

Atelier n°6

Atténuation des changements climatiques - Zoom sur les solutions fondées sur la nature

Dylan AMIAR – Chargé de missions Stockage Carbone & Biodiversité (FCEN)

dylan.amiar@reseau-cen.org

Grégory BERNARD – Chargé de missions Tourbières & Carbone (FCEN)

gregory.bernard@reseau-cen.org



24^e **congrès** des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

05 décembre 2024

 Conservatoires
d'espaces
naturels

 Conservatoire
d'espaces naturels
Lorraine



Atelier n°6

Atténuation des changements climatiques -
Zoom sur les solutions fondées sur la nature

Objectifs de cet atelier

- **Inform**er sur l'effet levier de certaines solutions fondées sur la nature en faveur du climat ;
- **Présenter les actions** de préservation/gestion/restauration pertinentes pour contribuer aux objectifs climatiques ;
- **Recueillir les besoins** et attentes des gestionnaires en général et du réseau CEN en particulier pour une meilleure appropriation de cette thématique.



24^e **congrès** des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

05 décembre 2024

 Conservatoires
d'espaces
naturels

 Conservatoire
d'espaces naturels
Lorraine



Atelier n°6

Atténuation des changements climatiques -
Zoom sur les solutions fondées sur la nature



Déroulé de cet atelier

- Un quizz ;
- Trois présentations : tourbières, forêts et prairies ;
- Un temps d'échange en fin d'atelier ;



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

05 décembre 2024



Tourbières et GES, quels enjeux ? L'exemple du Life Climat « tourbières du Jura »



Sylvain Moncorgé

Chargé de missions Tourbières & Life Climat
sylvain.moncorgé@cen-franche-comte.org

Grégory Bernard

Chargé de missions Tourbières & Carbone
gregory.bernard@reseau-cen.org

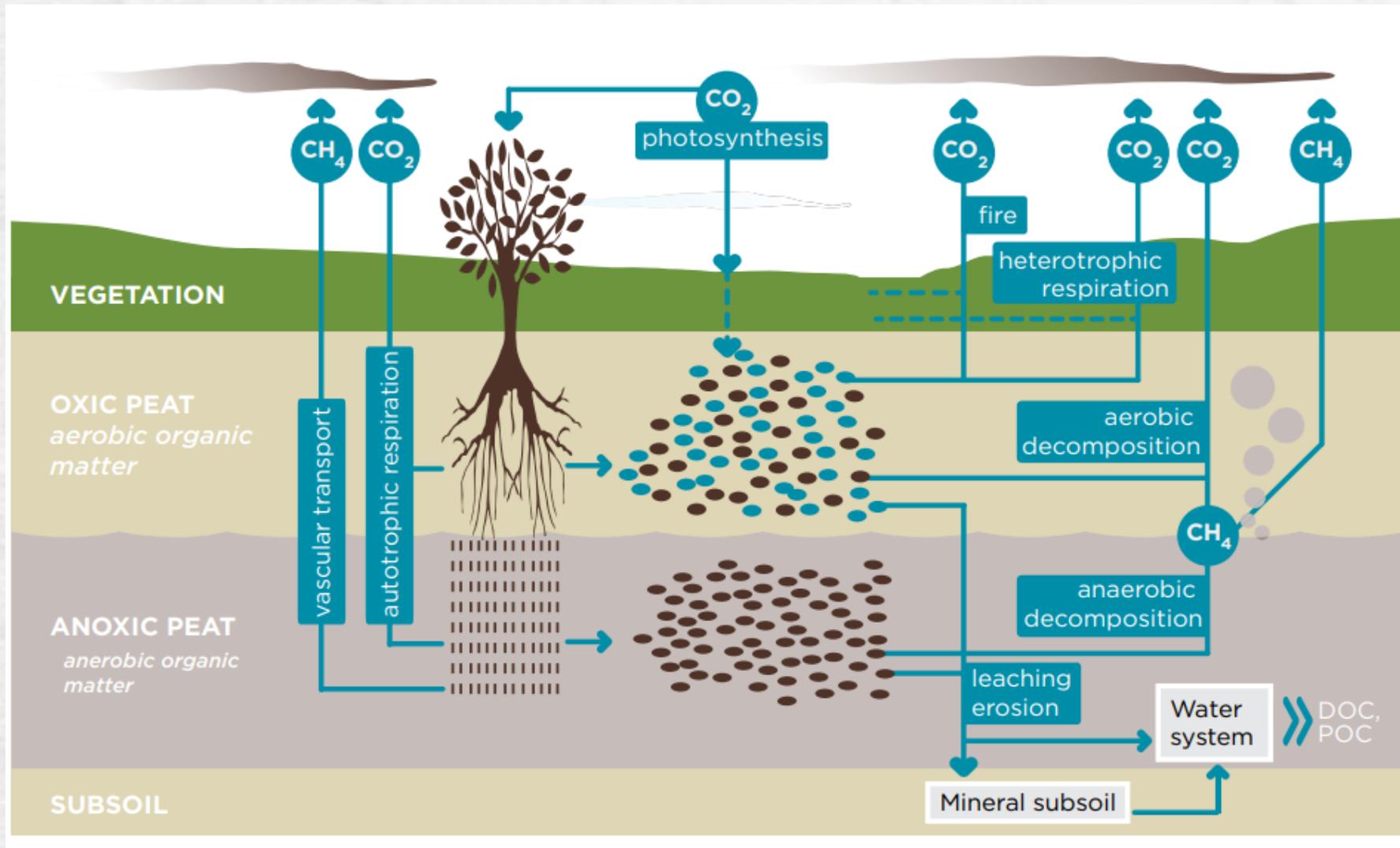


© Jérémy Calvo



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

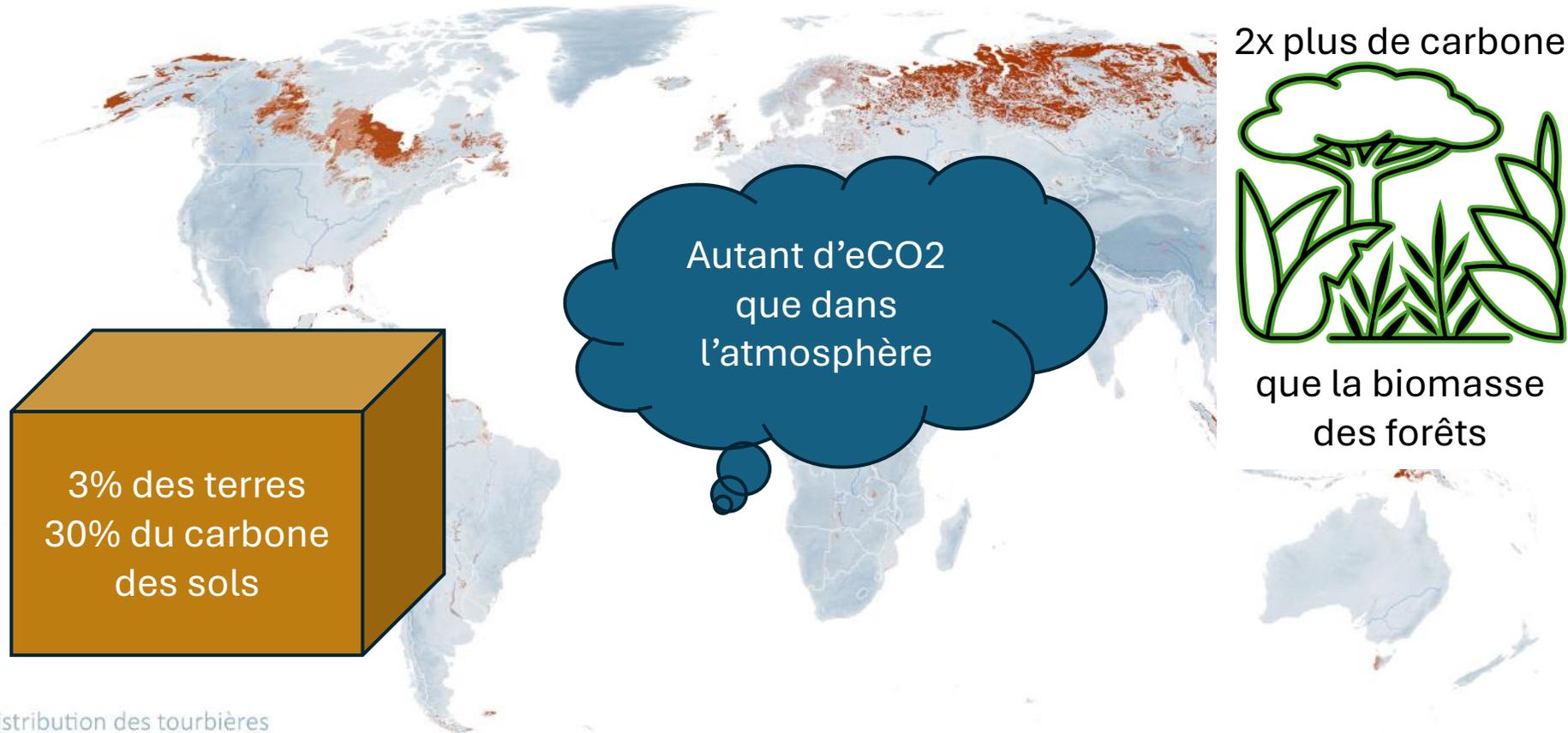
Les tourbières, des puits de carbone lents mais efficaces ...



- Stockent environ 10% du CO_2 capté par photosynthèse sous forme de matière organique
- Emettent naturellement du méthane (CH_4) ... PRG x28 !

Représentation schématique du cycle du carbone en tourbières (Page et al., 2011) ¹

Les tourbières, des puits de carbone lents mais efficaces ...



A l'échelle planétaire

Evolution et développement des tourbières -> Effet de refroidissement global du climat d'environ 0,7°C (Frolking and Roulet, 2007)²

Accumulation de stocks conséquents ...

Figure 0.2: La Carte Mondiale des Tourbières 2.0.

Source: Données de l'Évaluation Mondiale des Tourbières issues de la Base de Données Globale sur les Tourbières compilées par le Greifswald Mire Centre.



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

Les tourbières, des puits de carbone lents mais efficaces ...

Received: 4 January 2023 | Revised: 22 May 2023 | Accepted: 23 May 2023
 DOI: 10.1111/nhe.12919

RESEARCH ARTICLE

The 1949 Atlas of French peat deposits, a starting point for a National Inventory of peatlands

Lise Pinault¹ | Malo Pillou² | Gregory Bernard³ | Daniel Joly⁴ | Sébastien Gogo⁴ | Elsa Martin⁵ | Daniel Gilbert⁶

¹Chrono-environnement UMR 6249, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France
²Station des Conservatoires d'Espaces Naturels, Pôle-relais Tourbières, Besançon, France
³IRMA, UMR 6049, CNRS and University of Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France
⁴COBIO Rennes, UMR 6553, Université Rennes 1, CNRS, Rennes Cedex, France
⁵CESAR, UMR 1041 INRA, Dijon, France
⁶LSER France, Zoon Arc Ardenne, Jorat, Chrono-environnement UMR 6249, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, F-25000, Besançon, France

Correspondence
 Lise Pinault, Chrono-environnement UMR 6249, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, F-25000, Besançon, France.
 Email: lise.pinault@univ-bourgogne.fr

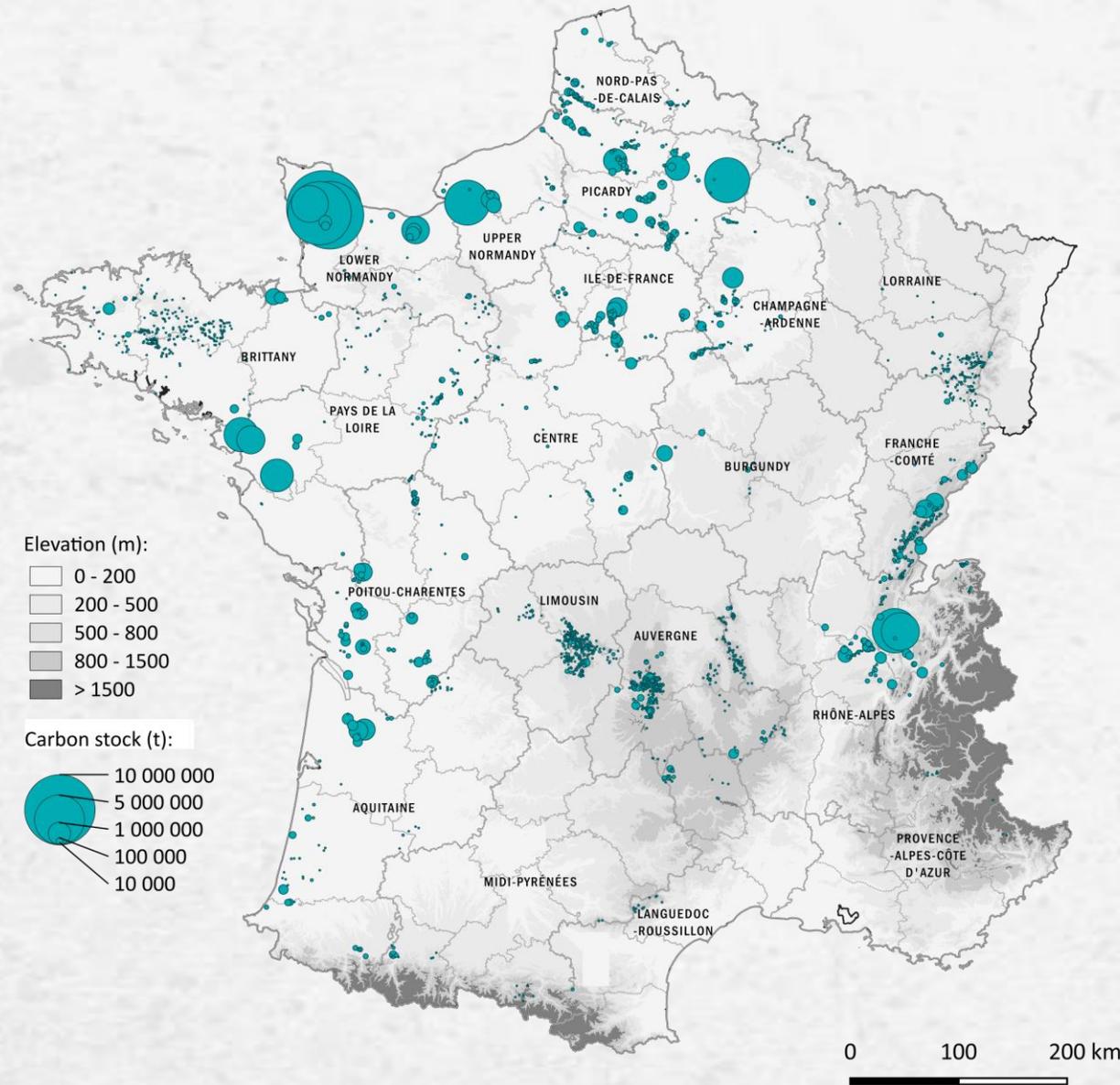
Funding information
 Zoon Arc Ardenne, LSER network

Abstract
 Fifty per cent of European peatlands are in a damaged state. While intact peatlands are natural carbon sinks, degraded sites release important amounts of greenhouse gases into the atmosphere, contributing to global warming. Restoration of the hydrological functionality of peatlands has proved to be an efficient tool to avoid these emissions. In France, Tuffnell & Biggion's ministerial report (2019) emphasized the need for peatlands' integration into the National Low Carbon Strategy, targeting carbon neutrality by 2050. However, current knowledge regarding French peatlands' distribution and carbon stocks is insufficient and does not allow decision makers and managers to prioritize areas for restoration. The most complete database to date is the 1949 Atlas, an inventory of exploitable peat deposits that was conducted during WWII for peat exploitation as fuel. Until its digitalization, the latter database was archived and never used in a scientific study. It provides detailed information about peatland surfaces, peat thicknesses and carbon contents at that time. We estimated peat carbon stocks from French peatlands to be 111 Mt C in 1949 for 63,290 ha identified as peaty sites, the equivalent of 3% of the organic carbon contained in the upper 30 centimetres of French soils. 34% of this stock was held in Lower Normandy (37.7 Mt C) and 12% in the Picardy's region (13.0 Mt C), in large lowland peatlands. However, not all peatlands were prospected in the 1949 inventory and the characteristics of the prospected peatlands may have changed with anthropic disturbances of the last decades, such as draining or climate change. These first results highlight the need for a recent inventory of French peatlands and carbon stocks based on local data aggregation. Data from the 1949 Atlas could help constituting this new inventory but should be validated before being used to describe the present.

KEYWORDS
 carbon content, carbon stock, inventory, peat depth, peatland, restoration

1 | INTRODUCTION
 (Doosten & Clarke, 2002). Constant waterlogging and anaerobic conditions restrict microbial activity and mineralization processes in peatland ecosystems. Consequently, with a naturally accumulated peat layer at the surface

Soil Use Manage. 2023;00:1–17. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nhe.12919> © 2023 British Society of Soil Science



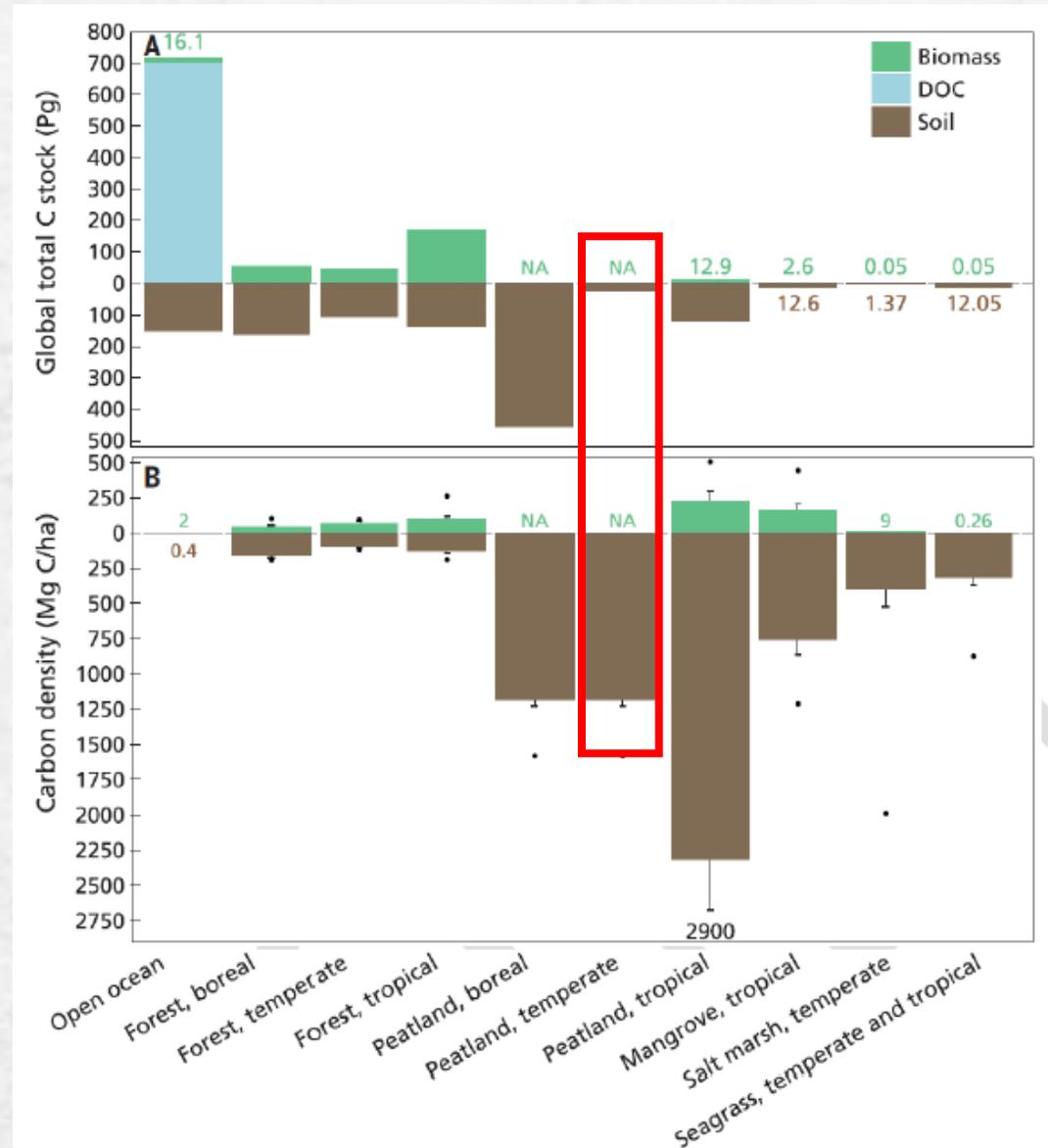
En France hexagonale

- Des connaissances encore lacunaires mais en cours d'actualisation : 150000 ha ?
- Stock actuellement estimé à 150 Mt C

(Pinault et al., 2023)³

Les tourbières, des puits de carbone lents mais efficaces ...

Tourbières =
écosystèmes terrestres
avec la plus forte
densité de carbone



(Temminck et al., 2022) ⁴

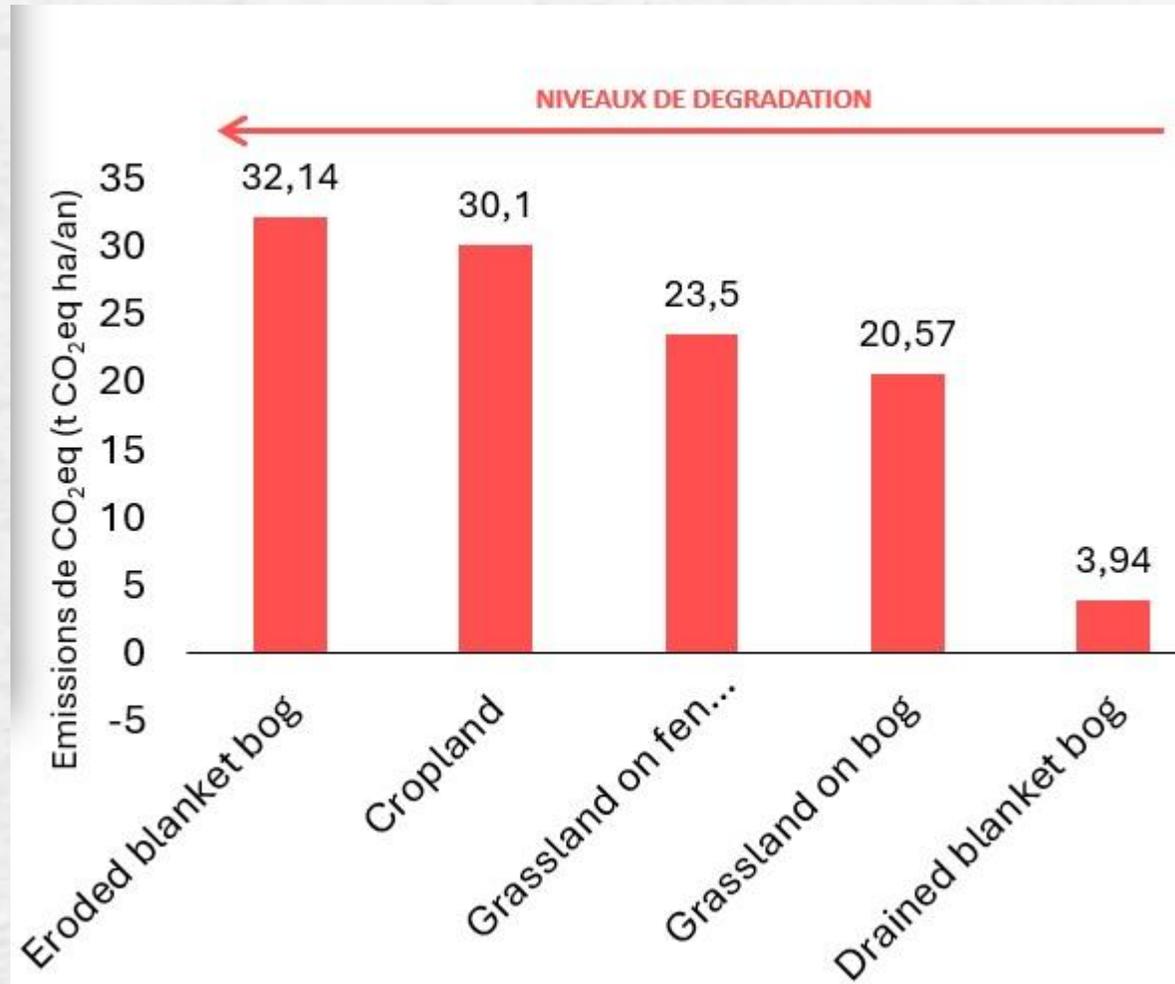
A l'hectare, un histosol de 15 cm d'épaisseur contient autant de carbone que la biomasse aérienne d'une forêt tropicale

Critère de 30 à 40 cm d'épaisseur d'histosol pour définir une tourbière n'est pas pertinent du point de vue du climat

Les tourbières dégradées, de puissantes émettrices de CO₂



Les tourbières dégradées, de puissantes émettrices de CO₂



(Bonn et al., 2016) ⁵

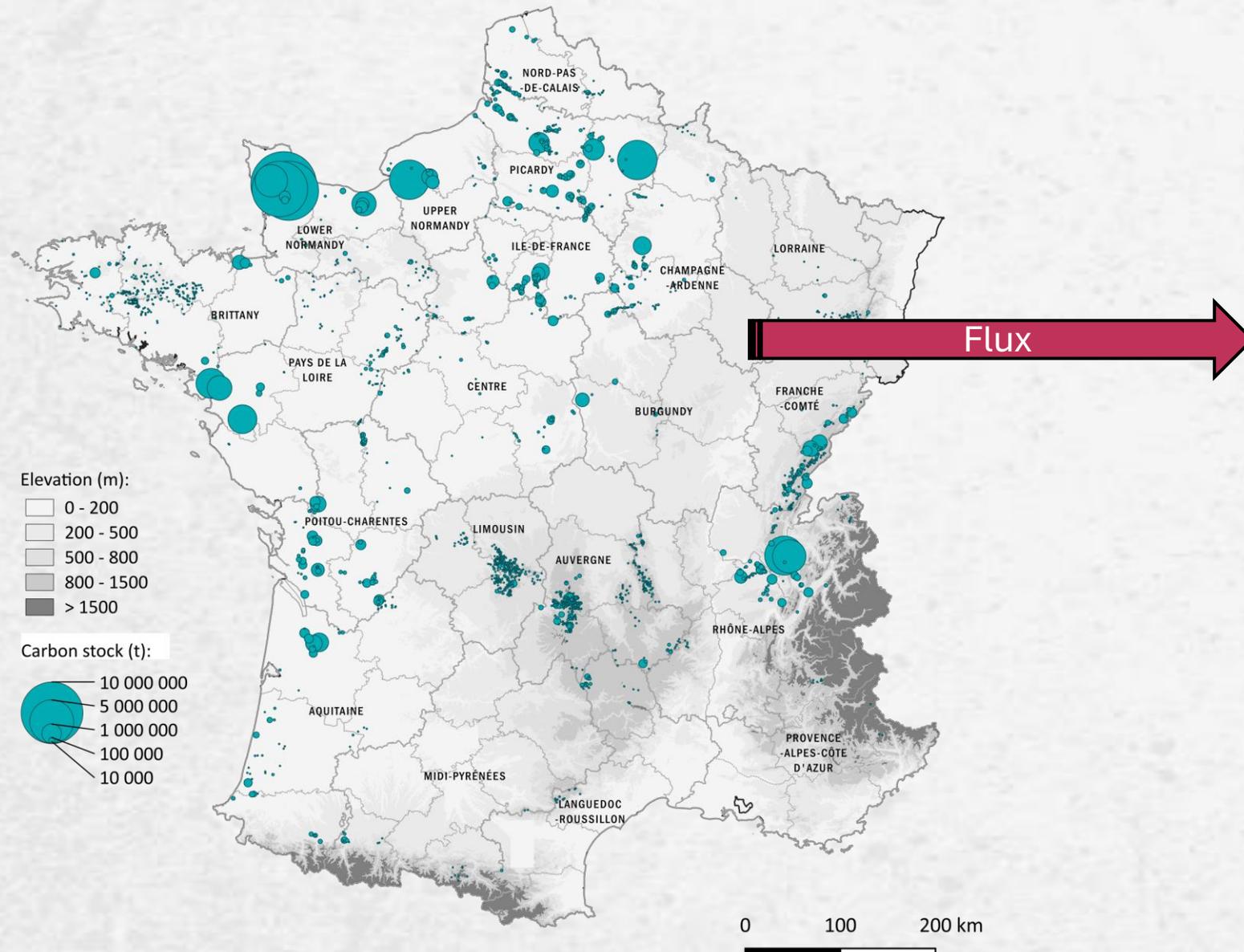
1 ha de tourbière cultivée émet chaque année autant d'eCO₂ qu'un véhicule moyen qui parcourt 200 000 km

Les émissions d'un français « moyen » sont estimées à environ 10 t eCO₂ / an



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

Les tourbières dégradées, de puissantes émettrices de CO₂



En France hexagonale

Estimation à dire d'expert :
500 000t à 1 000 000t eCO₂
Sont émises chaque année

Assez significatif pour être
intégré dans le bilan annuel
des GES de la France
(secteur UTCATF)

(Pinault et al., 2023) ³

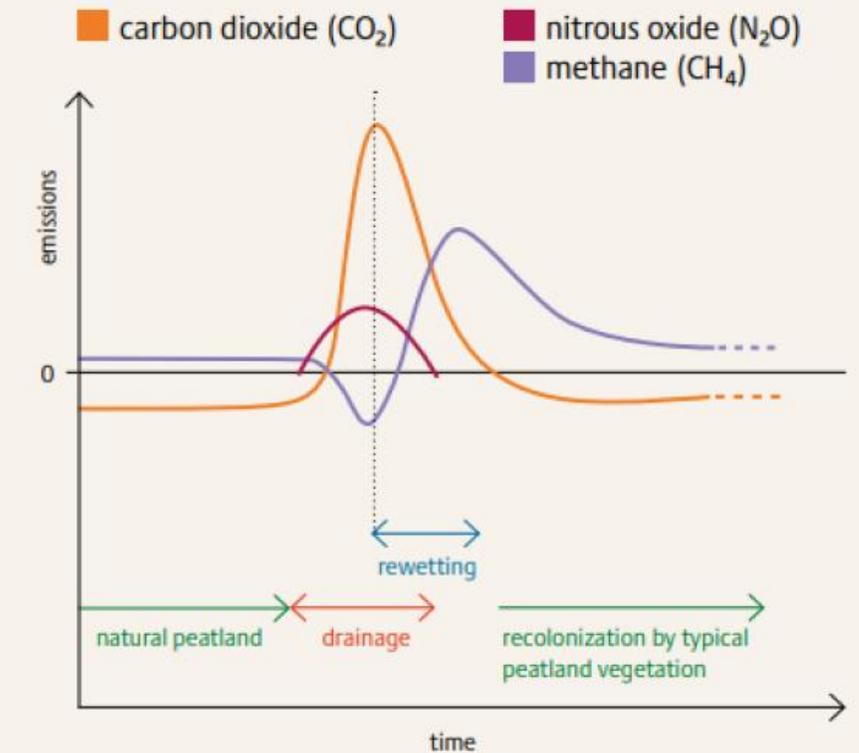
L'enjeu climatique = maintenir les stocks contenus dans les histosols /
Un levier = la restauration hydraulique
Un outil de financement : Le label bas carbone



©CEN Franche-Comté

RECOVERY TAKES TIME

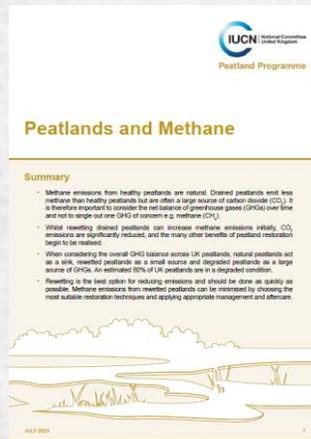
Greenhouse gas emissions from drained and rewetted peatlands



schematic representation

Un effet climatique fortement dépendant de la durée sur laquelle elle est évaluée

Gaz	Durée de séjour (années)	PRG selon la période considérée		
		20 ans	100 ans	500 ans
Dioxyde de carbone (CO ₂)	cf. (voir supra)	1	1	1
Méthane (CH ₄)	11,8	81,2	27,9	7,95
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	109	273	273	130

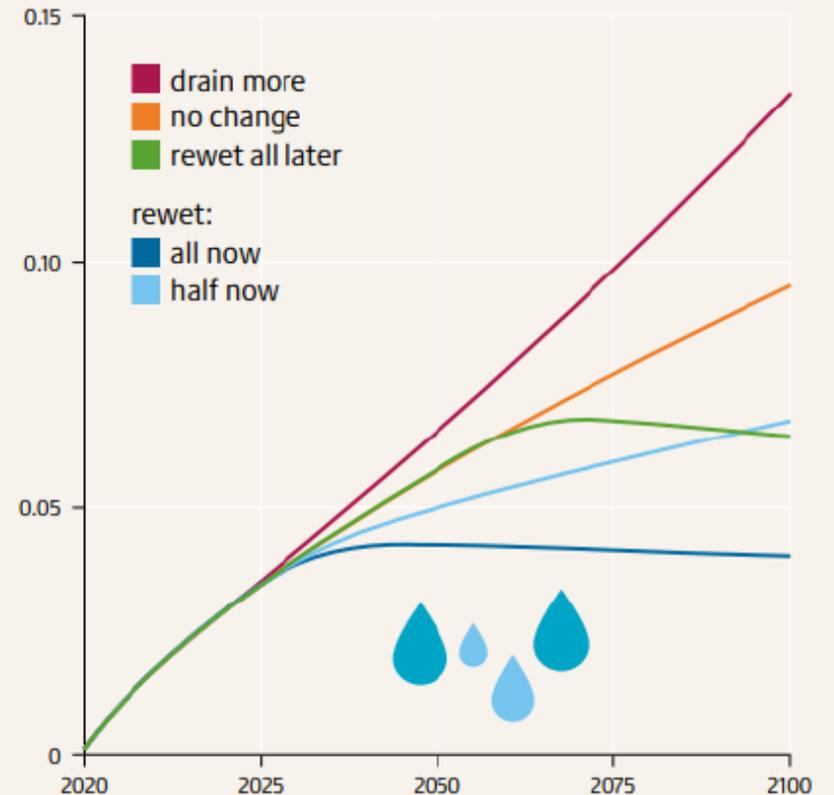


<https://www.youtube.com/watch?v=MI-7G7tRfyA>

PROCRASTINATING ONLY MAKES IT WORSE

Climatic effects of time-dependent rewetting of drained peatlands

Instantaneous radiative forcing (watts / m²)



Radiative forcing is the change in energy flux in the atmosphere; it indicates the warming of the earth's surface

Global Peatland Initiative et al., 2023

climat

cycle de l'eau

cycle du carbone

hydrogéologie

géologie

turfigenèse

hydrologie

tourbe

espèces

usages

communautés

pH

archives

nutriments

histoire

bassin versant

climat

cycle de l'eau

cycle du carbone

hydrogéologie

géologie

turfigenèse

hydrologie

tourbe

espèces

usages

communautés

pH

nutriments

archives

histoire

bassin versant

climat

cycle de l'eau

cycle du carbone

hydrogéologie

géologie

turfigenèse

hydrologie

tourbe

espèces

usages

communautés

pH

nutriments

archives

histoire

bassin versant

climat

cycle de l'eau

cycle du carbone

hydrogéologie

géologie

turfigenèse

hydrologie

tourbe

espèces

usages

communautés

pH

archives

nutriments

histoire

bassin versant

Approche centrée "biodiversité" → → Approche centrée "fonctionnement"

Atteintes au fonctionnement

→ Priorité = réhabilitation
fonctionnelle

20 mesures prioritaires



Réhabilitation fonctionnelle des sites



2014-2021

LIFE Nature

Réhabiliter les habitats et espèces d'intérêt communautaire (14 sites Natura 2000)

55 tourbières

8,5 M€



Bénéficiaire coordinateur



Bénéficiaires associés



Réhabilitation fonctionnelle des sites



Le Moutat (Mouthe, Doubs)



Seignes des Guinots (Le Russey, Doubs)



JUIN 2018 : apparition rapide de l'eau à la faveur
d'un gros orage



MAI 2019 : fosse intégralement remplie d'eau



Vallée de l'Orbe (Les Rousses, Jura)

AOÛT 2021 : fosse presque intégralement
couverte d'un radeau de sphaignes

Réhabilitation fonctionnelle des sites



2014-2021

LIFE Nature

Réhabiliter les habitats et espèces
d'intérêt communautaire (14 sites N2000)

55 tourbières

8,5 M€



2022-2029

LIFE Climat

Réduire les émissions de GES des tourbières jurassiennes

> **stockage** : éviter le déstockage

70 sites pressentis - 12,5 M€

Bénéficiaire coordinateur



Bénéficiaires associés



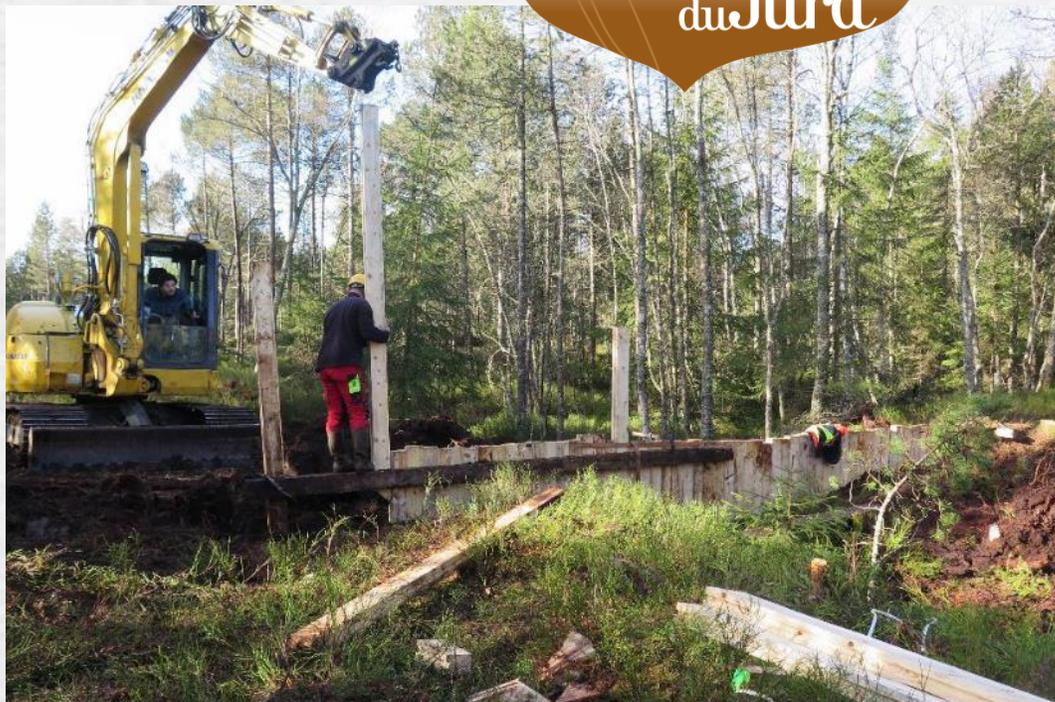
Bénéficiaire coordinateur



Bénéficiaires associés



Comment procéder avec une approche « climat » ?



Vallée du Drugeon (Frasne, Doubs)



Vallée de l'Orbe (Les Rousses, Jura)



Approche fonctionnelle



Quelques frictions tout de même

 biodiversité



Richesse spécifique

Tourbière bombée : < 10 espèces vasculaires

Quelques frictions tout de même

 biodiversité



Espèces à forte valeur patrimoniale et /ou protégées

Saxifrage oeil-de-bouc (*Saxifraga hirculus*), CR en France.

Quelques frictions tout de même

 biodiversité

Espèces à forte valeur patrimoniale et /ou protégées



Illecebre verticillé (CR en R. Tchèque)
Illecebrum verticillatum

Quelques frictions tout de même

biodiversité
 naturalité



Rôle de l'exploitation agricole dans le turfigenèse ?
Conséquence de l'arrêt de l'exploitation ?

Avantages du LIFE « climat » ?

- Permet de sortir des zones N2000
- 1 seul « pool » de 70 sites
- Plus forte miscibilité entre type d'actions, les types de dépenses et entre bénéficiaires
- Mise en avant d'un nouvel enjeu



Evaluation

1. Estimation de la réduction des émissions de GES des tourbières

- Mesures directes : chambres d'accumulation

Mais :

- Mesures sur de faibles surfaces
- À basse fréquence (1/mois)
- 70 sites concernés !



Mesure de flux de CO₂ et CH₄ par chambre d'accumulation

Evaluation

1. Estimation de la réduction des émissions de GES des tourbières

→ Accompagnement par deux bureaux d'études spécialisés

→ Utilisation de paramètres complémentaires

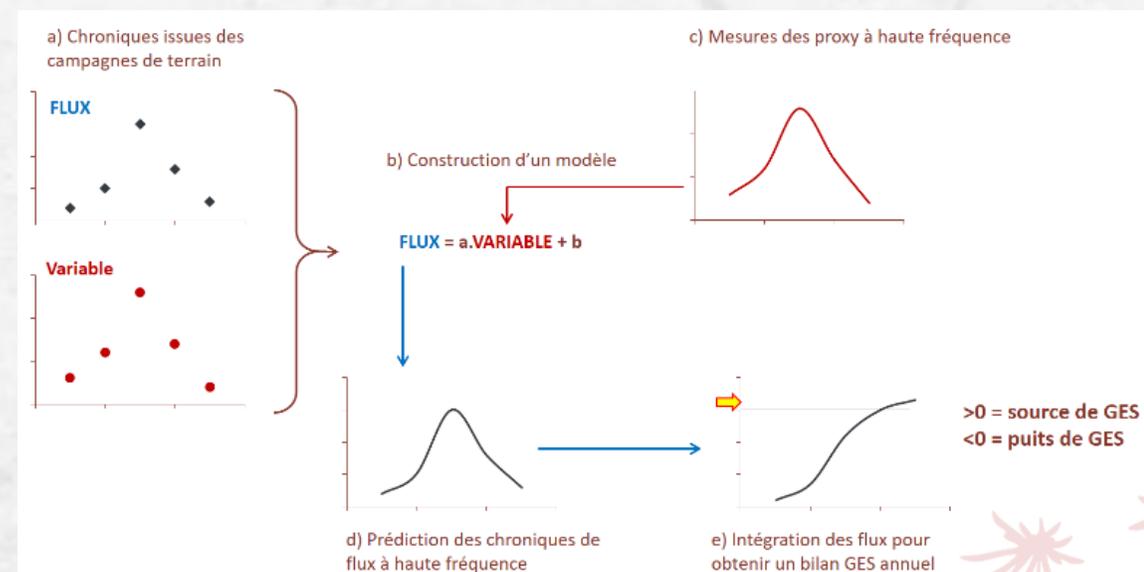
- Proxys à haute fréquence (4/heure) :
piézométrie, T°, lumière, humidité de l'air
- Topographie (MNT)

→ Echantillonnage des sites

- 7 sites instrumentés

→ Extrapolation au sein des sites suivis et à l'ensemble des sites réhabilités

→ 10 ans post-travaux



Evaluation

2. Bilan carbone des chantiers

- Accompagnement par un bureau d'études spécialisé : méthodologie standardisée
- Sur les 7 sites instrumentés
- extrapolation à l'ensemble des chantiers du LIFE



Résultats attendus

1. Travaux

- 36 km de fossés neutralisés
- 18 km de cours d'eau reméandrés
- 27 ha de fosses d'extraction redynamisées

2. Limitation des GES

- 500 ha impactés
- Réduction des émissions : entre 10 et 20 teqCO₂/ha/an
 - Entre 5 000 et 10 000 teqCO₂/an
 - Entre 45 000 et 90 000 teqCO₂ durant le programme
 - Env. 500 000 teqCO₂ sur 50 ans

Bibliographie



Global Peatland Initiative, Michael Succow Stiftung, BUND, Heinrich-Böll-Stiftung, 2023. Peatland Atlas 2023 - Facts and figures about wet climate guardians.

Frolking, S., Roulet, N.T., 2007. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Glob. Change Biol.* 13, 1079–1088. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x>

Bonn, A., Allot, T., Evans, M., Joosten, H., Stoneman, R., 2016. Peatland restoration and ecosystem services: science, policy, and practice, *Ecological reviews*. Cambridge university press, Cambridge.

Temmink, R.J.M., Lamers, L.P.M., Angelini, C., Bouma, T.J., Fritz, C., Van De Koppel, J., Lexmond, R., Rietkerk, M., Silliman, B.R., Joosten, H., Van Der Heide, T., 2022. Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. *Science* 376, eabn1479. <https://doi.org/10.1126/science.abn1479>

Allen, M.R., Shine, K.P., Fuglestvedt, J.S., Millar, R.J., Cain, M., Frame, D.J., Macey, A.H., 2018. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Npj Clim. Atmospheric Sci.* 1, 16. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0026-8>

Page, S.E., Morrison, R., Hooijer, A., Malins, C., Rieley, J.O., Jauhiainen, J., 2011. Review of peat surface greenhouse gas emissions from oil palm plantations in southeast Asia (No. white paper N°15), *Indirect Effects of Biofuel Production Series*. The International Council of Clean Transportation.

Pinault, L., Pilloix, M., Bernard, G., Joly, D., Gogo, S., Martin, E., Gilbert, D., 2023. The 1949 Atlas of French Peat Deposits, A Starting Point for a National Inventory of Peatlands. *Soil Use Manag.* sum.12919. <https://doi.org/10.1111/sum.12919>

Questions ?



Sylvain Moncorgé
sylvain.moncorgé@cen-franchemcomte.org

Grégory Bernard
gregory.bernard@reseau-cen.org



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

La libre évolution forestière en tant que solution fondée sur la nature



Pierre Mossant (CEN Auvergne)

Directeur

pierre.mossant@cen-auvergne.fr

Nicolas Goux (CEN Occitanie)

Responsable Antenne Lot et Coordinateur Programmes "Forêt"

nicolas.goux@cen-occitanie.org



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

La libre évolution des milieux naturels : de quoi parle-t-on ?

Un choix de gestion d'un gestionnaire qui se traduit par :

→ Une diminution (autant que faire se peut) des pressions volontaires (forçages anthropiques) sur les milieux naturels & les espèces.

(pas de pâturage, pas de débroussaillage, maintien, contrôle ou suppression des activités dites extractives : chasse, pêche, cueillette...)

Pour autant, des pressions humaines ne disparaissent pas :

- changement climatique global
- aérosols atmosphériques
- pollutions chimiques & microplastiques...

L'intégration du changement climatique



Avec le changement climatique, le besoin d'accompagner les évolutions des communautés du vivant → aller vers une gestion adaptative, moins fixiste

...passer d'une « biodiversité patrimoniale »
à une « biodiversité fonctionnelle »...

L'intégration des services écosystémiques via les solutions fondées sur la nature

Une indispensable évolution des gestionnaires d'aires protégées,
mais aussi du droit de l'environnement

Un changement de paradigme (1/2)

Faire avec la spontanéité de la nature.

Le non-agir n'est pas inaction.

La libre évolution est tout sauf un abandon faute de moyens.

La libre évolution ne se décrète pas :

elle ne repose pas sur le « faire » mais sur le « laisser faire ».

Elle est spontanée...

Dès l'arrêt de la gestion, la libre évolution s'enclenche.

Des milliers d'hectares en déprise agricole, donc en libre évolution ?

Mais sans garantie de pérennité !

(cf. la reconquête des friches agricoles dans diverses régions)

Un changement de paradigme (2/2)

Dépasser une vision fixiste de la conservation, résultat d'une vision sanctuarisée du patrimoine naturel (nature = monument naturel)

Accepter le risque de perte d'espèces patrimoniales pour privilégier les processus et dynamiques spontanées

Parler de libre évolution conduit à **ne pas fixer d'objectif à atteindre pour les milieux naturels**

- car définir l'état de référence est impossible,
- et, quand bien même, il n'est qu'un moment dans une trajectoire écologique.

Une différence forte avec les politiques de conservation visant espèces et habitats ⇔ bon état de conservation déterminé

Un continuum dans les choix de gestion

Gestion dirigée

→ Le bon état de conservation d'une biodiversité patrimoniale

Libre évolution

→ Une priorité à la spontanéité sans recherche d'état de référence

Réensauvagement

→ La recherche d'une reconstitution des fonctionnalités globales intégrant herbivores et carnivores

Le choix des CEN :

- **Se rattacher à la libre évolution ou féralité** (≠ rewilding...)
- **Ne pas opposer libre évolution & gestion dirigée** → la libre évolution est un autre choix de gestion...
- **Disposer d'un gradient allant de la gestion dirigée à la libre évolution « absolue » en passant par des stades intermédiaires :**
- *un travail sur une typologie est en cours.*

Libre évolution & changement climatique

Pas d'émission GES lors des travaux :

1^{er} poste émissif des bilans réalisés par les CEN Hauts de France et Lorraine

Pas d'intervention sur la végétation : captation du carbone par la végétation

Pas de travail des sols : pas de relargage des stocks de carbone du sol

...

**!/ \ les choix de gestion ne doivent évidemment pas être pris
que sur des critères « carbone »**

**Un critère parmi d'autres qui permet de nuancer
ou faire évoluer les orientations de gestion.**

Sylvae, réseau de vieilles forêts



Vieilles forêts

- De quoi parle-t-on ?
- Quels enjeux pour leur préservation ?



Vieilles forêts, de quoi parle-t-on ?

Les vieilles forêts combinent 2 critères :

- **Ancienneté** de la forêt (*ou plutôt du sol forestier*)
- **Maturité écologique** des peuplements actuels

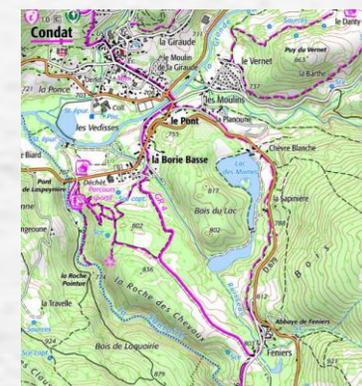


Vieilles forêts - critère 1 : l'ancienneté

« Une forêt ancienne est définie comme une forêt n'ayant pas connu de défrichement depuis au moins le début du XIX^{ème} siècle, quel que soit le type de gestion pratiquée.

L'essentiel est que le sol soit resté boisé depuis au moins 200 ans.»

Un faisceau d'indices concordants : carte de Cassini, cartes d'état major, photos aériennes, archives forestières, espèces indicatrices...



Vieilles forêts - critère 2 : la maturité écologique

Relatif à l'âge du peuplement, stade avancé du cycle de la forêt

- des essences autochtones, naturellement présentes
- des arbres de toutes tailles dont des très gros bois
- du bois mort abondant et diversifié, au sol et sur pied
- des micro-habitats nombreux et diversifiés



Vieilles forêts : pourquoi les préserver ?



- Des réservoirs de biodiversité
- Un témoin du fonctionnement originel & naturel des forêts
- Des stocks préservés de carbone dans la biomasse et les sols
- Un héritage culturel et social, des lieux sources d'inspiration pour les artistes



Sylvae : principe et objectifs

Une genèse au sein du CEN Auvergne...

... et un déploiement au niveau national dans le réseau des CEN



Le principe est simple : acquérir des parcelles de vieilles forêts et les laisser en libre évolution de la végétation!

Sylvae : principe et objectifs

Un déploiement au niveau national dans le réseau des CEN

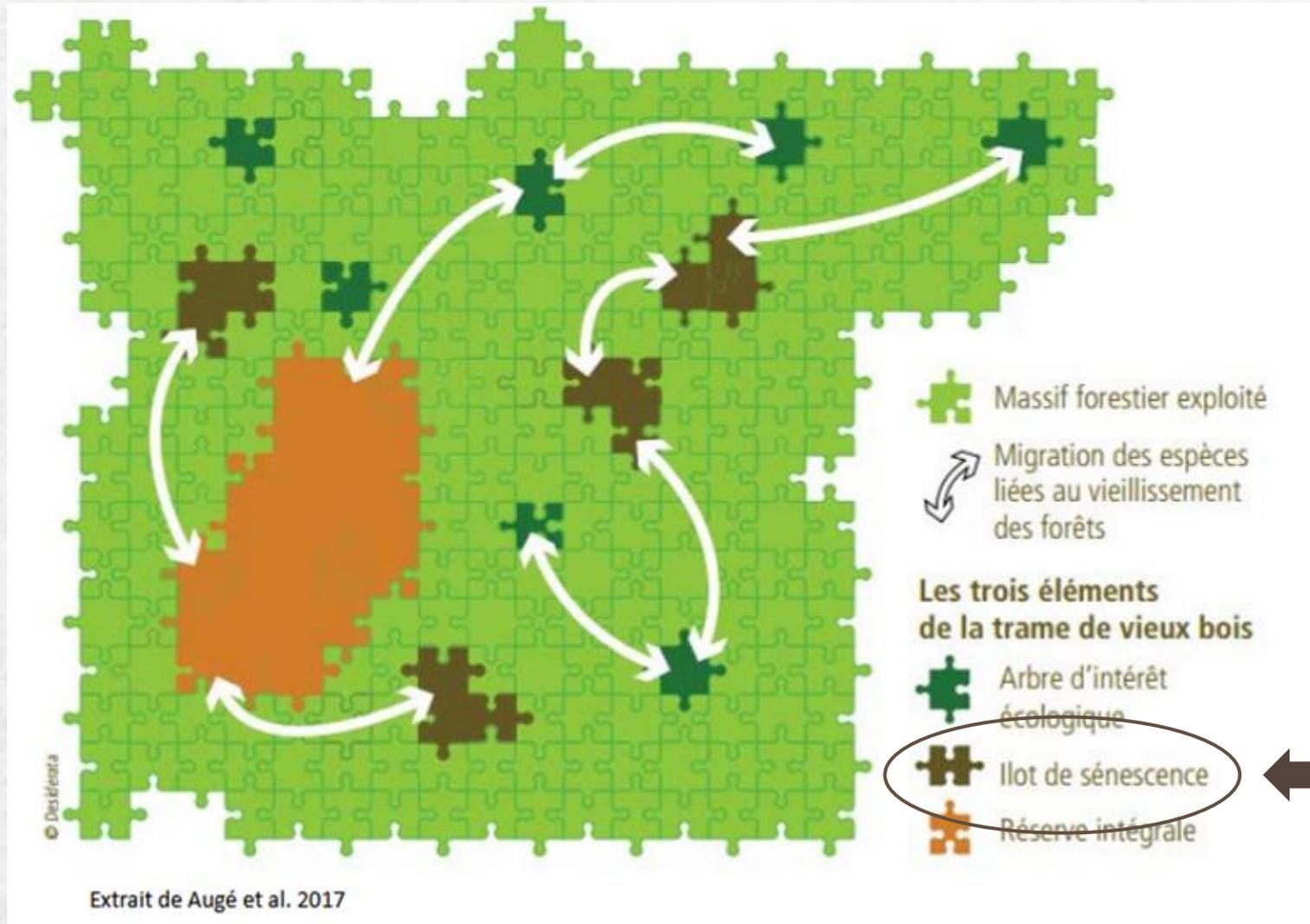
Une charte nationale ouvrant Sylvae aux forêts à haute valeur écologique*

- Les forêts à haute valeur écologique correspondent à des forêts reconnues comme telles par le conseil scientifique du CEN à l'échelle de son territoire, ou identifiées dans une stratégie validée par le conseil scientifique :
 - *forêts anciennes non matures,*
 - *présence d'habitats ou espèces à haute valeur patrimoniale (listes rouges d'habitats, présence d'espèces des listes rouges bryophytes ou saproxyliques...),*
 - *périmètres de protection des aires de rapaces forestiers...*

Un poste d'animation national, Léa Romain, basée au CEN Auvergne
(lea.romain@cen-auvergne.fr)



Contribution à une trame de vieux bois



Carbone & vieilles forêts : aller plus loin...

Plusieurs constats :

- Une convergence entre enjeux biodiversité & enjeux carbone autour des vieilles forêts
- Les CEN engagés sur la préservation des vieilles forêts
- Des opportunités de financements avec des opérateurs (entreprises, collectivités...) recherchant des projets locaux et à multiples effets (co-bénéfices)
- Une place pour proposer des projets de contribution volontaire carbone « qualitatifs »
- Une opportunité pour monter en compétence avec la FCEN

→ la construction d'une méthodologie LBC vieilles forêts



Une méthodologie Label Bas Carbone dédiée

Une méthodologie

- en cours d'examen par le Ministère
- co-construite avec la fédération des PNR et un expert reconnu
- faisant la part belle aux co-bénéfices (biodiversité, eau paysages...)
- exigeante pour éviter les dérives :
 - basée sur des données scientifiques étayées
 - retenant une évaluation *ex-post*
 - nécessitant une sécurisation foncière et un engagement long (> 30 ans du LBC)



LBC Libre évolution: bases de la méthode



**LABEL BAS
CARBONE**

Conservatoires
d'espaces
naturels



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

Rapport du Comité des sciences de l'environnement de l'Académie des sciences et point de vue d'Académiciens de l'Académie d'Agriculture de France - juin 2023

Les forêts françaises face au changement climatique

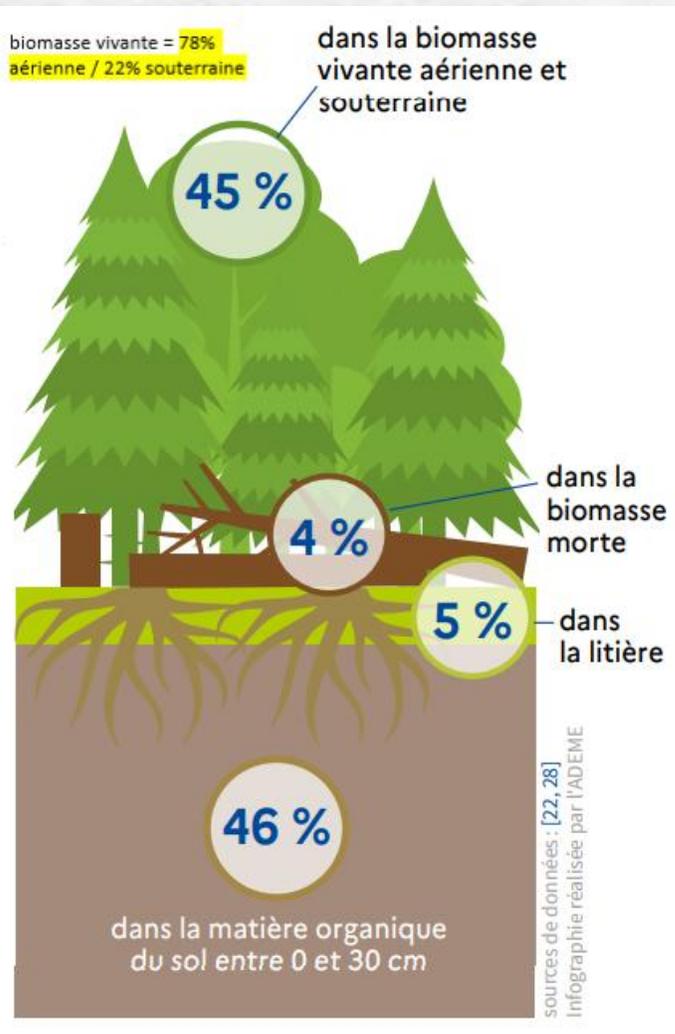
- Les écosystèmes forestiers renferment des stocks considérables de carbone

« Bien que la libre évolution représente le mode de gestion actuellement le plus efficace pour piéger puis stocker durablement le CO₂, et pour maintenir d'autres contributions importantes des forêts, la France a besoin d'exploiter une partie de ses forêts pour produire sur son territoire les produits biosourcés dont elle a besoin, réduisant ainsi sa dépendance vis-à-vis de produits plus émissifs lors de leur production ou du fait de leur importation »

Rapport de l'Académie des Sciences, 2023



LBC Libre évolution: bases de la méthode



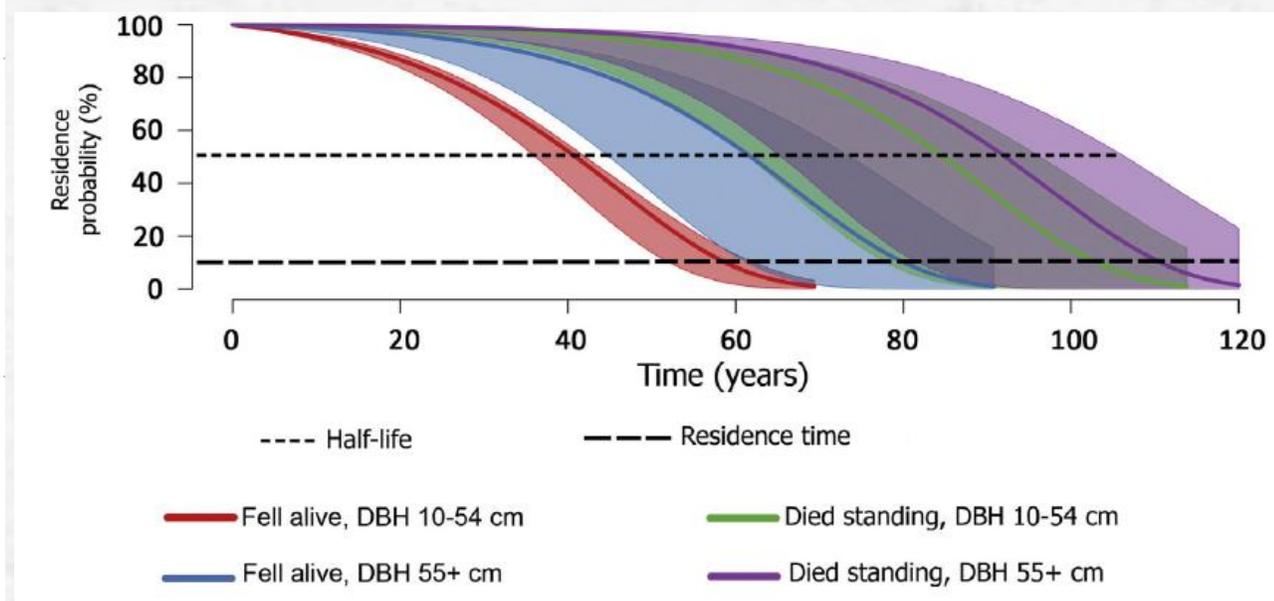
Les principaux paramètres de la méthode :

Compartiments	Sources	Inclusion
Aérien	Séquestration de carbone dans la biomasse vivante aérienne (troncs, branches)	Oui
	Séquestration de carbone dans la biomasse morte aérienne (litière)	
	Séquestration de carbone dans la biomasse morte aérienne (bois mort)	
Souterrain	Séquestration de carbone dans la biomasse vivante souterraine (racines)	Oui
	Séquestration de carbone dans la biomasse morte souterraine (sols)	
Bois récolté	Stockage dans les produits bois	Scénario de référence seulement
	Emissions liées à l'exploitation, aux transports et aux transformations	Non-comptabilisées
	Substitution à des produits ou énergies plus émetteurs que le bois	

LBC Libre évolution: bases de la méthode

Essence	Référence	Contexte / Bois	Durées de décomposition en années (selon climat, diamètre, à terre ou au sol ...)*																
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	200	
Epicéa	Fravolini et al. 2016	Italie																	
	Hararuk et al. 2020	Montagnes suisses																	
	Vacek et al. 2015	Europe de l'Est																	
	Petrillo et al. 2016	Montagnes italiennes																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
	Petrillo et al. 2015	Suisse																	
	Oettel et al. 2023	Autriche																	
	Privětivý & Samonil, 2020	Carpathes / D>50cm																	
Sapin	Privětivý et al. 2018	Carpathes / D>54cm																	
	Privětivý & Samonil, 2020	Carpathes / D>50cm																	
Mélèze	Petrillo et al. 2015	Suisse																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Pins	Oettel et al. 2023	Suisse																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Douglas	Harmon et al. 1986	USA																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Hêtre	Privětivý & Samonil, 2020	Carpathes / D>50cm																	
	Vacek et al. 2015	Tchéquie																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Chêne	Oettel et al. 2023	Autriche																	
	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Frêne	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Charme	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Peuplier	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Bouleau	Kahl et al. 2017	Allemagne																	
Erable	Kahl et al. 2017	Allemagne																	

Les principaux paramètres de la méthode :



Privětivý et al. (2018)

Merci de votre attention !



Une des derniers Trolls d'Europe
(population auvergnate) toujours présent
sur une parcelle Sylvae (tenue secrète)
du CEN Auvergne !



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

Questions ?



Pierre Mossant (CEN Auvergne)
pierre.mossant@cen-auvergne.fr

Nicolas Gouix (CEN Occitanie)
nicolas.gouix@cen-occitanie.org



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

Gestion et usages des prairies, des leviers pour agir sur le climat



Katja Klumpp

Grassland Ecosystem Research Unit

Institut National de Recherche pour
l'Agriculture, l'Alimentation et
l'Environnement (France)

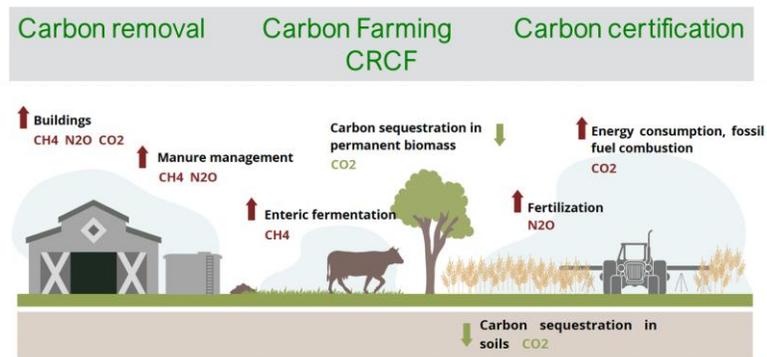
katja.klumpp@inrae.fr



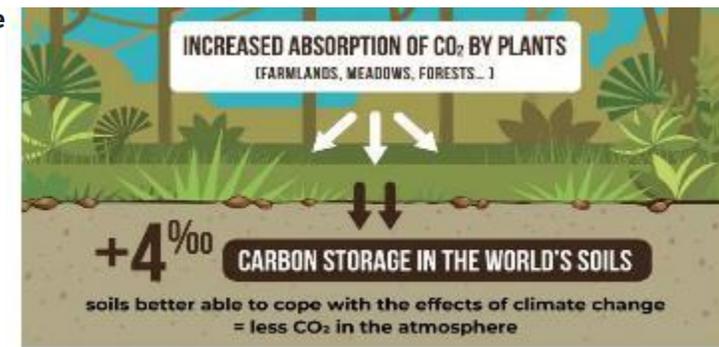
24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024

Les prairies au cœur du débat

- Nombreux services à l'agriculture et à la société
- Pivot des systèmes d'élevage, bien-être animal, qualité des produits
- Gestion de compromis entre des systèmes de cultures et surfaces couvertes en permanence
- Les Sols pour la Sécurité Alimentaire et le Climat
 - l'Initiative "4 pour 1000"
 - Label Bas Carbone et autres



Label bas-carbone : récompense les acteurs de la lutte contre le changement climatique



Les prairies sont un levier possible

41% de la surface agricole utilisable (SAU 11,1Mha) sont des prairies

Prairie temporaire (3.6 Mha)

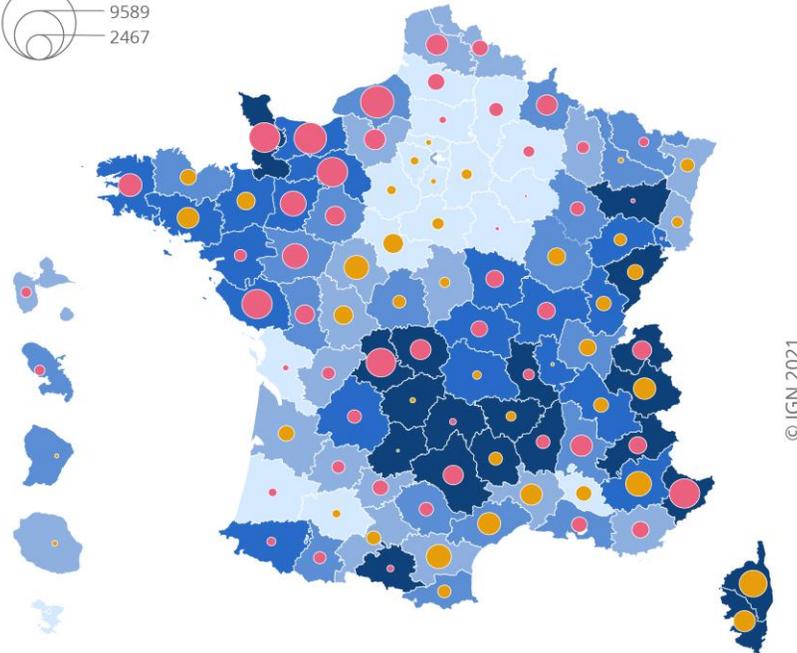
Prairie permanente (7,9 Mha dont 2,2 Mha bio)

Évolution entre 2009 et 2019 (en ha)

- diminution
- augmentation



Part des fourrages et prairies dans la SAU en 2019 (en %)



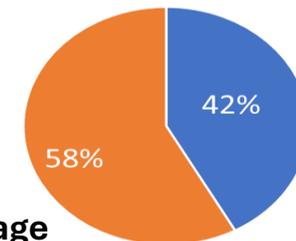
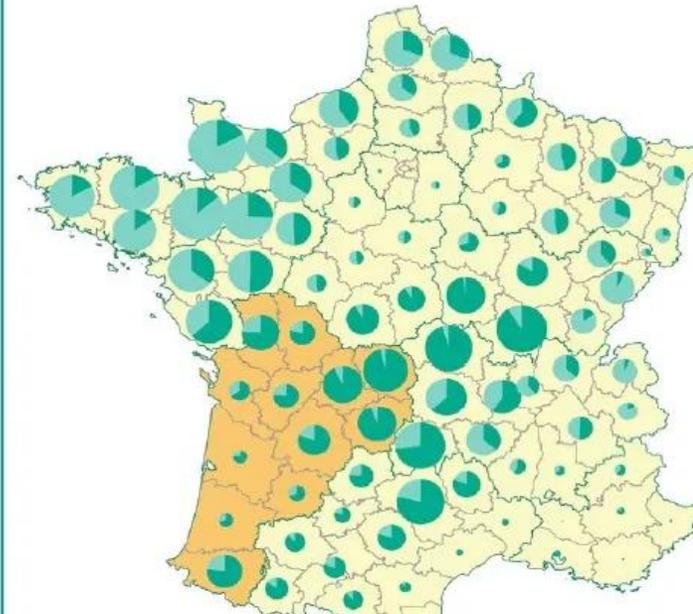
© IGN 2021

- **une perte de 4.4 millions (M) d'ha entre 1982 et 2018**

(Agriste Recensement agricole, 2022)

Cheptel

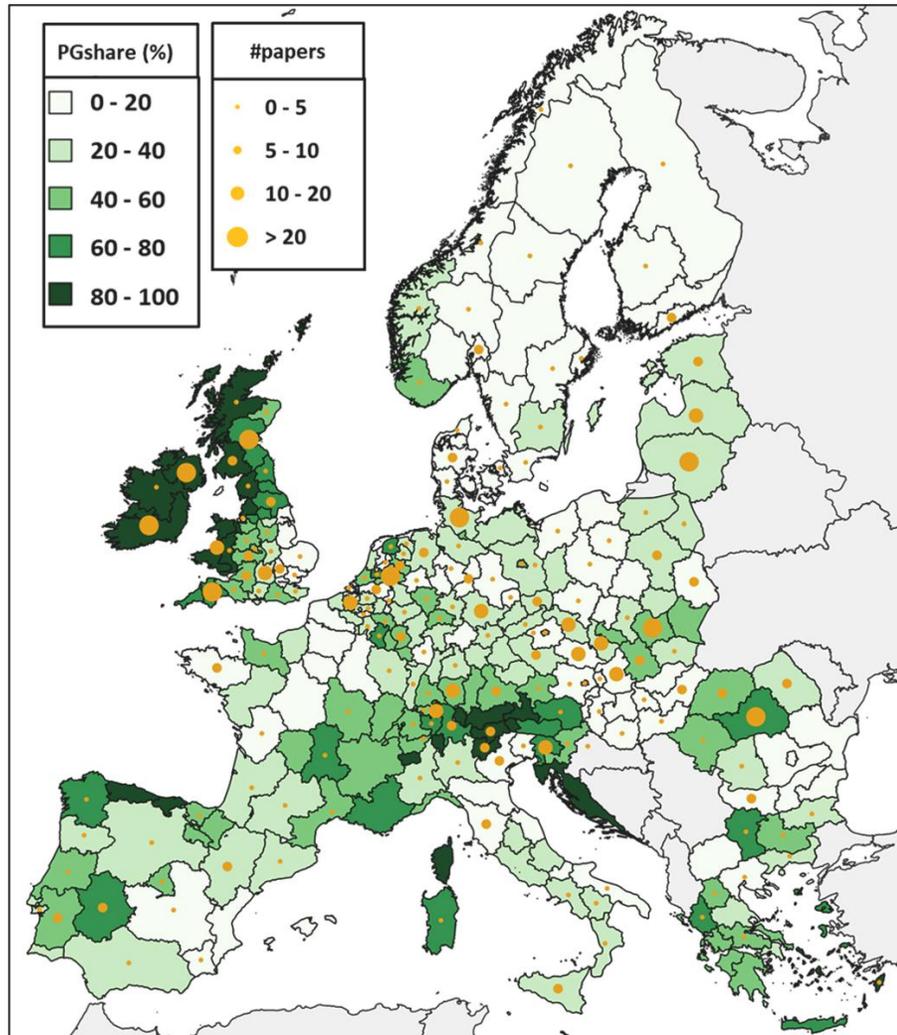
- **27 millions de ruminants (Agriste Recensement agricole, 2022)**



Le pâturage

en foin, ensilage
ou enrubannage

Que nous dit la science ?



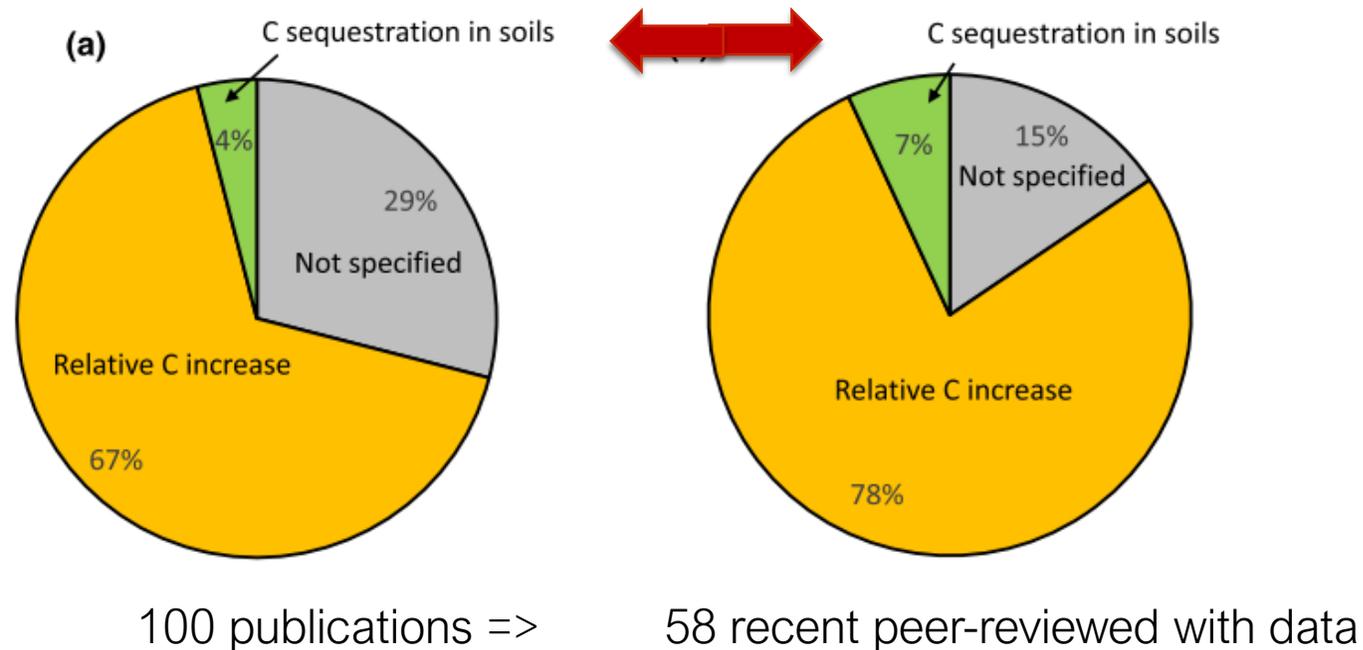
Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality

René L.M. Schils^{a,*}, Conny Bufe^a, Caroline M. Rhymer^b, Richard M. Francken^b, Valentin H. Klaus^a, Mohamed Abdalla^a, Filippo Milazzo^a, Eszter Lellei-Kovács^c, Hein ten Berge^a, Chiara Bertora^a, Anna Chodkiewicz^b, Claudia Dámátrics^a, Iris Feigenwinter^d, Pilar Fernández-Rebollo^e, Shiva Ghiasi^{f,g}, Stanislav Hejduk^h, Matthew Hironⁱ, Maria Janicka^b, Raul Pellaton^j, Kate E. Smith^k, Rachel Thorman^l, Tom Vanwalleghem^m, John Williamsⁿ, Laura Zavattaro^o, Jarl Kampen^o, Ria Derckx^a, Pete Smith^a, Mark J. Whittingham^b, Nina Buchmann^a, J. Paul Newell Price^a

La part des prairies permanentes et temporaires Travaux publiés depuis 1980

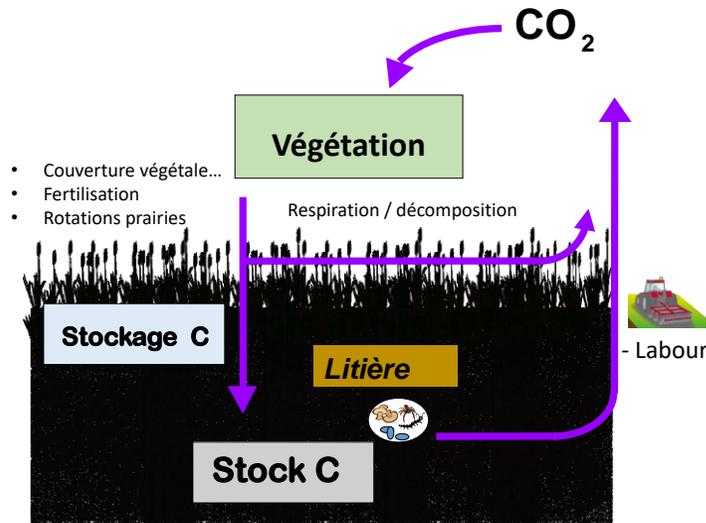
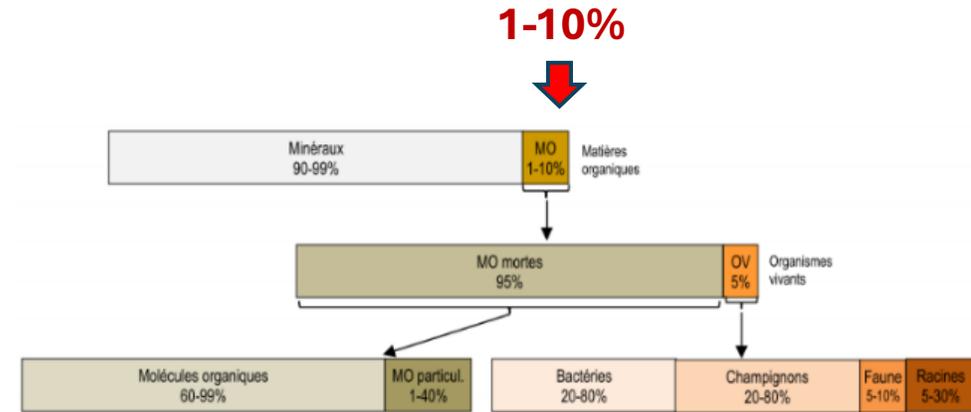
Stockage du carbone, définitions et conclusions erronées

- **Séquestration du C** : transfert de C de l'atmosphère vers le sol par les plantes ou autres organismes, qui est **stocké dans le sol sous forme de carbone organique**.
- **Stockage/accumulation de C (C storage / accrual)** : Augmentation du stock de SOC dans une unité de surface donnée, à partir d'un stock de SOC initial ou par rapport au business-as-usual.

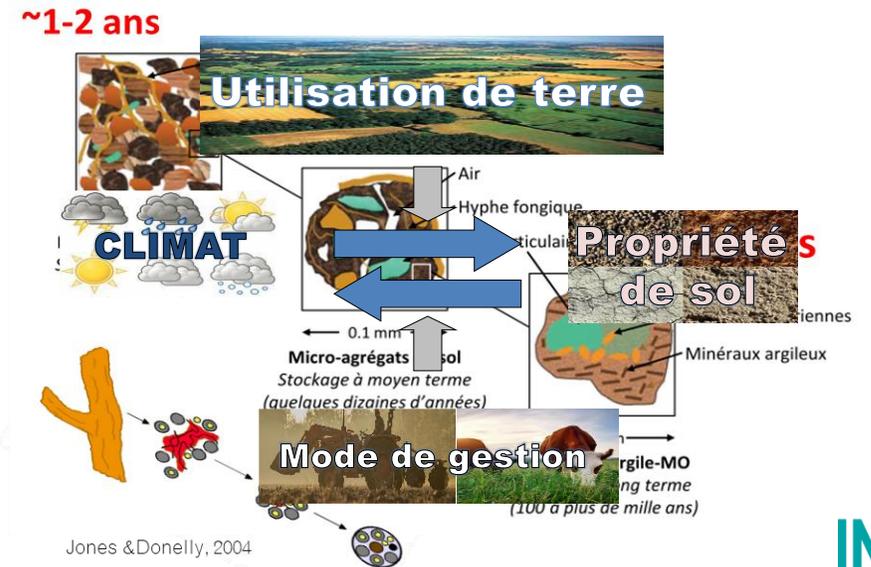


Le stock(age) de carbone (C) du sol : de quoi parle-t-on?

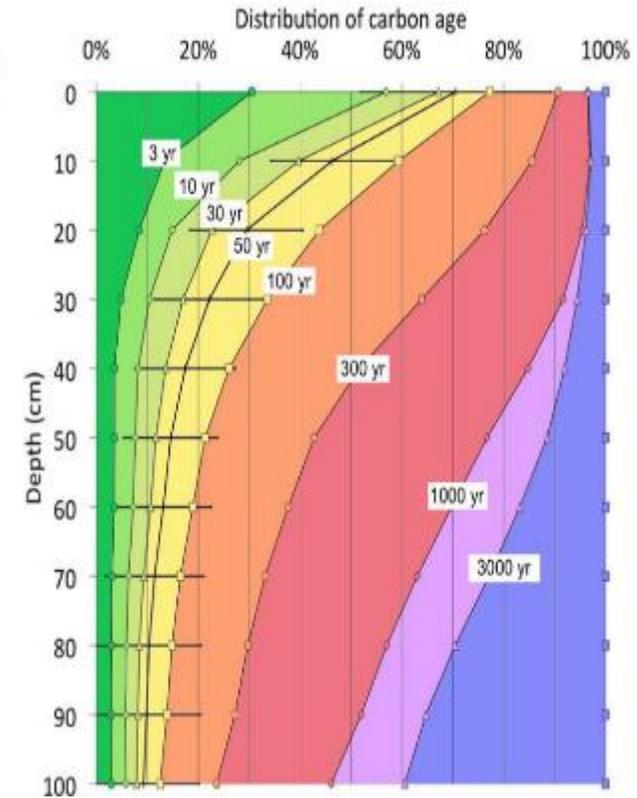
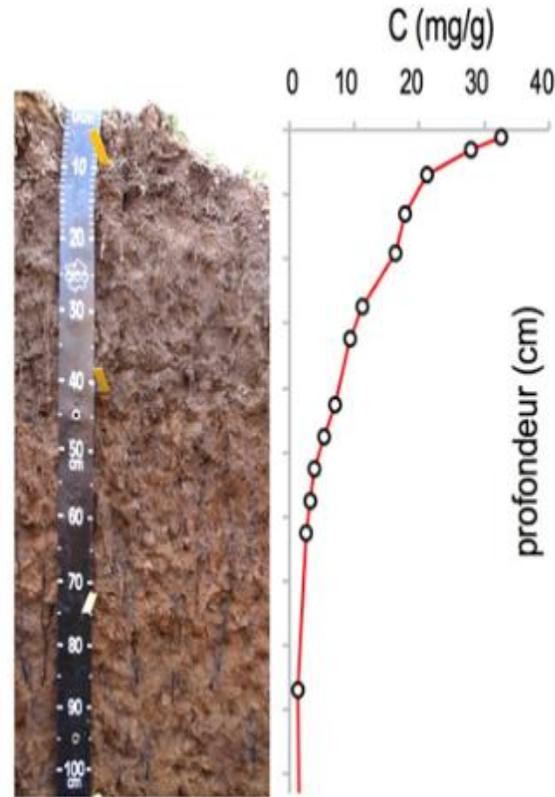
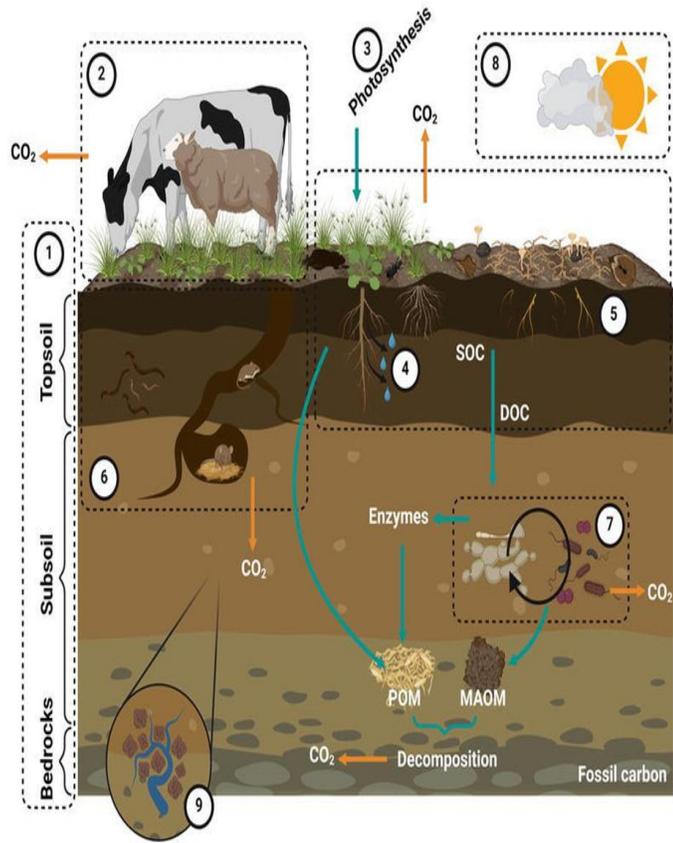
- Le Stock du carbone du sol fait souvent référence au **carbone organique** du sol (SOC, 1- 10%)
- Le SOC est étroitement lié à la quantité de **matière organique** dans le sol (SOC)
- (SOM = SOC × 1,72)
- **Ce pool comprend le stock de C à long terme.**



- La formation du stock du carbone à long terme est fonction des **entrées de C** dans le sol (**Stockage**) et
- de la capacité du sol à le conserver (**Stock-heritage**) en surface et profondeur.

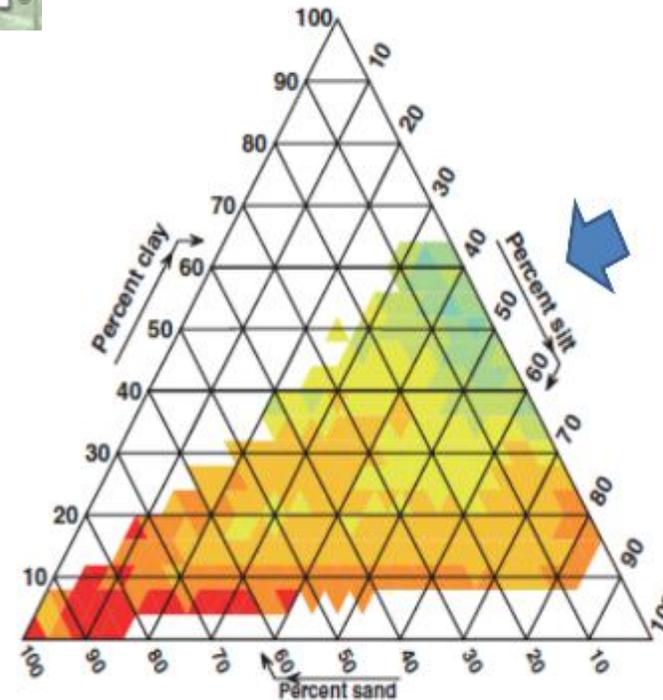
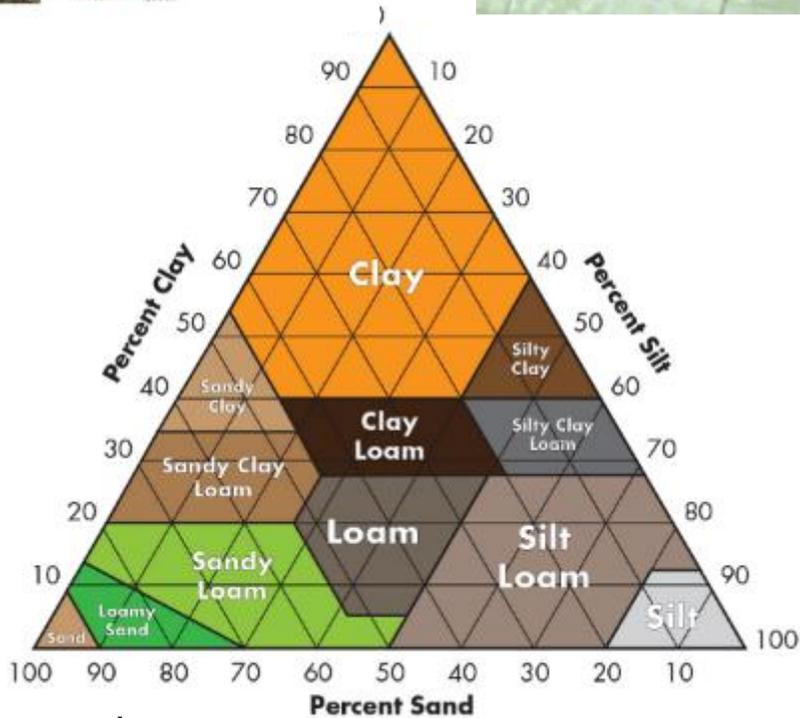
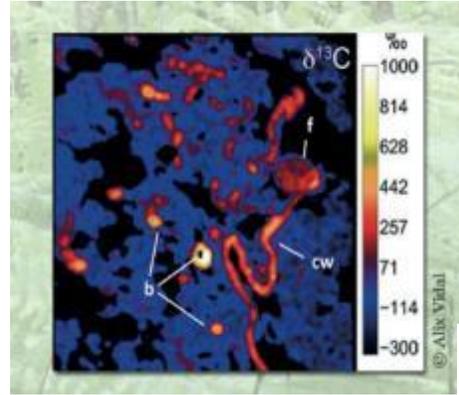
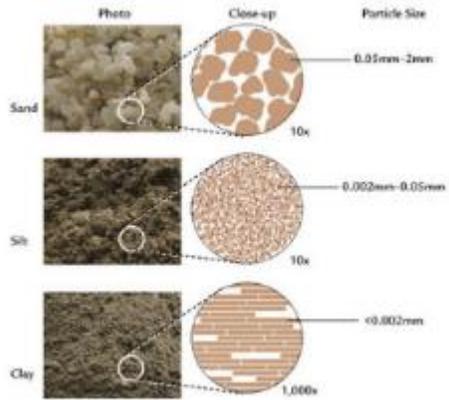


Où va le carbone ? ->Le carbone se déplace dans les couches profondes du sol

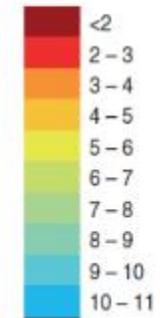


Répartition verticale du carbone organique dans le sol -
Répartition en différents âges du carbone

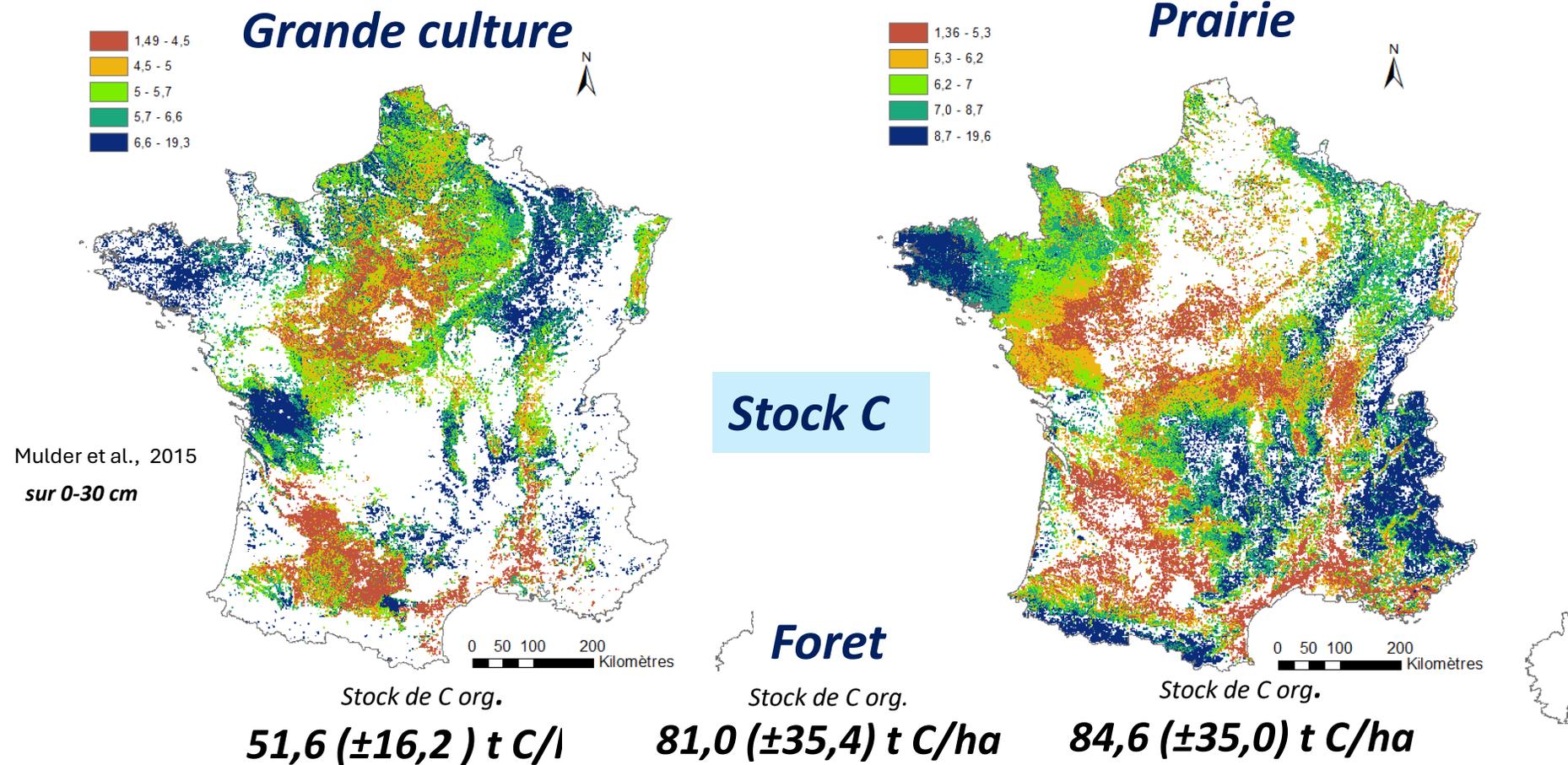
C stock dépend de la texture du sol



C stocks (kg m⁻²)



Le stock de carbone (C) du sol : de quoi parle-t-on?



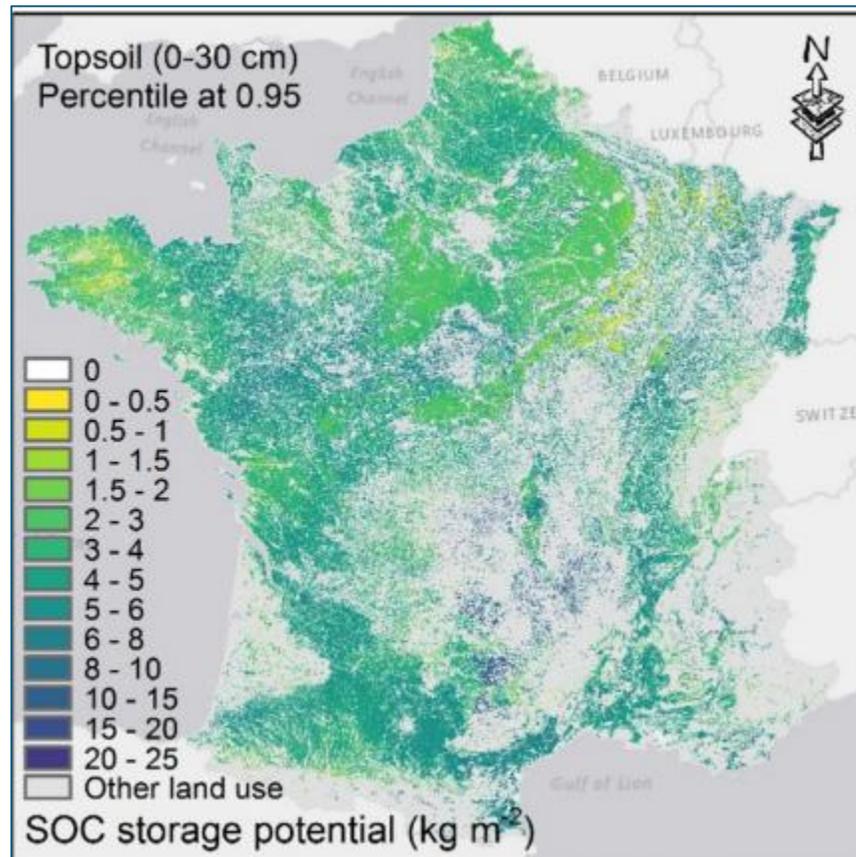
- *Texture: les stocks les plus élevés avec des sols plus ou moins limoneux*
- *Climat : les stocks les plus élevés en situations climatiques et/ou pédologiques humides.*

Quelle quantité de carbone organique peut encore être stockée dans le sol ?

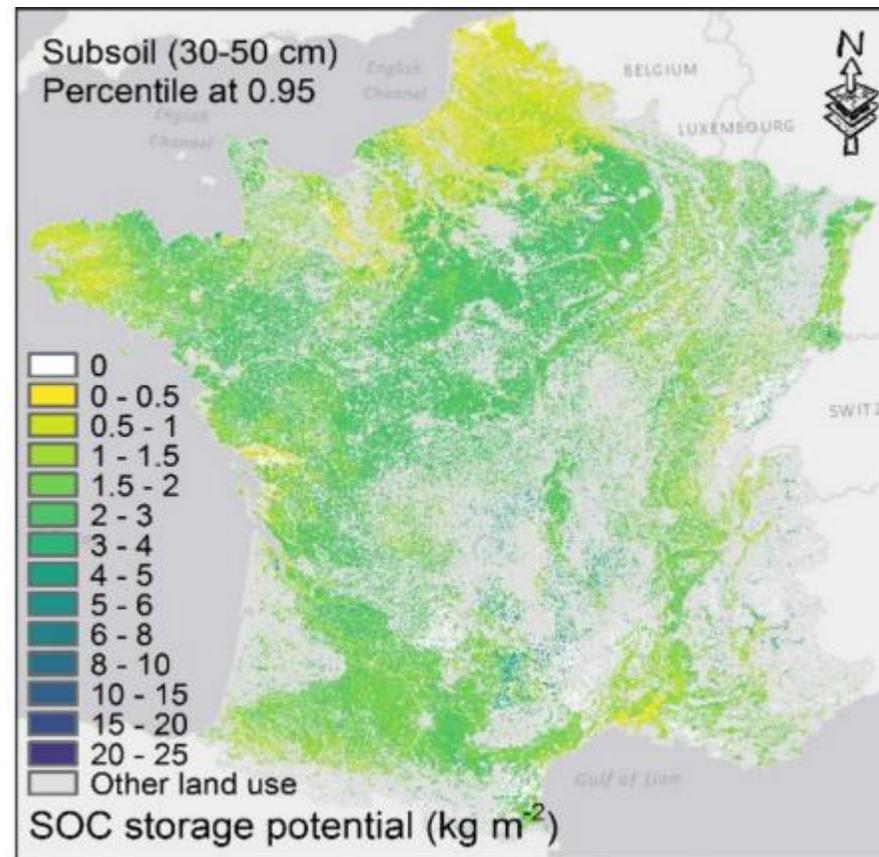


- *Potentiel de stockage du C (Chen et al., 2019, inventaire RMQS+modélisation)*

0-30cm



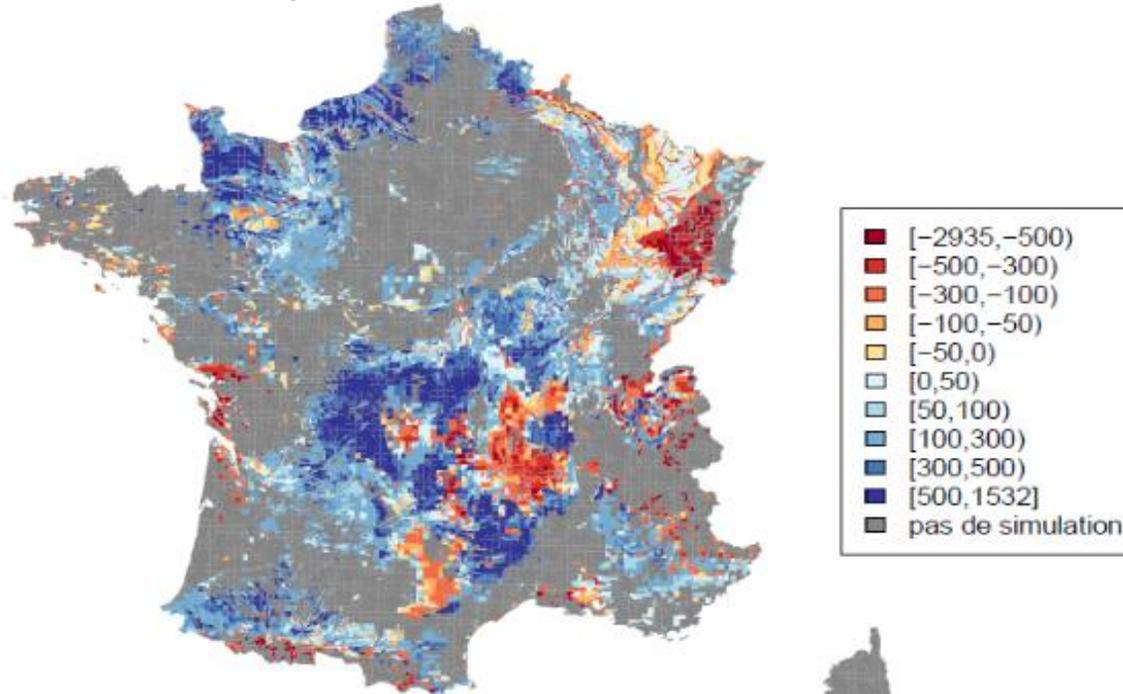
30-50cm



Quelle quantité de carbone organique peut encore être stockée dans le sol ?

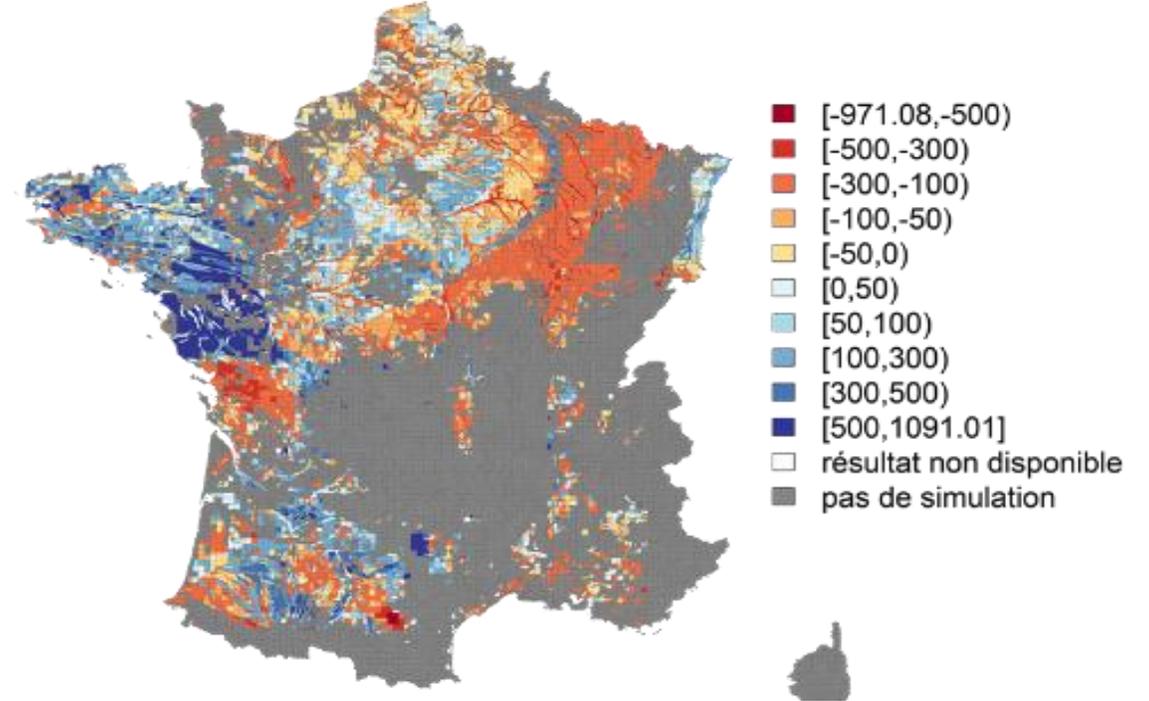
INRAe EsCo 2019 : 4p1000

Prairies permanentes



+212 (± 524) kg C ha⁻¹an⁻¹

Cultures + Systèmes prairie en rotation



Cultures:

-59 (± 160) kg C ha⁻¹yr⁻¹

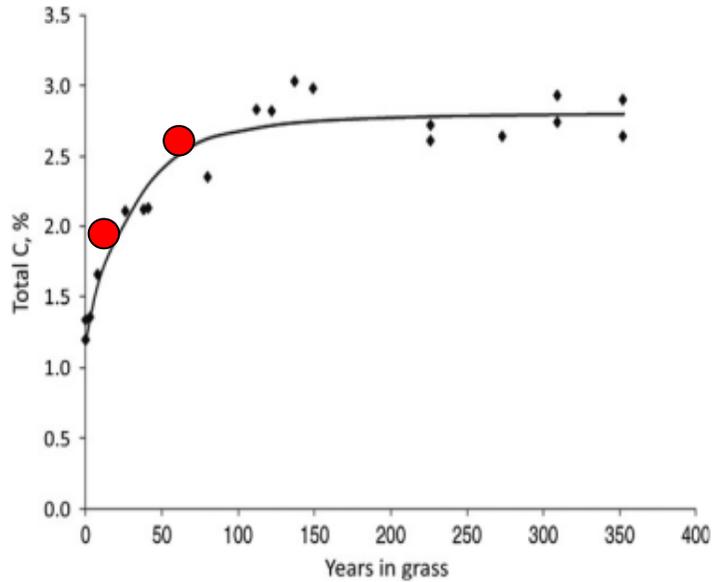
Systèmes prairie en rotation :

+370 (± 278) kg C ha⁻¹yr⁻¹



- *Potentiel de stockage du C (inventaire sol + modèles mécanistes, PaSim Stics)*

Combien de temps le carbone organique reste-t-il dans le sol?



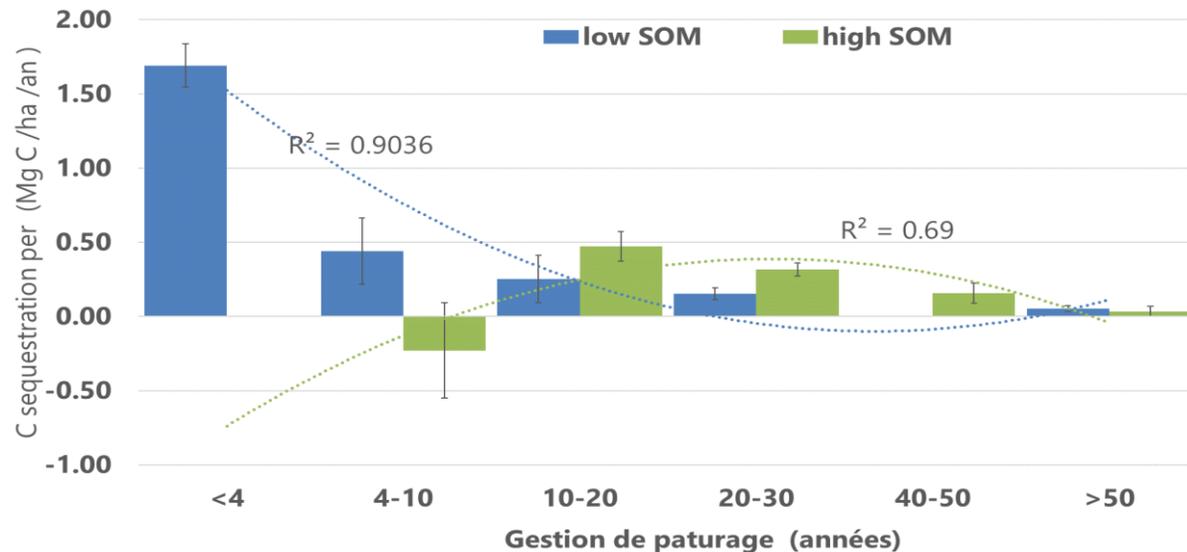
Hypothèses:

d'équilibre du stockage de C

- Oui, mais dépend du nombre d'années sans changements de pratique et de la durée des pratiques
- Dépend du C initial

Saturation de C liée à sa texture

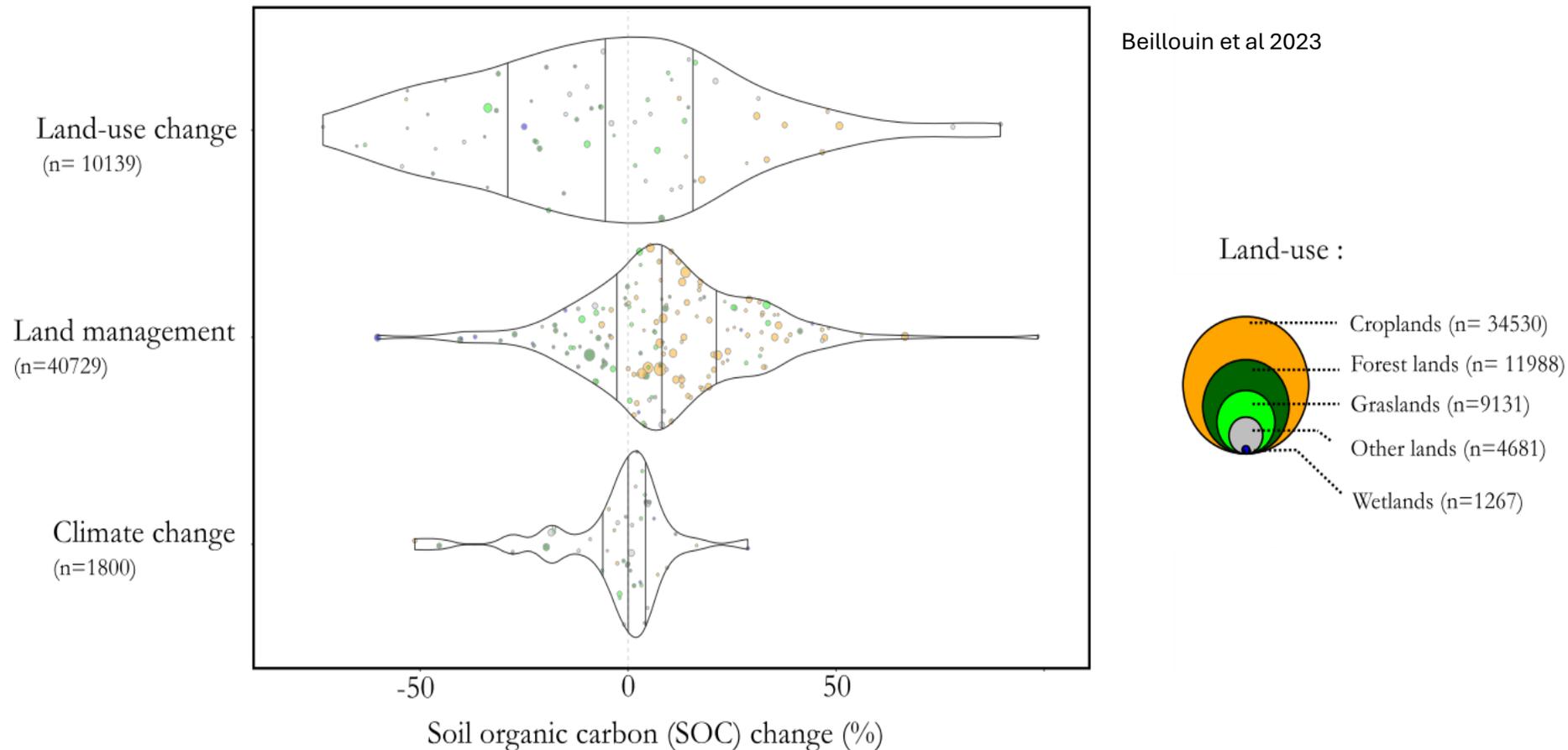
- Pas de limite supérieure détectable pour le carbone organique associé aux minéraux dans les sols agricoles tempérés (Begill et al 2023, Moinet et al 2022,)



C Séquestration dépend du type de sol minéral vs organique

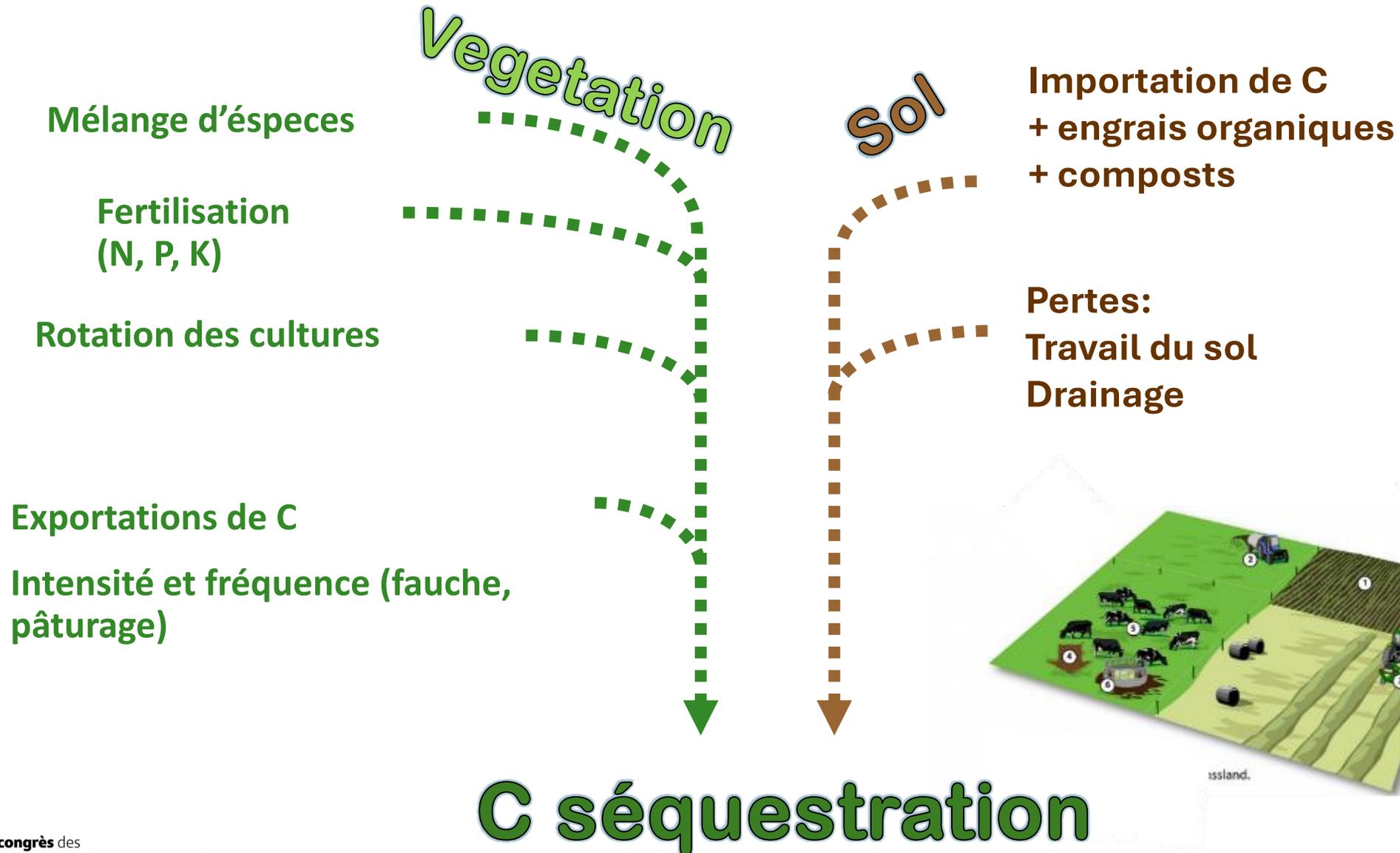
(4P100, 2019 INRAE)

Quels effets sur les changements dans le carbone organique du sol (SOC)



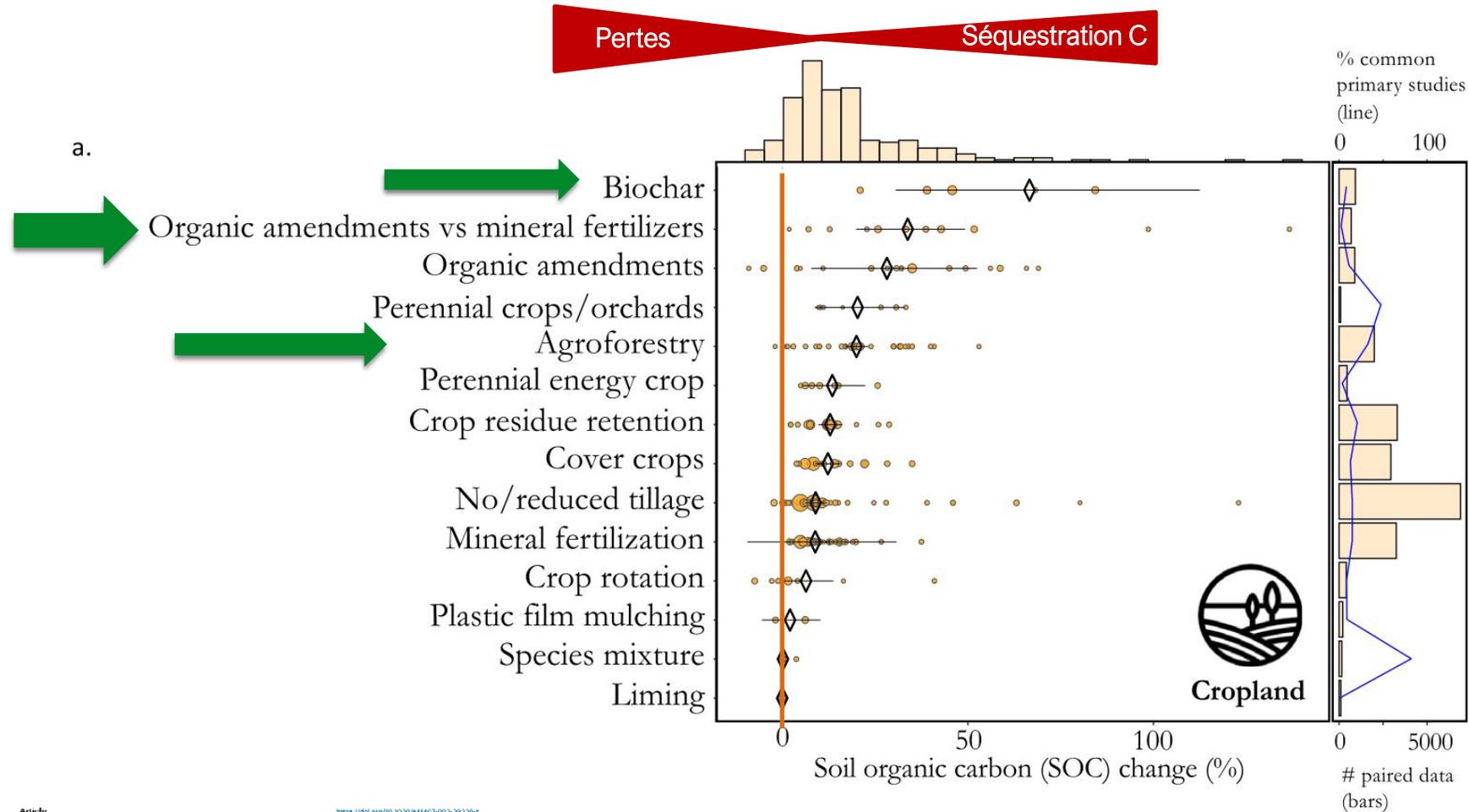
Changement d'utilisation des terres (LUC) et de la gestion des terres (LM) ont des effet 7 à 10 fois plus importants que les effets directs du changement climatique !

Comment la gestion affecte le stockage du C



Combien stockons-nous et comment ?

Cultures



Article <https://doi.org/10.1038/s41467-023-29320-4>
A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene

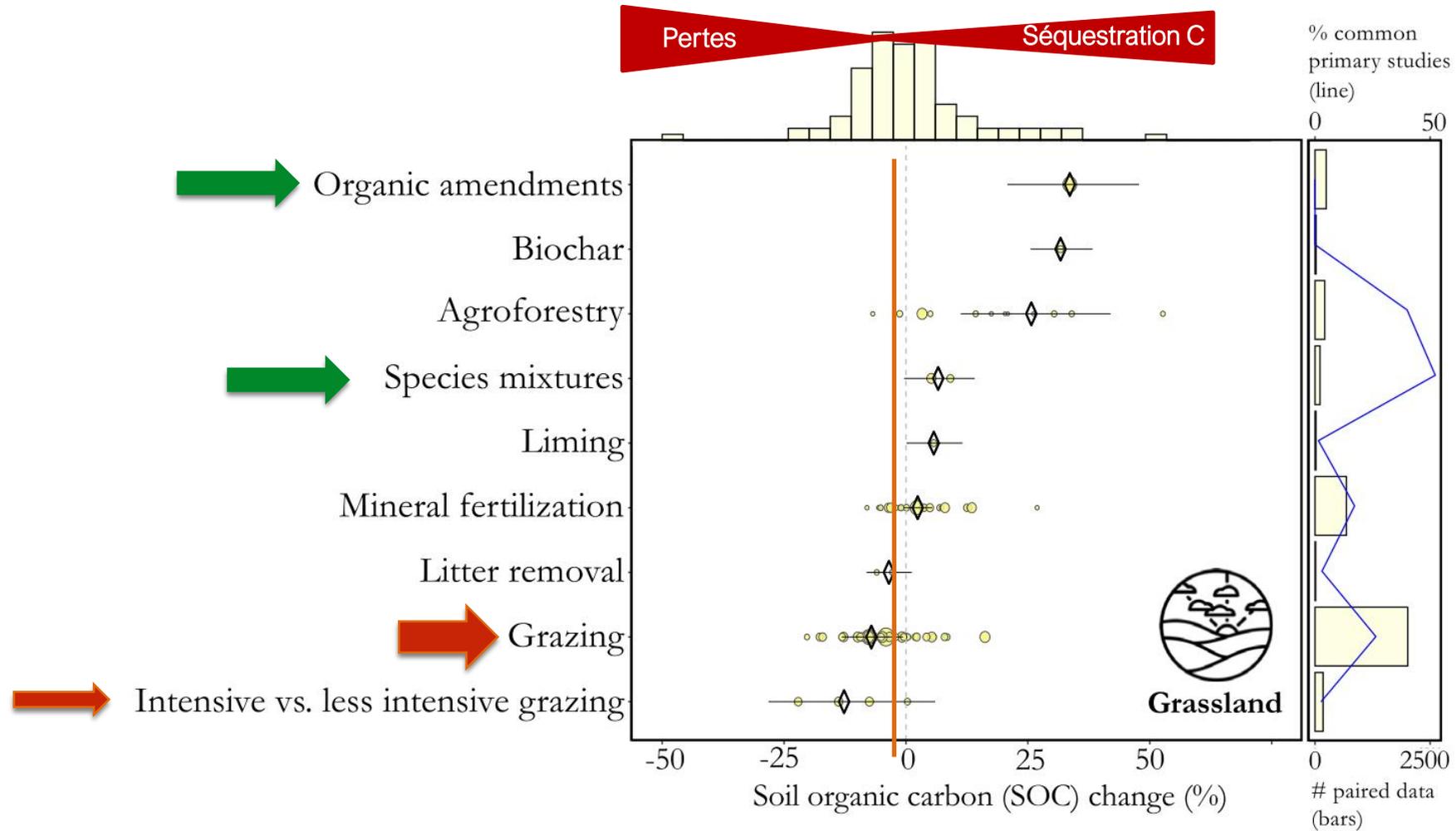
Received: 4 November 2022
 Accepted: 5 June 2023

Durroni Beillouin¹, Marc Dorbecq^{1*}, Julien Danciger^{1,2,3}, David Berne^{1,4},
 Annie Deyer⁵, Abigail Falset^{1,6}, Frédéric Fader^{1,7} & Rémi Cardinael^{1,8,9}

Beillouin et al. 2023

Combien stockons-nous et comment ?

Prairie



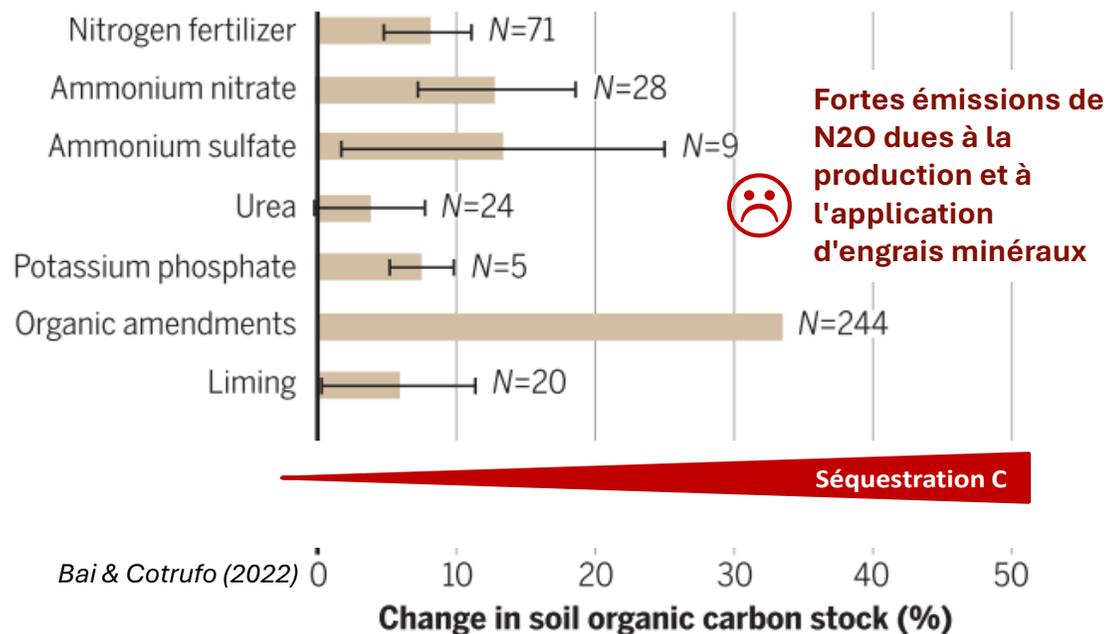
Article <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29320-4>
A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene

Received: 4 November 2022
 Accepted: 5 June 2023

Durroni Boullain ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}, Marc Dorbecq ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}, Julien Dancos ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}, David Berne ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100},
 Annie Deyer ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}, Abigail Falset ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}, Frédéric Fédor ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100} & Rémi Cardinael ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100}

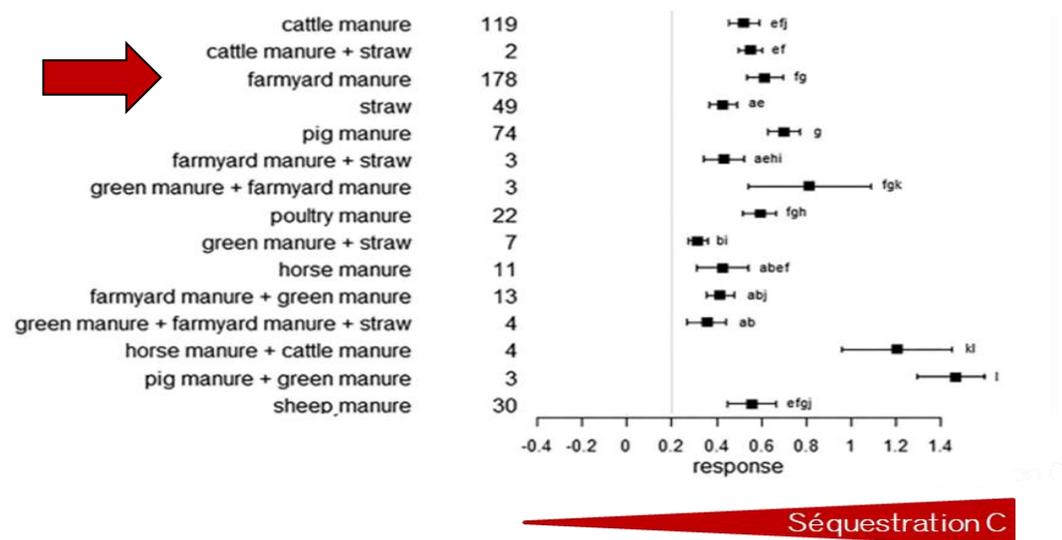
Effet positif de la gestion des prairies :

- Fertilisation minérale et organique



- L'ajout de N augmente la séquestration du C.
- Les amendements organiques favorisent le stockage de C

Fornara et al 2016, Oberholzer et al 2014

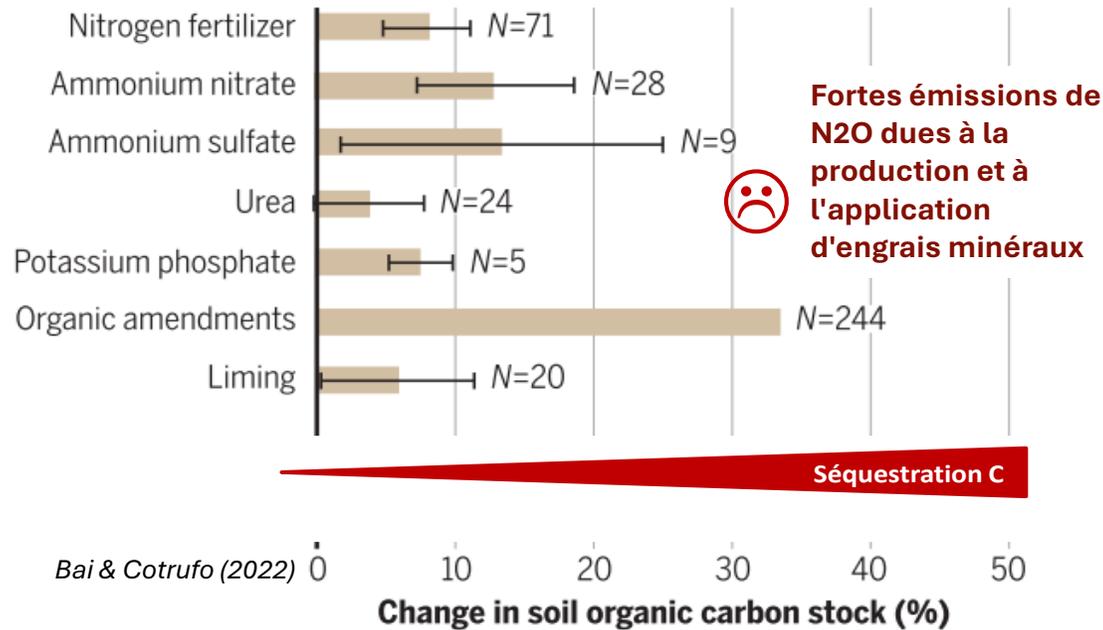


- Les lisiers de bovins et porc offrent des taux de séquestration de C plus intéressants, que NPK seul,
- notamment en combiné Ci

Gross & Glasser (2021)

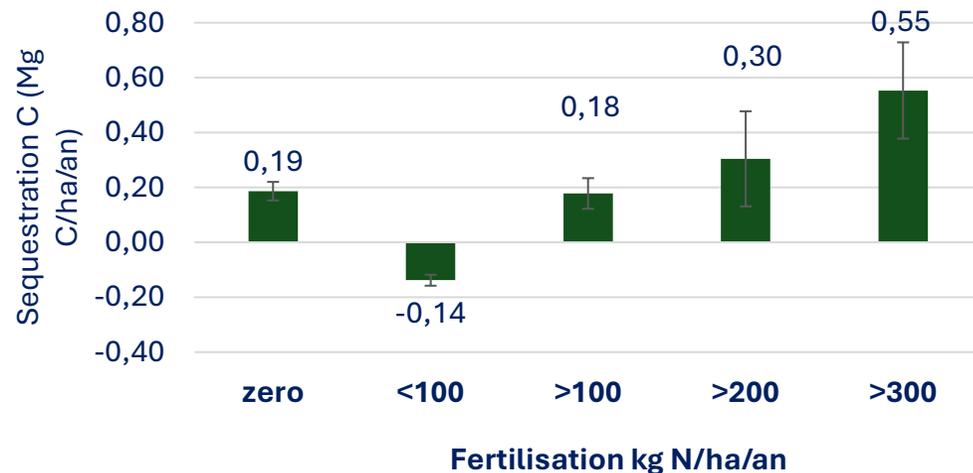
Effet positif de la gestion des prairies :

- Fertilisation minérale et organique



- L'ajout de N augmente la séquestration du C.
- Les amendements organiques favorisent le stockage de C

Fornara et al 2016, Oberholzer et al 2014



- 0,8 à 1,15 kg de N est nécessaire pour séquestrer 1 kg de SOC.**

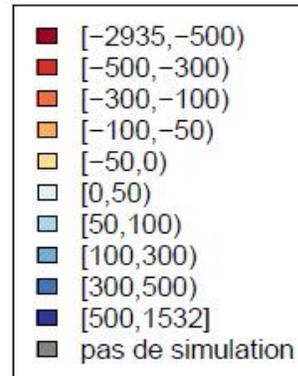
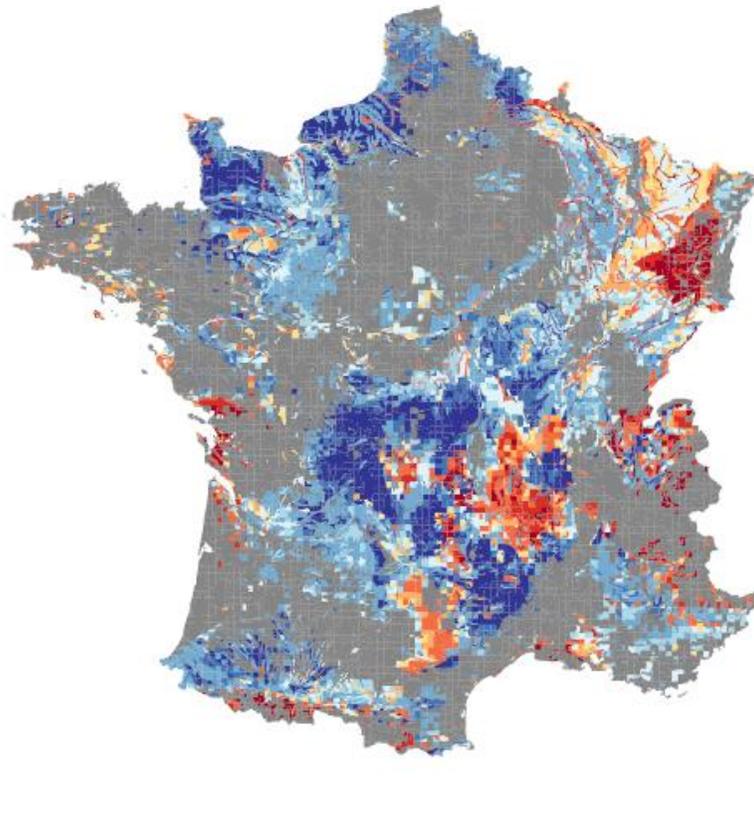
INRAE 4p1000, 2019
Holland & Klumpp préparation EJP soil CarboSeq
Poeplau et al 2018

Effet positif de la gestion des prairies :

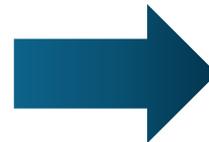
- Fertilisation minérale et organique

INRA EsCo 2019 : 4p1000

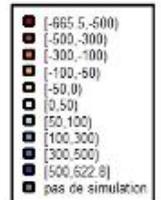
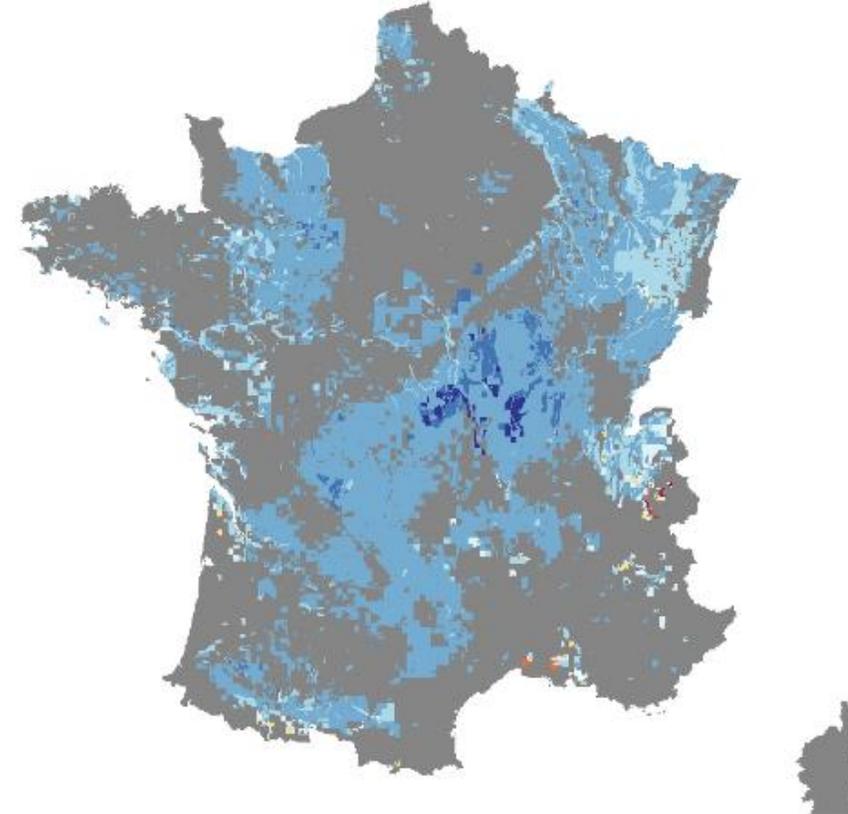
Actuelle



Prairie actuelle
+212 (±564) kg C ha⁻¹yr⁻¹

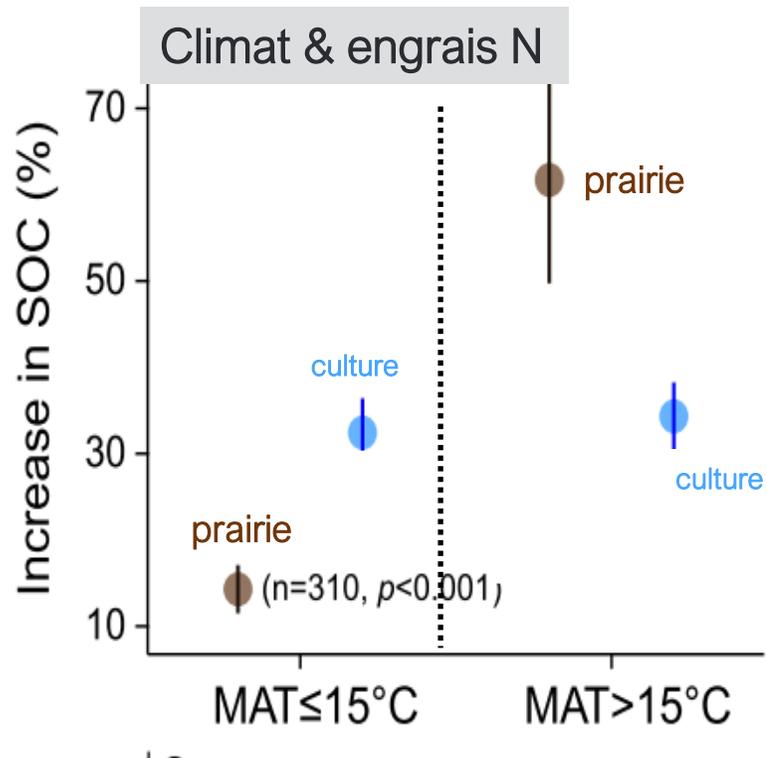


+ fertilisation (50 kg N) Pour les prairies peu productives



Améliorer la fertilité des sols
+163 kg C ha⁻¹yr⁻¹

Puits de carbone : engrais minéraux et organique?



- L'effet de la fertilisation dépend de l'agroécosystème et du climat. c.-à-d. l'effet combiné de la température et de la biomasse aérienne

Article <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47829-w>

A global meta-analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands

Received: 12 October 2023

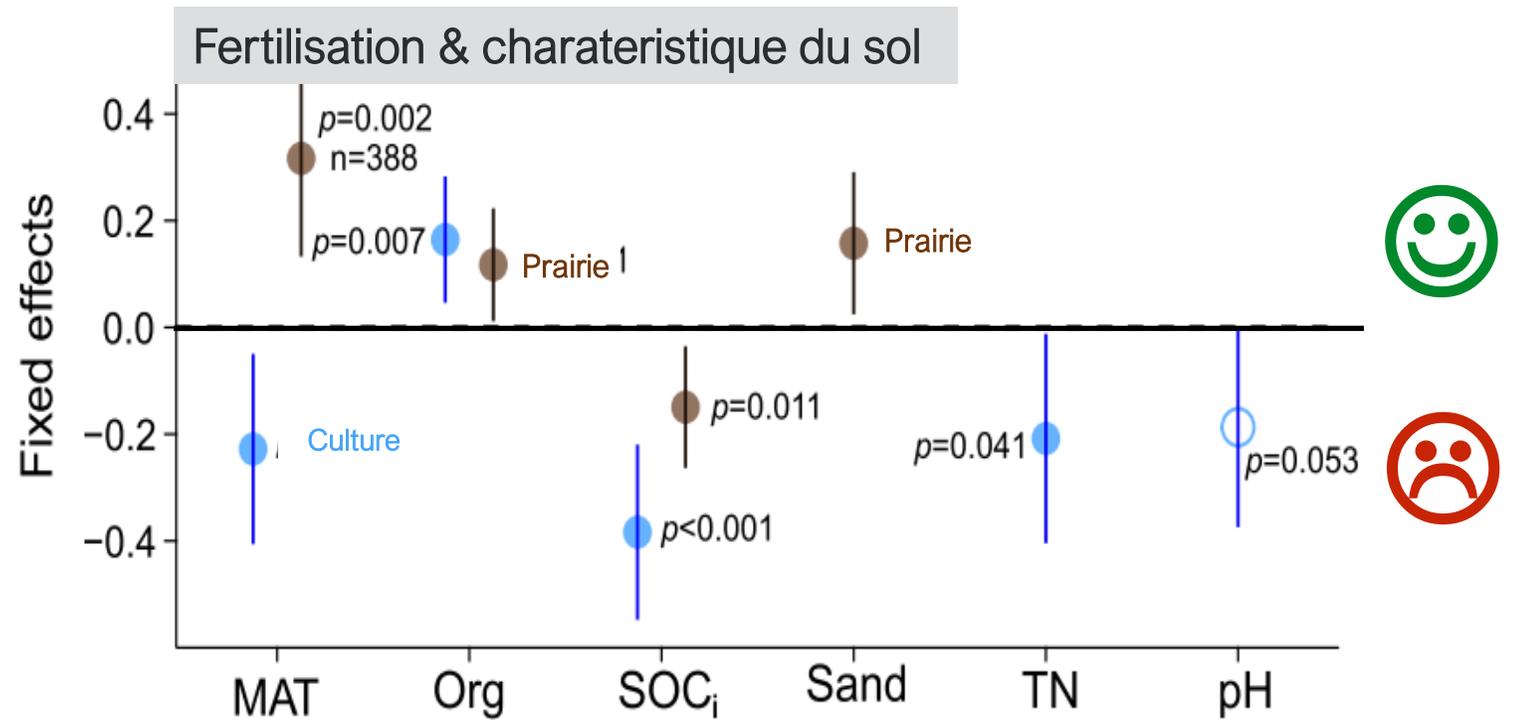
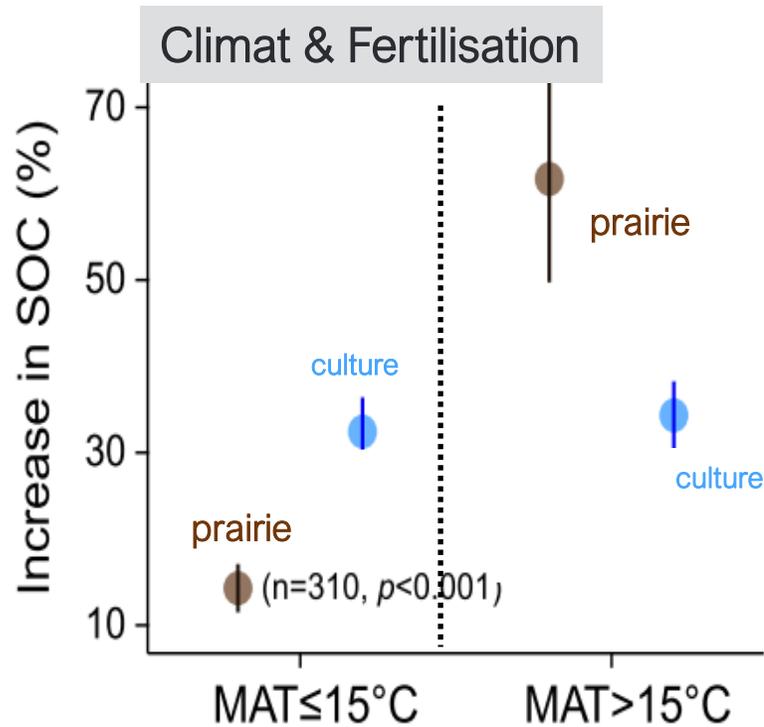
Accepted: 15 April 2024

Published online: 22 April 2024

Ting-Shuai Shi¹, Scott L. Collins², Kailiang Yu³, Josep Peñuelas^{4,5},
Jordi Sardans^{6,7}, Hailing Li⁸ & Jian-Sheng Ye^{9,10}



Puits de carbone : engrais minéraux et organique?



- L'effet de la fertilisation dépend de l'agroécosystème et du climat. c.-à-d. l'effet combiné de la température et de la biomasse aérienne

Article <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47829-w>

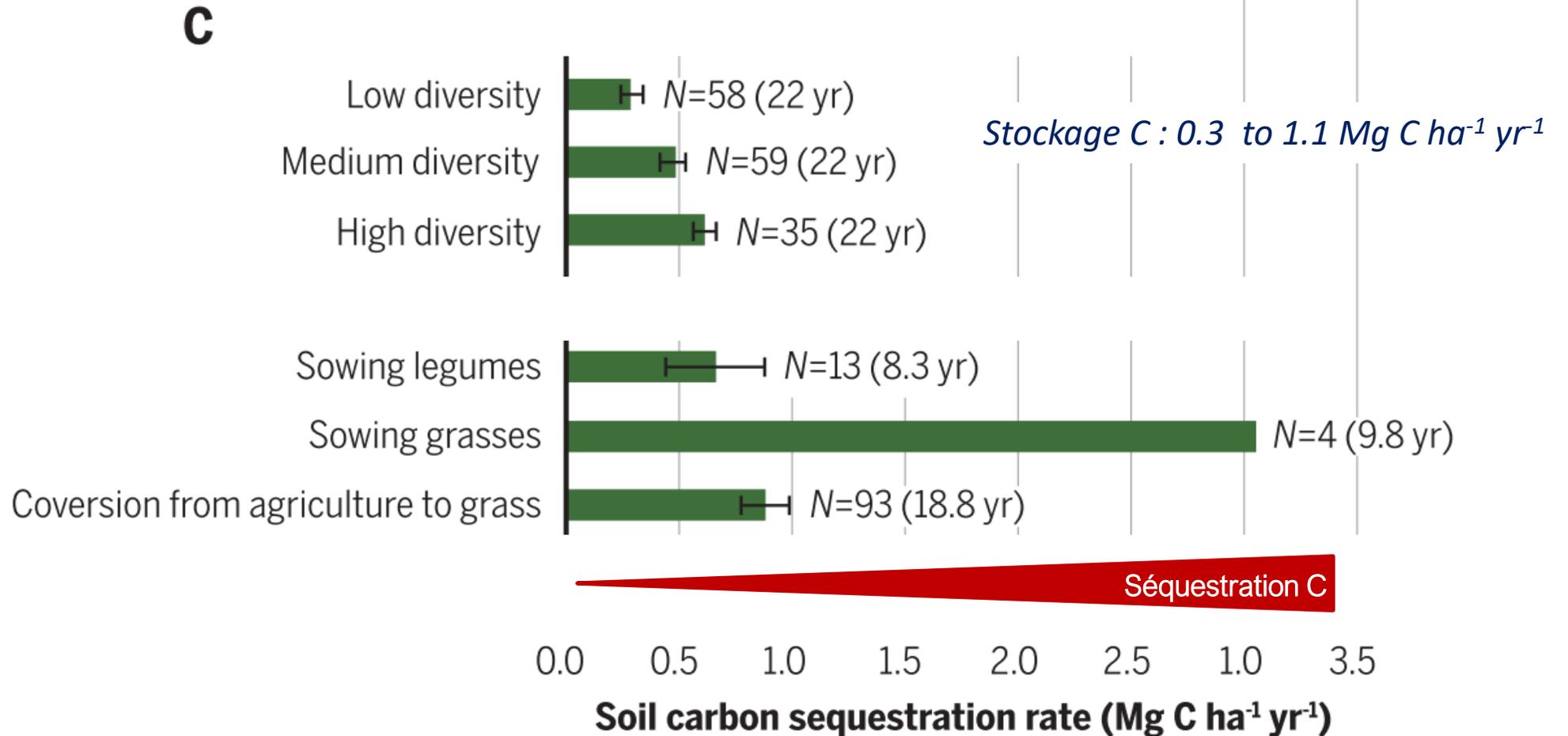
A global meta-analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands

Received: 12 October 2023
 Accepted: 15 April 2024
 Published online: 22 April 2024

Ting-Shuai Shi¹, Scott L. Collins², Kailiang Yu³, Josep Peñuelas^{4,5}, Jordi Sardans^{6,7}, Hailing Li⁸ & Jian-Sheng Ye^{9,10}

Effet positif de la gestion des prairies : Diversité des espèces

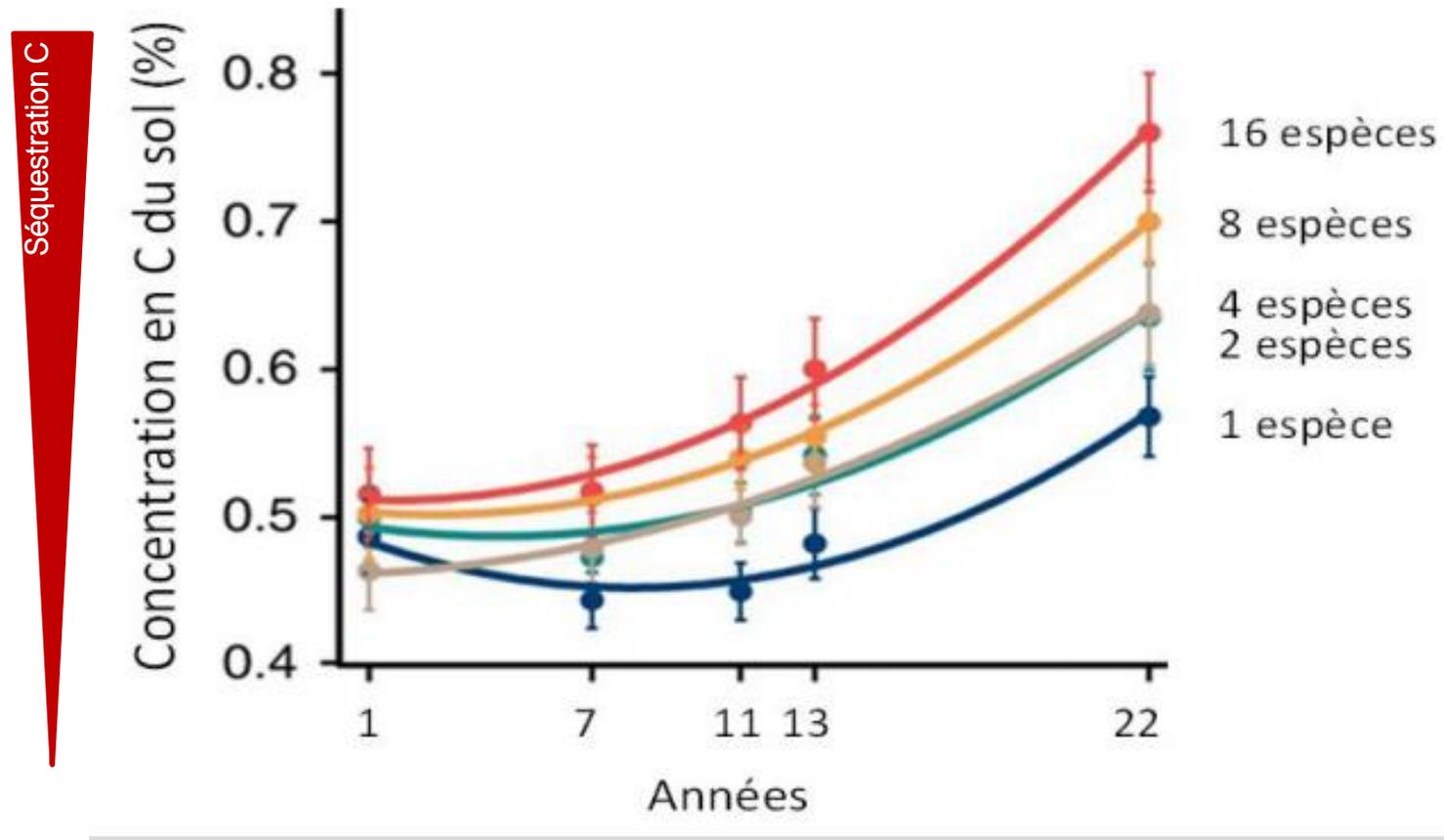
Bai & Cotrufo (2022)



Augmentation du puits de carbone avec la diversité des espèces dans les semences

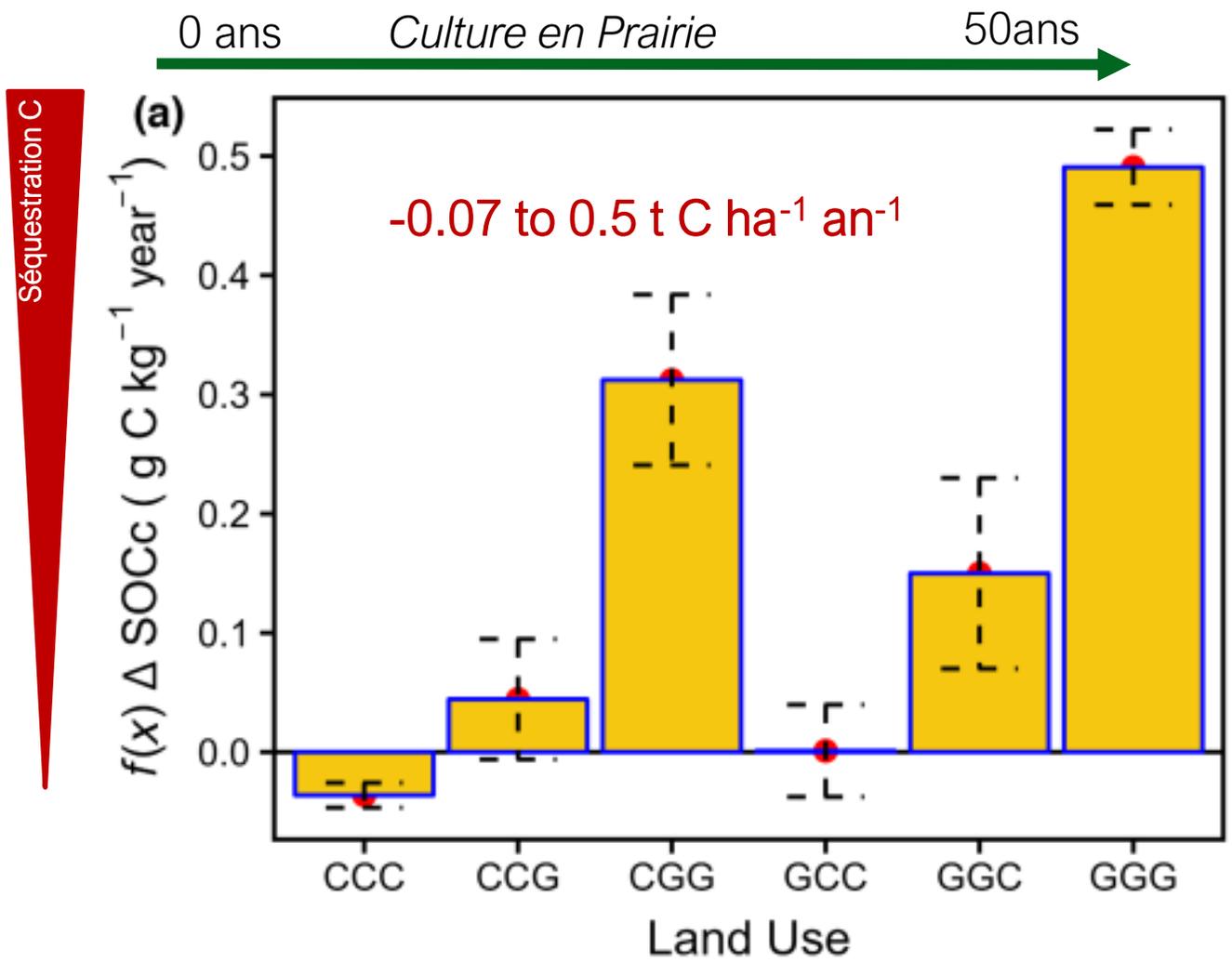
Effet positif de la gestion des prairies : Diversité des espèces

Yang Y., Tilman D., Furey G., Lehman C. (2019) NATURE COMMUNICATIONS |
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>



Augmentation du puits de carbone avec la diversité des espèces
dans les semences

Rotation de culture & prairie



Received: 20 March 2023 | Revised: 22 September 2023 | Accepted: 28 September 2023
 DOI: 10.1111/gcb.16992



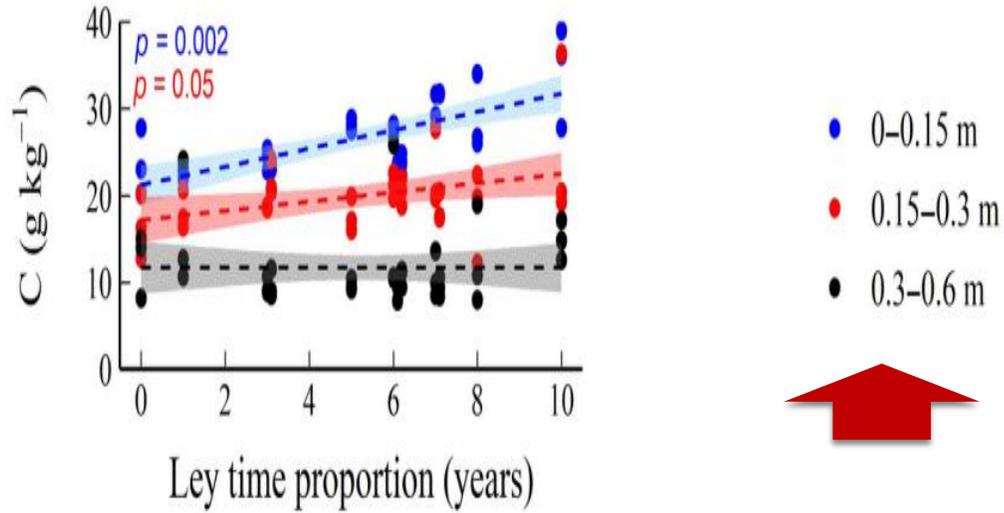
RESEARCH ARTICLE

Soil organic carbon stocks in European croplands and grasslands: How much have we lost in the past decade?

Daniele De Rosa¹ | Cristiano Ballabio¹ | Emanuele Lugato¹ | Matteo Fasiolo² | Arwyn Jones³ | Panos Panagos⁴



Rotation de culture & prairie



Les rotations cultures avec prairie **augmentent le puits de carbone**, même dans les couches profondes du sol

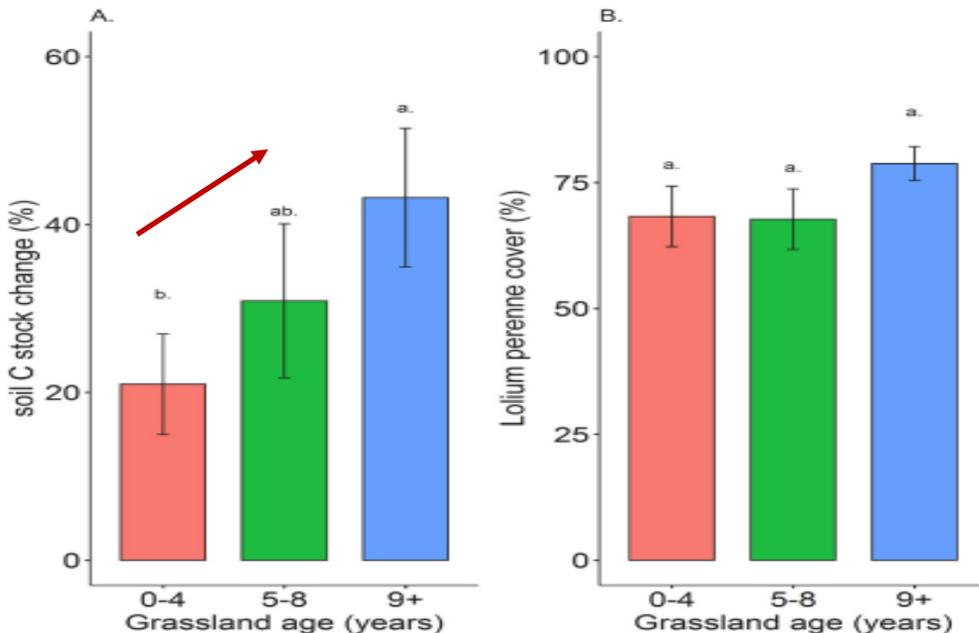
Zani et al 2020

SPECIAL ISSUE ARTICLE

Soil Science WILEY

Grazed temporary grass-clover leys in crop rotations can have a positive impact on soil quality under both conventional and organic agricultural systems

Caio F. Zani¹ | John Gowing¹ | Geoffrey D. Abbott¹ | James A. Taylor^{1,2} | Elisa Lopez-Capel¹ | Julia Cooper¹



Les rotations cultures avec prairie **augmentent le puits de carbone** indépendamment de la proportion de trèfle

Elias et al 2023

Journal of Environmental Management 334 (2023) 117465

Journal of Environmental Management
ELSEVIER
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvman

Research article

The potential to increase grassland soil C stocks by extending reseeding intervals is dependent on soil texture and depth

Dafydd M.O. Elias^{a,*}, Kelly E. Mason^a, Katherine Howell^{b,1}, Nadine Mitschunas^a, Lucy Hulmes^a, Sarah Hulmes^a, Inma Lebron^a, Richard F. Pywell^a, Niall P. McNamara^a

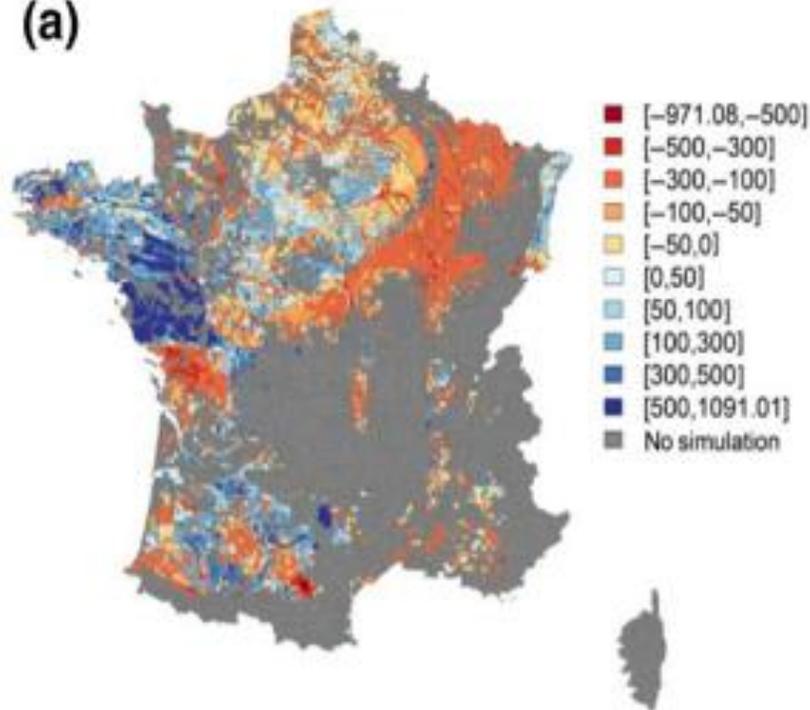
^a UK Centre for Ecology & Hydrology, Centre for Environmental Change, Library Avenue, Boreham, Essex, UK; ^b UK Centre for Ecology & Hydrology, Centre for Environmental Change, Mansel House, Mansel Street, Exeter, UK; ^c UK Centre for Ecology & Hydrology, Centre for Environmental Change, Mansel House, Mansel Street, Exeter, UK; ^d UK Centre for Ecology & Hydrology, Centre for Environmental Change, Mansel House, Mansel Street, Exeter, UK

Puits de carbone: Rotation de culture & prairie

INRA EsCo 2019 : 4p1000

Culture

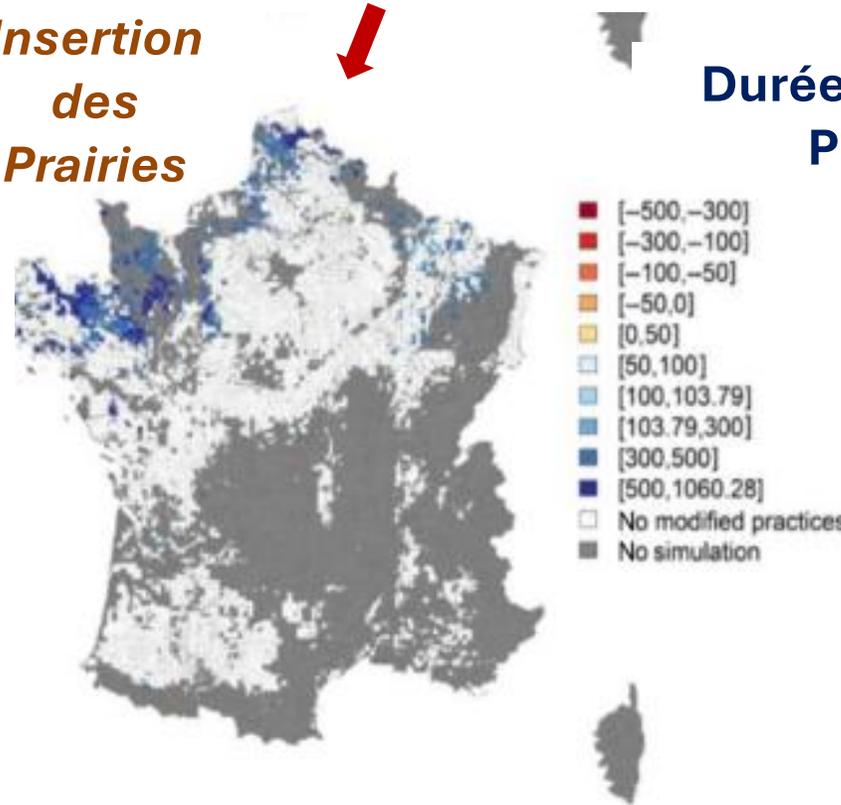
(a)



Cultures

-59 (±264) kg C ha⁻¹yr⁻¹

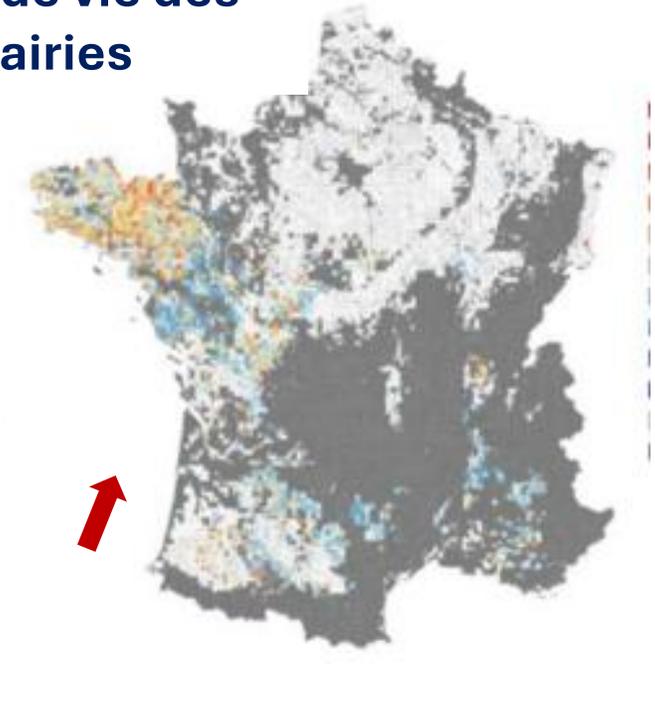
Insertion des Prairies



Insertion des Prairies

+466 (±299) kg C ha⁻¹yr⁻¹

Durée de vie des Prairies



Durée de vie

+ 28 (±279) kg C ha⁻¹yr⁻¹

Intensité de pâturage et d'exploitation



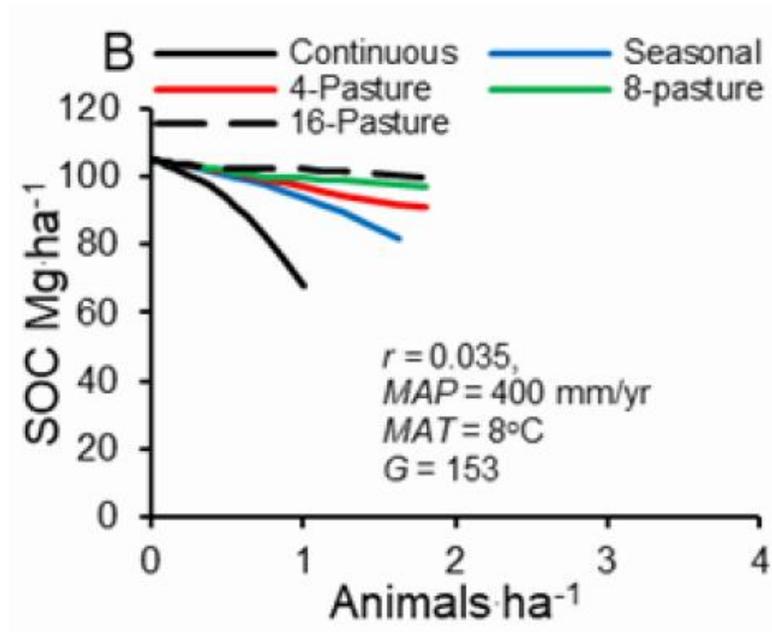
Charolais – AMP –19/05



Charolais – AMP –19/05

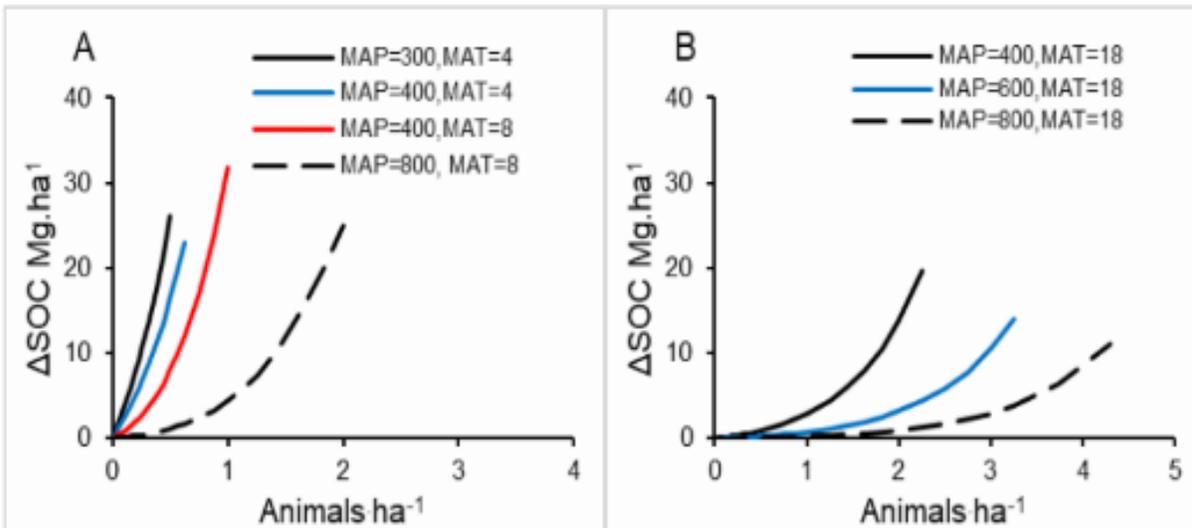
Effet positif de la gestion des prairies :

- l'intensité du pâturage et taux de charge des animaux.



- Le stockage du C dépend de mode de pâturage

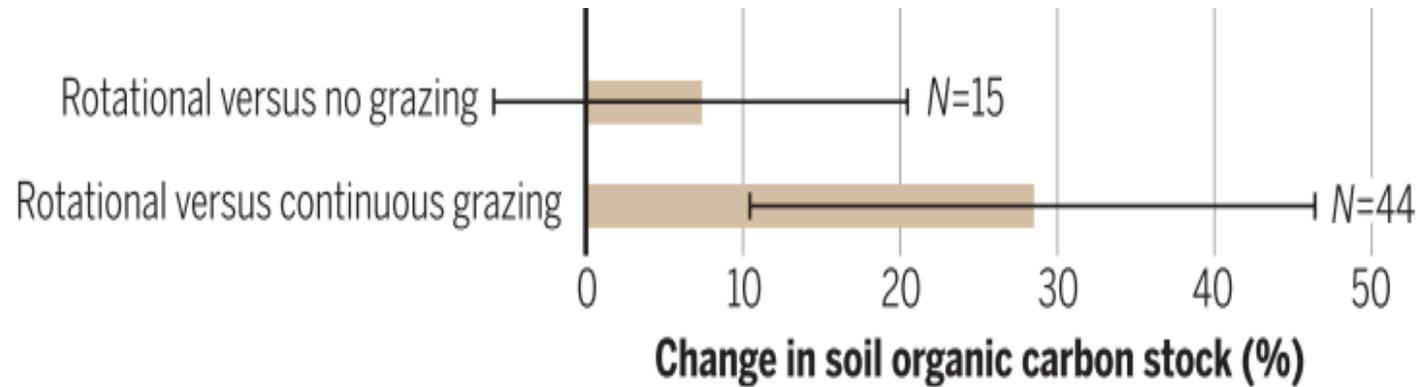
Ritchie et al. (2020), Resources 2020, 9, 49;
doi:10.3390/resources9040049



- Selon le climat, et le mode de pâturage, le taux de charge des animaux n'as pas le même effet

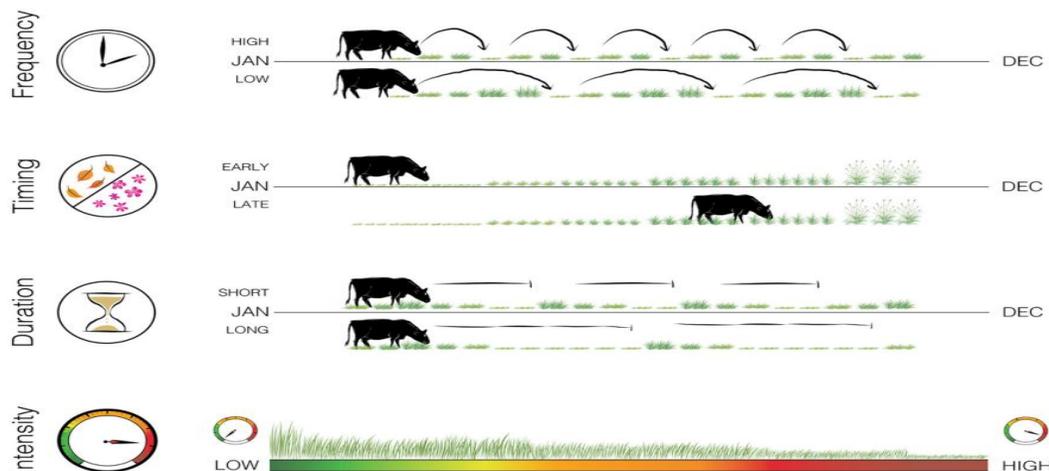
Effet positif de la gestion des prairies :

- Gestion de pâturage



Bai & Cotrufo (2022)

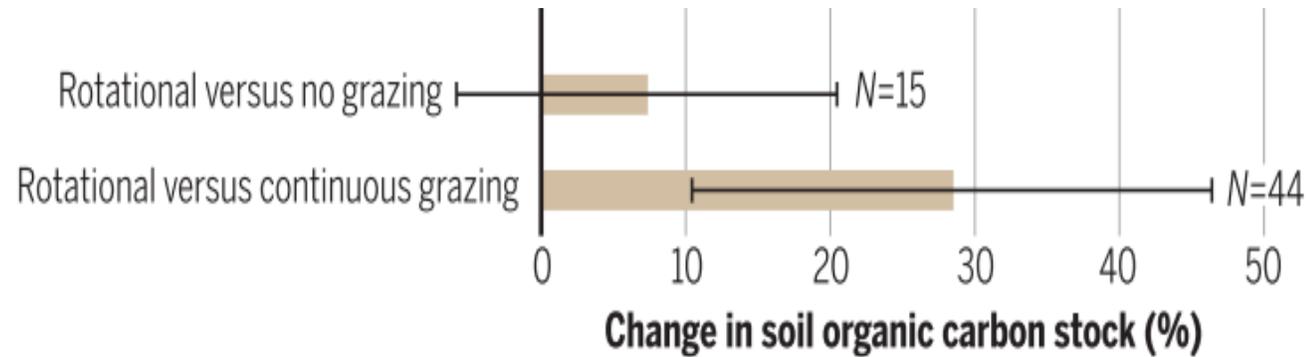
Séquestration C



- Biomasse et couvrement du sol (et sol) sont plus importants dans les systèmes de pâturage avec périodes de repos par rapport aux systèmes continus.

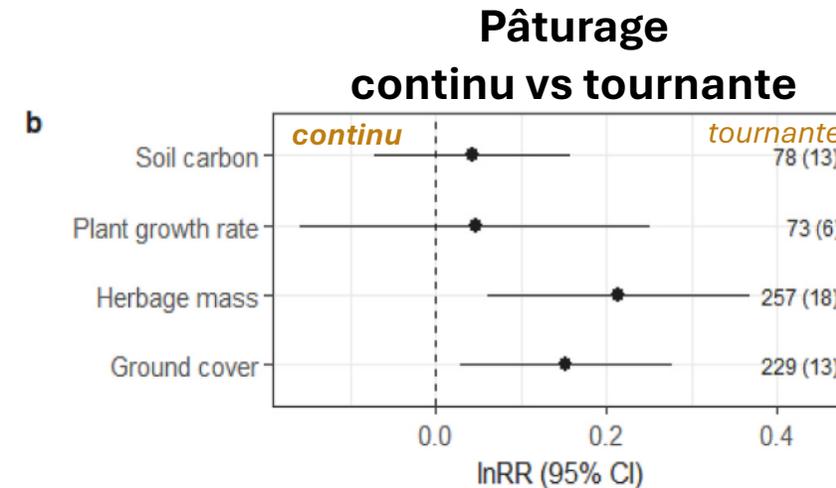
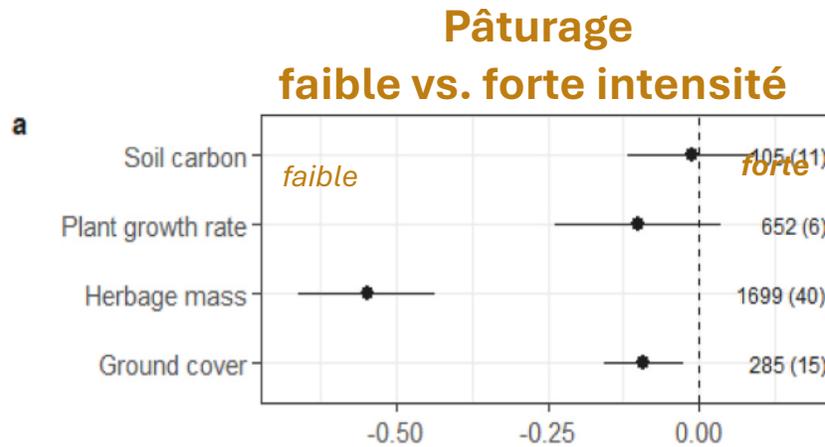
Effet positif de la gestion des prairies :

- Gestion de pâturage



Séquestration C

Bai & Cotrufo (2022)



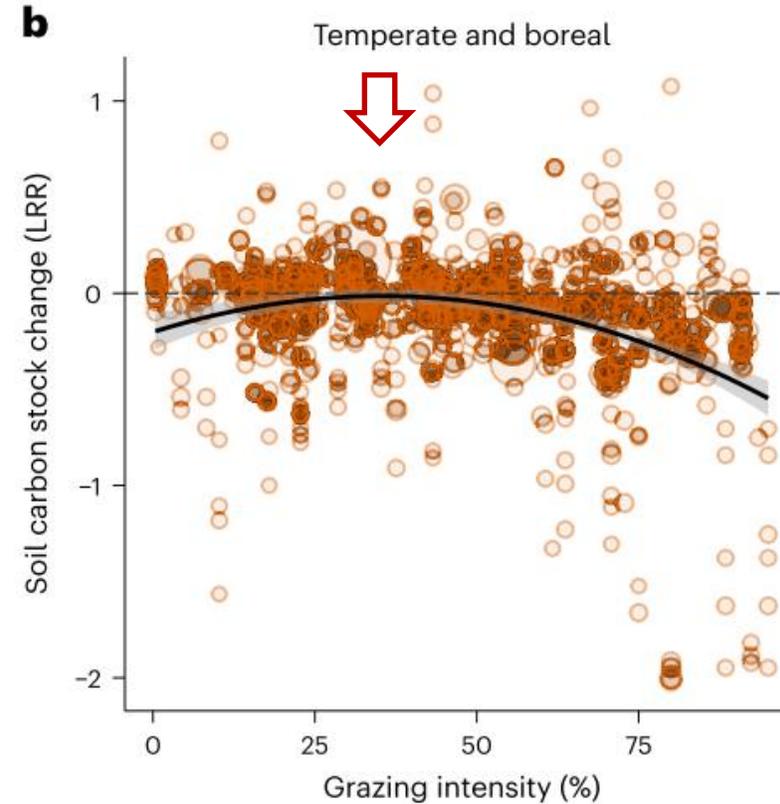
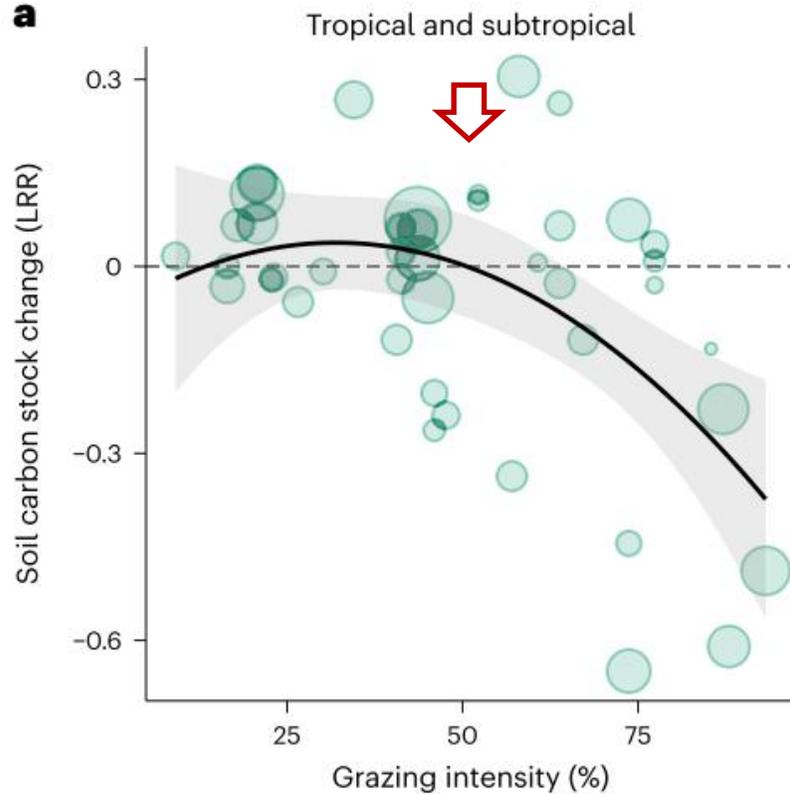
- Biomasse et couvrement du sol (et sol) sont plus importants dans les systèmes de pâturage avec périodes de repos par rapport aux systèmes continus.

Effet positif de la gestion des prairies :

- Gestion de pâturage

INRAE

Séquestration C



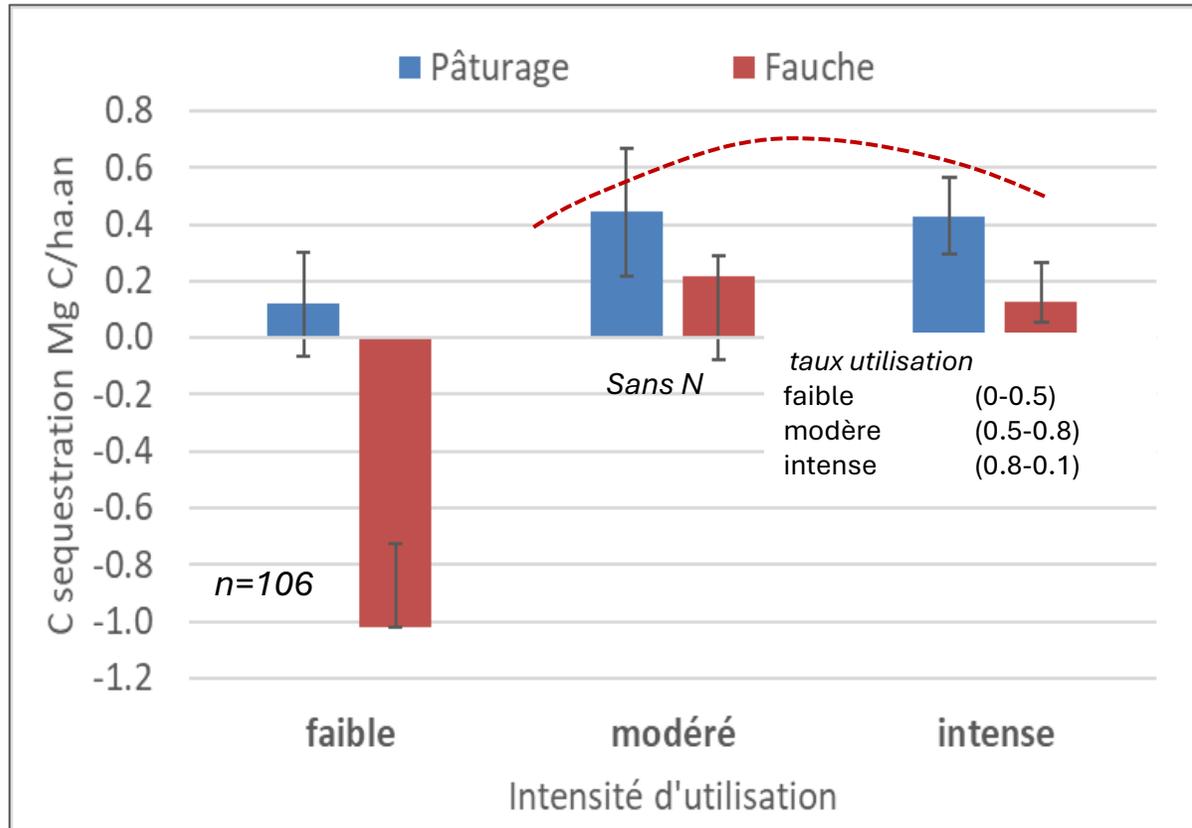
Article <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01957-9>
Historical impacts of grazing on carbon stocks and climate mitigation opportunities
Received: 9 April 2023 Shuai Ren^{1,2,3}, César Terrer^{1,2,3}, Juan Li¹, Yingfang Cao¹,
Accepted: 19 February 2024 Shanshan Yang¹ & Dan Liu^{1,2,3}

- Le puits de carbone augmente jusqu'à ce qu'un point ***** critique (seuil) soit atteint, après quoi on observe une diminution.

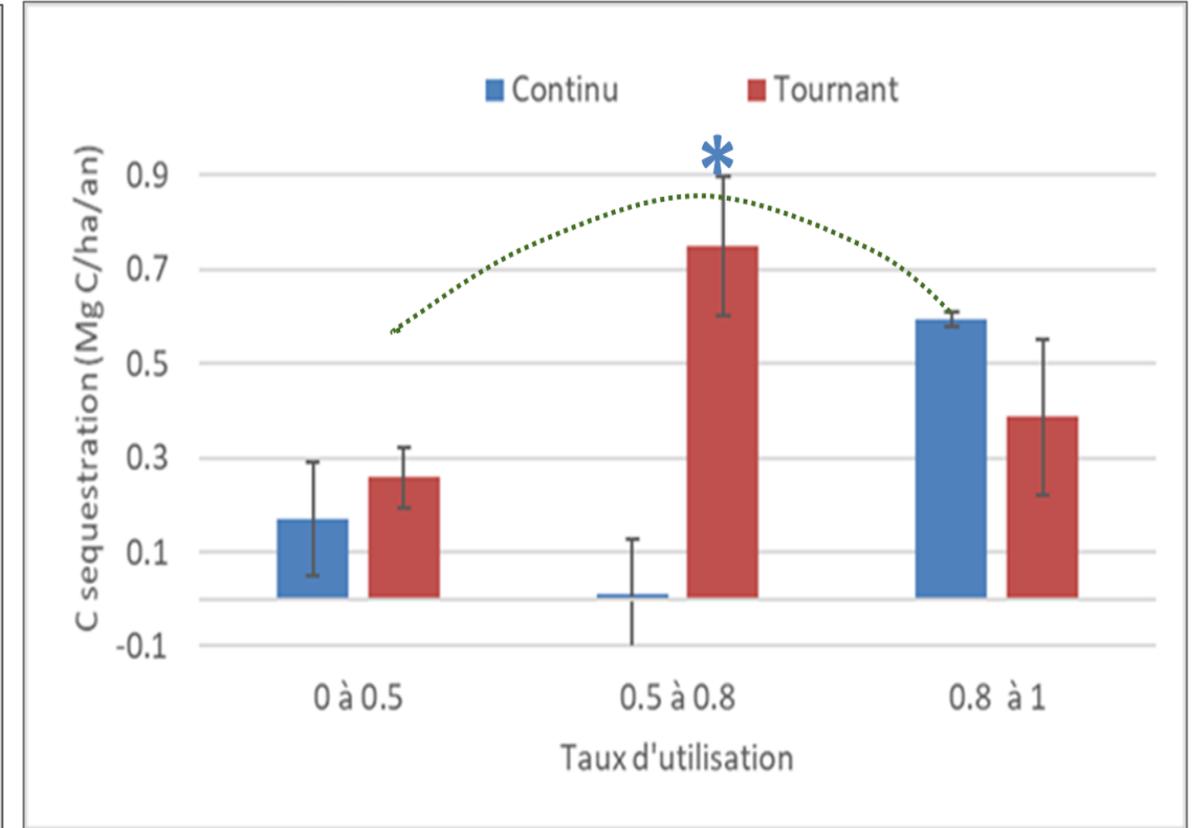
Effet positif de la gestion des prairies :

- intensité d'utilisation et taux de charge des animaux.

Utilisation et intensité



Pâturage continu vs tournante

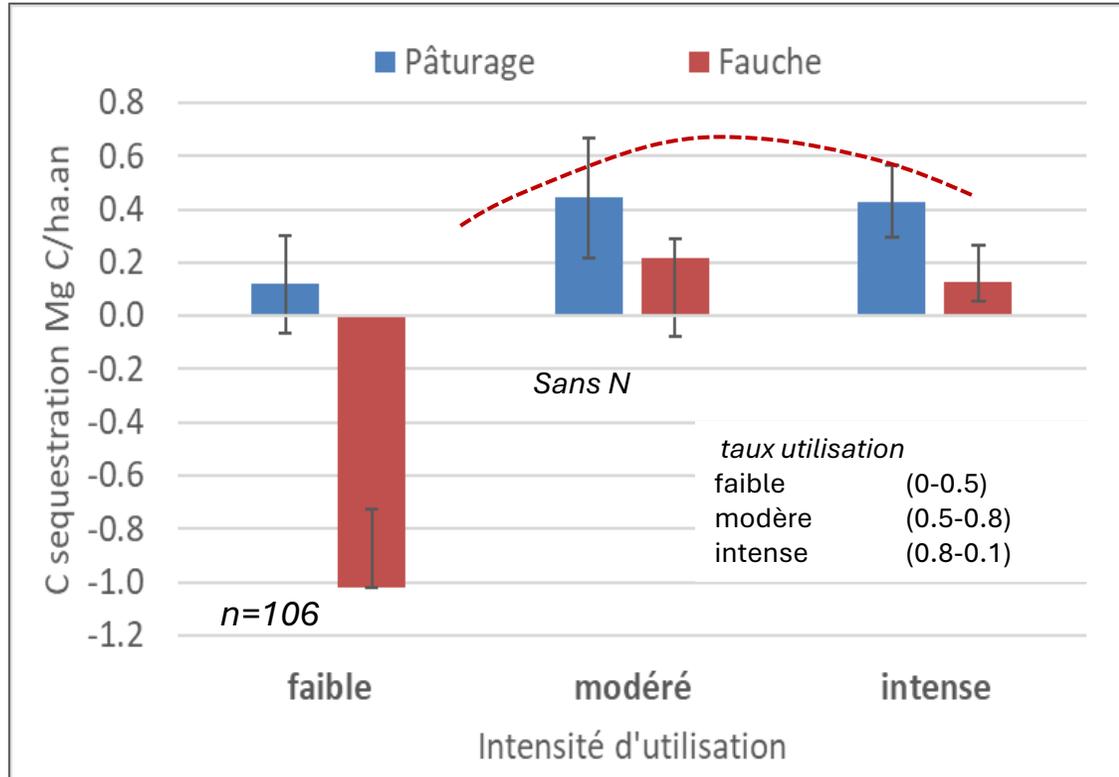


- La séquestration du carbone augmente jusqu'à un point critique * (seuil), après quoi une ligne de démarcation est observée.

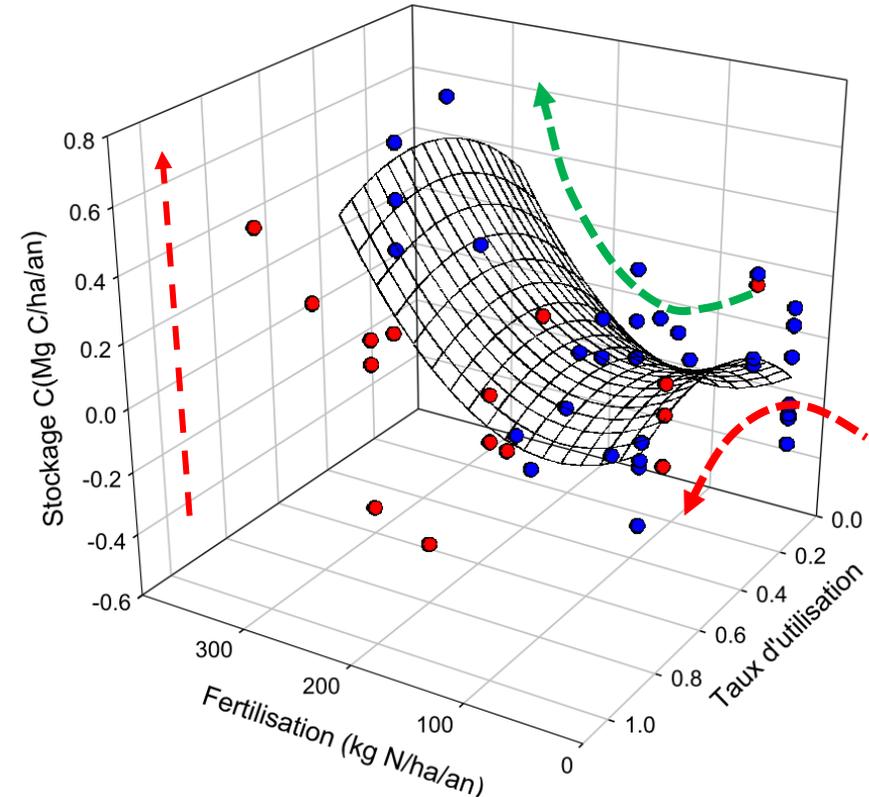
Effet positif de la gestion des prairies :

- intensité d'utilisation et taux de charge des animaux.

Utilisation et intensité



Utilisation et intensité



Augmentation du stockage C jusqu'à un seuil critique

Augmentation du stockage C
Taux d'utilisation
Fertilisation azotée

A retenir

- Les prairies se comportent comme des puits de carbone avec un grand potentiel d'augmentation.

En moyenne => 0.2 ± 0.5 tonne C/ha.an

- Il est important de **préserver les stocks de C du sol** existants et d'augmenter le stockage là où les stocks de C sont faibles ou dégradés.
 - Déterminer le **potentiel de stockage par un diagnostic local d'une ferme** (ex. analyses sol)
- Une exploitation « **modérée** » (fauche ou pâturage et fertilisation) accroît le stockage du carbone, suite à la stimulation de la production végétale et à un prélèvement moindre.
- En gestion « **intensive** », les exportations importantes de C (biomasse) réduisent les apports organiques dans le sol (stockage du C).

	Low N input			High N input		
	threshold	limits	Ratio use/prod	threshold	limits	Ratio use/prod
Grazing (LSU/ha.yr)	0.5	>1	0.6	>1.8	3 to 4	0.8
Mowing (t DM/ha.yr)	3 to 6	4	0.5	7	>12	0.8



Merci de votre attention !

Questions ?



Katja Klumpp

Grassland Ecosystem Research Unit

Institut National de Recherche pour
l'Agriculture, l'Alimentation et
l'Environnement (France)

katja.klumpp@inrae.fr



24^e congrès des
Conservatoires d'espaces naturels
NANCY du 4 au 7 décembre 2024



Temps d'échange

- Création d'un Groupe thématique
« atténuation du changement climatique et gaz à effet de serre »





Temps d'échange

- Questions ? Remarques ? Attentes ?
Exprimez-vous !

