplage étroit des cycles C & N.** Le couplage « idéal » étant celui offert par les plantes fixatrices d'azote. Tous ces mécanismes sollicitent les composantes taxonomiques et fonctionnelles des microorganismes des sols.

Merci pour votre attention !