



**HAL**  
open science

## Impact de pratiques de gestion sylvicole sur l'évolution des stocks de carbone dans les sols forestiers

Delphine Derrien, Laurent Saint-andré, Laurent Augusto, Lauric Cecillon,  
Noémie Pousse, Fabrice Bureau

► **To cite this version:**

Delphine Derrien, Laurent Saint-andré, Laurent Augusto, Lauric Cecillon, Noémie Pousse, et al..  
Impact de pratiques de gestion sylvicole sur l'évolution des stocks de carbone dans les sols forestiers.  
Cycle " Carbone et forêt méditerranéenne " de L'association de la forêt et des espaces naturels forestiers  
méditerranéens (www.foret-mediterraneenne.org), Oct 2019, Montpellier, France. hal-03194601

**HAL Id: hal-03194601**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03194601>**

Submitted on 9 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Impact de pratiques de gestion sylvicole sur l'évolution des stocks de carbone dans les sols forestiers

De l'étude des mécanismes aux outils opérationnels

Delphine Derrien et Laurent Saint-André (INRA-BEF)

Laurent Augusto (INRA-ISPA)

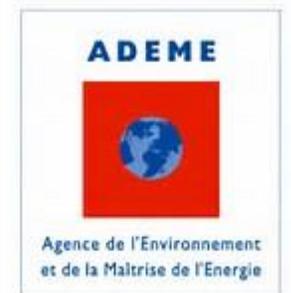
Lauric Cécillon (Irstea-EMGR)

Noémie Pousse (ONF)

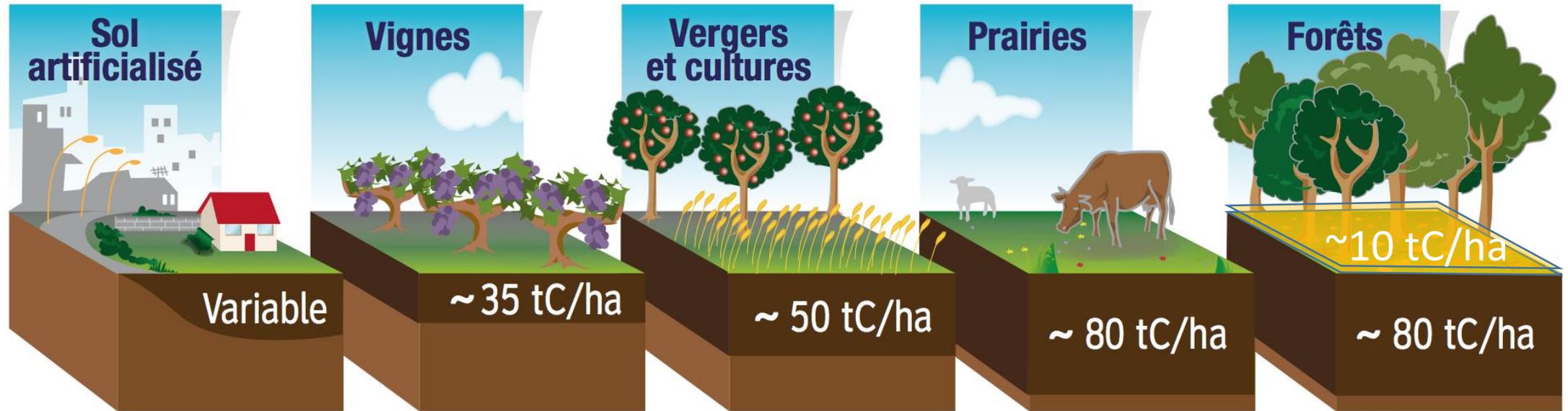
Fabrice Bureau (Université de Rouen)



*Comment optimiser la contribution des forêts et de la filière bois à l'atténuation du changement climatique ?  
Enseignements des projets, intégration des résultats dans des outils opérationnels et identification des besoins de recherche fut  
11 et 12 décembre 2017 au Fiap Paris (30 rue Cabanis 75014)*



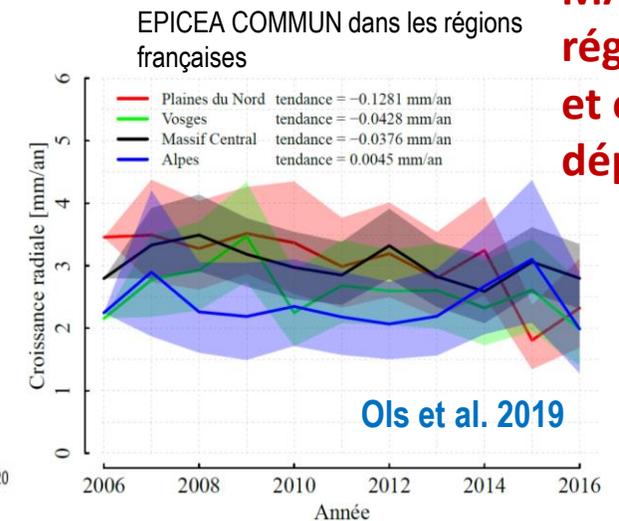
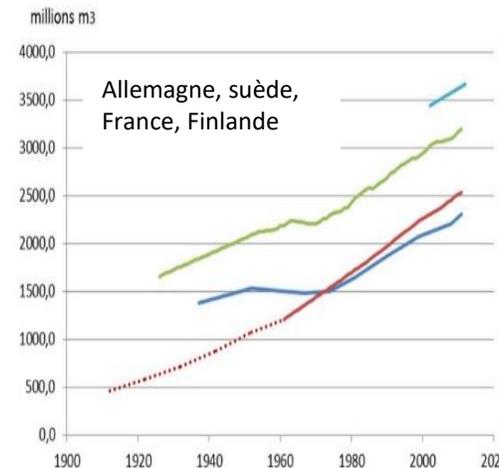
# CONTEXTE : Des stocks en forêt **en principe** élevés mais un contexte sans précédent (changements globaux)



Stocks sur 0-30 cm, d'après *Martin et al, 2011*. Repris par *l'ADEME 2014*

## ■ Actuellement les forêts sont dans une situation unique et sans précédent historique

- La surface forestière a doublé depuis le 19<sup>ème</sup> siècle (nouvelles forêts)
- Le stock sur pied a aussi doublé... sur les 50 dernières années (modification du fonctionnement)
- Demande accrue (bois énergie, bio-produits)



**MAIS Effets régionalisés et essence dépendants**

Ols et al. 2019

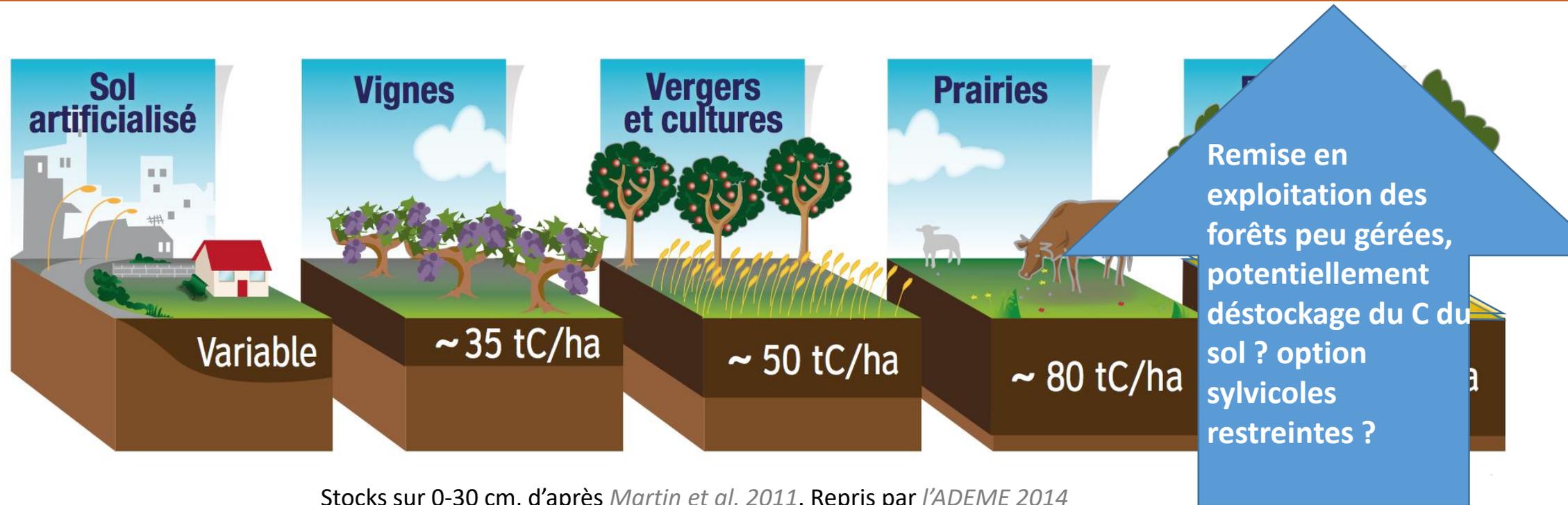
CONTEXTE : Des stocks en forêt **en principe élevés** mais un contexte sans précédent (changements globaux)



Stocks sur 0-30 cm, d'après *Martin et al, 2011*. Repris par l'ADEME 2014

Quelles options/opportunités  
pour la gestion forestière?

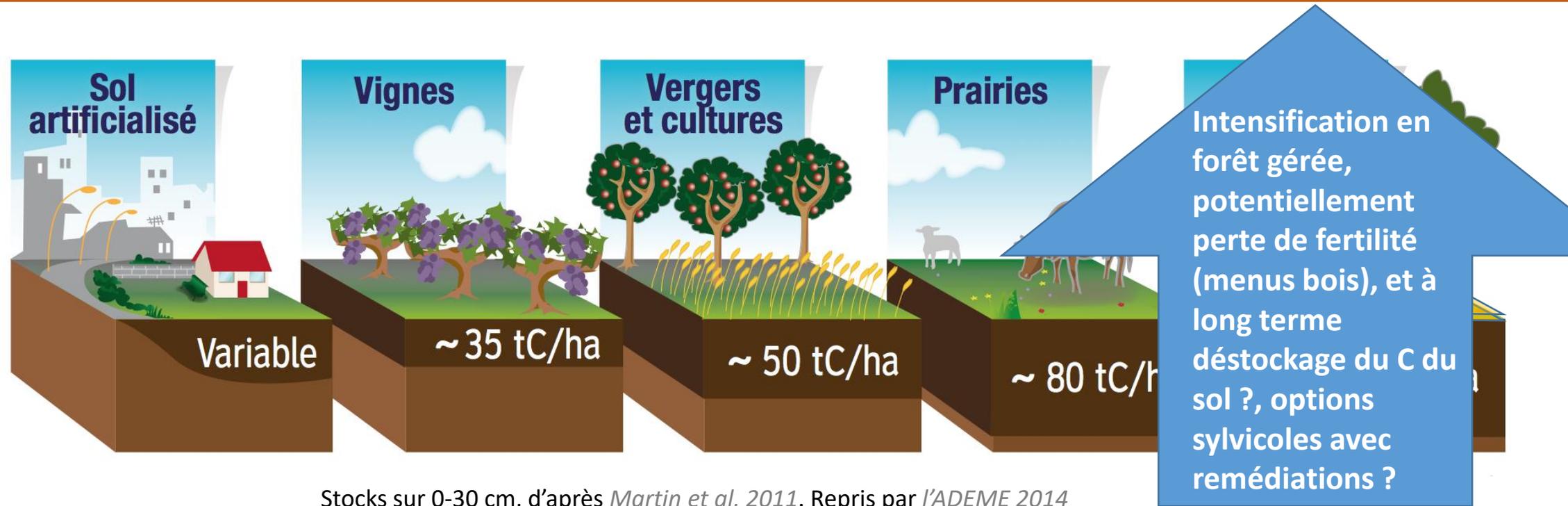
CONTEXTE : Des stocks en forêt **en principe élevés** mais un contexte sans précédent (changements globaux)



Stocks sur 0-30 cm, d'après *Martin et al, 2011*. Repris par l'ADEME 2014

Quelles options/opportunités pour la gestion forestière?

CONTEXTE : Des stocks en forêt **en principe élevés** mais un contexte sans précédent (changements globaux)

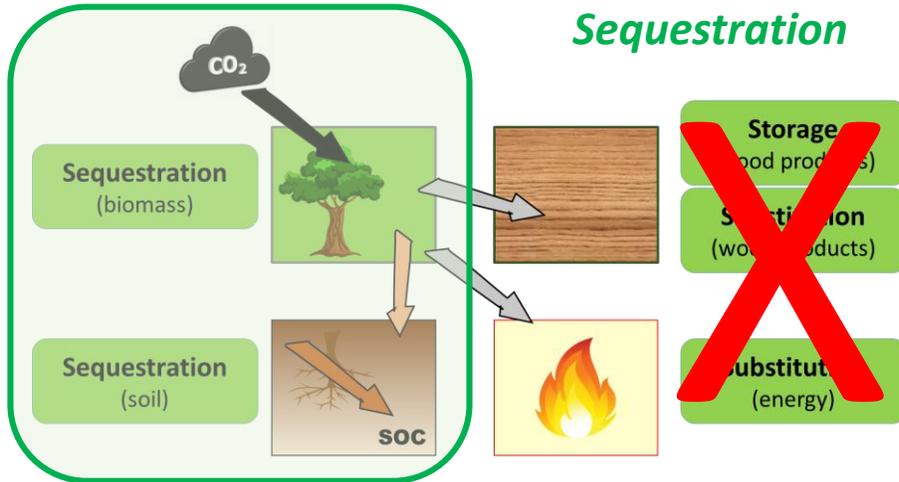


Stocks sur 0-30 cm, d'après *Martin et al, 2011*. Repris par l'ADEME 2014

Quelles options/opportunités  
pour la gestion forestière?

# MATIERE ORGANIQUE DU SOL : le dilemme des 3-5 S !!

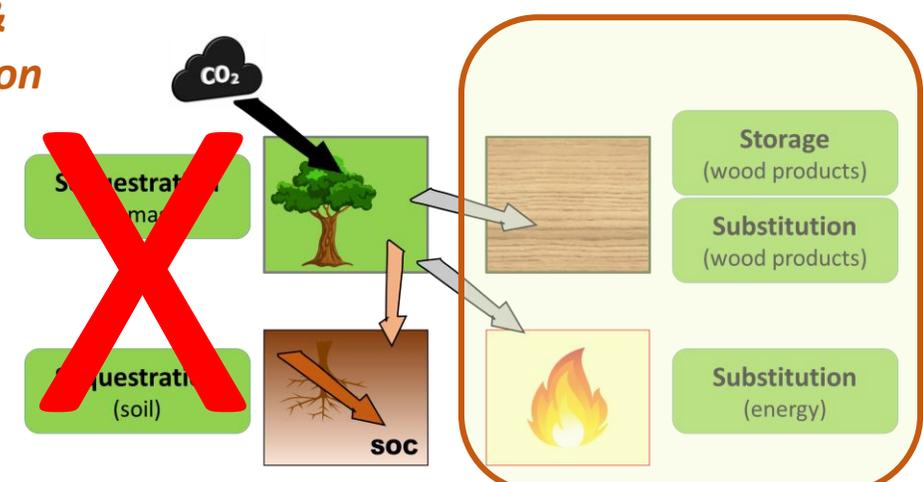
[adapté de Taerwe et al. (2017) - J. Env. Manage.]



*Système extensif,  
Capitalisation du C dans l'écosystème*



**Et toutes les options intermédiaires**



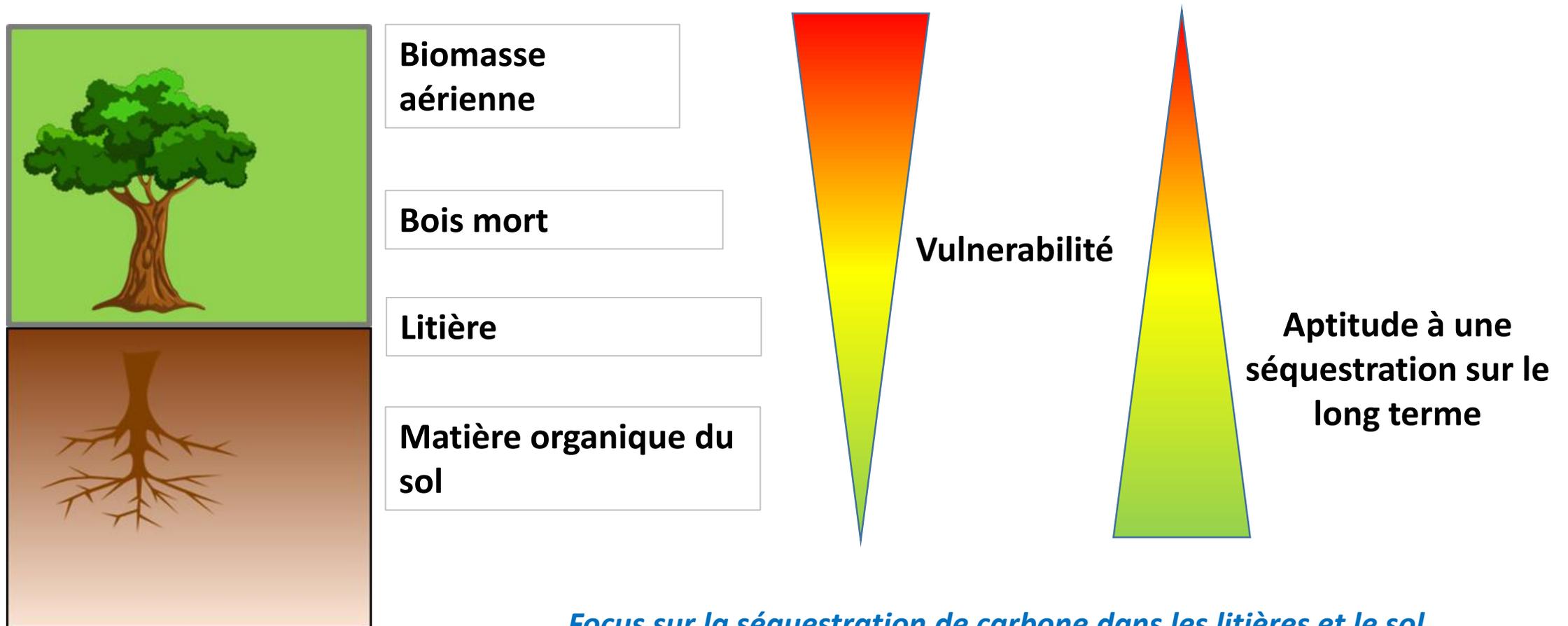
*Système intensif,  
Capitalisation du C dans les produits et la substitution*



## MATIERE ORGANIQUE DU SOL : Aérien versus souterrain

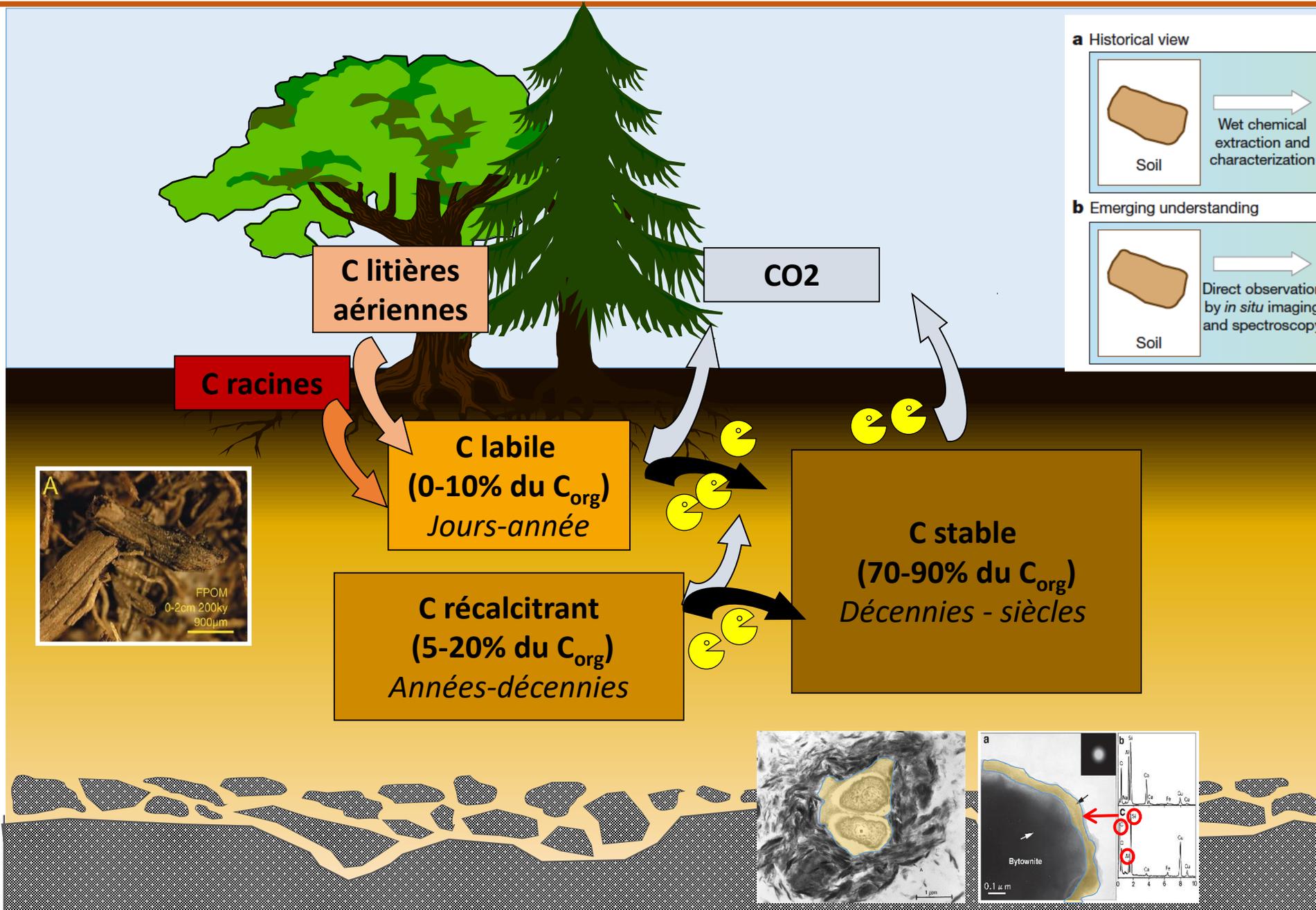
**Les pools de carbone ne sont pas vulnérables de façon équivalente aux changements climatiques ou aux perturbations (feux, tempêtes, épidémies, ..)**

[Boerner et al. (2008) - For. Ecol. Manage.; D'Amato et al. (2011) - For. Ecol. Manage.; Jandl et al. (2007) - Geoderma; Johnson & Curtis (2011) - For. Ecol. Manage.; Thürig et al. (2005) - For. Ecol. Manage.; Reichstein et al. (2013) - Nature ; Wiesmeier et al. (2013) - For. Ecol. Manage.]

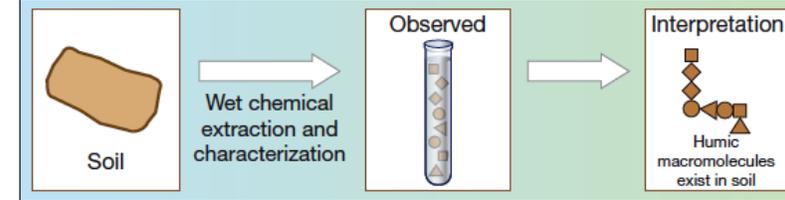


*Focus sur la séquestration de carbone dans les litières et le sol*

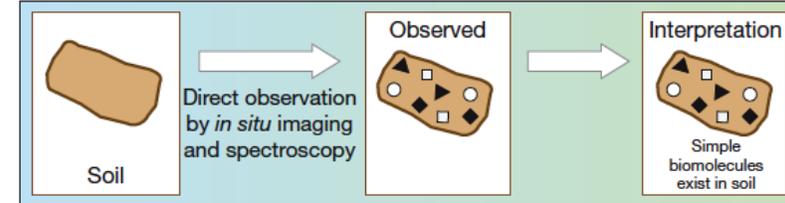
# MATIERE ORGANIQUE DU SOL : des formes et des temps de résidence variées, concepts en évolution



a Historical view

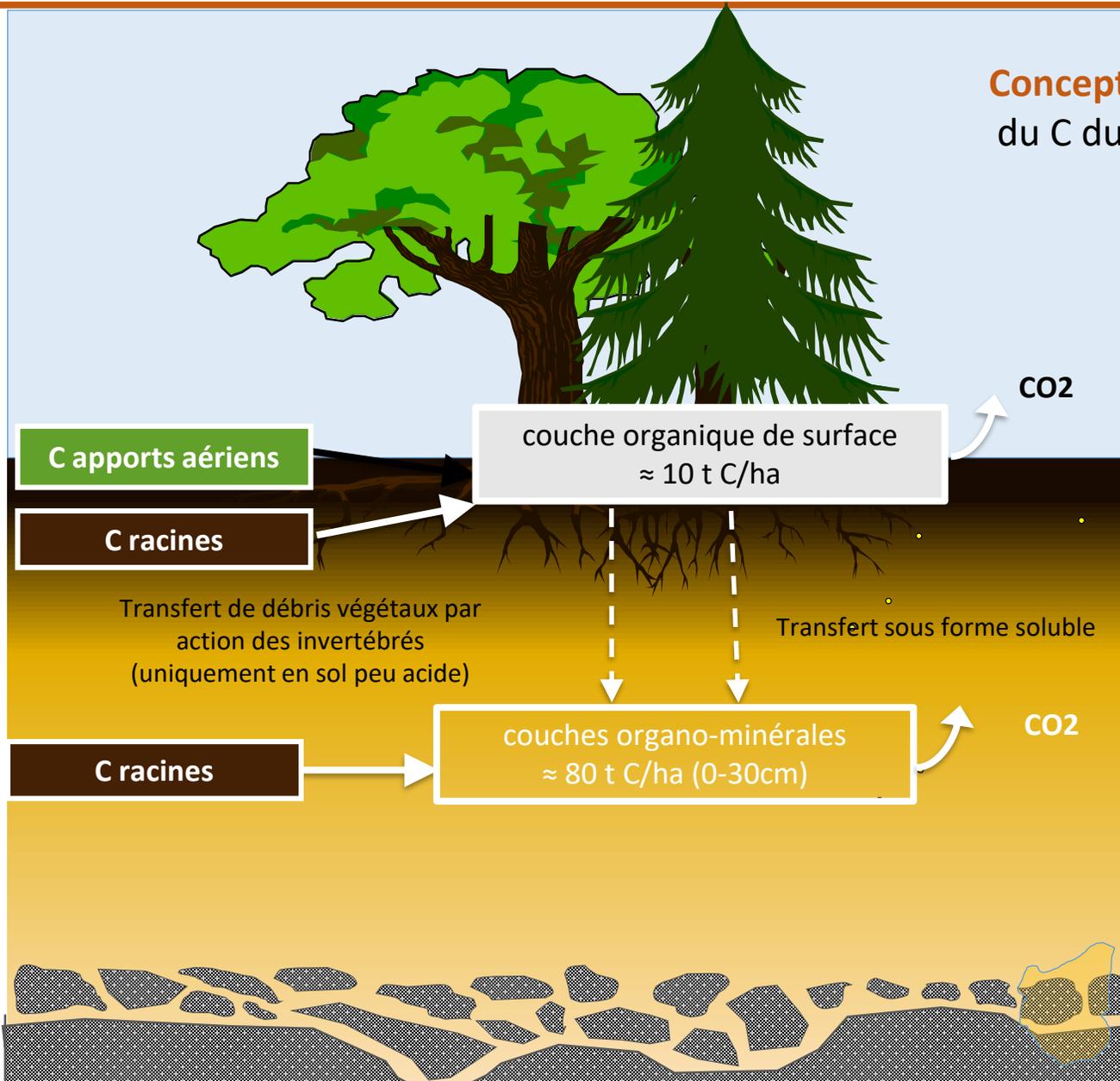


b Emerging understanding



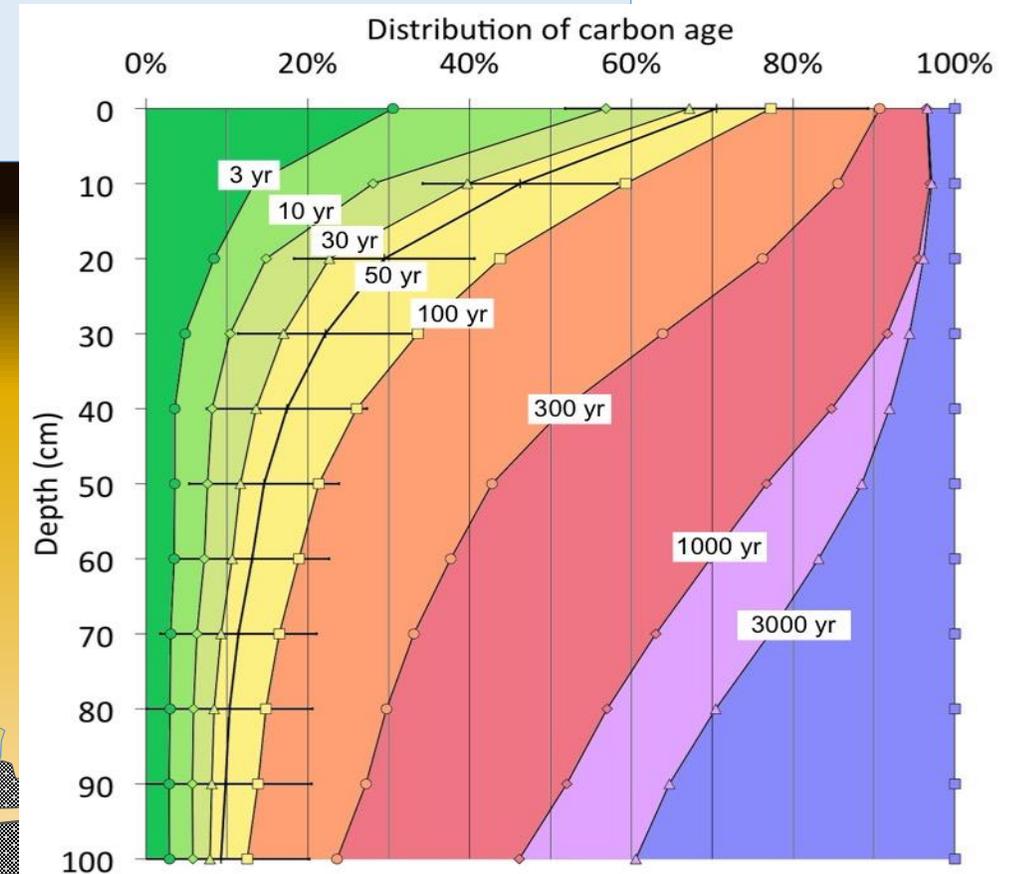
**Concepts en évolution** : de la condensation des résidus organiques (substances humiques) à celui de dépolymérisation progressive de composés organiques

# MATIERE ORGANIQUE DU SOL : des formes et des temps de résidence variées, concepts en évolution



**Concepts en évolution** : les formes du C du sol coexistent à toutes les profondeurs

[Balesdent et al. (2019) –Nature.]



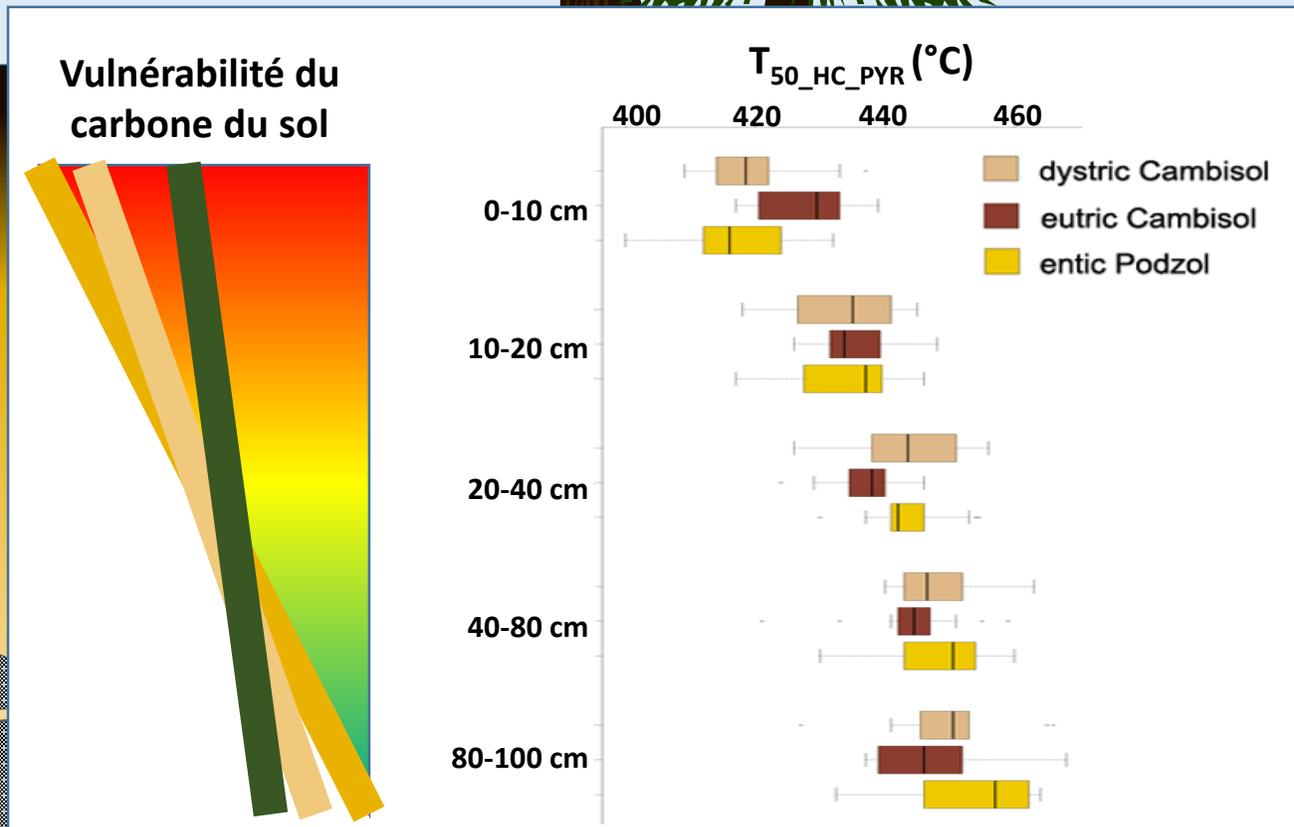
# MATIERE ORGANIQUE DU SOL : des formes et des temps de résidence variées, concepts en évolution



**Concepts en évolution** : Le type de sol module l'effet de la profondeur sur la vulnérabilité/stabilité du carbone organique du sol

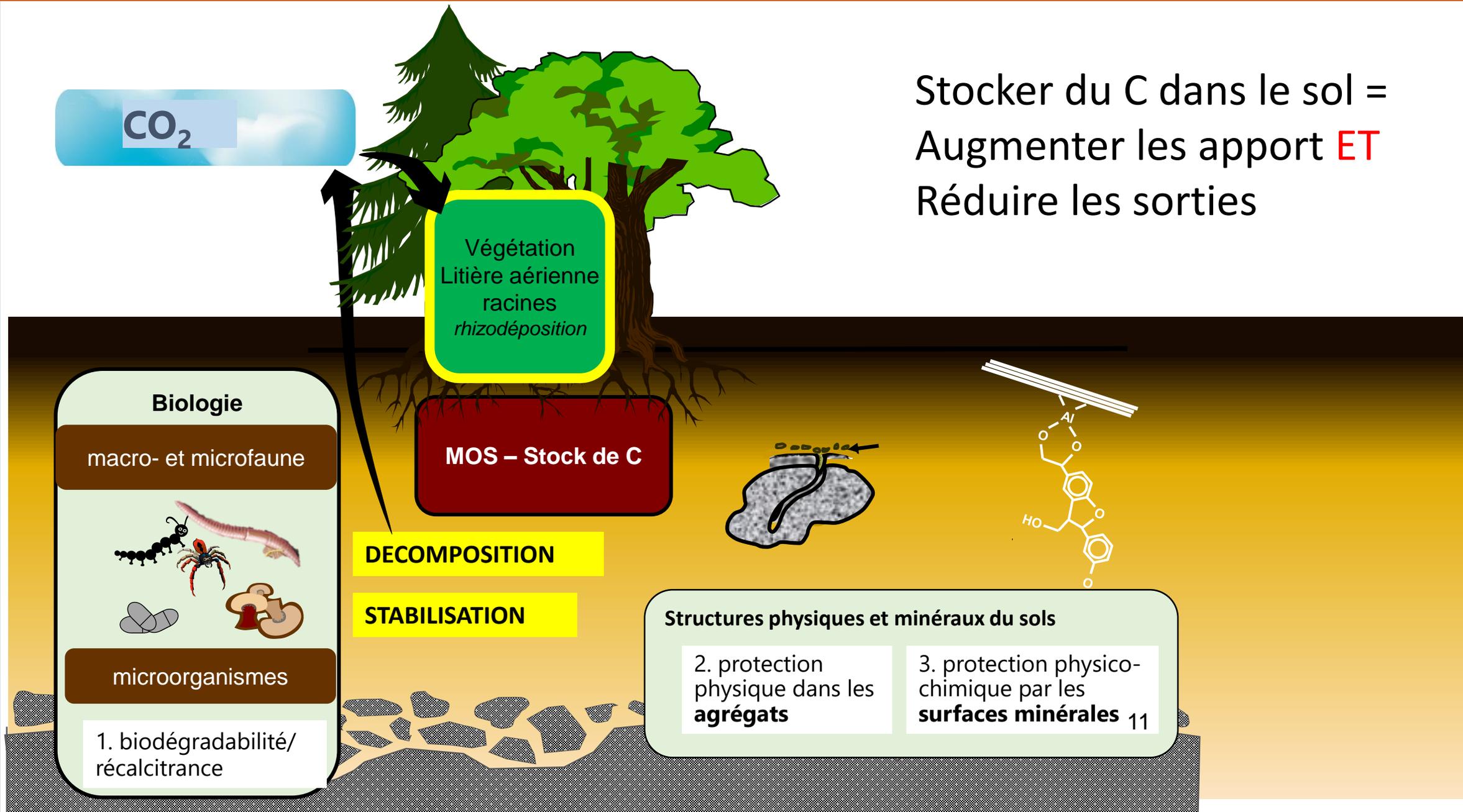
[Soucémariadin et al., 2019.]

Projet PICASO

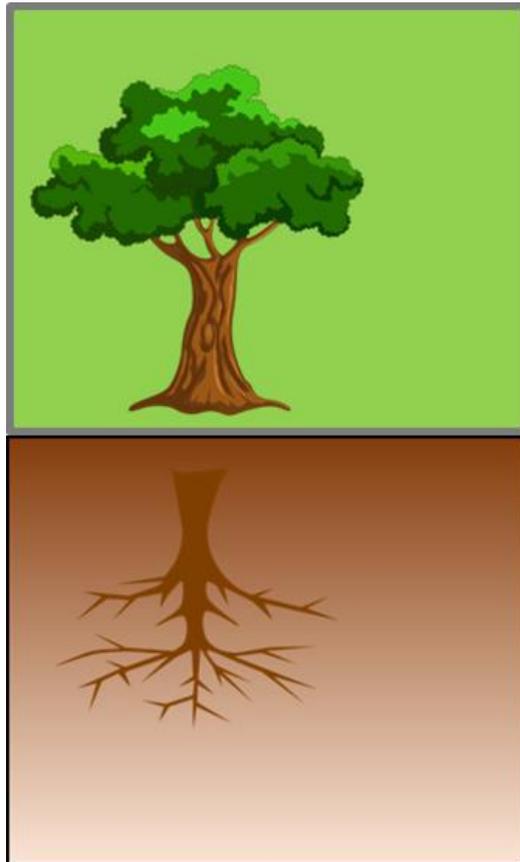


→ Résultats sur 53 sites du réseau RENECOFOR





Stocker du C dans le sol =  
Augmenter les apport **ET**  
Réduire les sorties



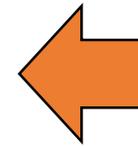
Biomasse  
aérienne

Bois mort

Litière

Matière organique du  
sol

**Effets?**

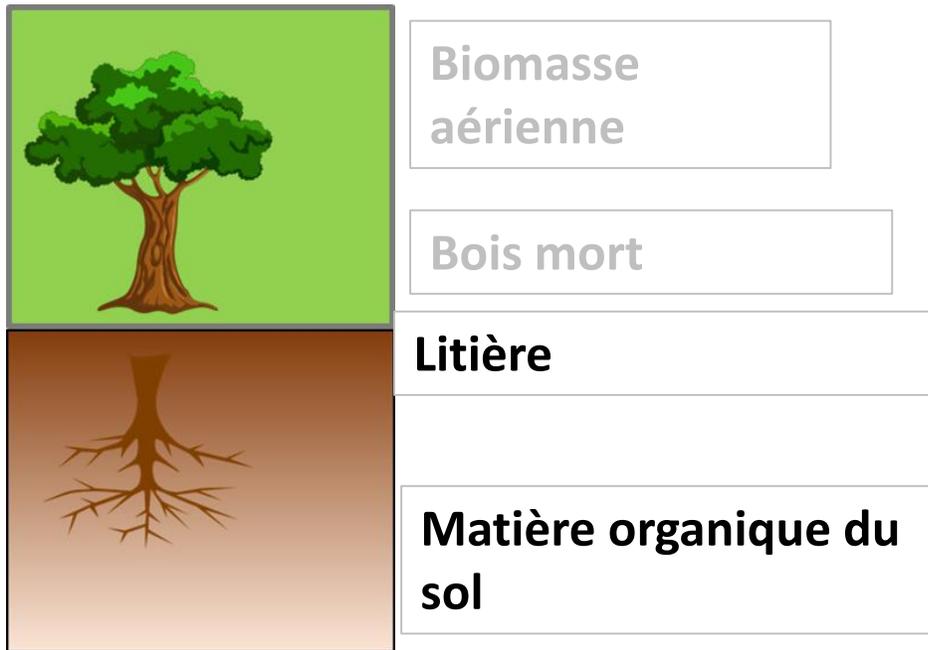


**Les actions du forestier:**

- Eclaircies
- Coupes rases
- Intensité des prélèvements
- Durée de la rotation
- Changement d'essence
- Préparation du sol

## Eclaircies : littérature abondante, résultats consistants

[Achat et al. (2015) - Sci. Reports; Bravo-Oviedo et al. (2015) - For. Ecol. Manage.; Cheng et al. (2013) - Sci. World J.; Hoover (2011) - Carbon Balance Manage.; Jandl et al. (2007) - Geoderma; Jurgensen et al. (2012) - SSSAJ; Kim et al. (2016) - iForests; Noormets et al. (2015) - For. Ecol. Manage.; Novak & Slodicak (2004) - J. For. Sci.; Powers et al. (2011) - For. Ecol. Manage.; Powers et al. (2012) - Ecol. Appl.; Ruiz et al. (2016) - Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change; Scott et al. (2004) - Environ. Manage.; Skovsgaard et al. (2006) - Scand. J. For. Res.; Vesterdal et al. (1995) - For. Ecol. Manage.; Zhou et al. (2008) - Biogeosciences]



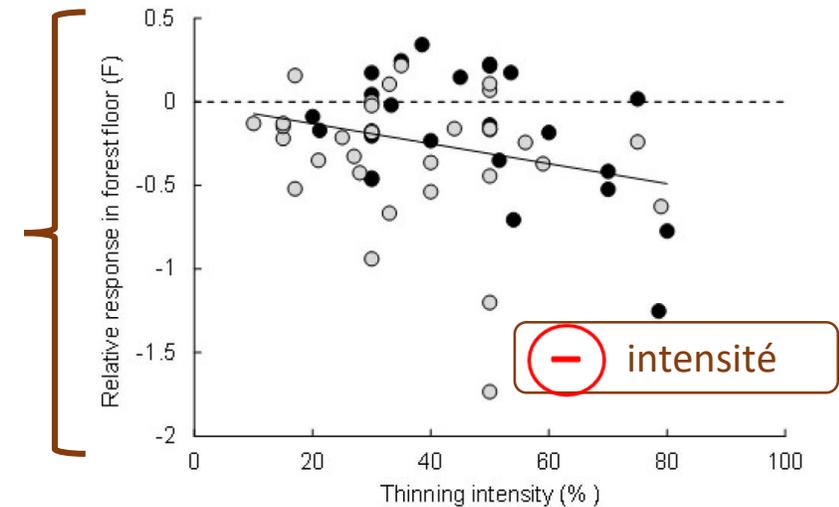
↘↘ à ↘

Croissance des arbres restants → à ↗↗

↘↘ à →

→ ou ↘

Pas d'effet significatif



[Achat et al. (2015) - Sci. Reports]

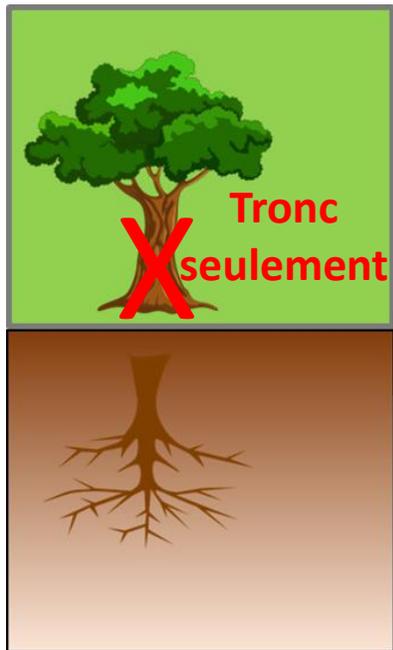
**Apports:** Chutes de litières ↘  
Mais résidus d'exploitation ↗

**Sorties:** Minéralisation ↗ ?

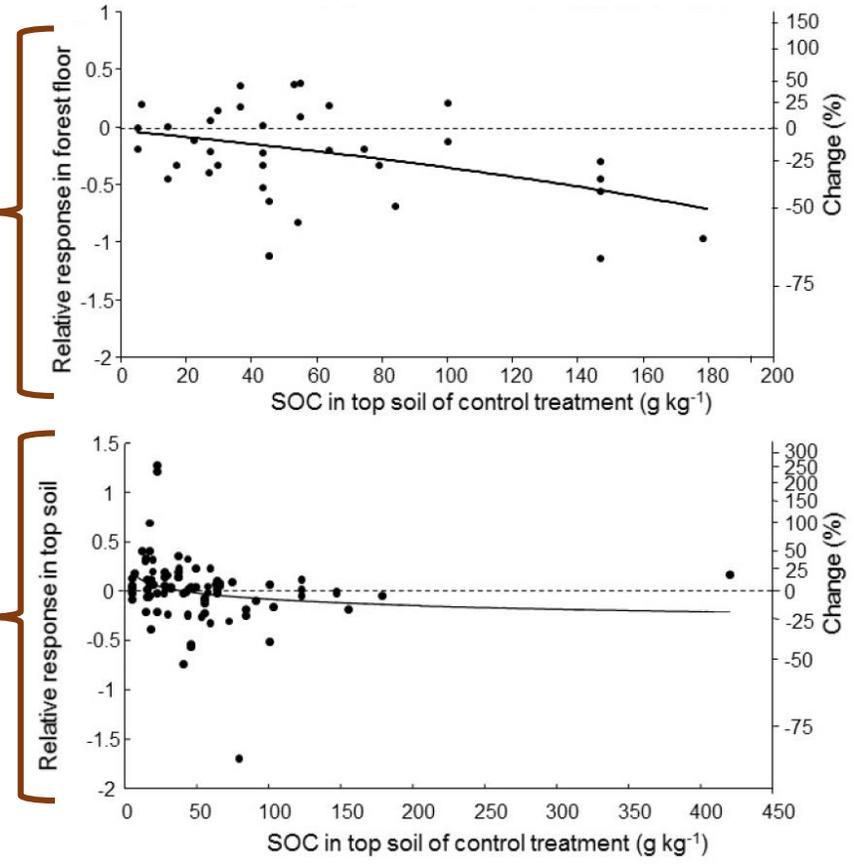
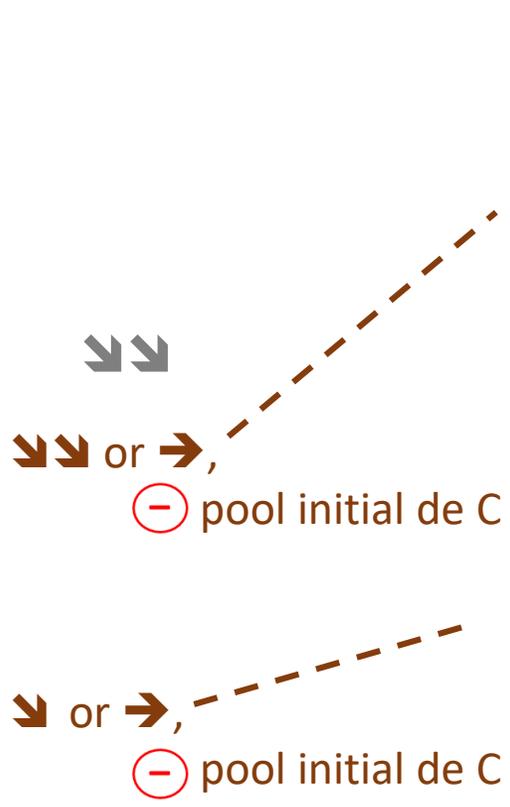
Effet limité dans le temps (fermeture du couvert, présence de sous-bois)

# Coupes rases : beaucoup de littérature, résultats globalement consistants

[Achat et al. (2015) - Sci. Reports; Berg et al. (2009) - Can. J. For. Res.; Busse et al. (2009) - Soil Biol. Biochem. ; Hoover (2011) - Carbon Balance Manage.; Jandl et al. (2007) - Geoderma; Johnson (1992) - WASP; Johnson & Curtis (2011) - For. Ecol. Manage.; Nave et al. (2010) - For. Ecol. Manage.; Noormets et al. (2015) - For. Ecol. Manage.]



- Biomasse aérienne
- Bois mort
- Litière
- Matière organique du sol



[Achat et al. (2015) - Sci. Reports]

**Apports:** résidus d'exploitation SEULEMENT

**Sorties:** Minéralisation ↗ (d'autant plus que le stock de C initial est important)

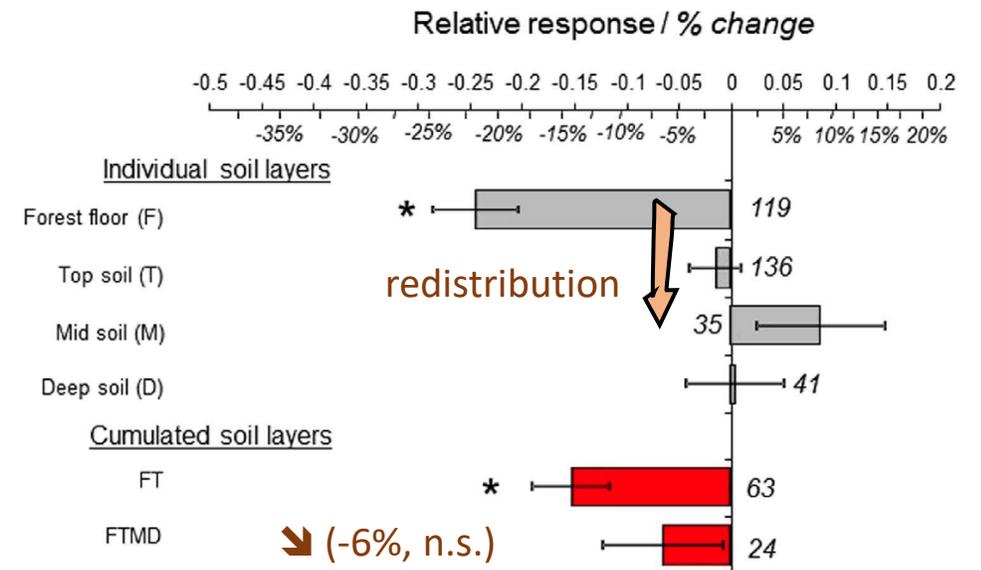
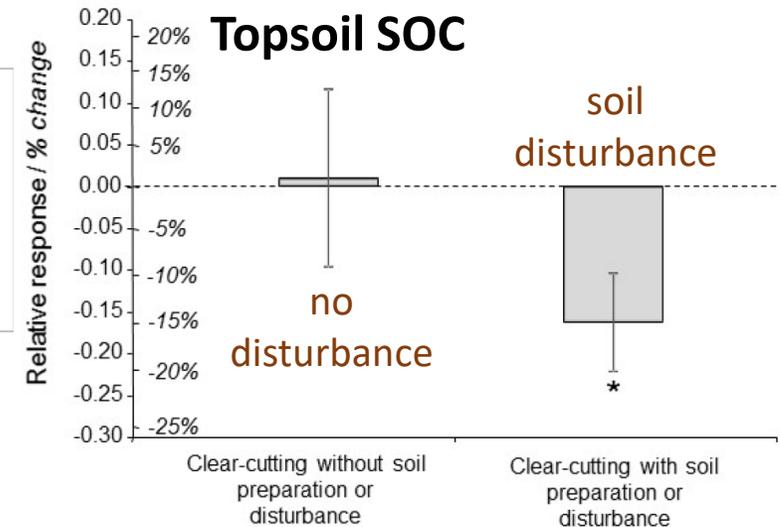
# Coupes rases : beaucoup de littérature, résultats globalement consistants

## Horizons de surface : pertes liées aux perturbations

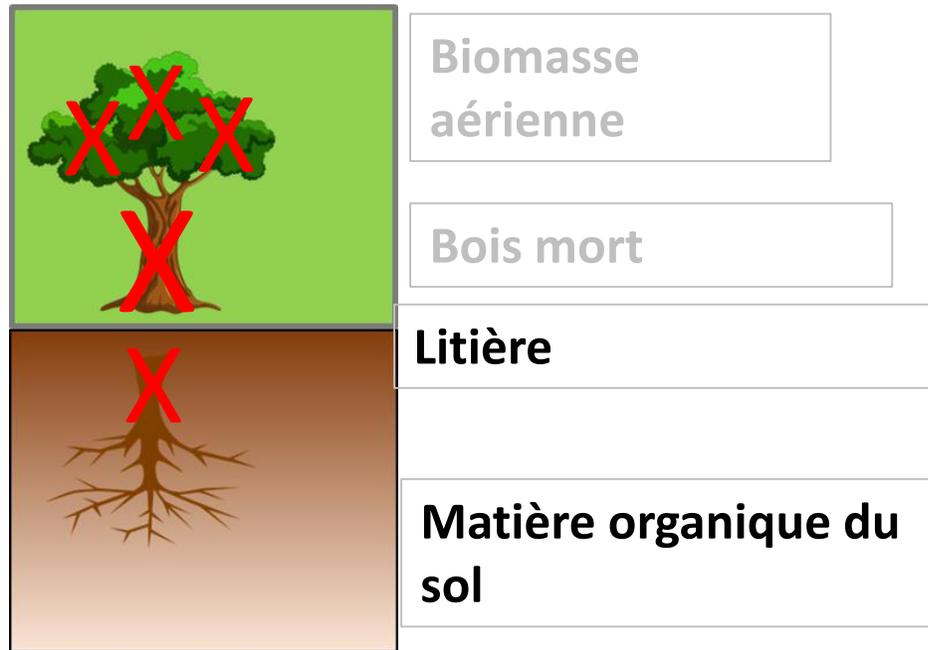
- **Résidus brûlés** [Dean et al. (2017) - Glob. Change Biol.]
- **Préparation du sol** [Achat et al. (2015) - Sci. Reports; Johnson (1992) - Water Air Soil Pollution]

## Le long du profil de sol (FF + SOC):

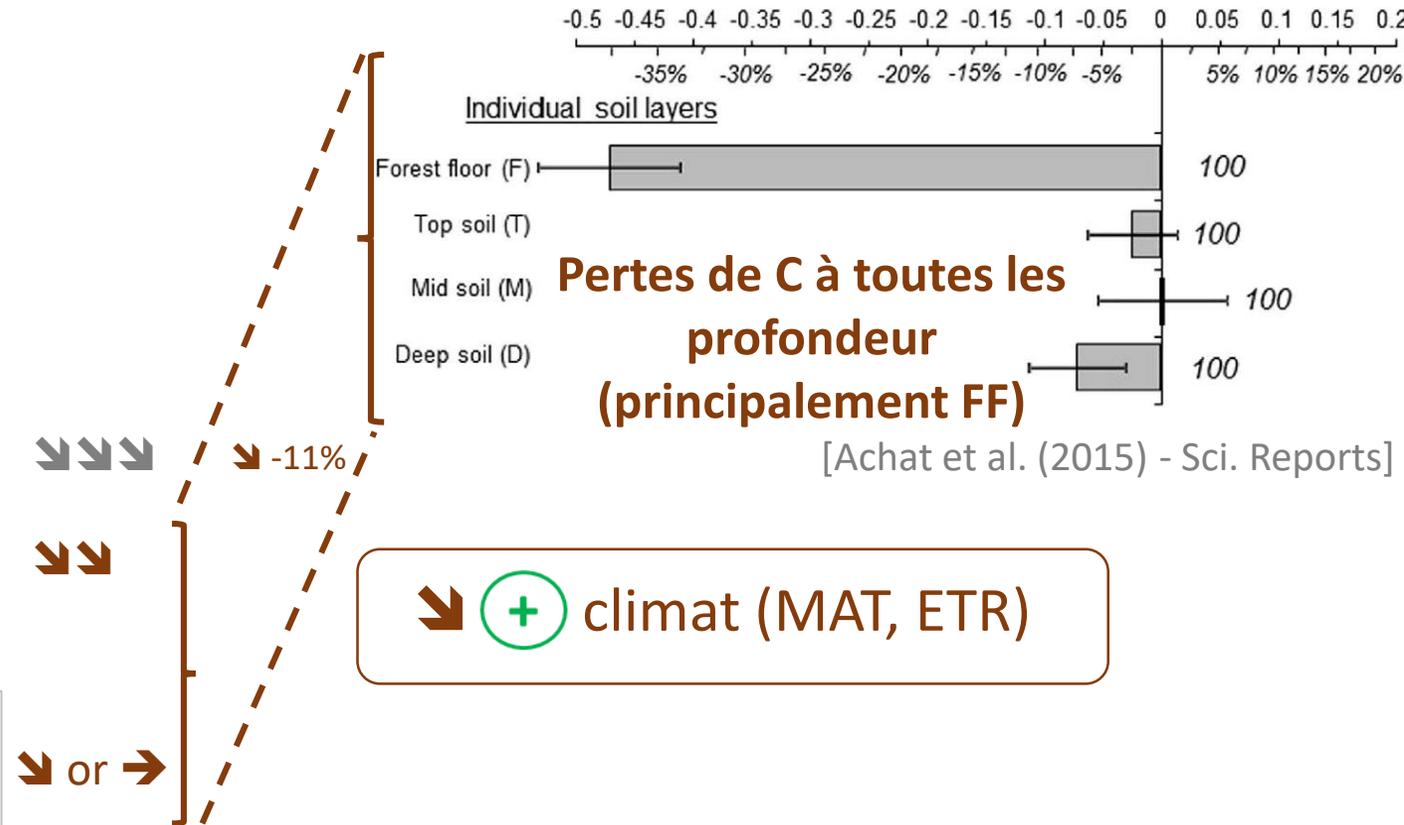
- **Redistribution verticale**
- **Pas ou peu de pertes de C (non significatif)** [Achat et al. (2015) - Sci. Reports]



## Récoltes « arbre entier » : résultats globalement consistants



Apports: néant



Sorties: Minéralisation ↗ (d'autant plus que le stock de C initial est important)

L'exploitation intensive a un effet négatif sur le carbone du sol (et également sur la fertilité des sols)

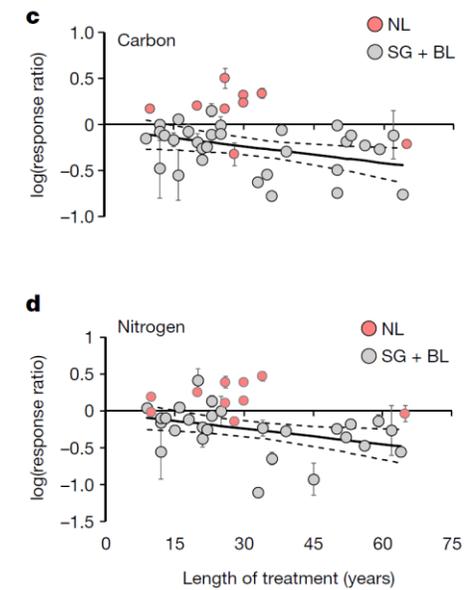
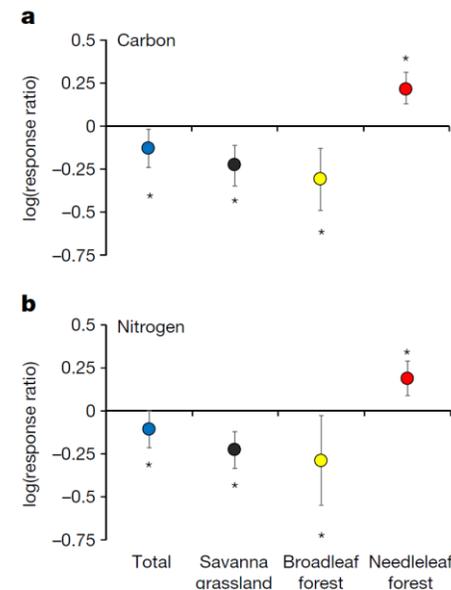
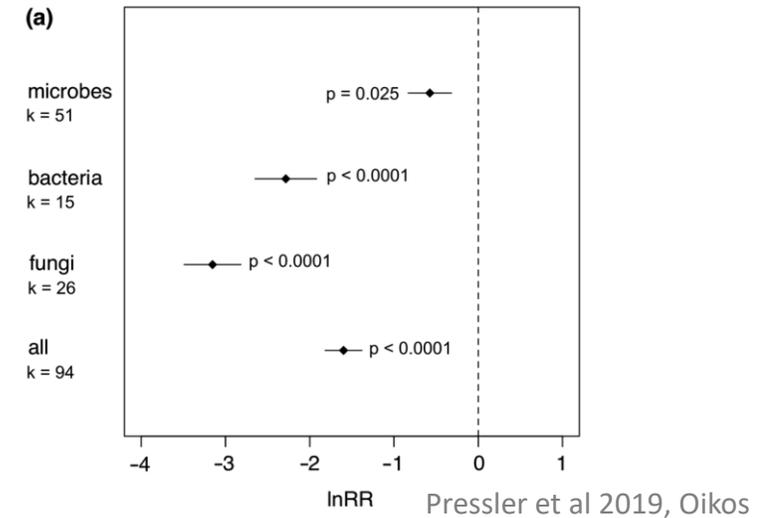
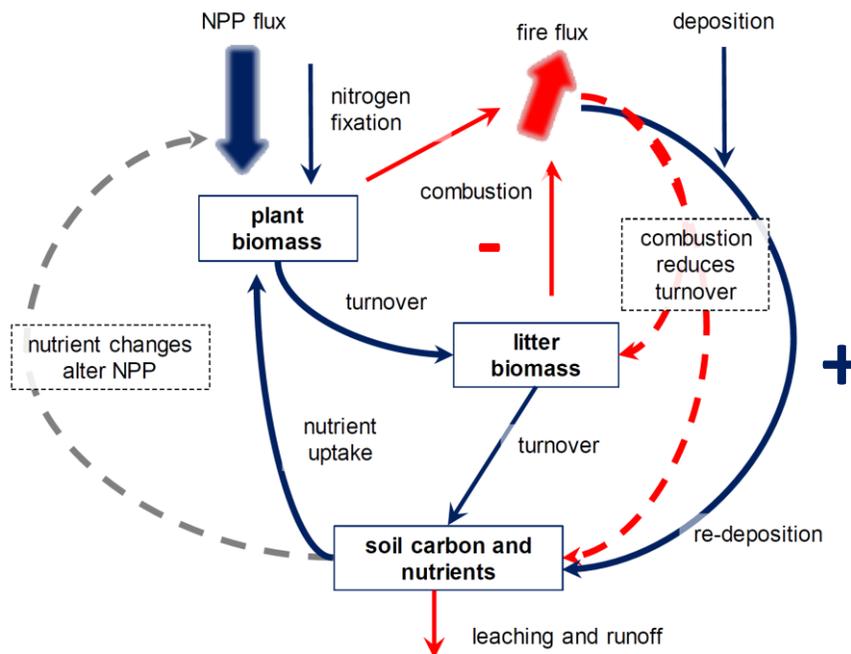
# Impact des feux : Littérature assez abondante, résultats consistants

Baisse globale du C et N du sol – principalement dans la couche de litière

Baisse globale de la biomasse et de l'abondance de la faune du sol

Impact d'autant plus fort que la fréquence de feu est importante

Mais réponse différente selon les écosystèmes : f(capacité à capter les minéraux libérés dans sol après le feu – croissance racinaire rapide, et reconstituer un cycle biologique, importance des légumineuses)



## Gestion du couvert : Importance des légumineuses

Vidal et al 2019, Forest Ecology and Management, Liu et al. 2019 scientific reports; Li et al 2016, Scientific reports

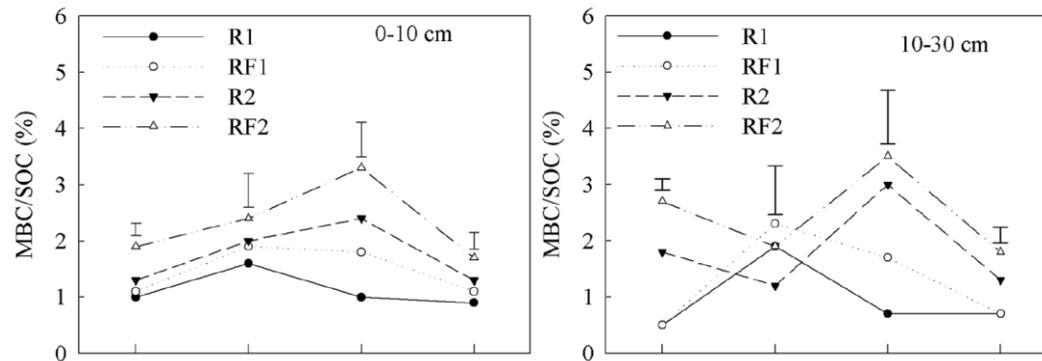
- Pour les écosystèmes méditerranéens,  
Les arbustes légumineux peuvent  
représenter + de 20tC/ha

- Contribuent également au stocks de C  
et N dans le sol dans différents  
écosystèmes

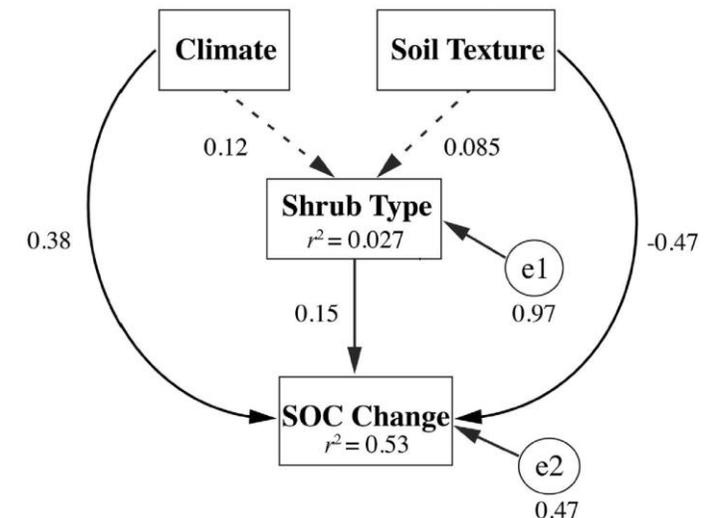
Soil organic matter, total carbone and total nitrogen for the top soil (0–5 cm) at the Rousset site.

Treatments	P fertilisation F/C	Gorse sowing G/C	SOM mg g <sup>-1</sup>	C <sub>TOT</sub> mg g <sup>-1</sup>	N <sub>TOT</sub> mg g <sup>-1</sup>
CG	C	C	33.7 ± 2.0 b	21.4 ± 1.8 n.s	1.09 ± 0.09 ab
CG	C	G	39.0 ± 1.5 a	18.3 ± 3.4 n.s	0.92 ± 0.15 b
FC	F	C	33.9 ± 1.5 b	17.7 ± 1.6 n.s	0.88 ± 0.07 b
FG	F	G	39.9 ± 1.2 a	27.5 ± 4.4 n.s	1.42 ± 0.23 a

### Ajonc d'Europe sous Pin Maritime

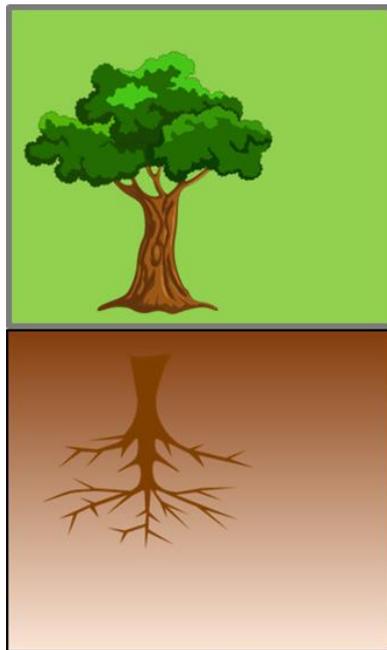


Biomasse microbienne sous hévéa (accompagne  
augmentation de C et N dans le sol)



Impact + sur SOC par l'implémentation d'arbuste  
(effet lié aux légumineuses)

## Apports N: littérature assez abondante mais résultats peu consistants



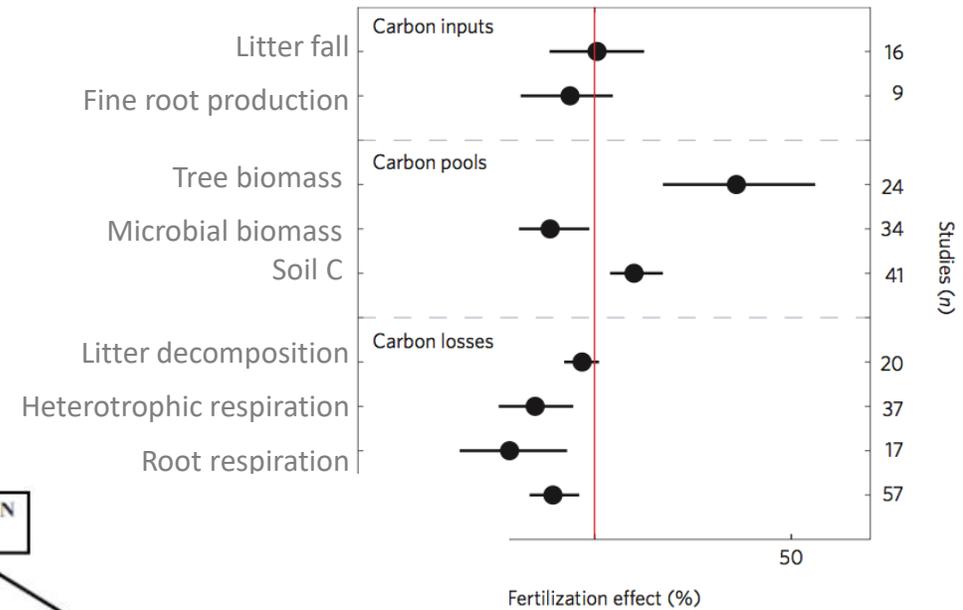
Biomasse  
aérienne

Bois mort

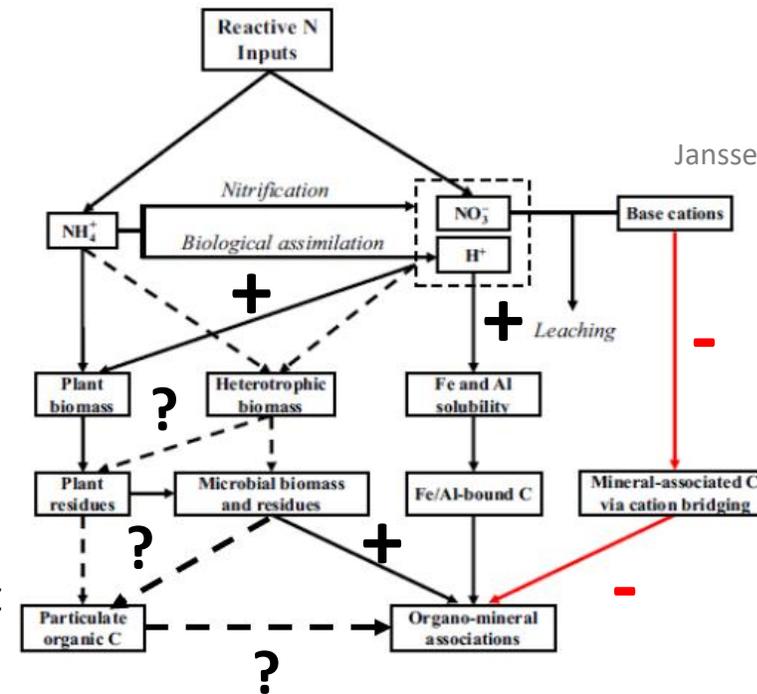
Litière

Matière organique du  
sol

Difficile de séparer les effets liés à l'apport d'azote  
de ceux liés à l'acidification générée par cet apport  
d'engrais  
+ Effet dose (courbe en cloche)

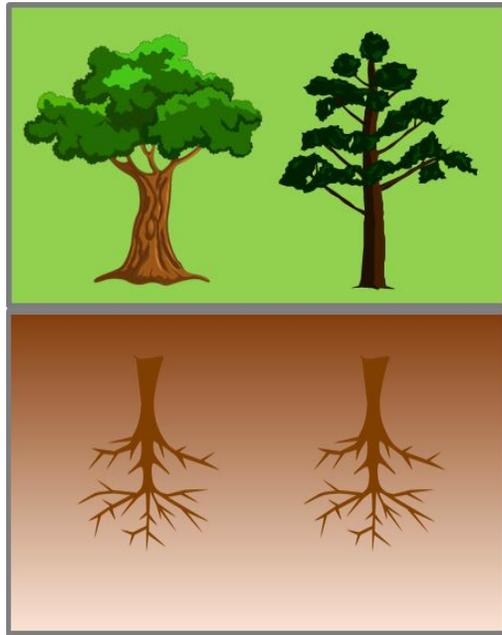


Fertilization effect (%)  
Janssens et al 2010, Nature Geosciences



Ye, C. L., et al. 2018, Ecology letters, Averill and Waring, 2018 Global Change Biology

## Effet des essences :



Biomasse  
aérienne

Bois mort

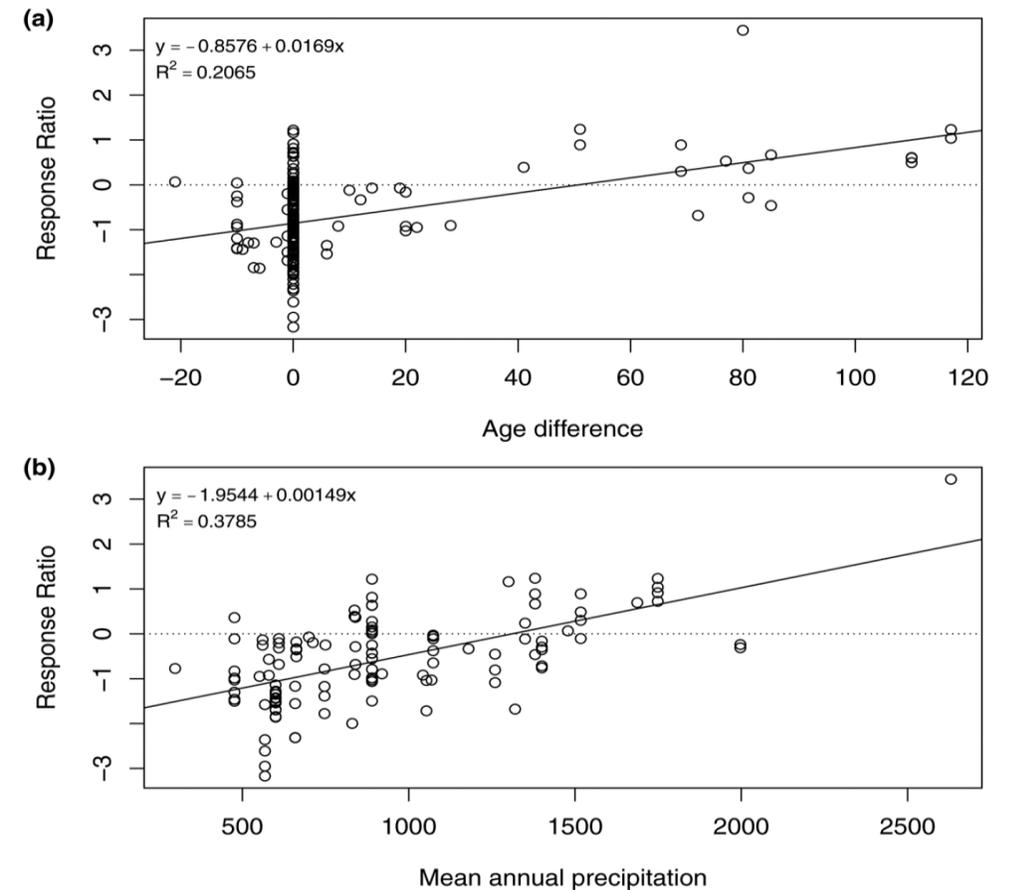
Litière

Matière organique du  
sol

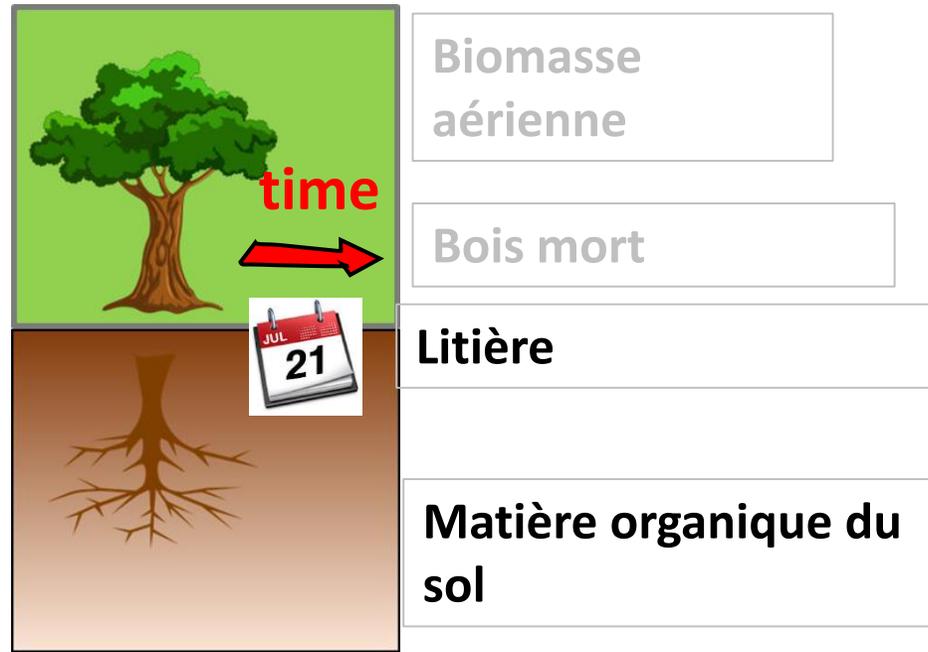
Résineux > Mixtes > Feuillus mais uniquement  
pour les horizons organiques

Boca et al. 2014, SSAJ; Vesterdal et al. (2013); Grueneberg et al. (2014)

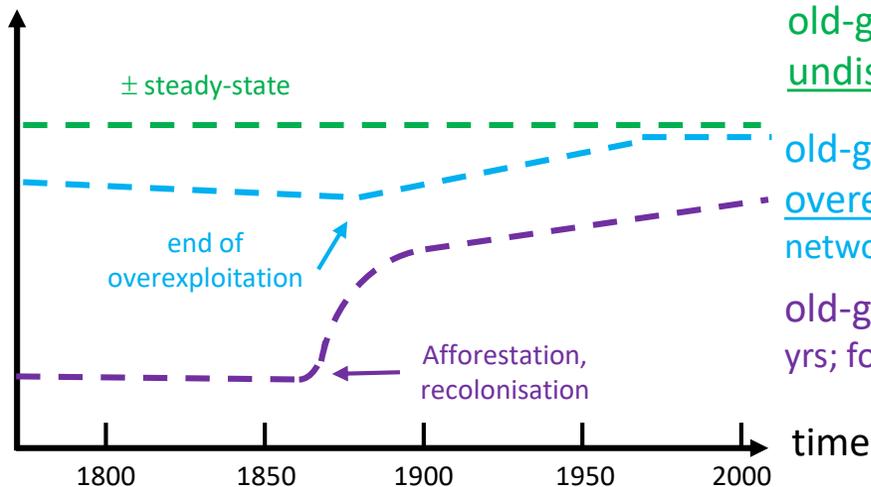
Pour le sol, beaucoup d'incertitude – plus le type d'essence (conifère, fixateur de N ou pas) que l'essence elle-même  
Lors d'un changement feuillus vers résineux – plus le temps depuis le changement est long, plus le bilan est en  
faveur du résineux – plus les précipitations sont faibles, plus le bilan est en faveur des résineux



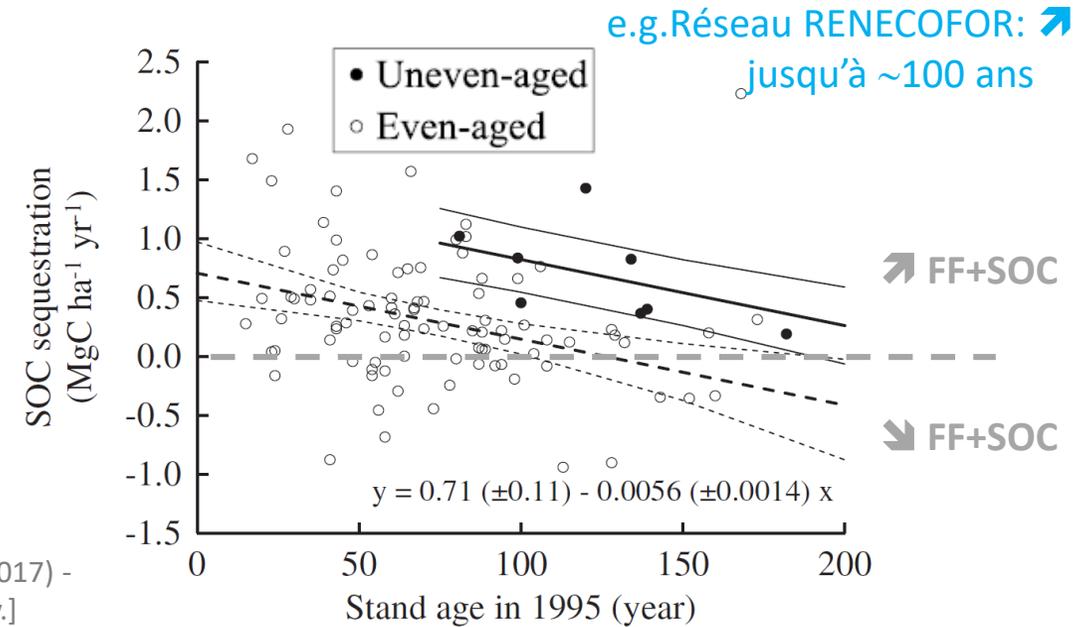
## Durée de rotation:



soil C



Résultats non consistants: ↗ ou →



[Jonard et al. (2017) - Sci. Tot. Env.]

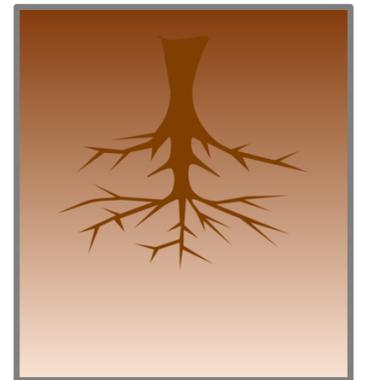
SOC =  $f$  ( usages précédents, silviculture précédente, perturbations )

## Synthèse:

### Actions du forestier:

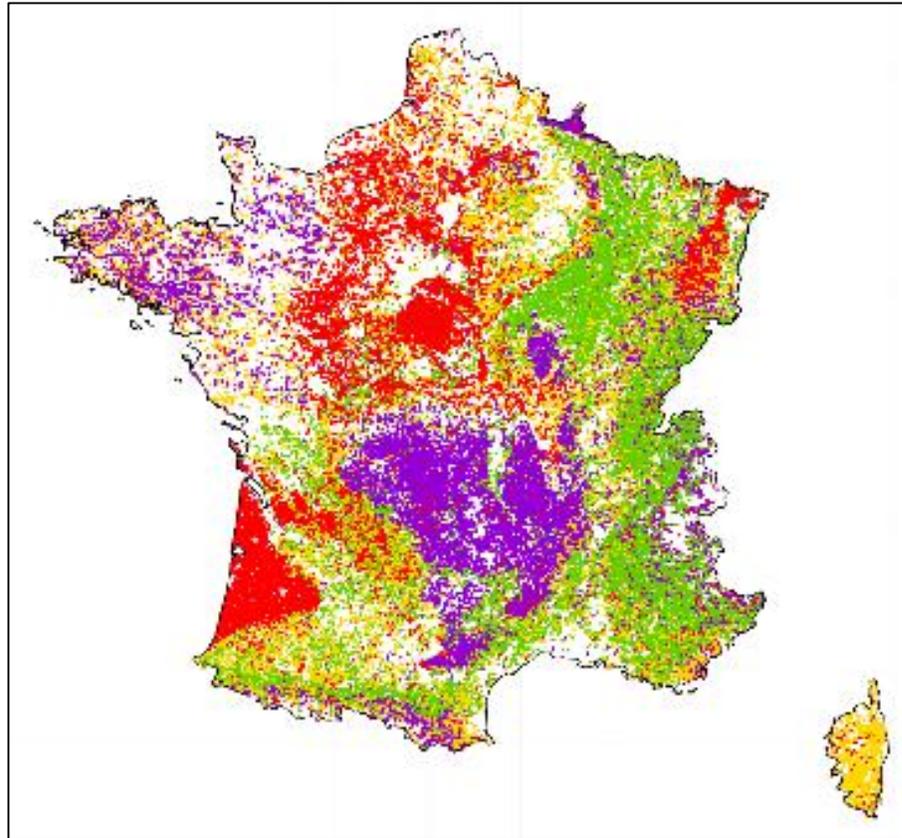
- Eclaircies (SOH)	n.s.	! Pool de C initial	
- Coupes rases (SOH)	n.s.	! Pool de C initial	
➤ Sans perturbation du sol	n.s.	! Pool de C initial	
➤ Avec perturbation du sol	-	! Pool de C initial	
- Densité du peuplement	?	-----	Besoins de recherches 🔒
- Intensité des prélèvements et remédiations	-	! climat	Besoins de recherches 🔒
- Durée de rotation	+	! histoire	Besoins de recherches 🔒
- Essences			
➤ changement	?	} -----	Besoins de recherche 🔒
➤ diversité	?		

Sequestration  
(soil)



## Il n'y a pas que le C !

Projet INSENSE, intensification de la gestion



Mars 2019

RECOMMANDATIONS POUR UNE RECOLTE DURABLE DE BIOMASSE FORESTIERE POUR L'ENERGIE

Focus sur les compartiments menus bois et souches

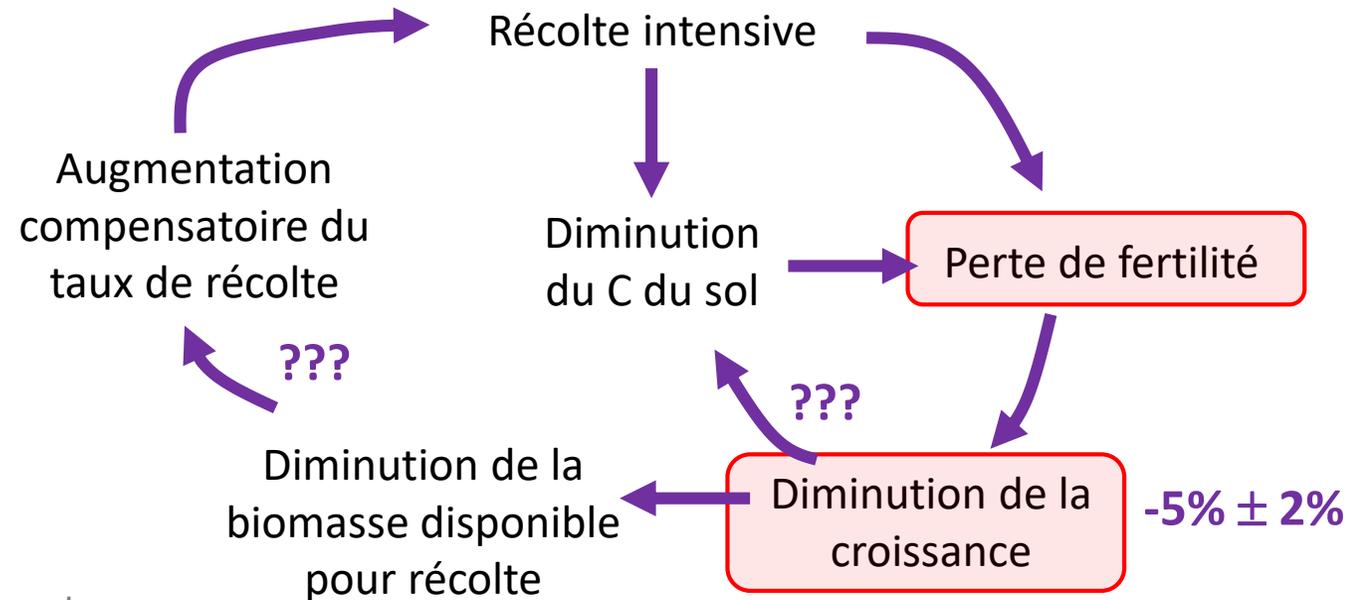
Gerboise

ADREME

Agence de l'Environnement et de la Meritisme de l'Etat

Guide de recommandations

En partenariat avec : ECOFOR



[Achat et al. (2015) - Forest Ecology and Management