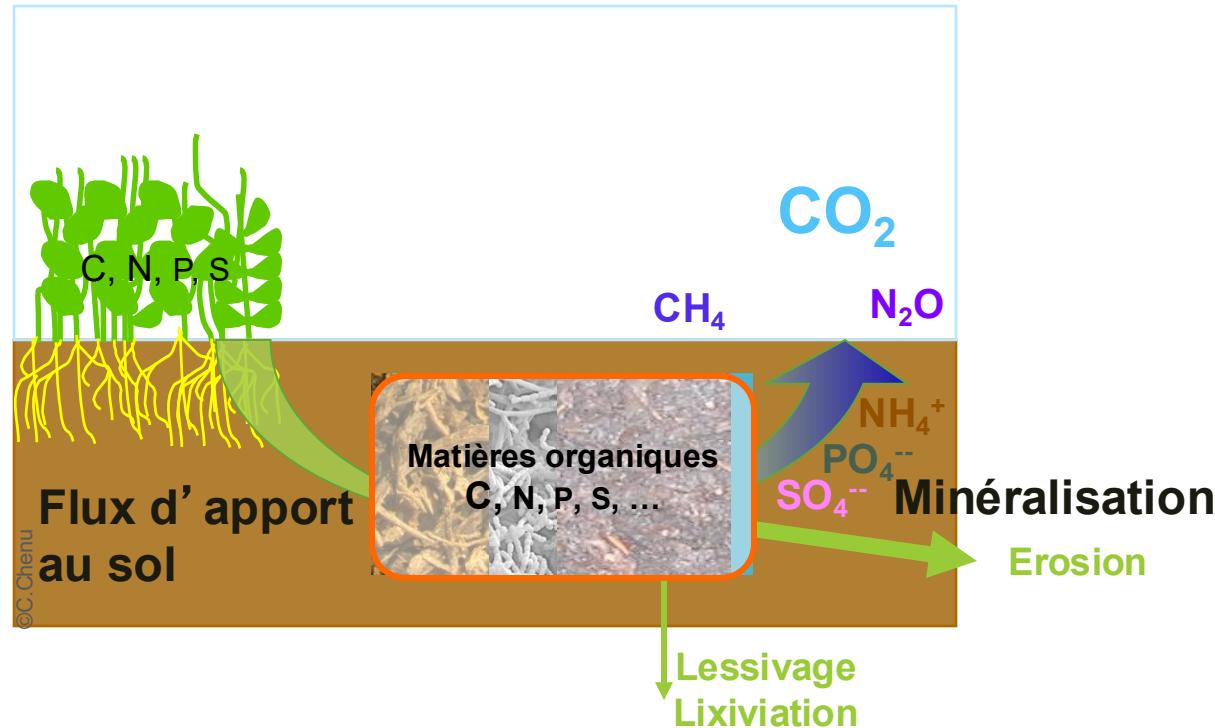




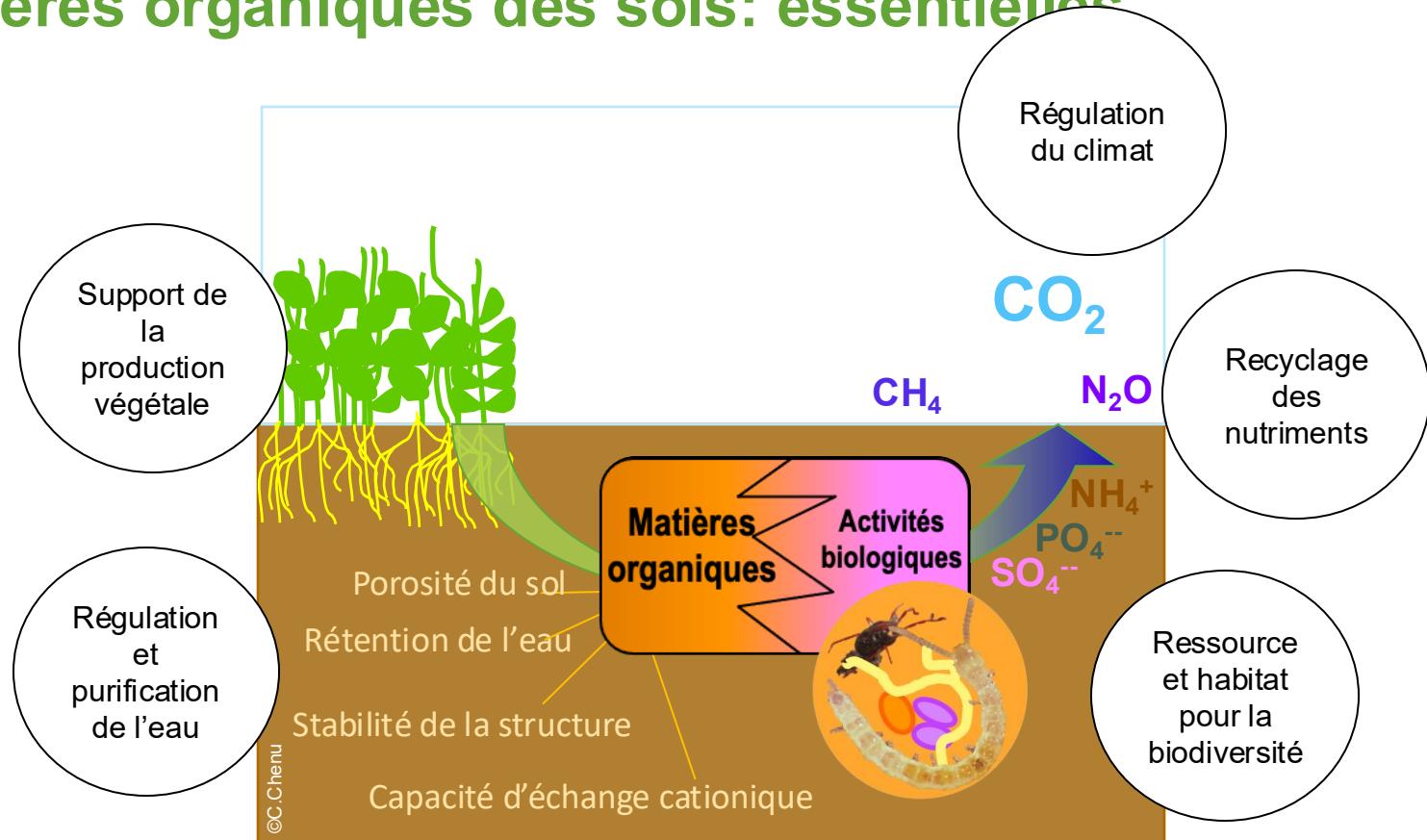
Stratégies d'atténuation - Stockage du carbone dans les sols cultivés sous CO₂ élevé

Claire Chenu
INRAE, Université Paris-Saclay, AgroParisTech
claire.chenu@inrae.fr

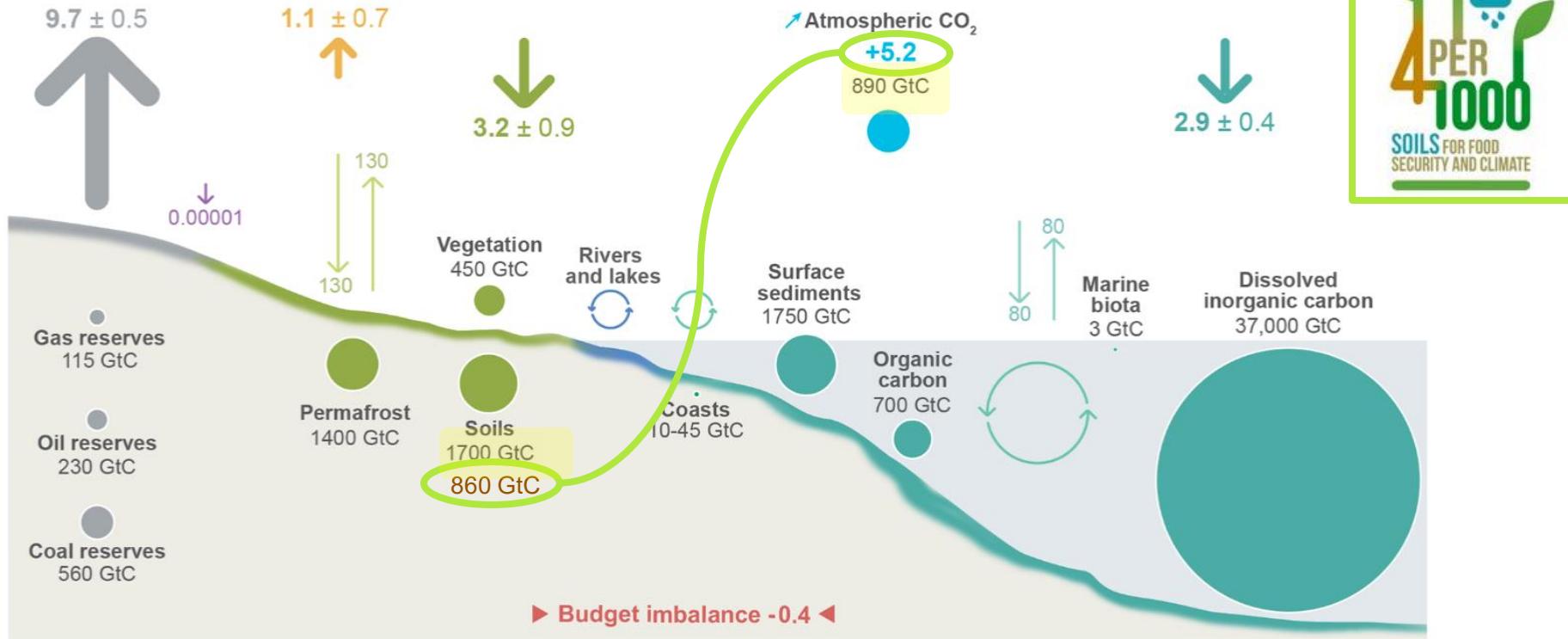
Matières organiques des sols



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}

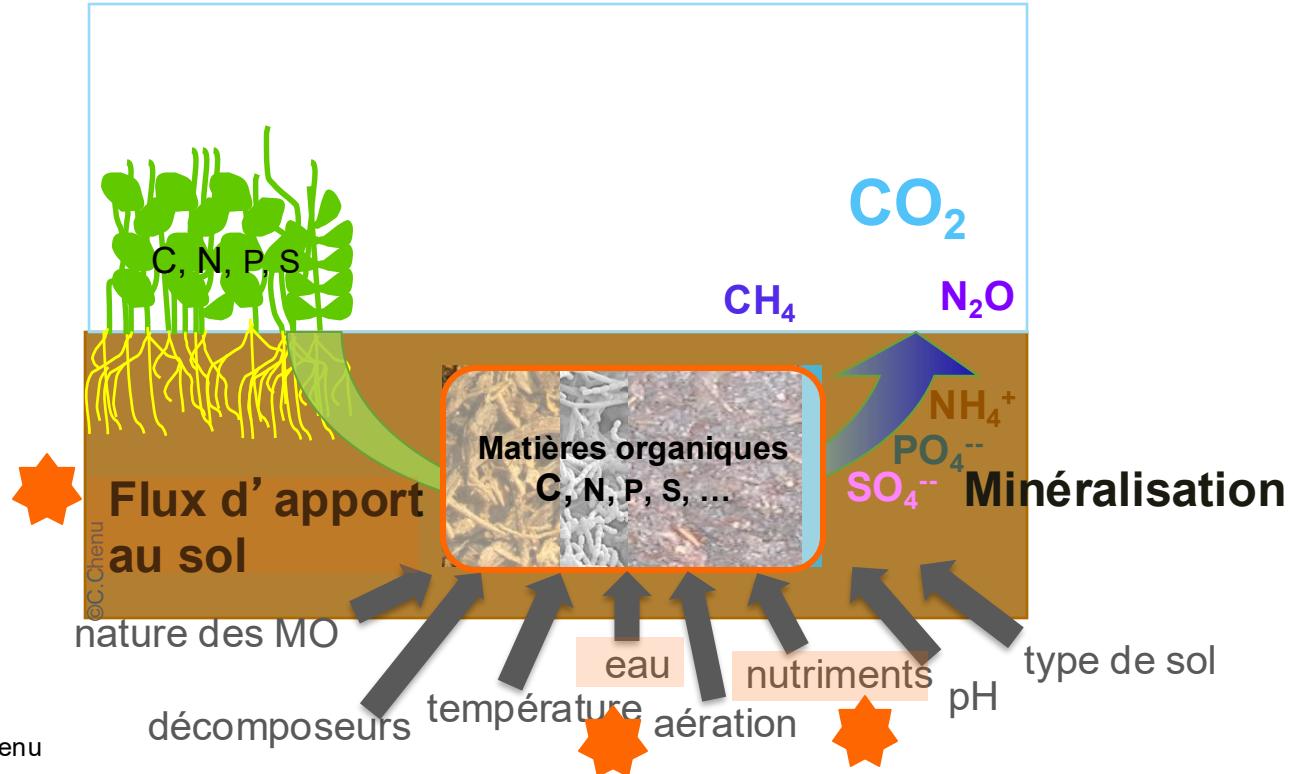
↓ Land uptake S_{LAND}
↓ Ocean uptake S_{OCEAN}
+ Atmospheric increase G_{ATM}

► Budget imbalance B_{IM}
● Stocks GtC
↓↑ Natural carbon fluxes in GtC

Friedlstein et al. 2025



Effets eCO₂ ?

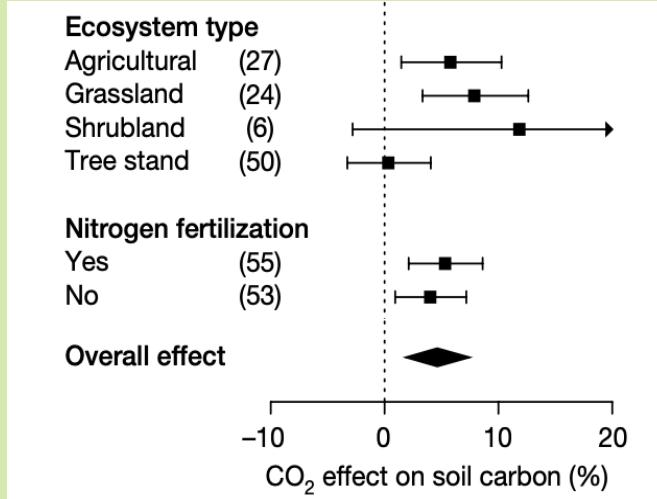




Stockage du carbone dans les sols cultivés sous eCO₂

Quels effets nets sur le C des sols?

Effet sur les stocks de carbone des sols



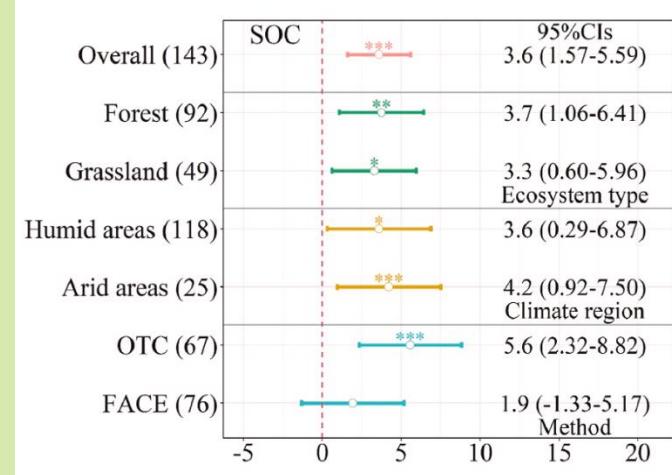
n=108

Durée ≤ 10 ans

eCO₂: +200-+400ppm

SOC: +4,6%

Terrer et al. 2021, Nature



n=207

Durée ≤ 10 ans

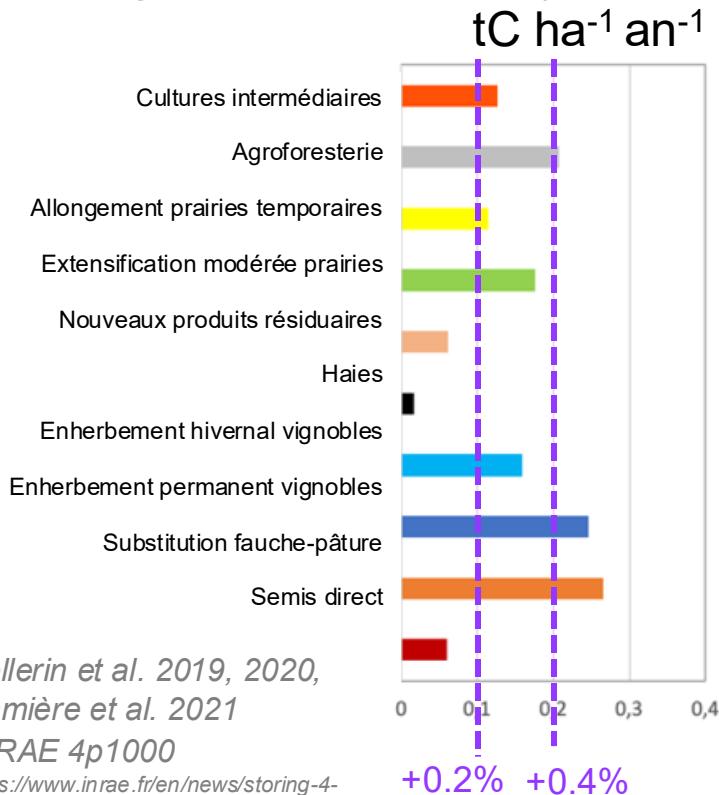
eCO₂: +100-+400ppm

SOC : +3.6%

Liu et al. 2025, SBB

Potentiel de stockage additionnel de C en sols cultivés

Stockage additionnel de C (après 30 ans)



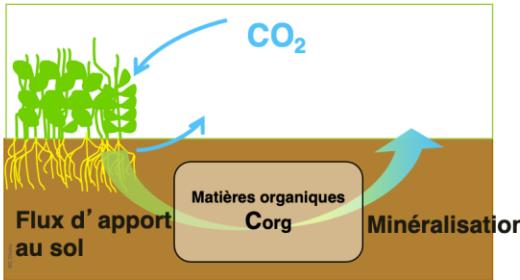
Stocks de C moyens sols cultivés France : 50 tC/ha
=> +0,1 tC $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1} \approx +0,2\%$

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

Effets observés en eCO₂

Une augmentation des apports

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



Une différentiation 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*

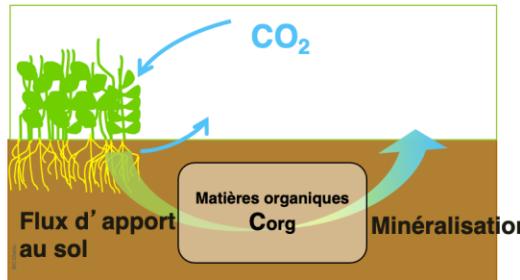
Une augmentation des pertes par respiration

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

Effets observés en eCO₂

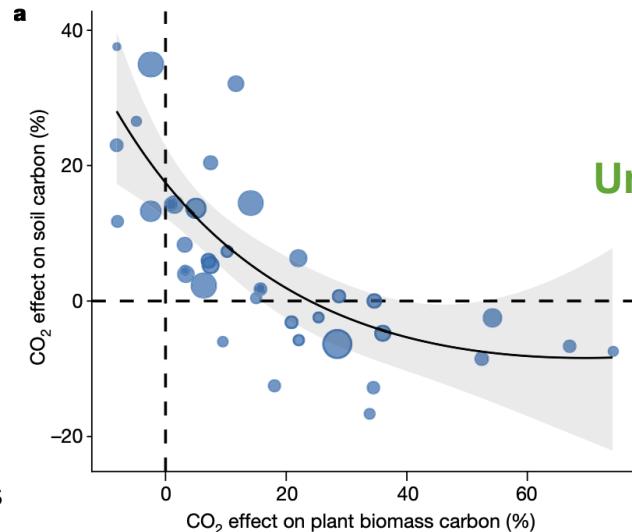
Une augmentation des apports

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



Une différentiation des apports

Terrer et al. 2021
n=108
Tous écosystèmes



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*

Un trade-off entre biomasse et sol?

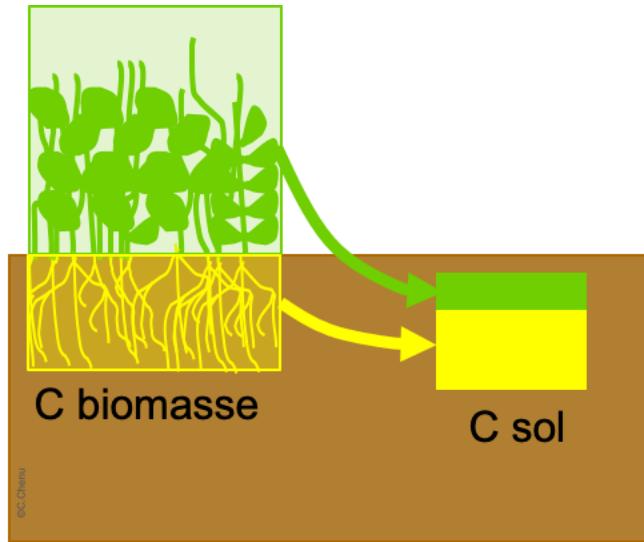


Stockage du carbone dans les sols cultivés sous eCO₂

Quels effets nets sur le C des sols?

Processus impliqués?

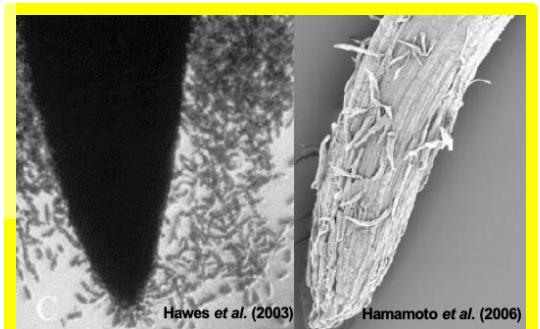
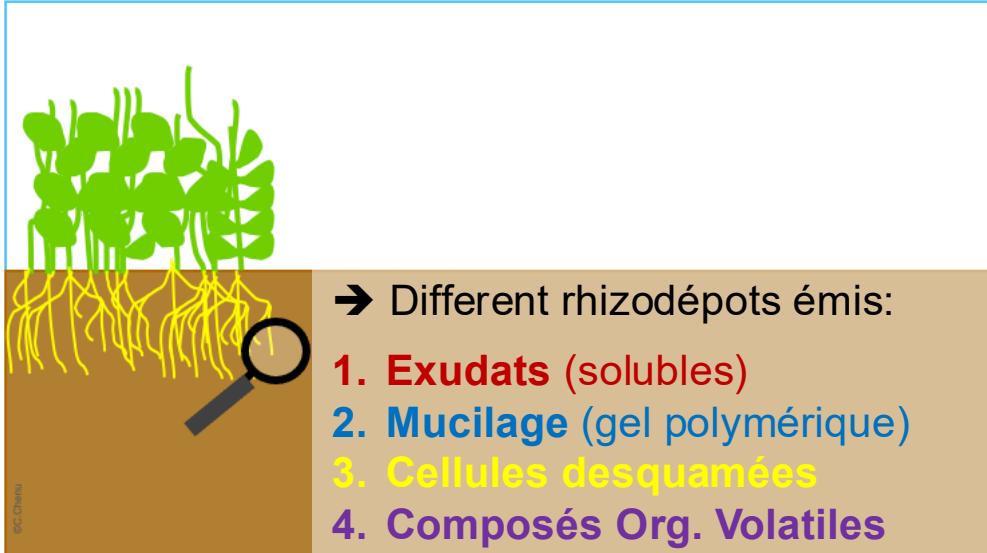
Un stockage préférentiel de C à partir des entrées de C souterraines



x 2-5

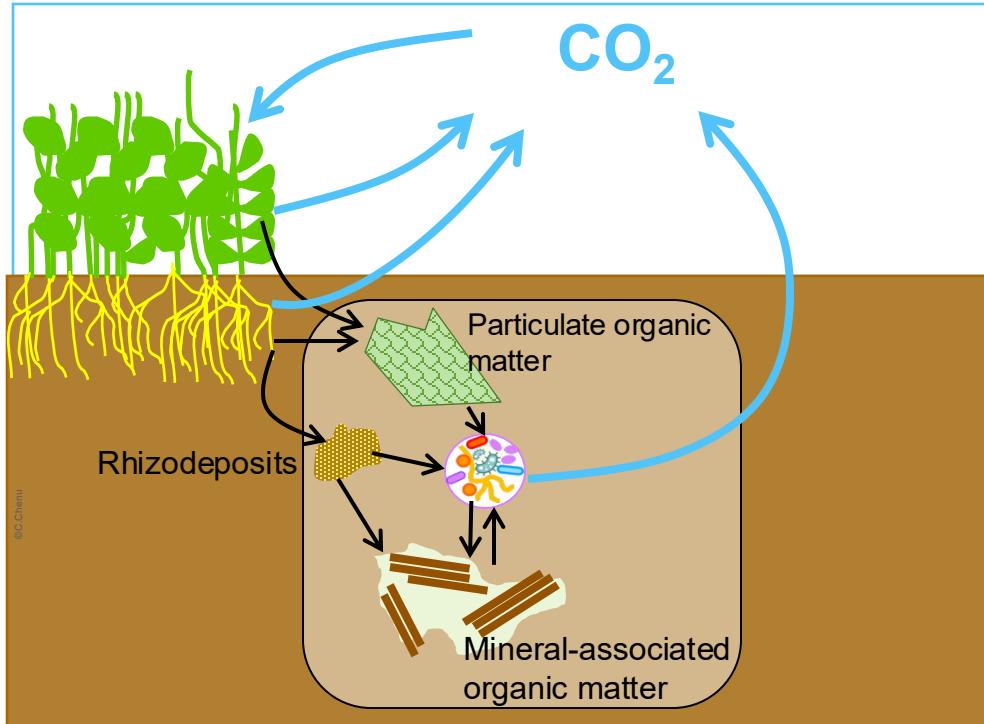
*Rasse et al. 2005
Katterer et al. 2011
Sokol & Bradford, 2019*

Entrées souterraines de C au sol : rhizodépôts



@F. Rees

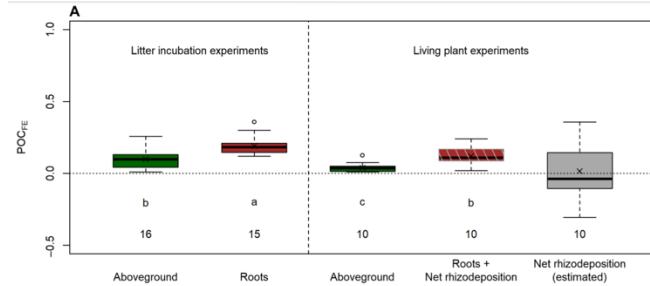
Un stockage préférentiel de C à partir des entrées de C souterraines: processus



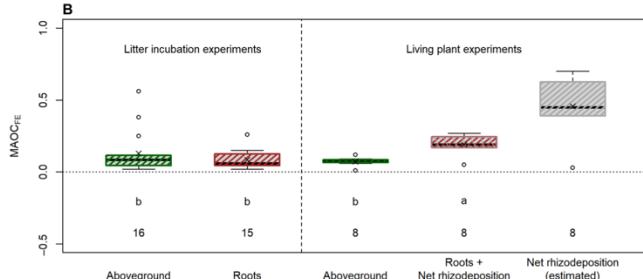
©CChenu

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

Particulate organic matter

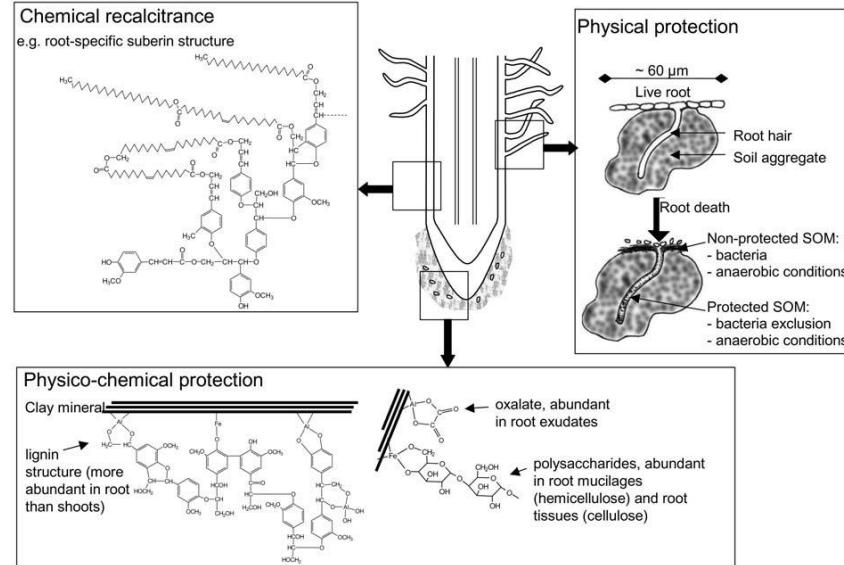
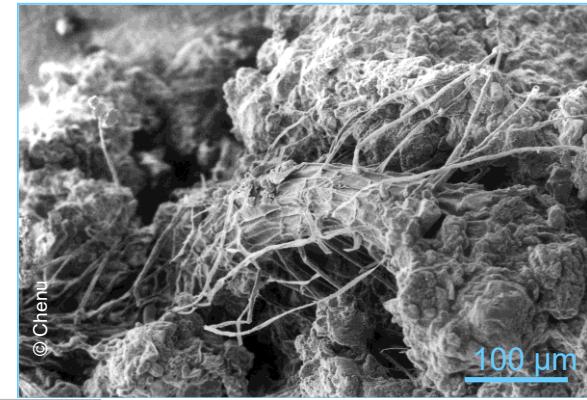


Mineral associated organic matter



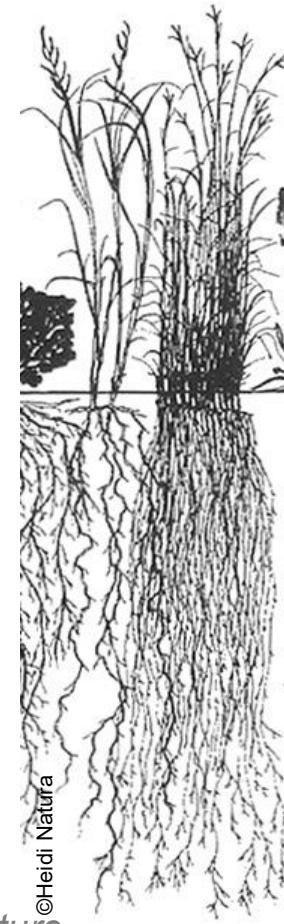
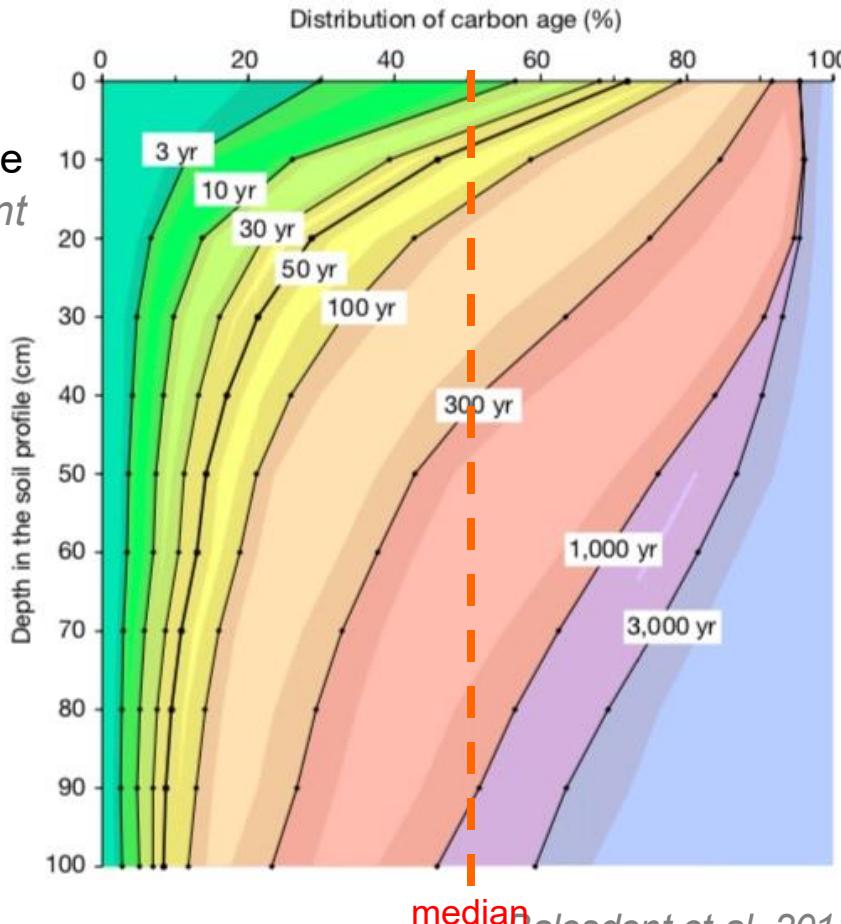
Villarino et al. 2021

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



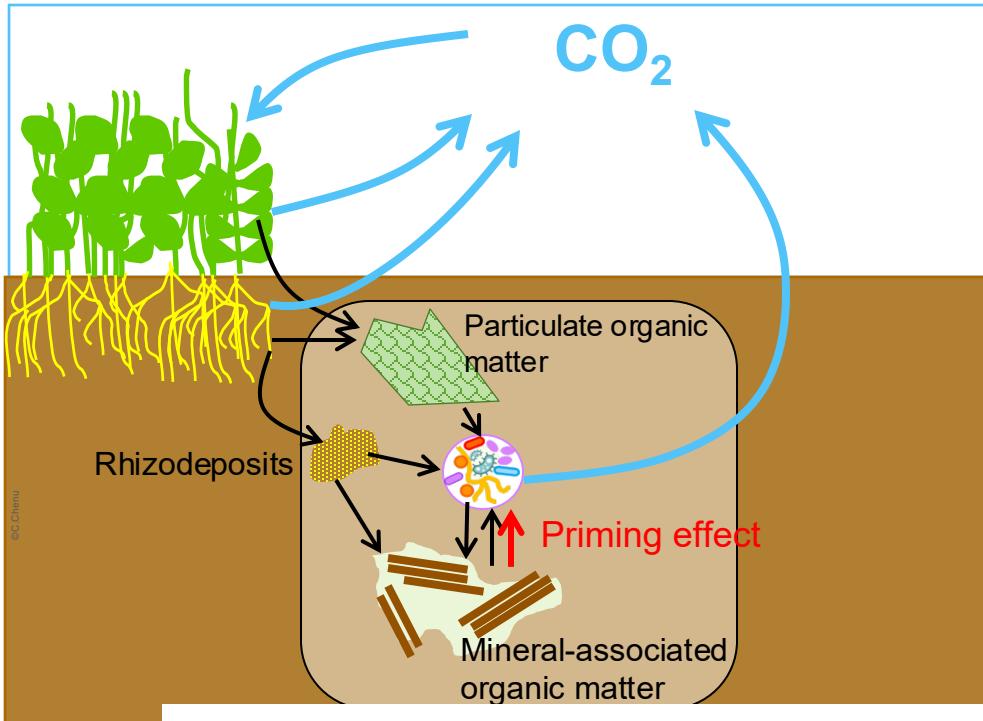
Stabilisation accrue du C du sol en profondeur

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



©Heidi Natura

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

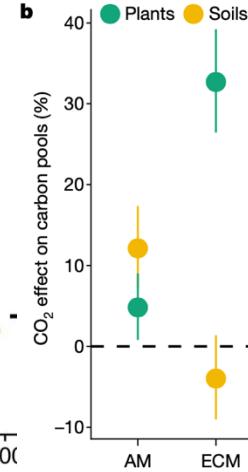
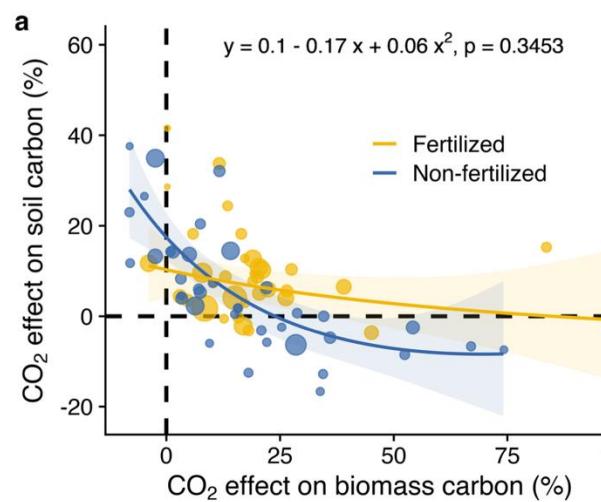
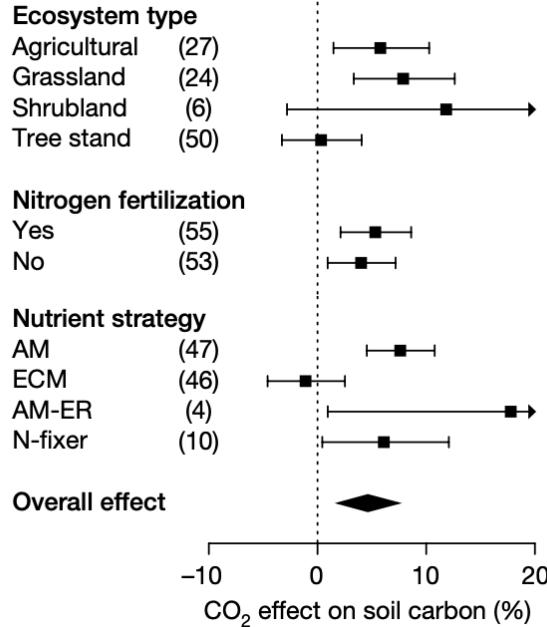


eCO₂ :

- 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

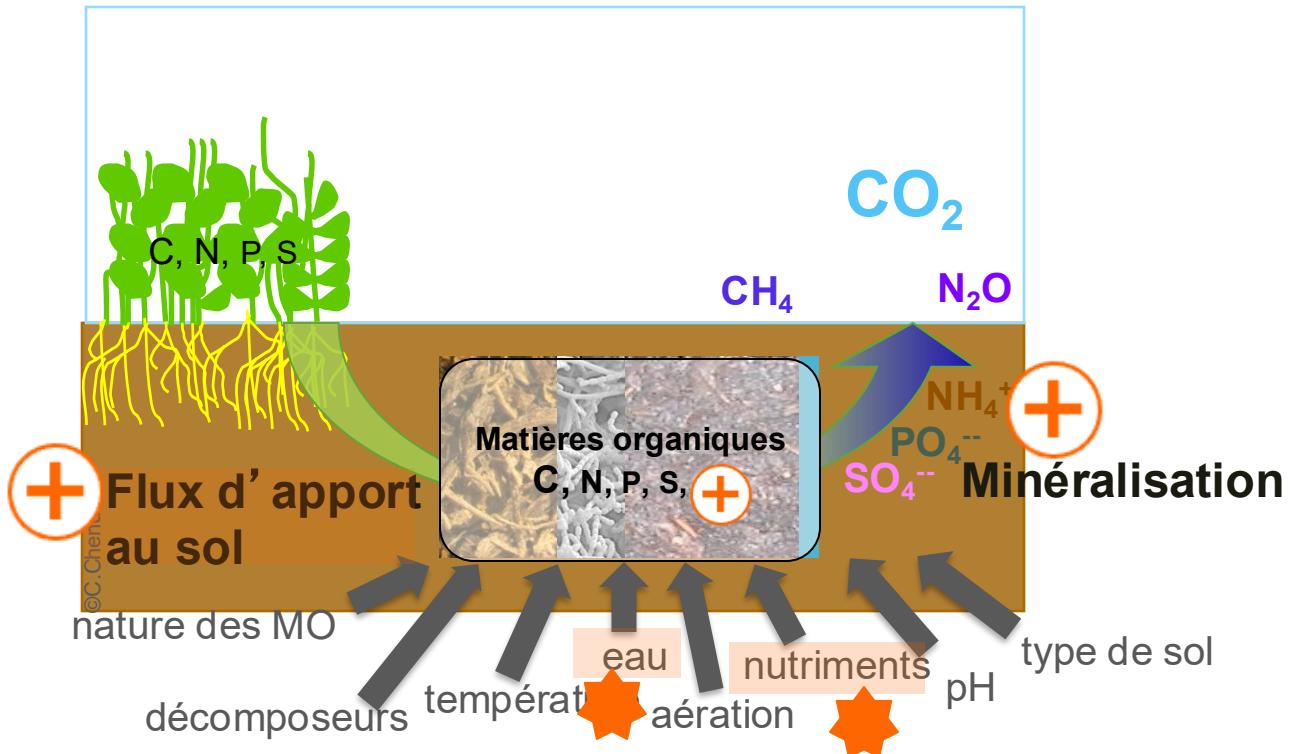
En conditions eCO₂: des interactions complexes



Terrer et al. 2021, Nature

Mycorrhizes, priming effect...
Des stratégies contrastées d'acquisition des nutriments N, P

Bilan des effets eCO₂ ?

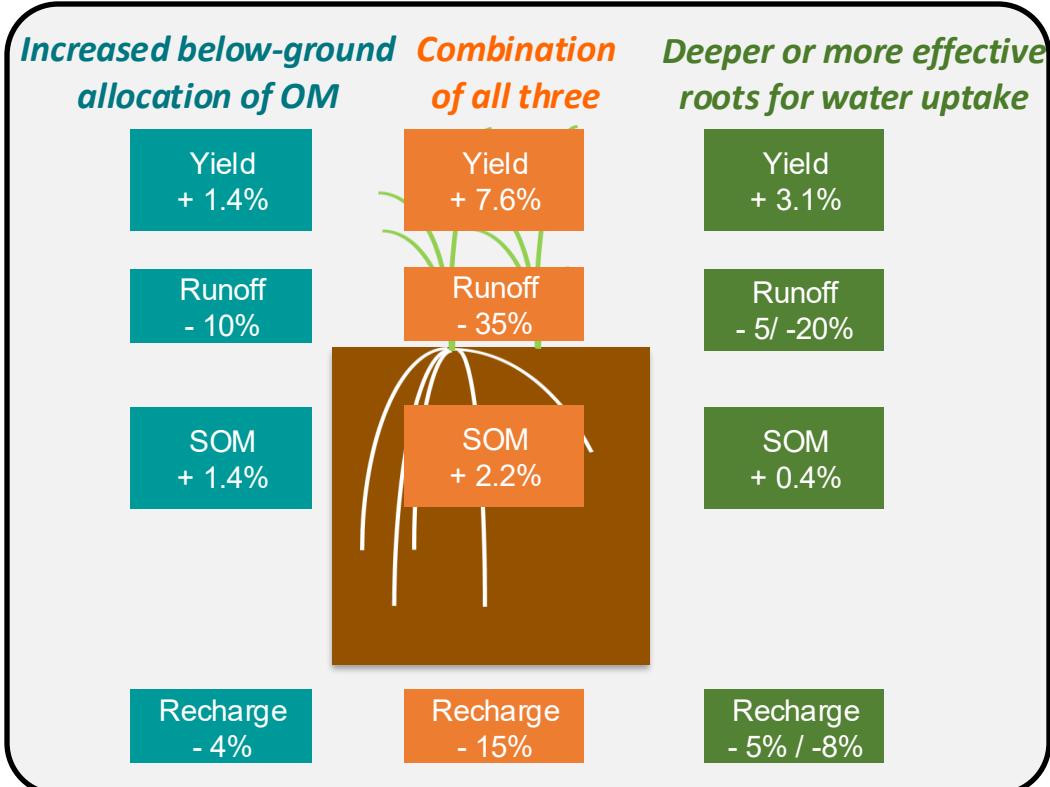


Quels bénéfices potentiels liés à une modification des systèmes racinaires en eCO₂?



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 et recharge des aquifères





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

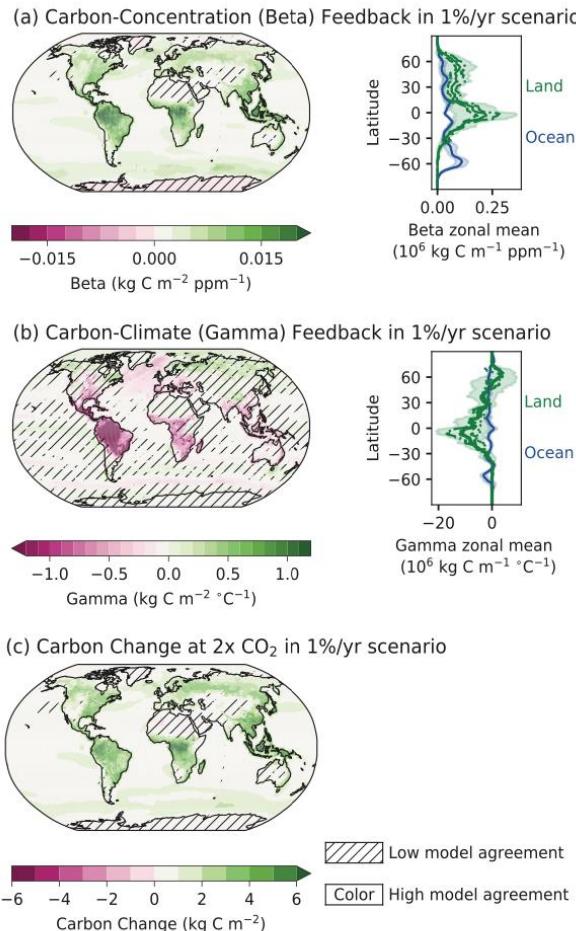


Figure 5.27 | Maps of carbon-concentration and carbon-climate feedback terms, as well as net carbon changes under the idealized 1% per year carbon dioxide (CO₂) scenario, as evaluated from CMIP6 Earth system models (ESMs). Shown are the model means from nine CMIP6 ESMs. Uncertainty

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

