



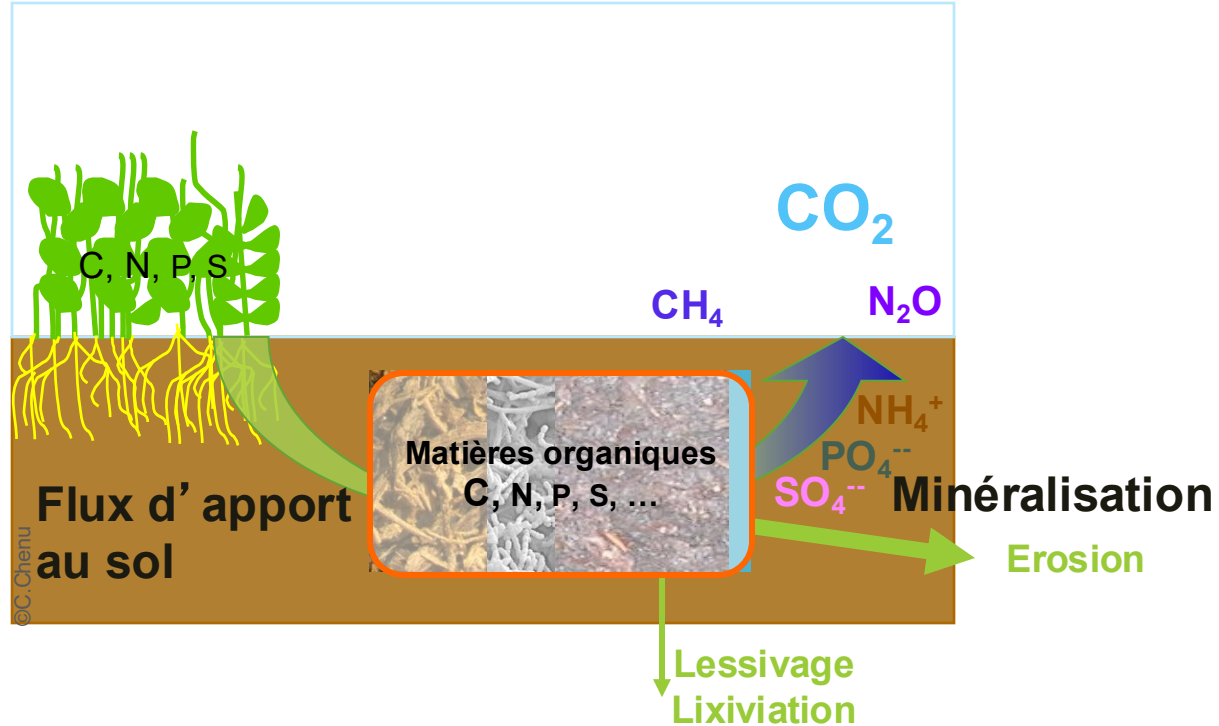
Stratégies d'atténuation - Stockage du carbone dans les sols cultivés *sous CO₂ élevé*

Claire Chenu

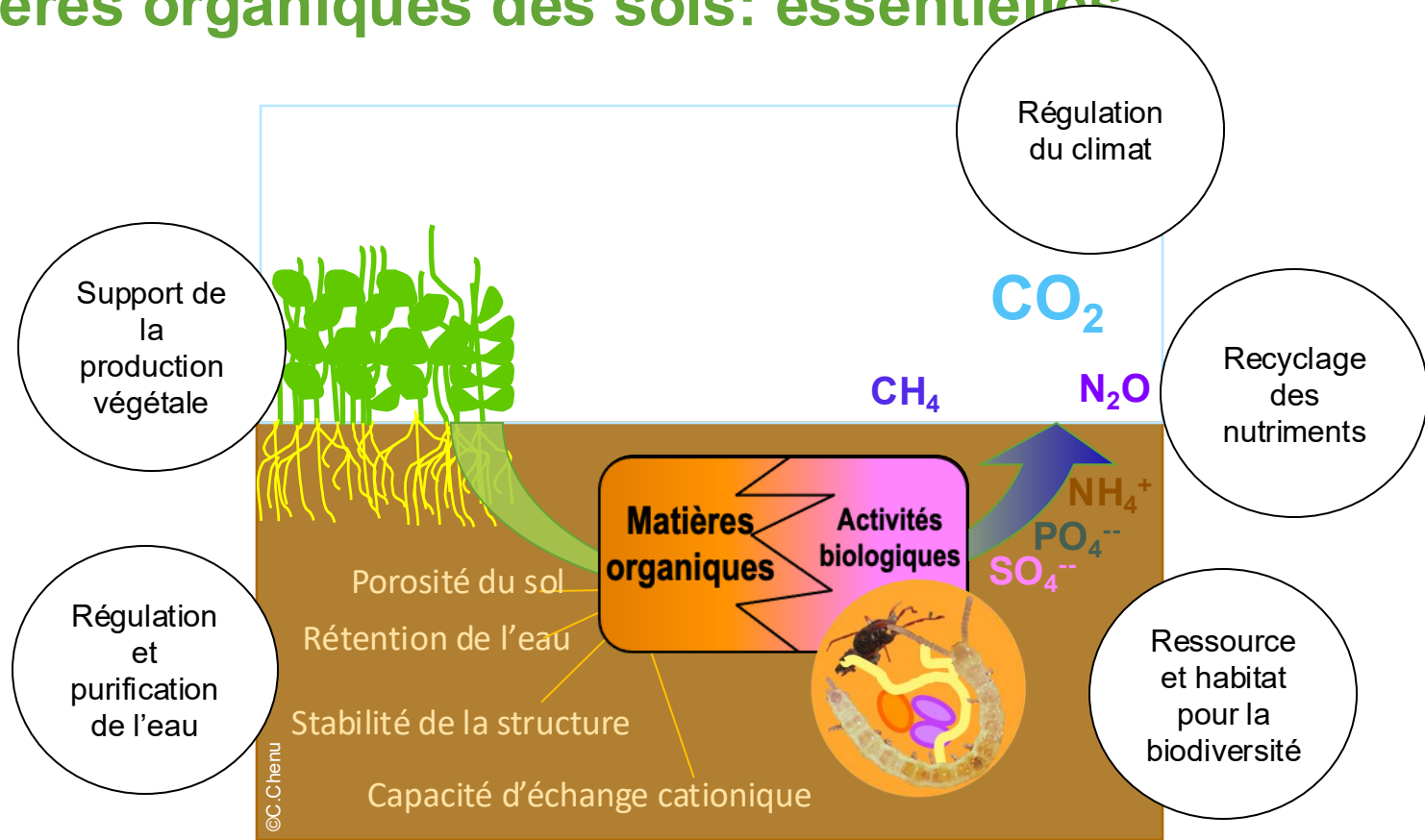
INRAE, Université Paris-Saclay, AgroParisTech

claire.chenu@inrae.fr

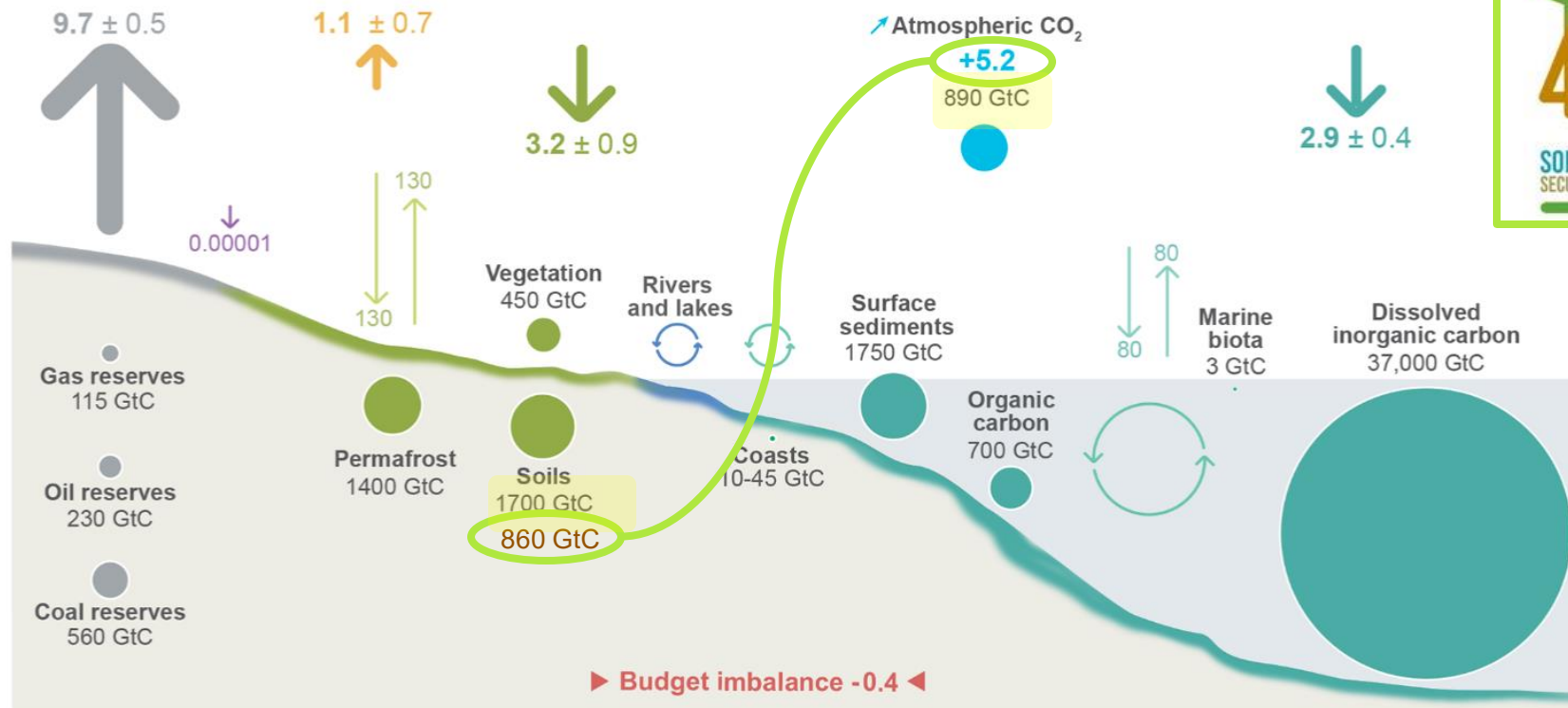
Matières organiques des sols



Matières organiques des sols: essentielles



Les sols dans le cycle du C global



**Anthropogenic fluxes
2014-2023 average
GtC per year**



Fossil CO₂ E_{FOS}



Land-use change E_{LUC}



CDR not included in E_{LUC}



Land uptake S_{LAND}



Ocean uptake S_{OCEAN}



Atmospheric increase G_{ATM}



Budget imbalance B_{IM}



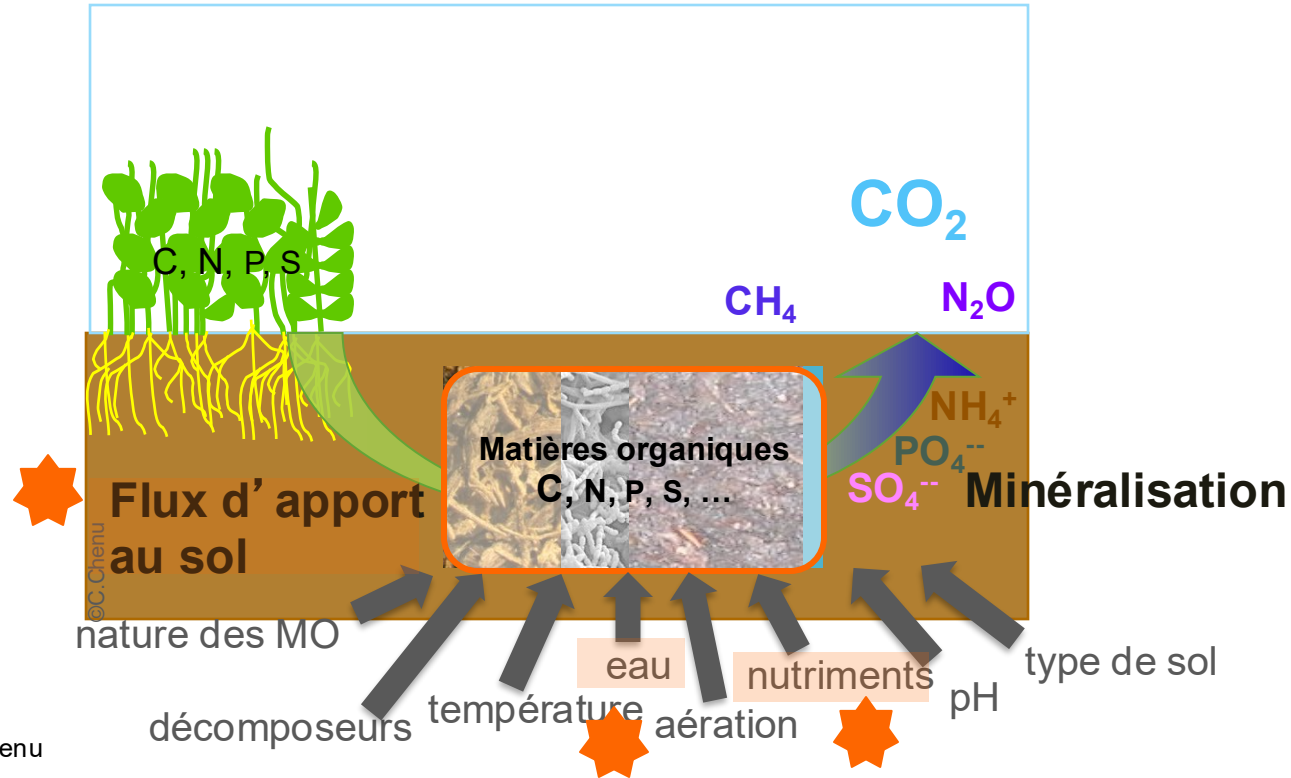
Stocks GtC



Natural carbon fluxes in GtC

Friedlinstein et al. 2025

Effets eCO₂ ?

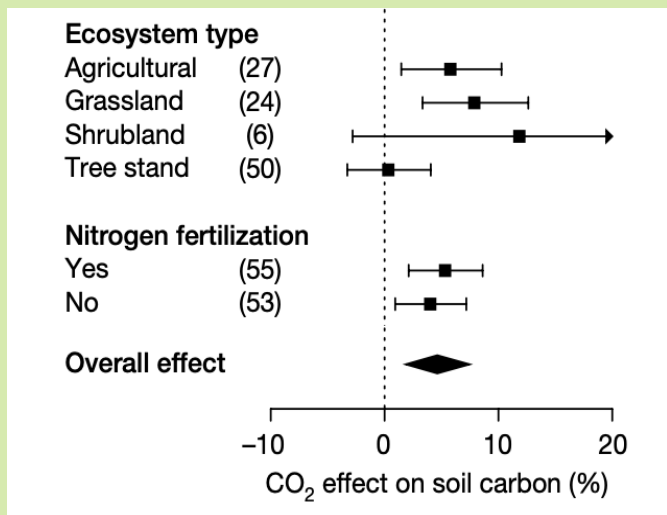




Stockage du carbone dans les sols cultivés sous eCO₂

Quels effets nets sur le C des sols?

Effet sur les stocks de carbone des sols



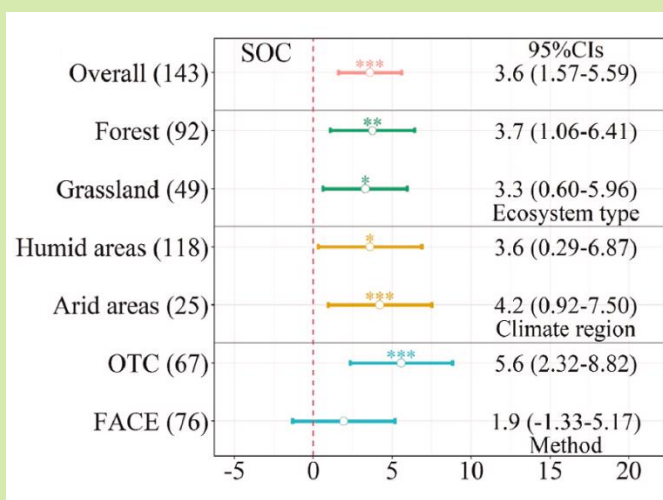
n=108

Durée ≤ 10 ans

eCO₂: +200-+400ppm

SOC: +4,6%

Terrer et al. 2021, Nature



n=207

Durée ≤ 10 ans

eCO₂: +100-+400ppm

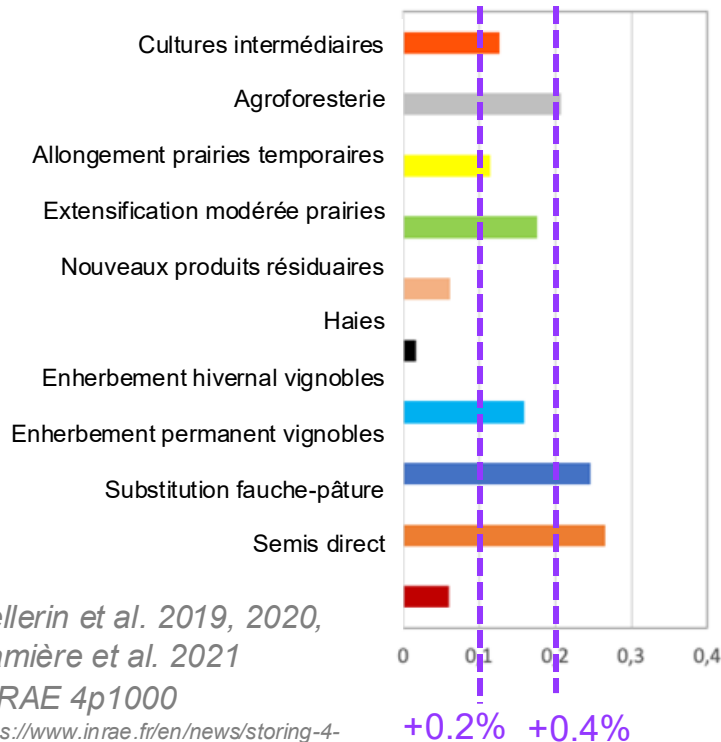
SOC : +3.6%

Liu et al. 2025, SBB

Potentiel de stockage additionnel de C en sols cultivés

Stockage additionnel de C (après 30 ans)

tC ha⁻¹ an⁻¹



Stocks de C moyens sols cultivés France : 50 tC/ha
=> +0,1 tC ha⁻¹an⁻¹ ≈ + 0,2%

eCO2: une augmentation du même ordre de grandeur que celle induite par des pratiques agricoles “stockantes”

Pellerin et al. 2019, 2020,
Bamière et al. 2021
INRAE 4p1000
<https://www.inrae.fr/en/news/storing-4-1000-carbon-soils-potential-france>

+0.2% +0.4%

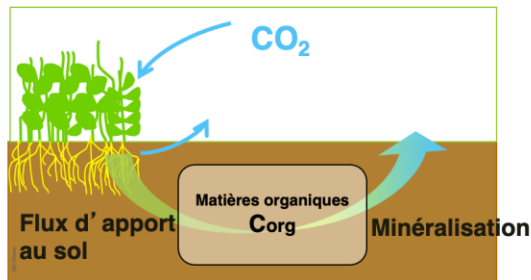
Effets observés en eCO₂

Une augmentation des apports

- + 20% *Van Groenigen et al. 2014*
- racines +32% *Liu et al. 2025*:

Une différenciation des apports

- Le rapport root/shoot augmente en conditions limitantes en N *Liang et al 2016*
- La biomasse des racines fines augmente +20-40% *van Groenigen et al. 2017*
- Approfondissement des racines en prairie *Iversen, 2010 ; Nie et al., 2013*



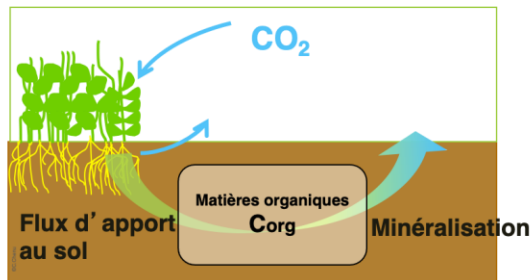
Une augmentation des pertes par respiration

- Constante de décomposition: + 16,5% *Van Groenigen et al. 2014*,
- Respiration du sol prairies : + 15% *Liu et al. 2025*

Effets observés en eCO₂

Une augmentation des apports

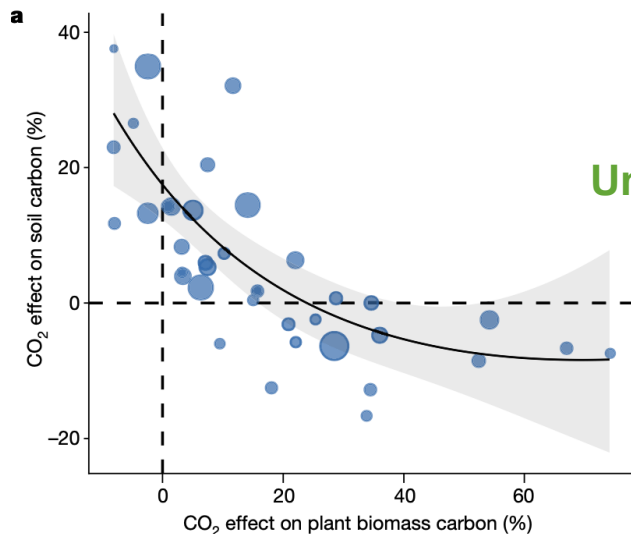
- + 20% *Van Groeningen et al. 2014*
- racines +32% *Liu et al. 2025*:



Une augmentation des pertes par respiration

- Constante de décomposition: + 16;5% *Van Groeningen et al. 2014*,
- Respiration du sol prairies : + 15% *Liu et al. 2025*

Une différenciation des apports



Un trade-off entre biomasse et sol?

Terrer et al. 2021

n=108

Tous écosystèmes

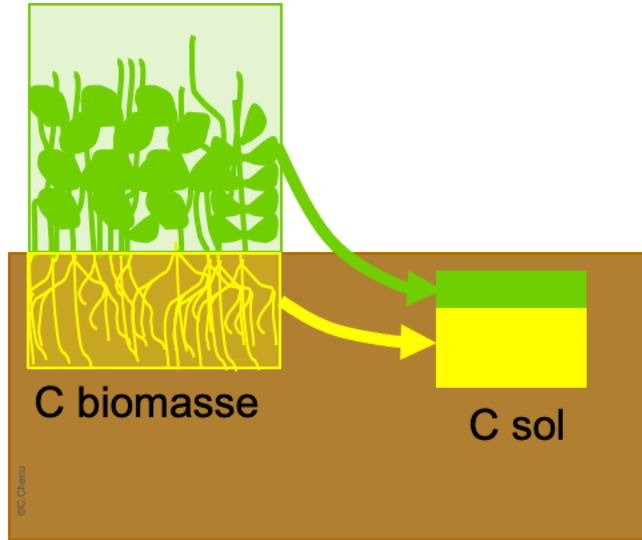


Stockage du carbone dans les sols cultivés sous eCO₂

Quels effets nets sur le C des sols?

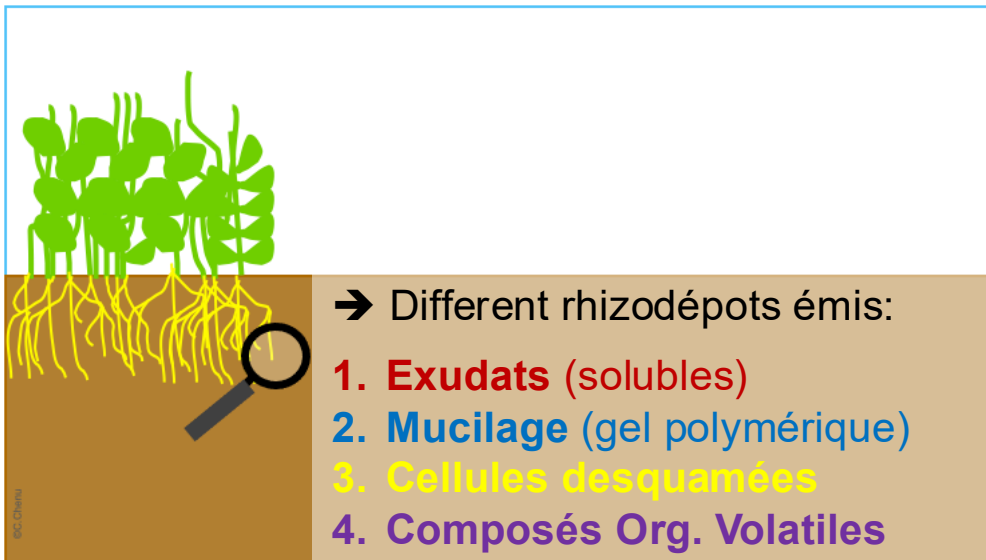
Processus impliqués?

Un stockage préférentiel de C à partir des entrées de C souterraines



Rasse et al. 2005
Katterer et al. 2011
Sokol & Bradford, 2019

Entrées souterraines de C au sol : rhizodépôts

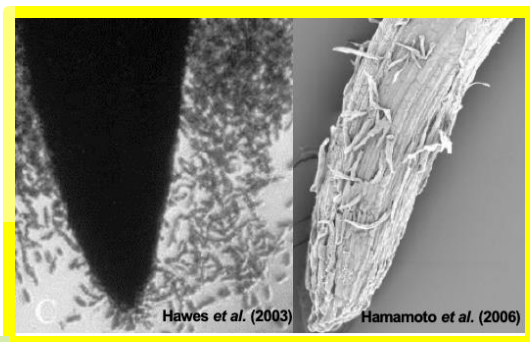


5 à 15% du C photosynthétisé

Pausch et Kuzyakov 2018

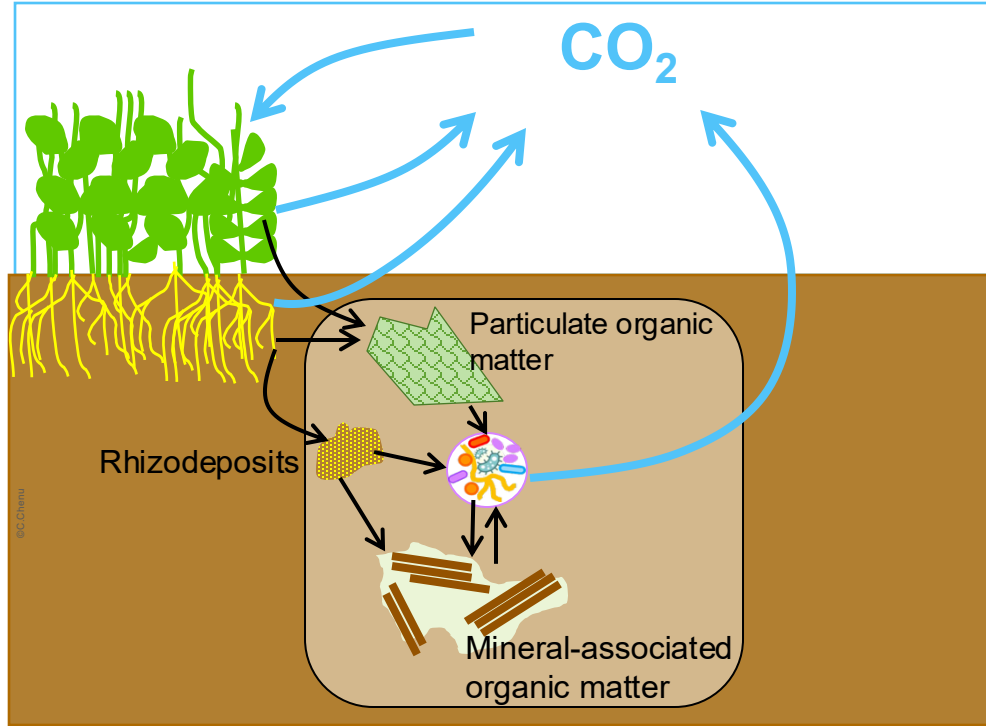
eCO₂ : augmentation de la rhizodéposition : + 20-40%

Pausch et Kuzyakov 2018, Cambron et al. 2021



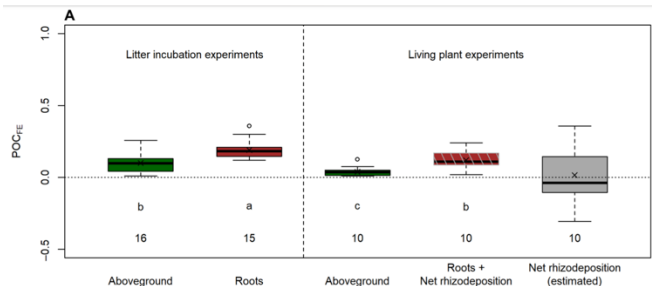
@F. Rees

Un stockage préférentiel de C à partir des entrées de C souterraines: processus

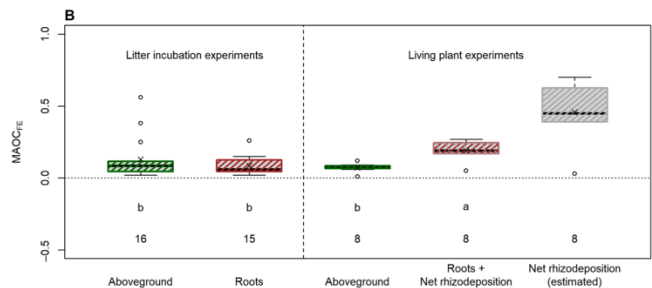


Un stockage préférentiel de C à partir des entrées de C souterraines: processus

Particulate organic matter

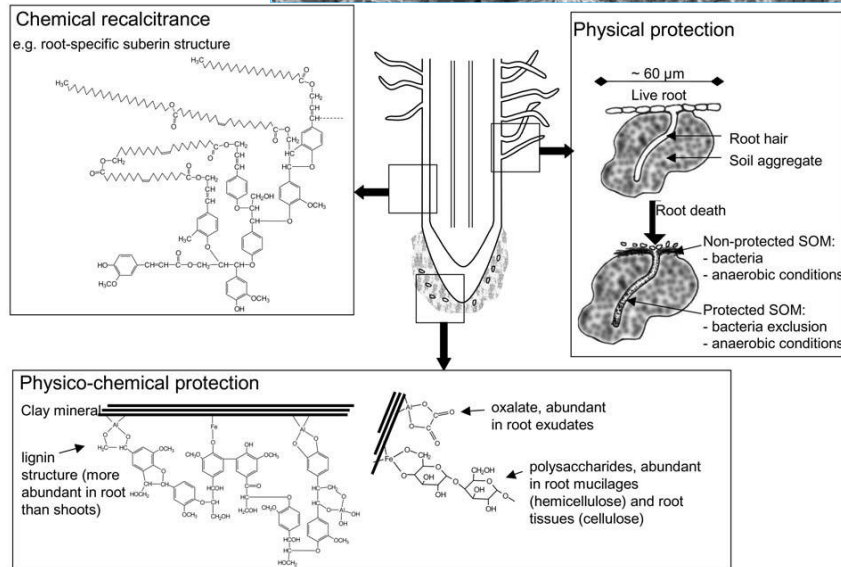
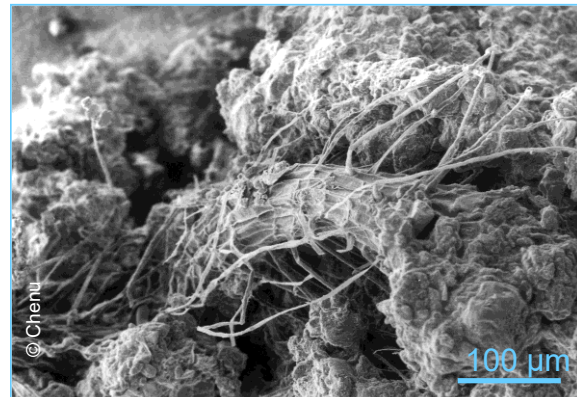


Mineral associated organic matter



Villarino et al. 2021

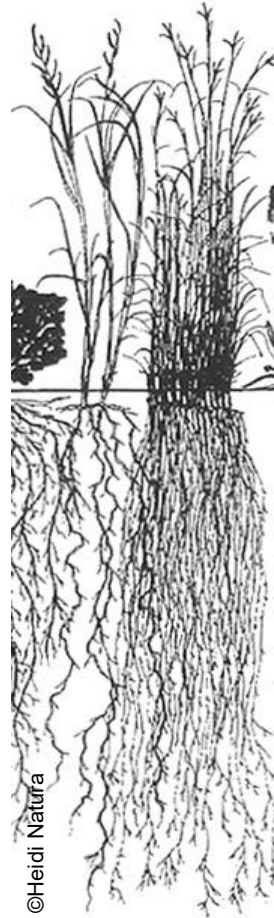
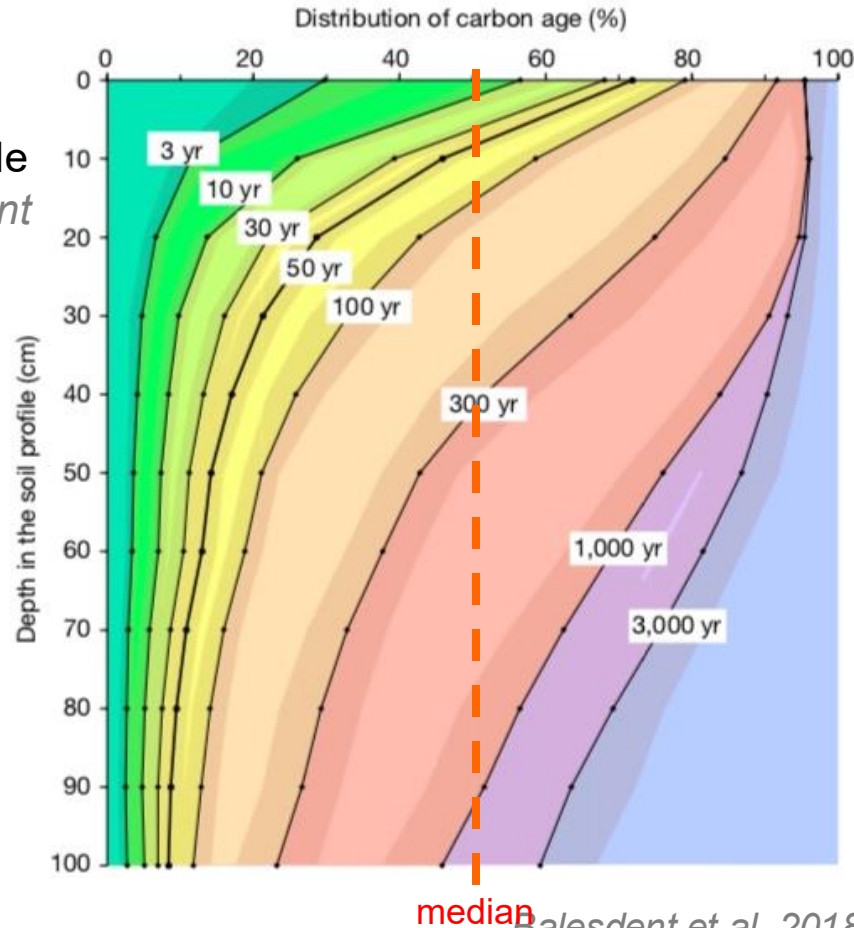
Une incorporation préférentielle du C rhizodéposé dans des fractions à temps de renouvellement lent



Rasse et al. 2005

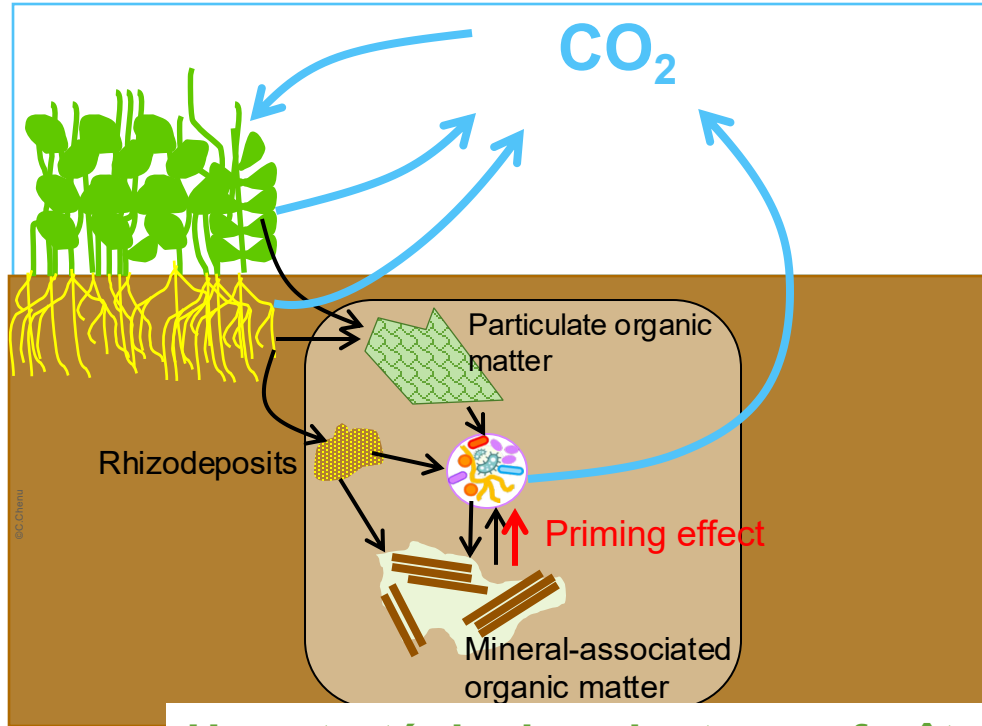
Stabilisation accrue du C du sol en profondeur

Meta-analyses sur la distribution des ages du C du sol (55 profils de sol sous prairie et forêt) (*Balesdent et al. 2018, Nature*)



Balesdent et al. 2018, Nature

Priming effect: un “minage” de l’azote organique du sol

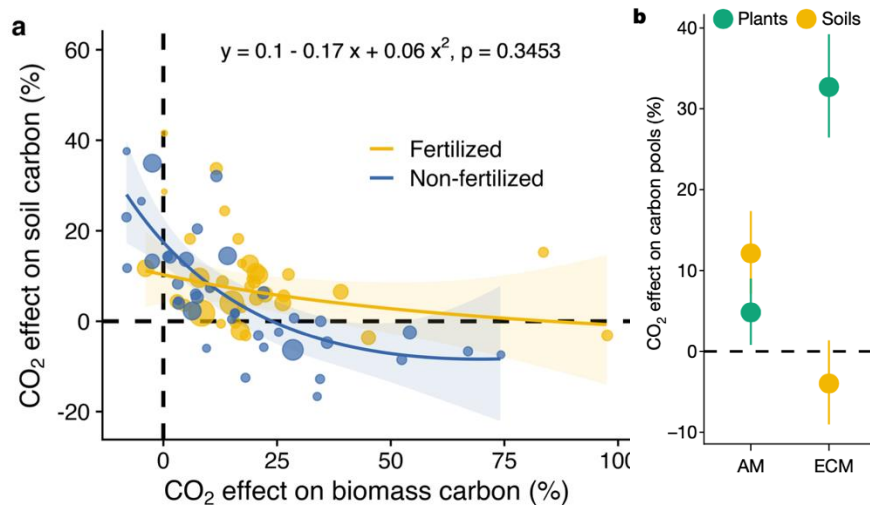
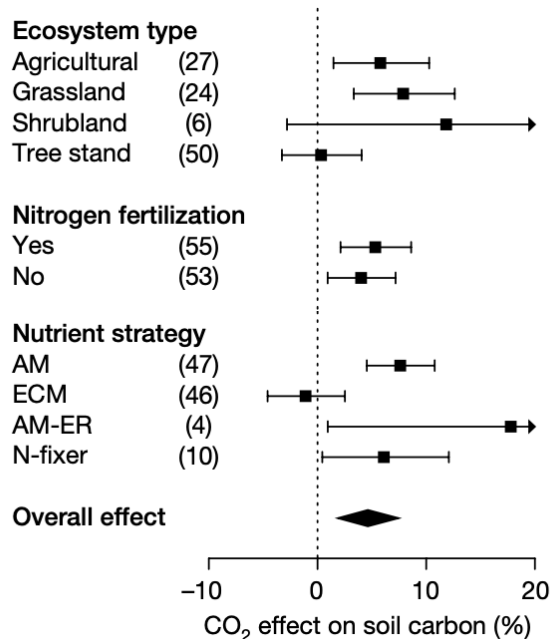


eCO₂ :

- Priming effect+ (*Vestegaaard et al. 1996*, revue *Kuzyakov et al. 2018*)
- Minéralisation de l’azote accrue (*Dijkstra et al. (2010)*)
- Exsudation accrue :
 - acides carboxyliques + 111%
 - sucres + 47 %(méta-analyse *Cambron et al. 2021*)

Une stratégie des plantes en forêt, en prairie (et en culture ?)
pour faire face à la limitation d’azote en conditions CO₂ élevé

En conditions eCO2: des interactions complexes

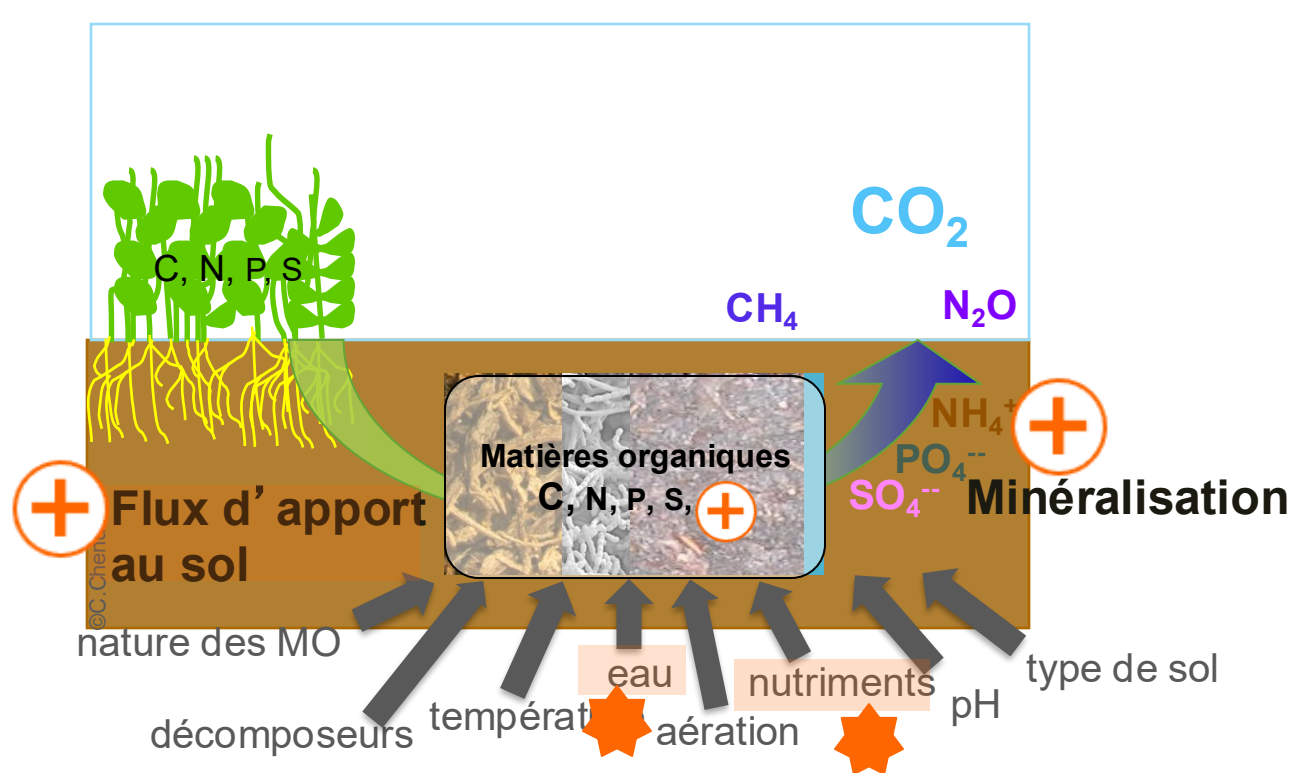


Terrer et al. 2021, Nature

Mycorrhizes, priming effect...

Des stratégies contrastées d'acquisition des nutriments N, P

Bilan des effets eCO₂ ?





Quels bénéfices potentiels liés à une modification des systèmes racinaires en eCO₂?

Modèle de culture incorporant l'exsudation et les propriétés physiques des sols (Jarvis et al. 2023)

- 4 "idéotypes" de blé

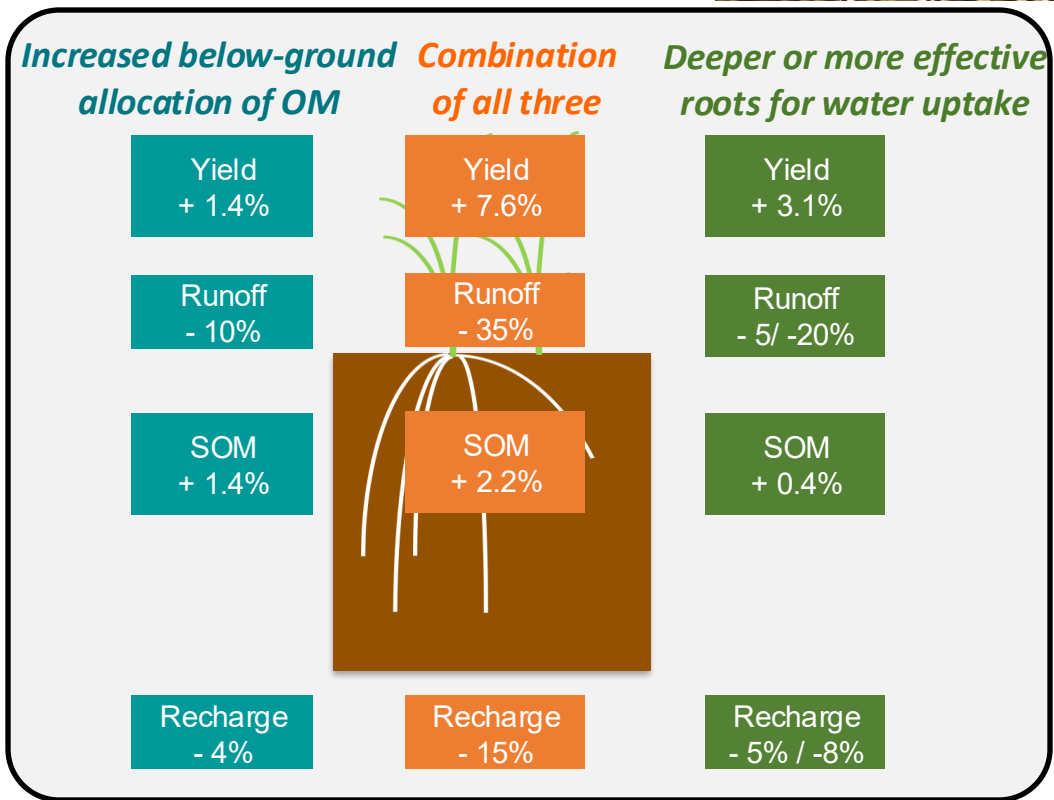
1. Allocation de C aux parties racinaires accrue

2. Racines plus profondes

3. Racines plus efficaces / eau

4. Combination des trois

- ❖ La sélection variétale modifiant ces traits peut ↗ les stocks de C des sols sans ↘ rendements
- ❖ Synergies et trade-offs: ↘ ruissellement et recharge des aquifères



EJP SOIL
European Joint Programme

EJP SOIL has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme: Grant agreement No 862695



Coucheney et al. 2024. EJSS



Stockage du carbone dans les sols cultivés sous eCO₂

Quels effets nets sur le C des sols?

Processus impliqués?

eCO₂ vs autres composantes du changement climatique ?

Effets conjoints des différentes composantes du changement climatique ?

eCO₂, ↗ température, changements de régime hydrique...

Fortes incertitudes, les modèles d'écosystème actuels ne peuvent prendre en compte les processus affectés par eCO₂

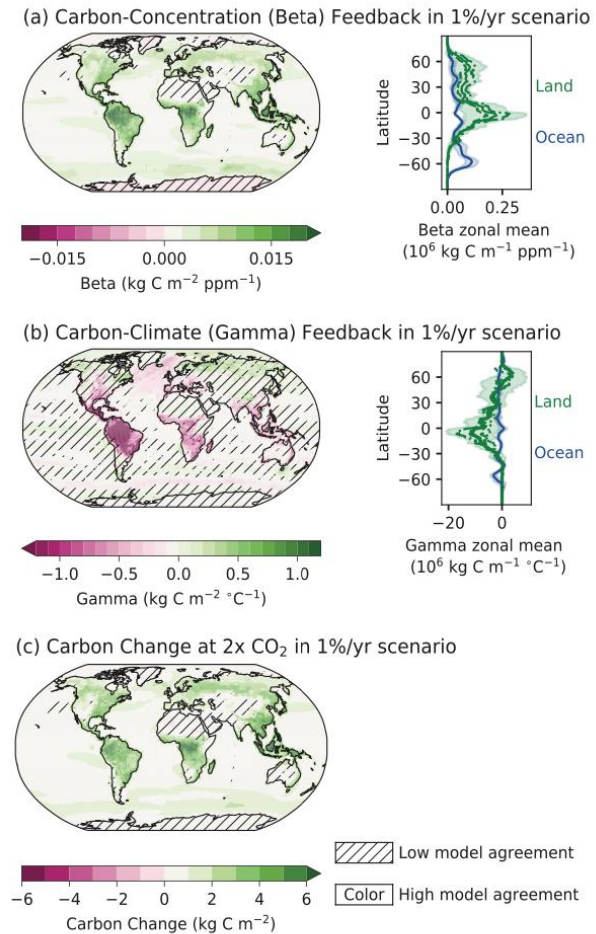


Figure 5.27 | Maps of carbon-concentration and carbon-climate feedback terms, as well as net carbon changes under the idealized 1% per year carbon dioxide (CO₂) scenario, as evaluated from CMIP6 Earth system models (ESMs). Shown are the model means from nine CMIP6 ESMs. Uncertainty

Conclusion



- Effets eCO₂ moins documentés sols cultivés < prairie < forêts
- Effets positifs non négligeables de eCO₂ *seul* sur les stocks de C des sols dans les sols de cultivés et de prairie. Additivité / effet de pratiques agricoles stockantes?
- Processus complexes dans la rhizosphère, en interaction
- Systèmes racinaires et rhizodéposition : sensibles à (eCO₂, eau..) et acteurs de l'adaptation des agroécosystèmes aux changements climatiques
- Effets de eCO₂ vs autres composantes du changement climatique?



EJP SOIL has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme: Grant agreement No 862695



Merci pour votre attention

www.ejpsoil.eu
claire.chenu@inrae.fr

