

# Le stockage de carbone en agriculture

L'état des connaissances  
Le rôle des haies

Valérie Viaud

**INRAE**



**LE MOIS**  
**DU CLIMAT**

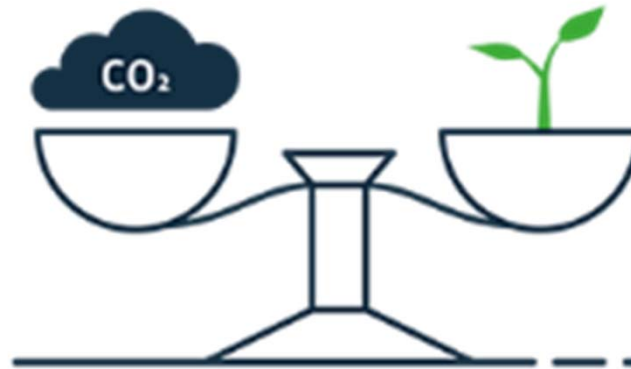
Laval - 18 septembre 2024

# STOCKER DU CARBONE EN AGRICULTURE : POURQUOI ?

## LA QUESTION DE LA NEUTRALITÉ CARBONE

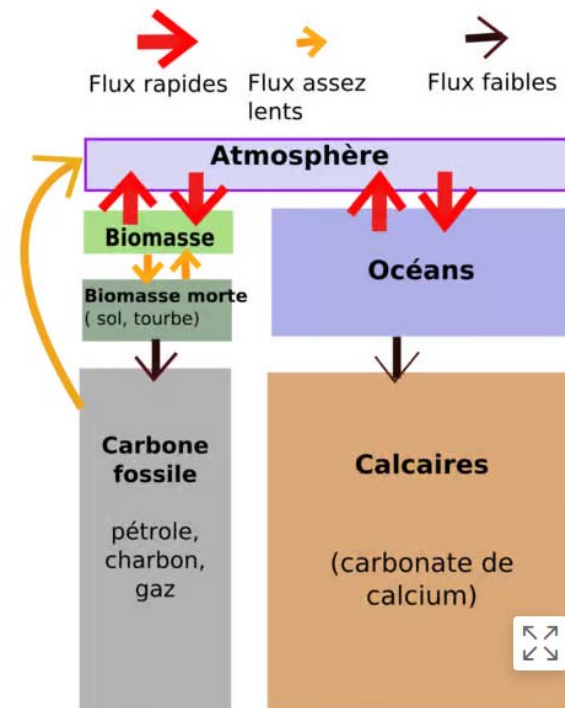
Emissions de carbone vers  
l'atmosphère

Absorptions du carbone de  
l'atmosphère vers les puits de  
carbone



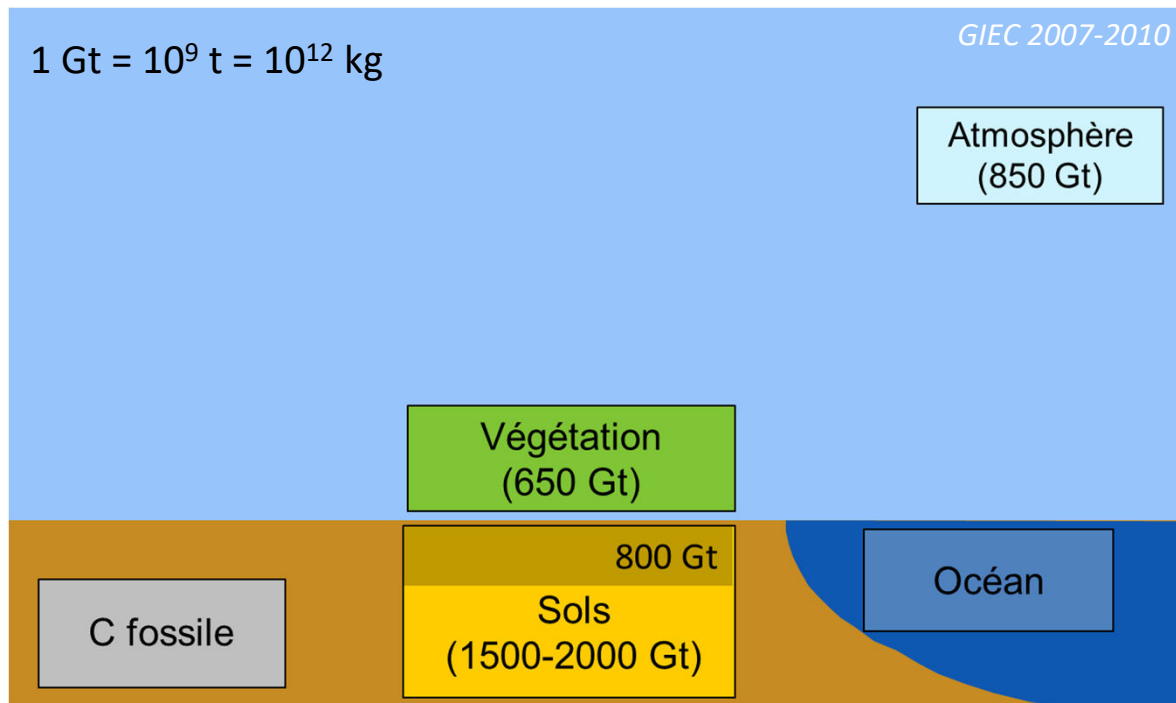
# STOCKER DU CARBONE EN AGRICULTURE : POURQUOI ?

## LA QUESTION DE LA NEUTRALITÉ CARBONE



# STOCKER DU CARBONE EN AGRICULTURE : POURQUOI ?

## LA QUESTION DE LA NEUTRALITÉ CARBONE



Les sols agricoles :  
un grand compartiment  
pour lequel il y a des  
leviers de stockage  
supplémentaire

# QU'EST-CE QUE CE CARBONE DU SOL ?

## LE CONSTITUANT PRINCIPAL DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

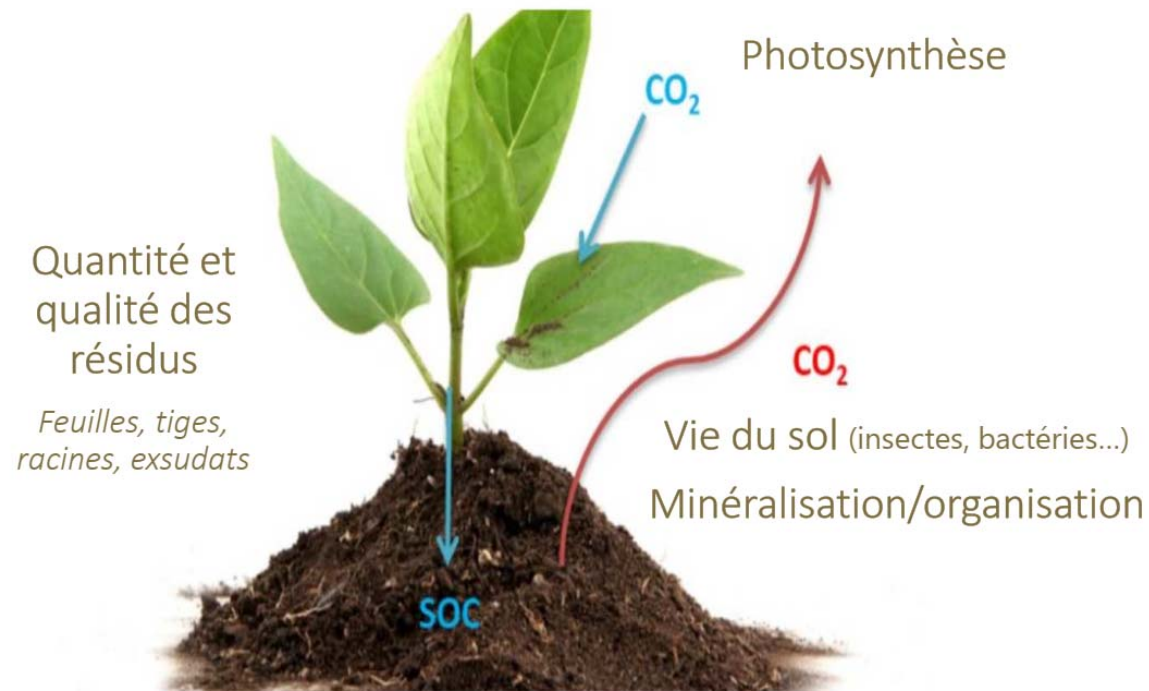


= 90 à 99% de minéraux  
+  
1 à 10 % de matières organiques

*Dont le carbone est un constituant majeur (avec l'azote, le phosphore, l'oxygène,...)*

# QU'EST-CE QUE CE CARBONE DU SOL ?

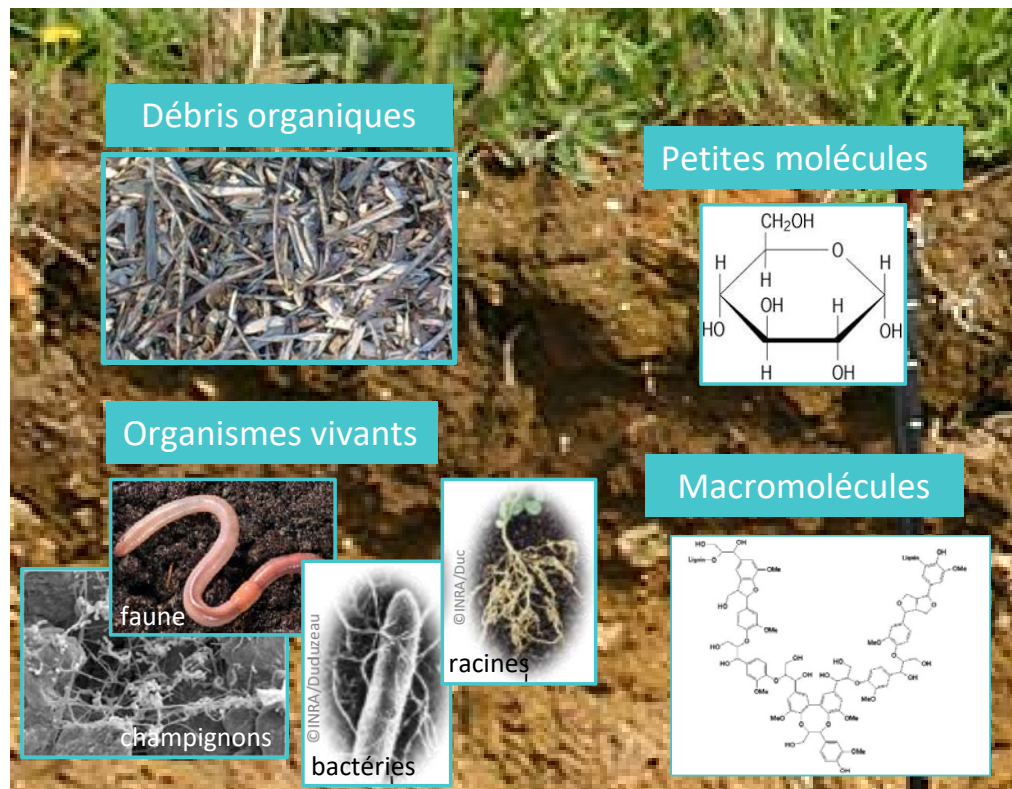
## LES PLANTES SOURCES DE CARBONE POUR LE SOL



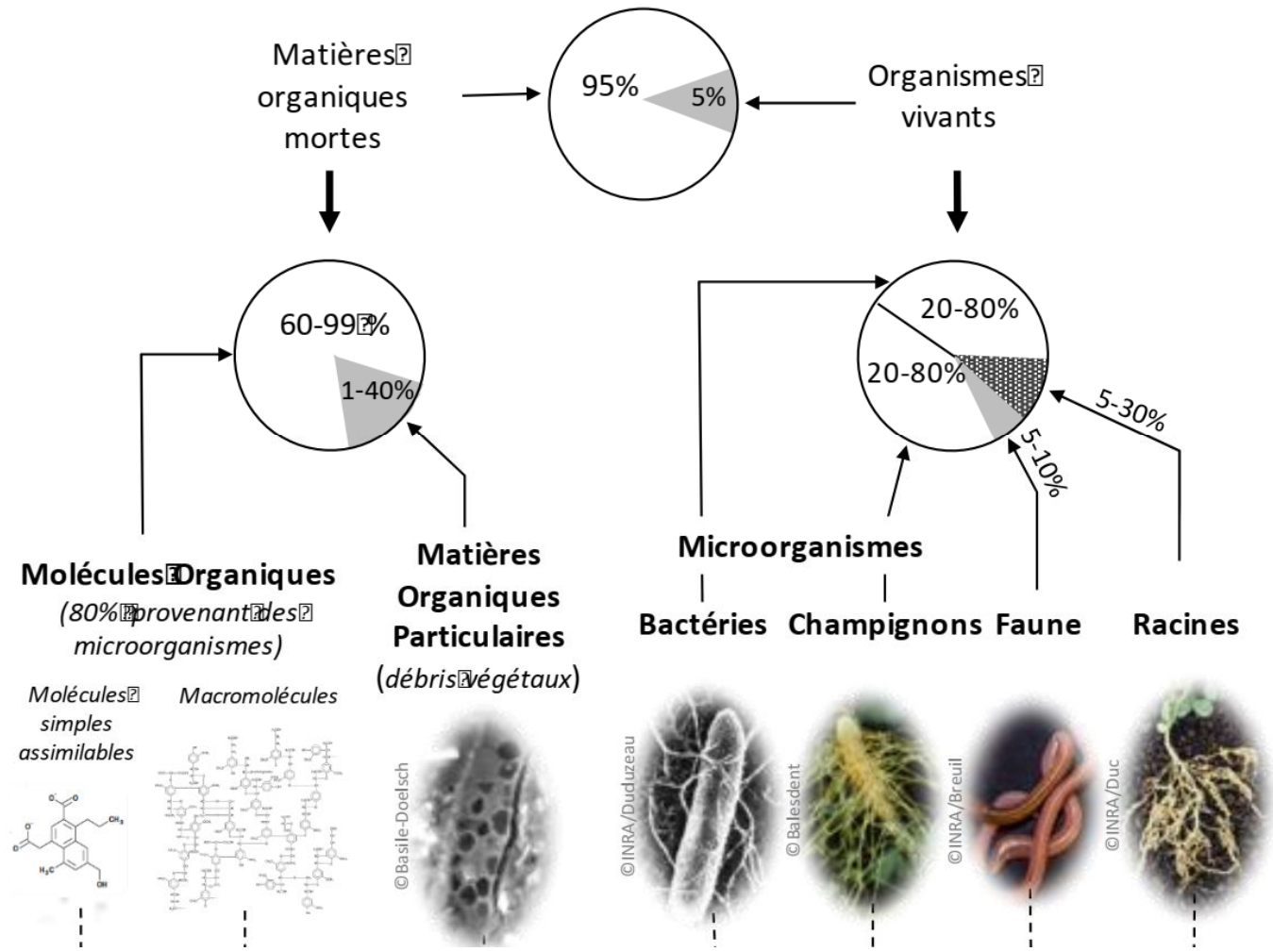
Source : EIP-Agri Grazing for carbon 2018

# QU'EST-CE QUE CE CARBONE DU SOL ?

## UN ENSEMBLE COMPLEXE

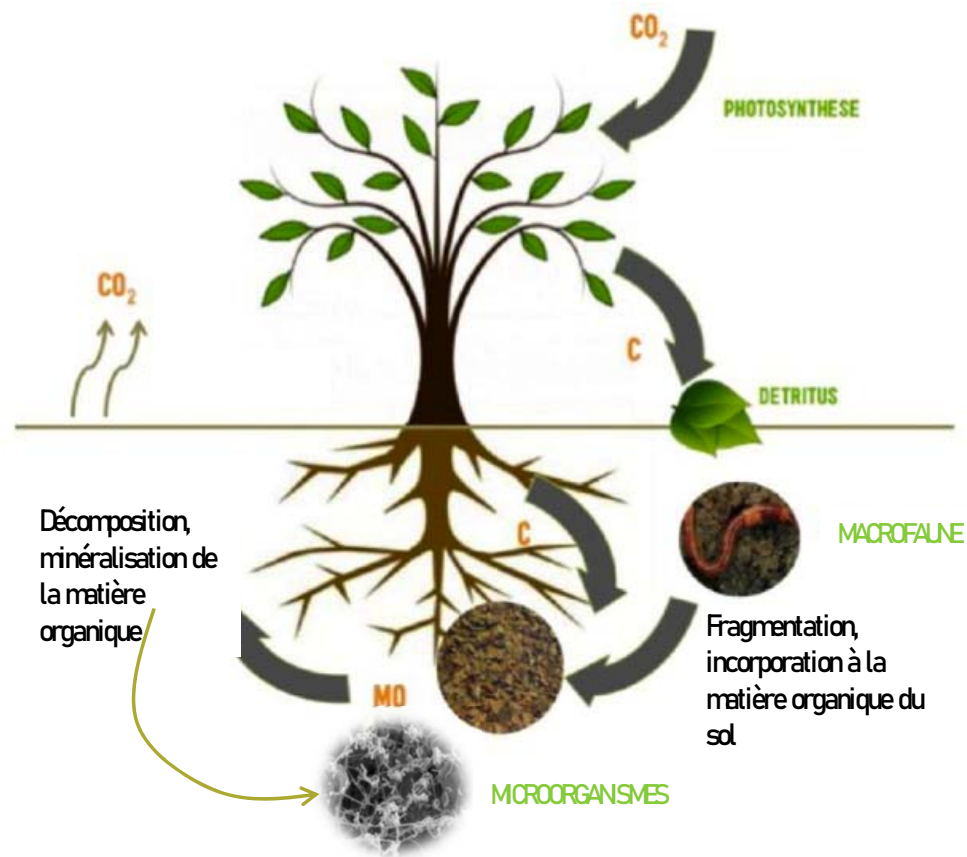


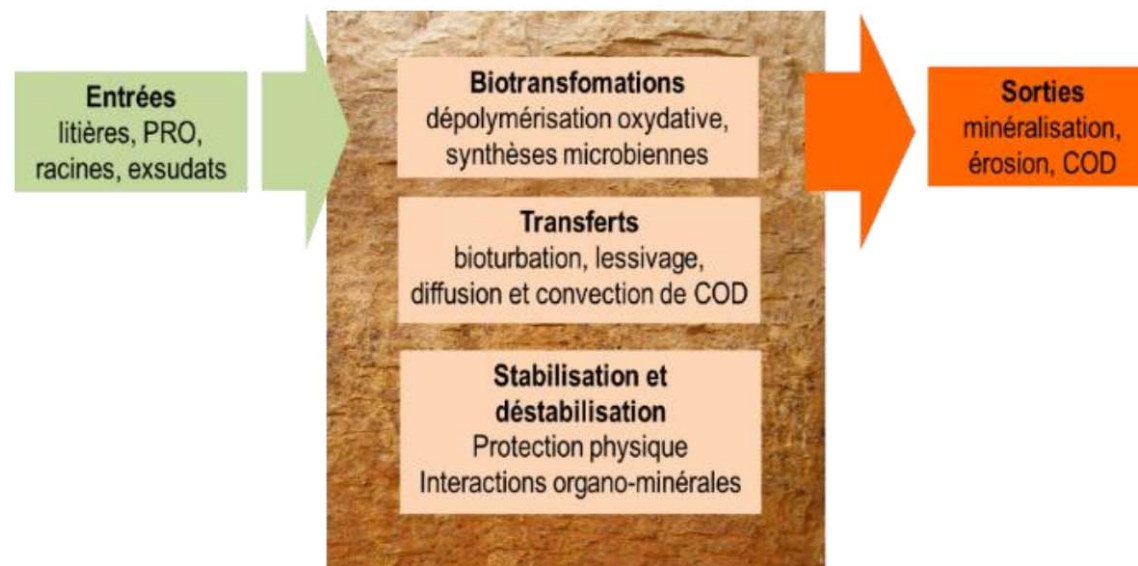
# MATIÈRES ORGANIQUES



# UN STOCK DE CARBONE DYNAMIQUE

## LE STOCK SE RENOUVELLE EN PERMANENCE

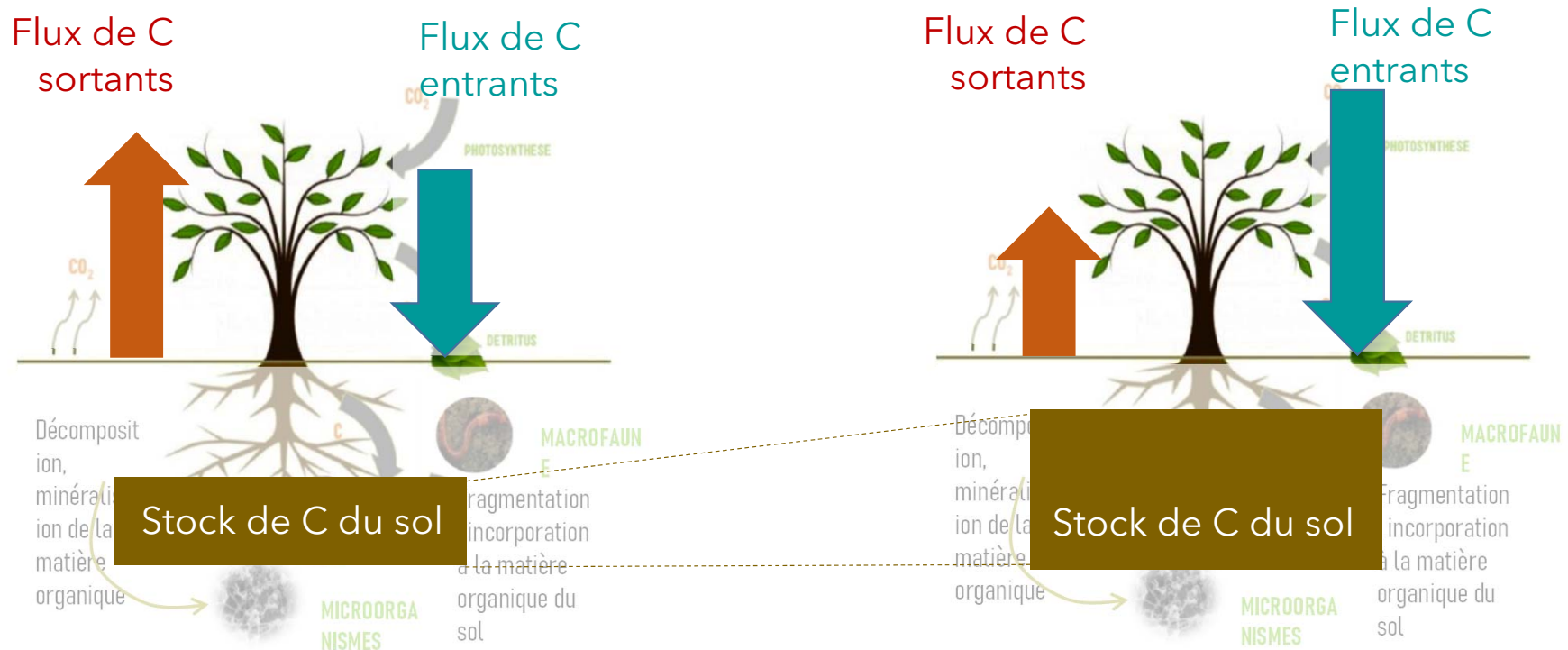




**Figure 3.** Les différents processus qui contrôlent le stockage de carbone dans les sols (PRO : produit résiduaire organique ; COD : carbone organique dissout)

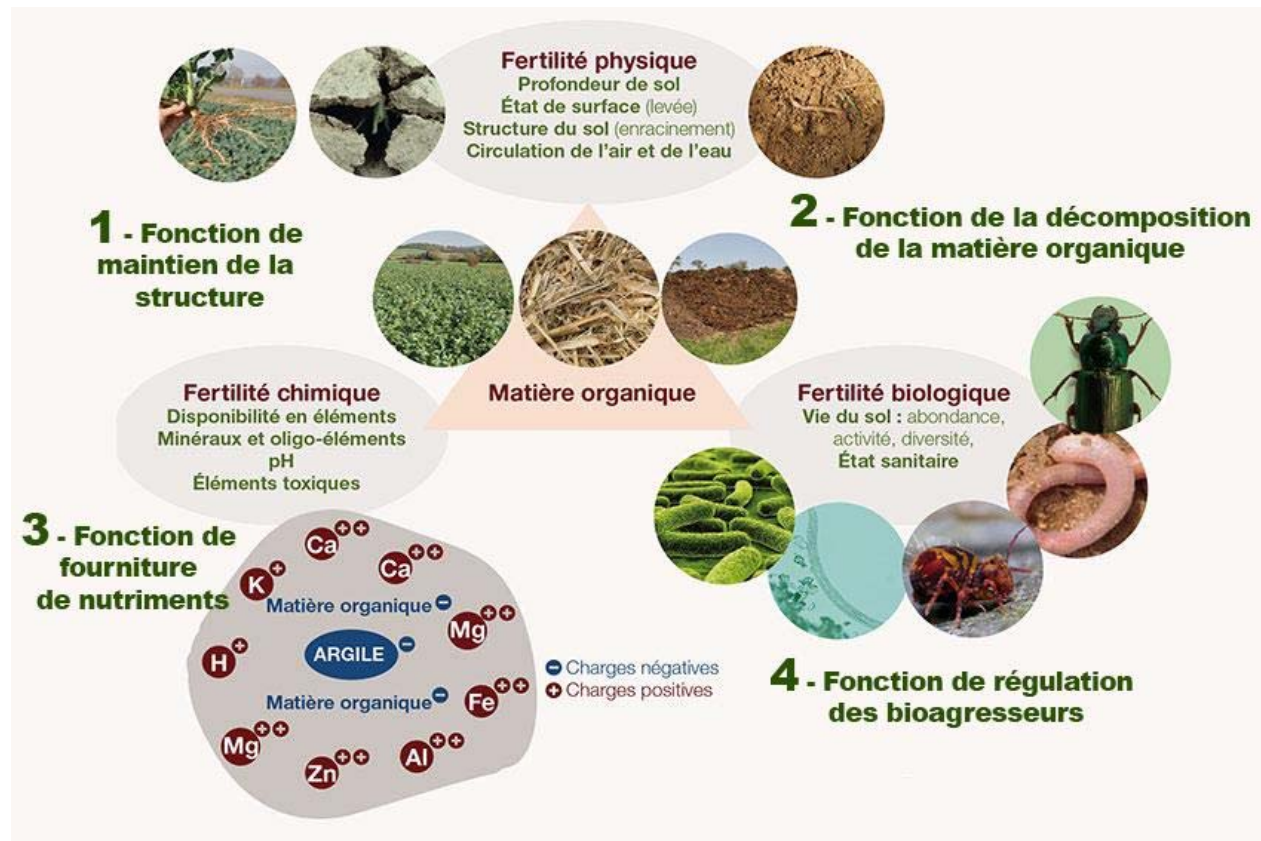
# UN STOCK DE CARBONE DYNAMIQUE

## COMMENT AUGMENTER LES STOCKS DE CARBONE ?



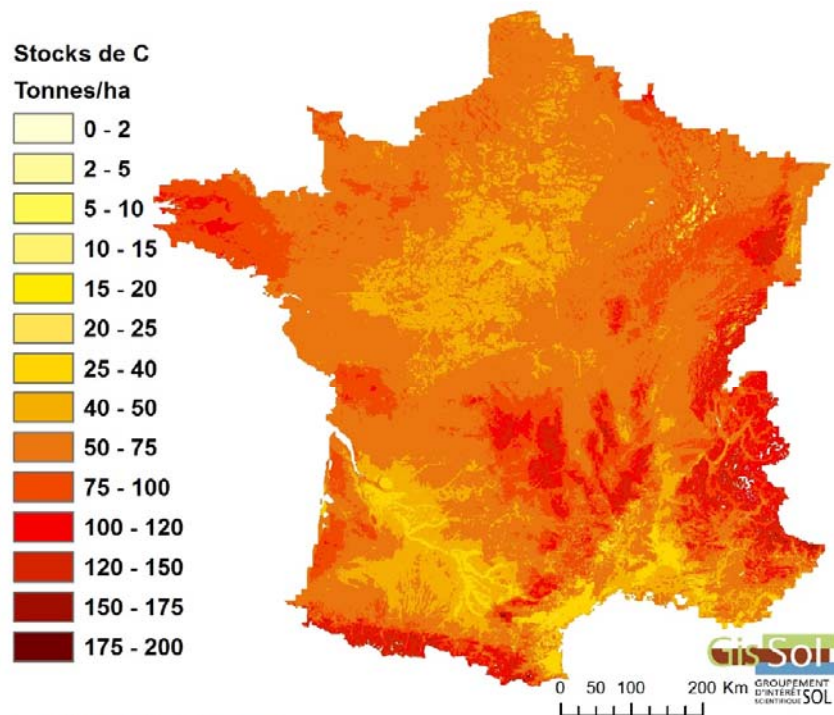
# AU-DELA DE LA NEUTRALITE CARBONE...

## LA MATIERE ORGANIQUE : UN AGENT ESSENTIEL DE LA QUALITE DES SOLS



# L'ÉTAT DES STOCKS DE C AUJOURD'HUI

## STOCKS DE C SUR 0-30 CM : UNE RÉPARTITION HÉTÉROGÈNE

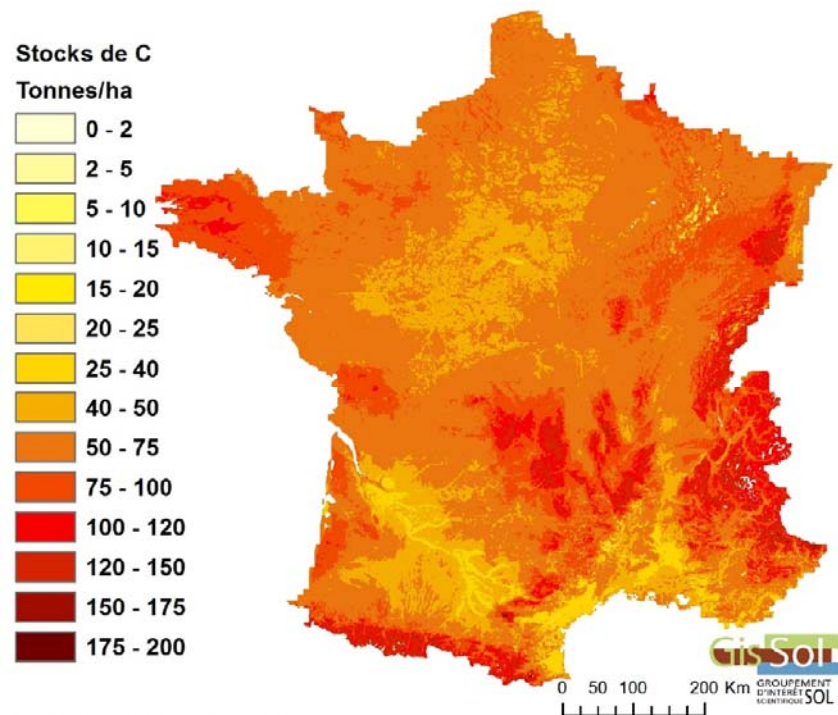


Source: Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017.

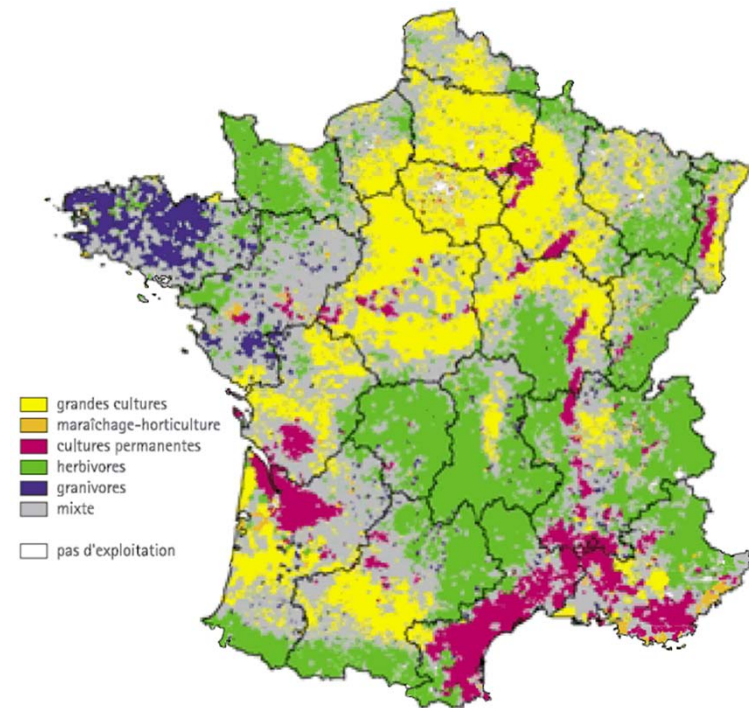
- 3,58 Gt de C dans les 30 premiers cm de sol
- Une répartition des stocks qui résulte à la fois des types de sol, du climat et des usages des sols

# L'ÉTAT DES STOCKS DE C AUJOURD'HUI

## STOCKS DE C SUR 0-30 CM : UNE RÉPARTITION HÉTÉROGÈNE



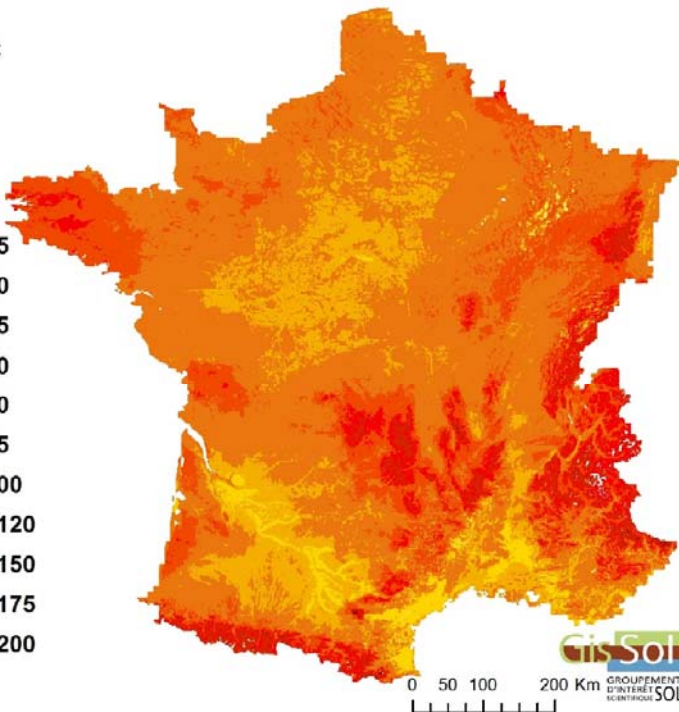
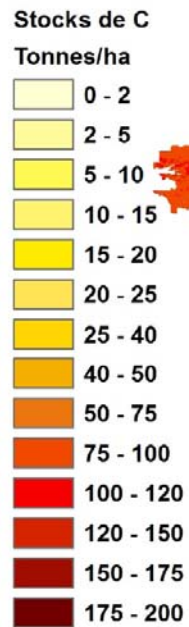
Source: Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017.



© Agreste 2001. Source : Ministère de l'agriculture et de la pêche (recensement agricole 2000)

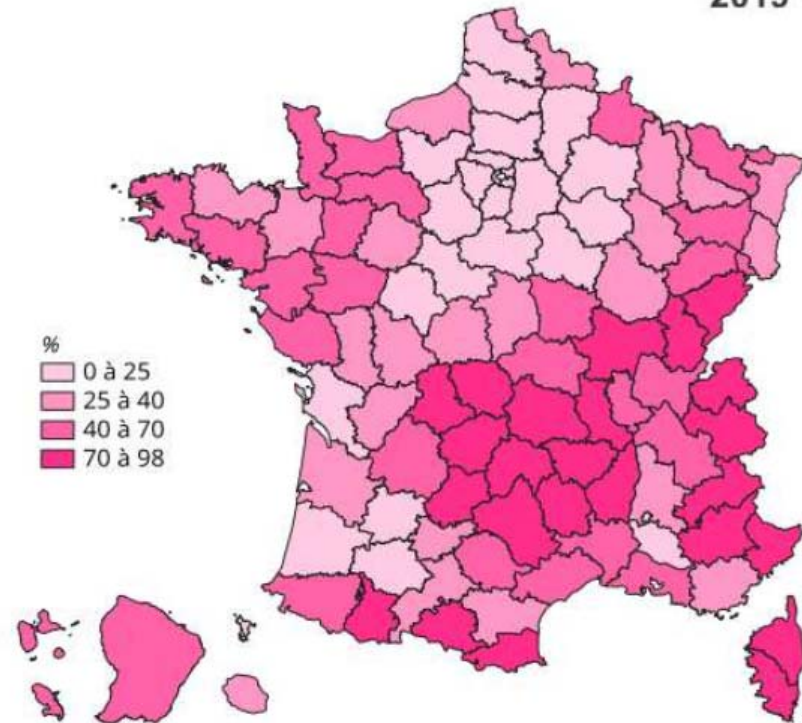
# L'ETAT DES STOCKS DE C AUJOURD'HUI

## STOCKS DE C SUR 0-30 CM : UNE RÉPARTITION HÉTÉROGÈNE



Source: Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017.

2019<sup>P</sup>



1. Prairies artificielles, temporaires et surfaces toujours en herbe.  
Source : Agreste - Statistique agricole annuelle

# L'ETAT DES STOCKS DE C AUJOURD'HUI

## DES STOCKS ET ÉVOLUTIONS DIFFÉRENTS SELON L'USAGE DES SOLS

	Stock de C Horizon 0-30 cm (tC/ha)	Surface (Mha)	Stock total Horizon 0-30 cm (MtC)
Prairie permanente	84,6 ±35,0	9,3	790
Terres arables (grandes cultures et prairies temporaires)	51,6 ±16,2	18,4	950
Forêts	81,0 ±35,4	16,9	1 370
Autres	79,0	6,0	475
<b>TOTAL</b>		<b>50,6</b>	<b>3 585</b>

Léger stockage (+50 kg/ha/an, +0,06%)

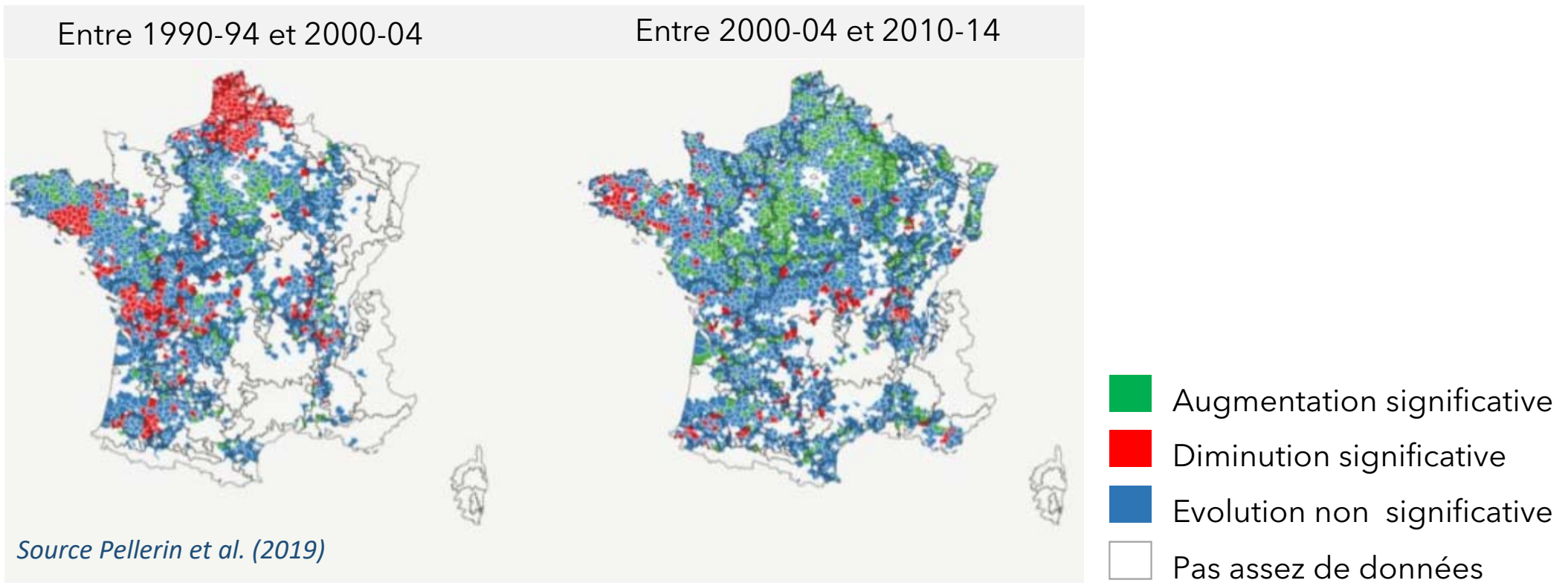
Déstockage (-170kg/ha/an, -0,3%)

Stockage (+240 kg/ha/an, +0,3%)

Source Pellerin et al. (2019) – données du GIS Sol

# L'ÉTAT DES STOCKS DE C AUJOURD'HUI

## EVOLUTION DES STOCKS DE C



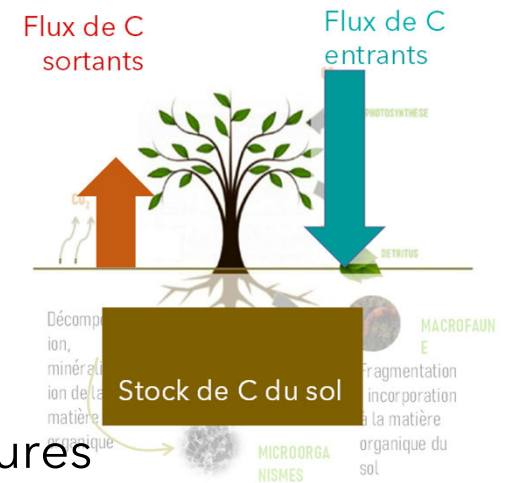
# LES PRATIQUES FAVORABLES AU STOCKAGE

## DIMINUER LES PERTES DE C DU SOL

- Favoriser la vie du sol qui stabilise la MO, par ex. par des pratiques agroécologiques
- Limiter la minéralisation de la MO, par des plantes aux systèmes racinaires profonds, par la limitation du travail du sol

## AUGMENTER LES APPORTS DE C AU SOL

- Restituer les résidus de cultures
- Apporter des amendement organique
- Introduire des cultures intermédiaires
- Introduire des prairies dans les successions
- Diversifier les cultures
- Introduire des arbres
- Utiliser des légumineuses pour la fertilisation azotée



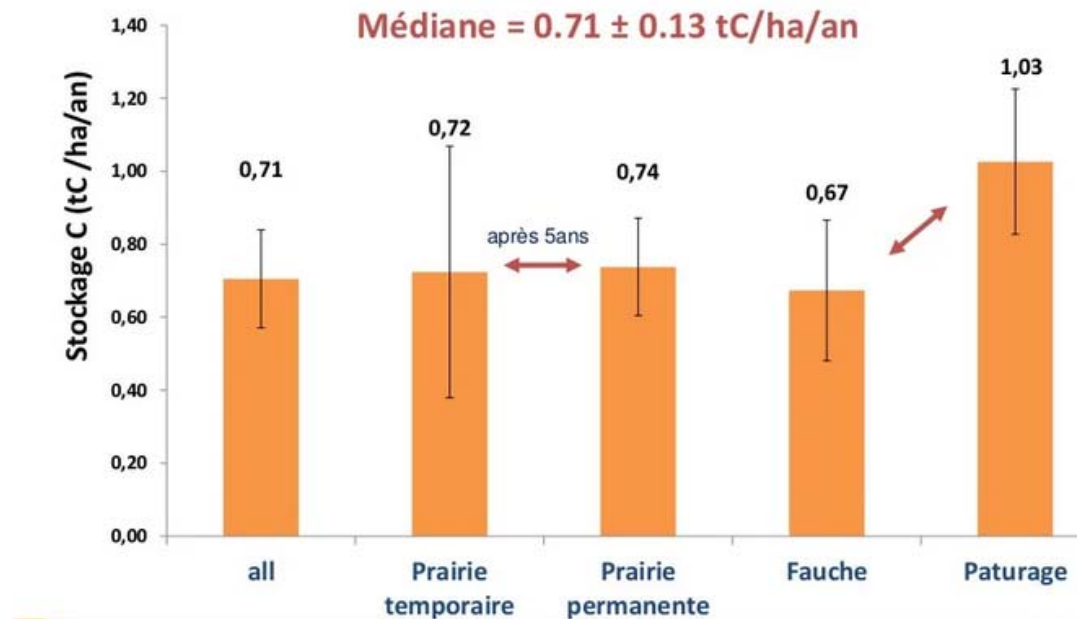
# LE STOCKAGE SOUS PRAIRIES



# STOCKAGE DE C SOUS PRAIRIES

## ORDRE DE GRANDEUR DU STOCKAGE ANNUEL

Synthèse de données sur 10 ans, 29 sites européens



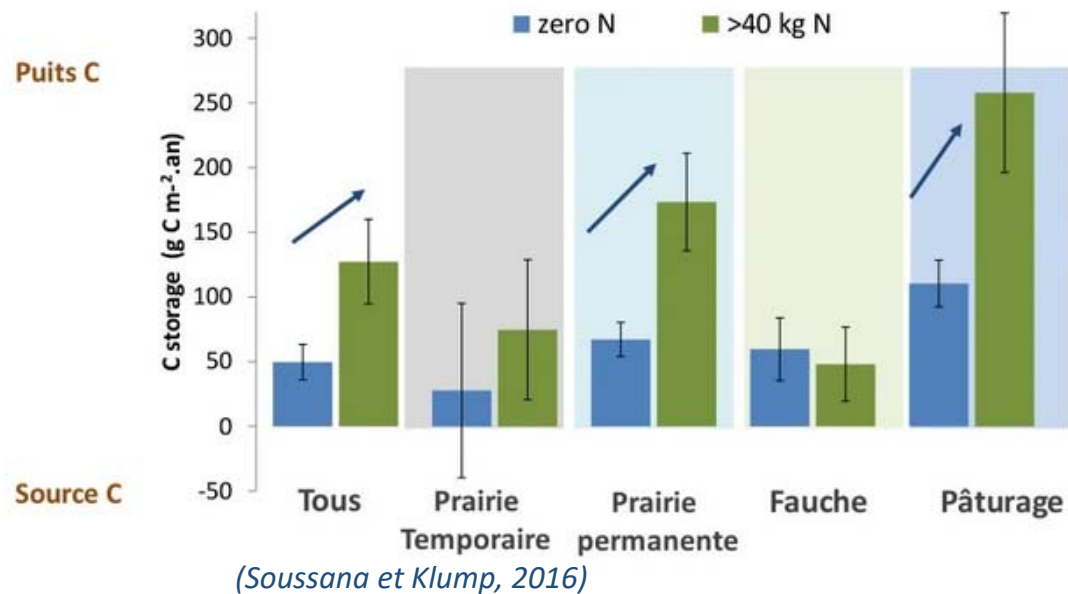
(Soussana et Klump, 2016)

- En moyenne, pas de différence de stockage entre prairie > 5 ans et prairie < 5 ans
- Stockage de C favorisé par le pâturage

# STOCKAGE DE C SOUS PRAIRIES

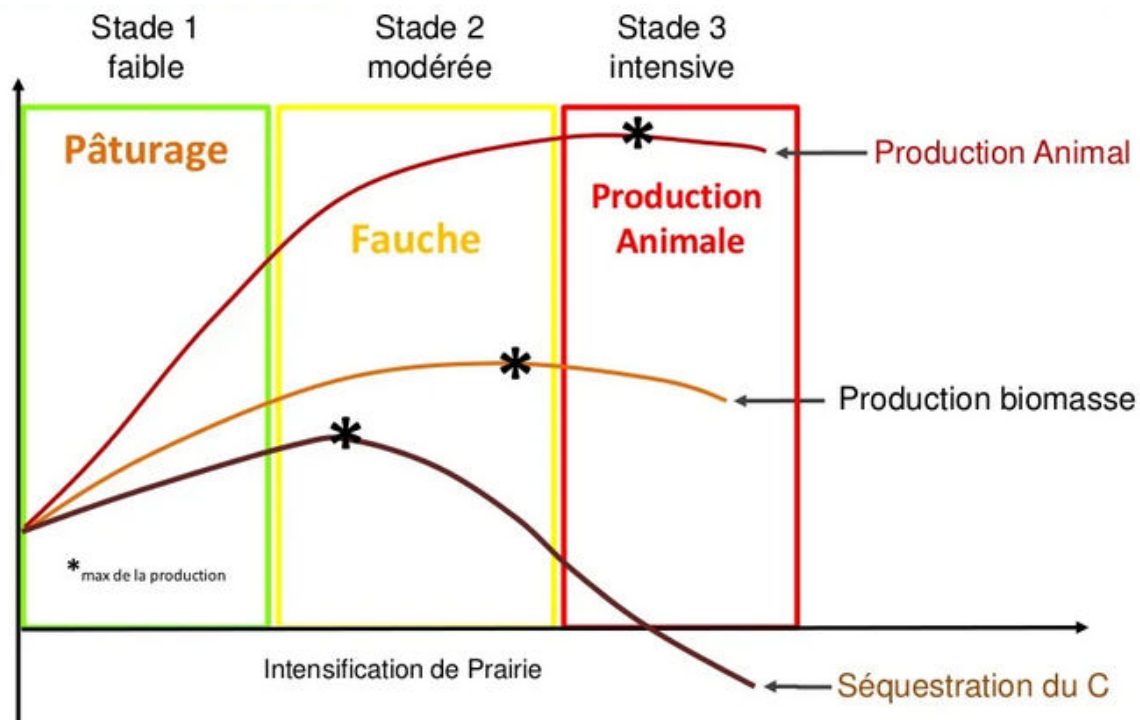
## EFFET D'APPORTS DE FERTILISANTS SUR LE STOCKAGE DE C

Synthèse de données sur 10 ans, 29 sites européens



# STOCKAGE DE C SOUS PRAIRIES

## EFFET DES PRATIQUES DE GESTION SUR LE STOCKAGE DE C

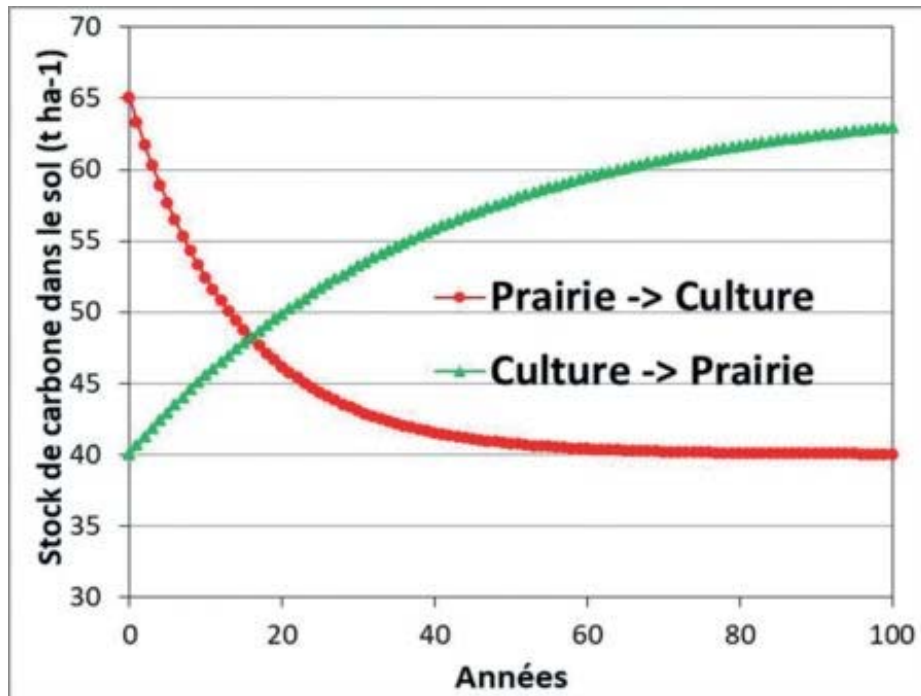


(Soussana et Lemaire, 2014)

- Une intensification modérée des prairies extensives favorise le stockage de C

# STOCKAGE DE C SOUS PRAIRIES

## EFFET DU RETOURNEMENT DE PRAIRIES



*(Balesdent et al., 2002)*

# STOCKAGE DE C SOUS PRAIRIES

## LES PRATIQUES À TESTER

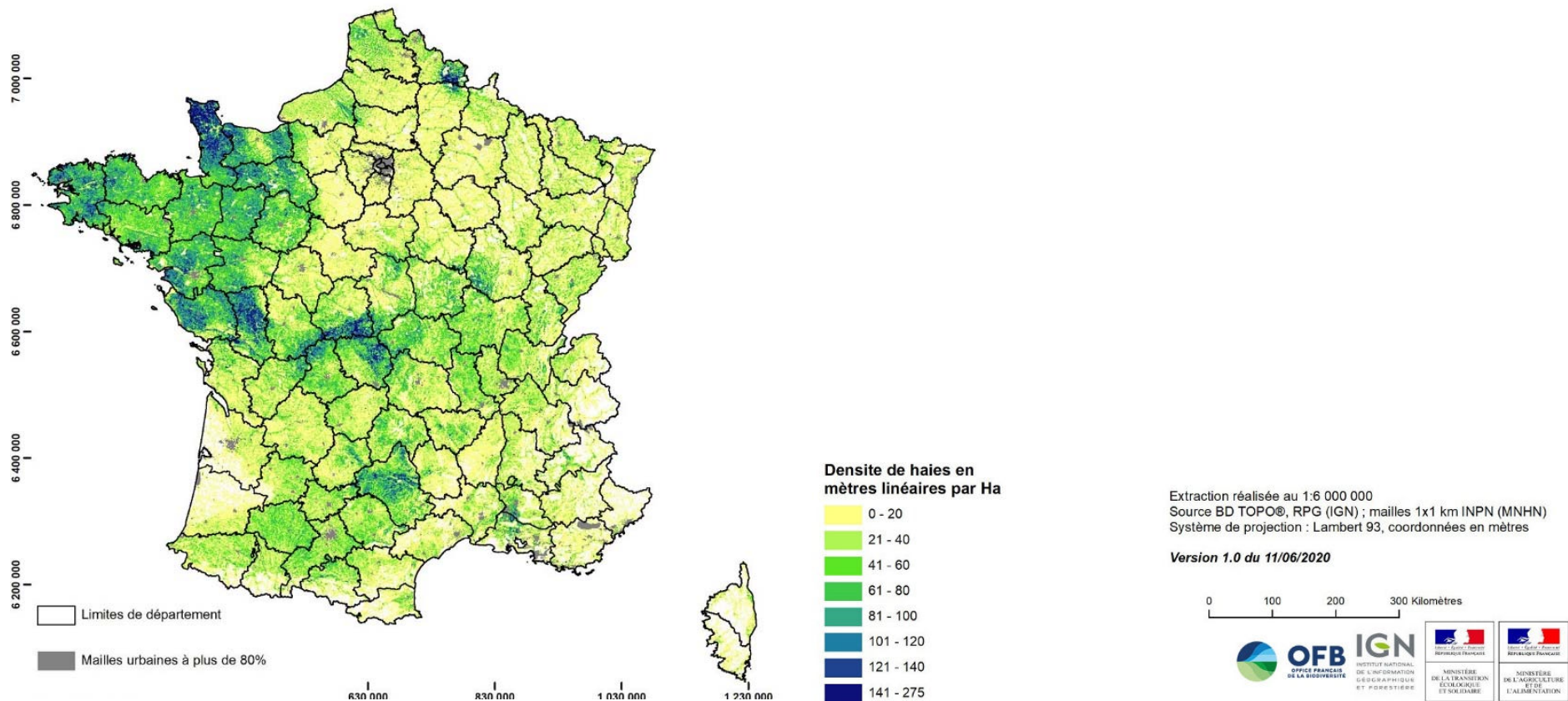


- Intensifier modérément les prairies les plus extensives
- Extensifier les prairies les plus intensives
- Favoriser le pâturage vis-à-vis de la production de fourrages conservés à base d'herbe.

# HAIES ET STOCKAGE DE CARBONE



# RÉPARTITION DES HAIES EN FRANCE

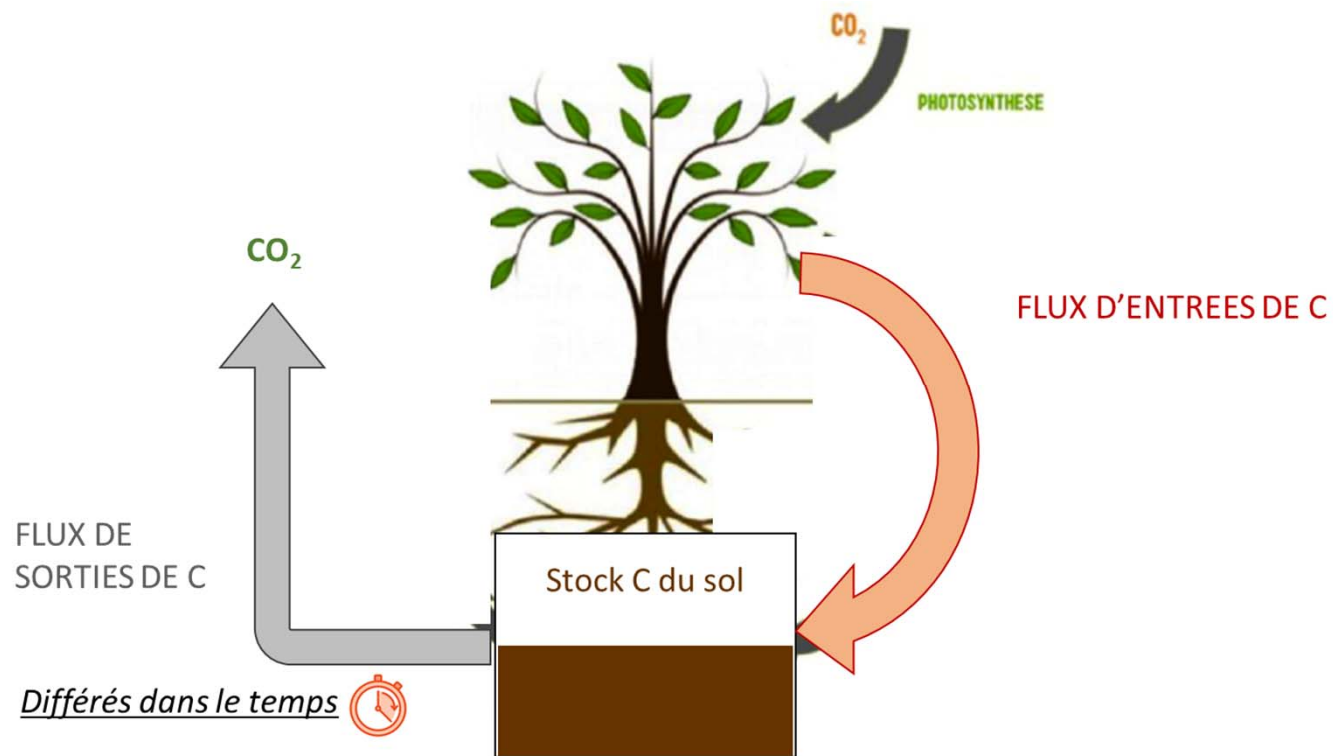


# COMPARTIMENTS STOCKEURS DE C



- Biomasse (aérienne + racinaire)
  - ✓ Pas d'exploitation du bois, ou bois construction, matériau => stockage long-terme
  - ✓ Bois chauffage => pas de stockage de C
- Sol

# QUEL IMPACT DES ARBRES SUR LE STOCK DE C DU SOL ?

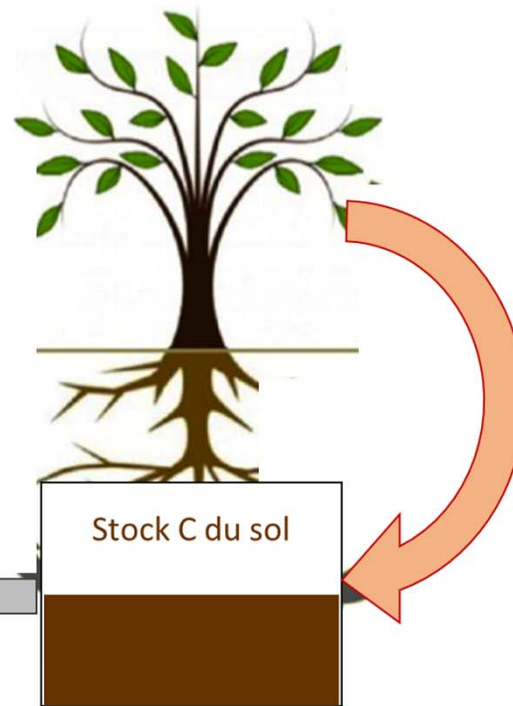
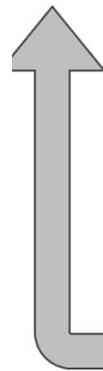


# QUEL IMPACT DES ARBRES SUR LE STOCK DE C DU SOL ?

## Vitesses de minéralisation plus faibles :

- Humidité, température du sol moins favorables
- Peu de perturbation du sol : formation de complexes sol-MO stables

CO<sub>2</sub>

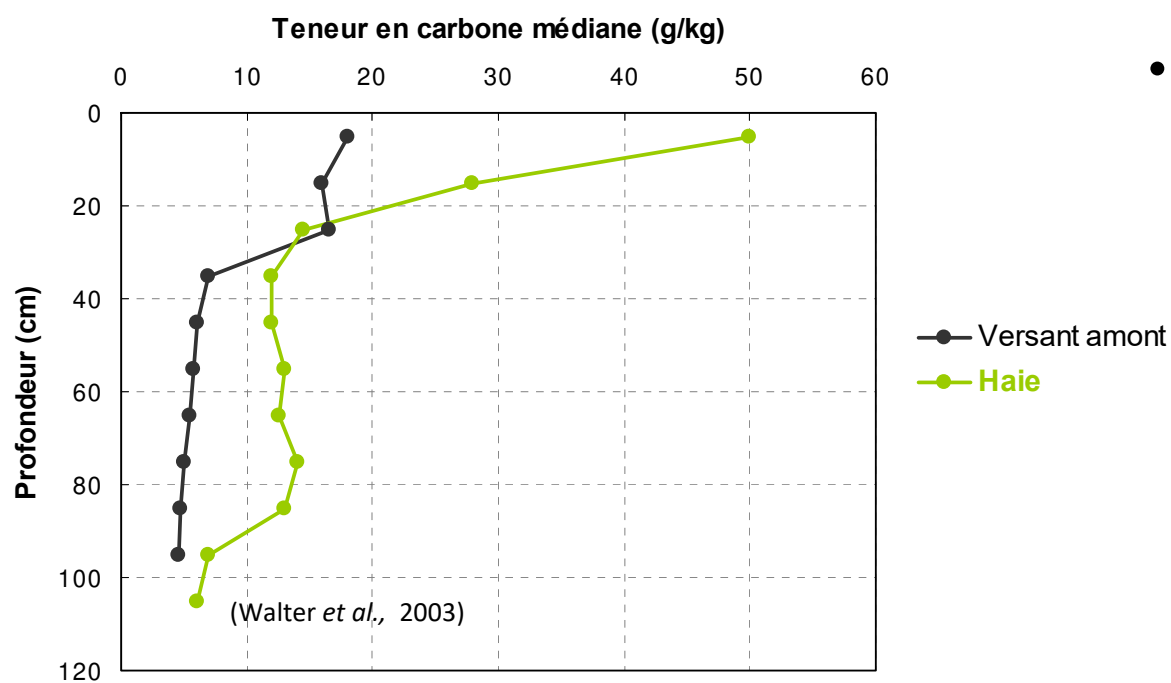


## Flux d'apport de C au sol importants :

- feuilles,
- résidus ligneux,
- racines,
- exsudats racinaire
- (apports par érosion)

# LES STOCKS DE C DU SOL AU VOISINAGE DES HAIES

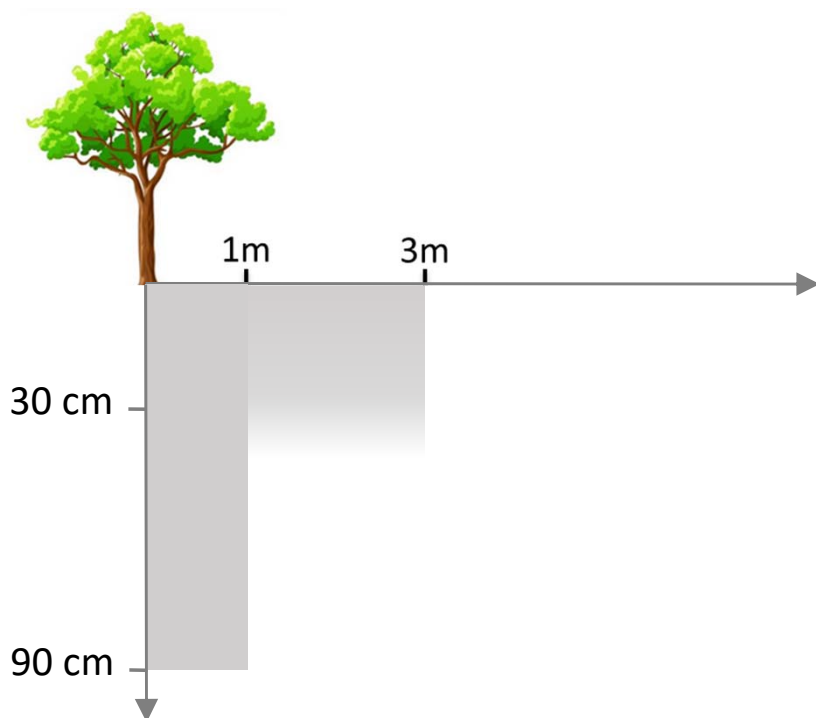
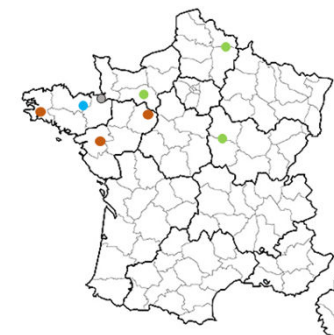
## DISTRIBUTION DU C DANS LE SOL SOUS UNE HAIE



- Plus de C dans le sol sous la haie qu'à distance de celle-ci

# LES STOCKS DE C DU SOL AU VOISINAGE DES HAIES

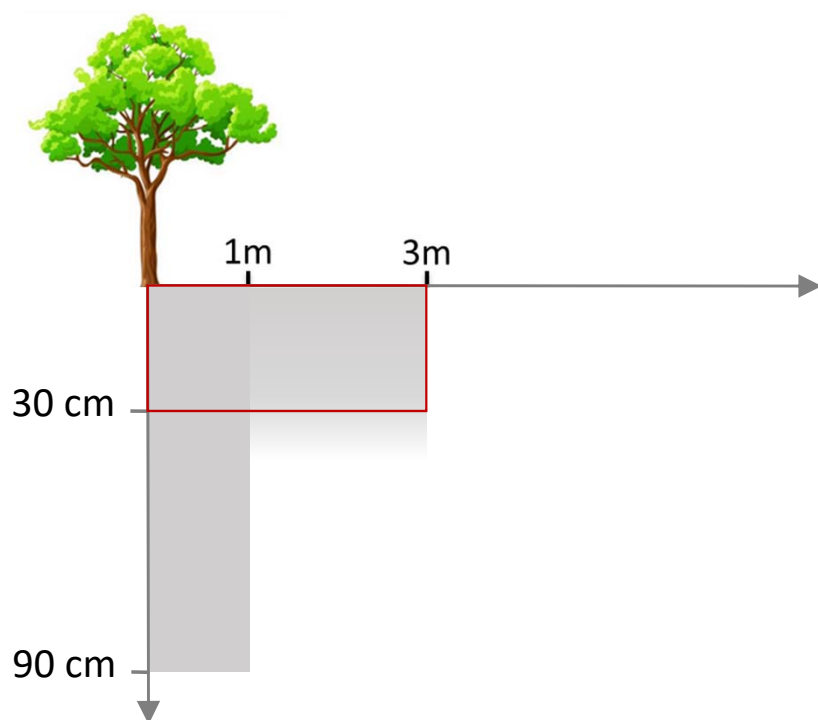
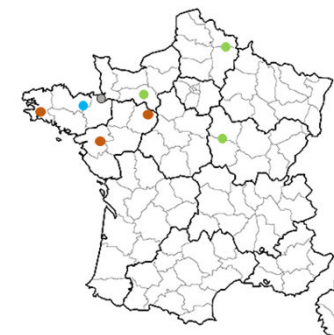
## DISTRIBUTION DU C DANS LE SOL SOUS UNE HAIE



- **Distance d'influence** d'une haie (en contexte peu érosif) : jusqu'à 3 m
- **Profondeur d'influence** :
  - Au moins 90 cm à proximité de la haie (< 1 m)
  - Profondeur de sol concernée moins claires entre 1 et 3 m

# LES STOCKS DE C DU SOL AU VOISINAGE DES HAIES

## DISTRIBUTION DU C DANS LE SOL SOUS UNE HAIE



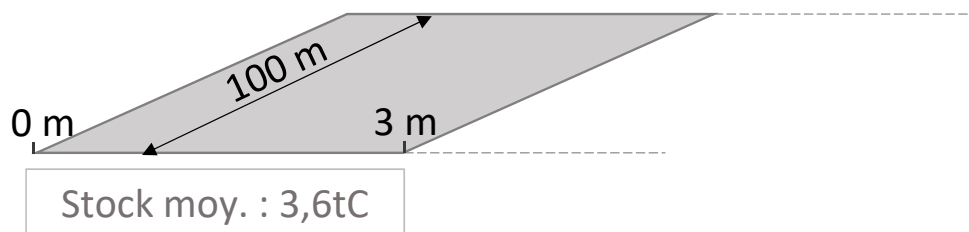
- **Distance d'influence** d'une haie (en contexte peu érosif) : jusqu'à 3 m
  - **Profondeur d'influence** :
    - Au moins 90 cm à proximité de la haie (< 1 m)
    - Profondeur de sol concernée moins claires entre 1 et 3 m
- 50% du C additionnel stockés dans les 30 premiers centimètres de sol

# LES STOCKS DE C DU SOL AU VOISINAGE DES HAIES

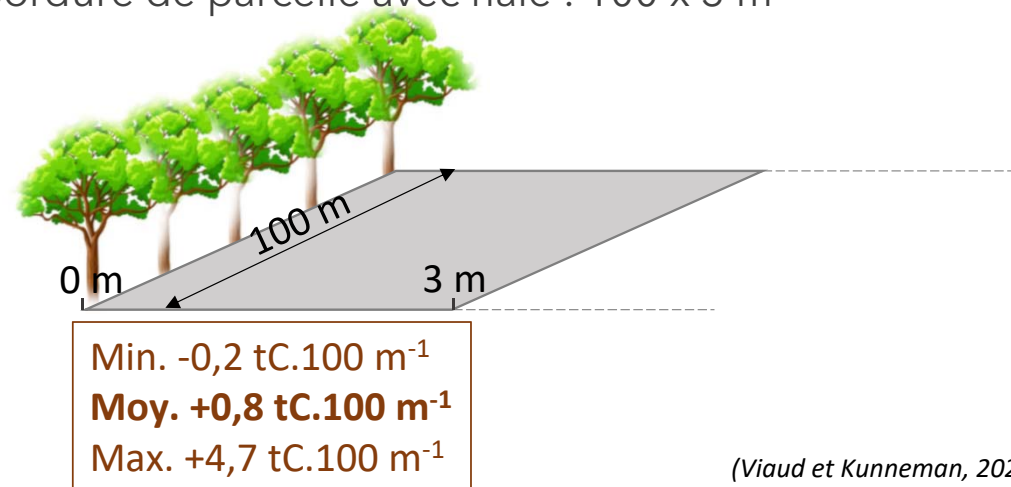
## COMBIEN DE CARBONE EN PLUS AVEC DES HAIES ?



Bordure de parcelle sans haie : 100 x 3 m



Bordure de parcelle avec haie : 100 x 3 m

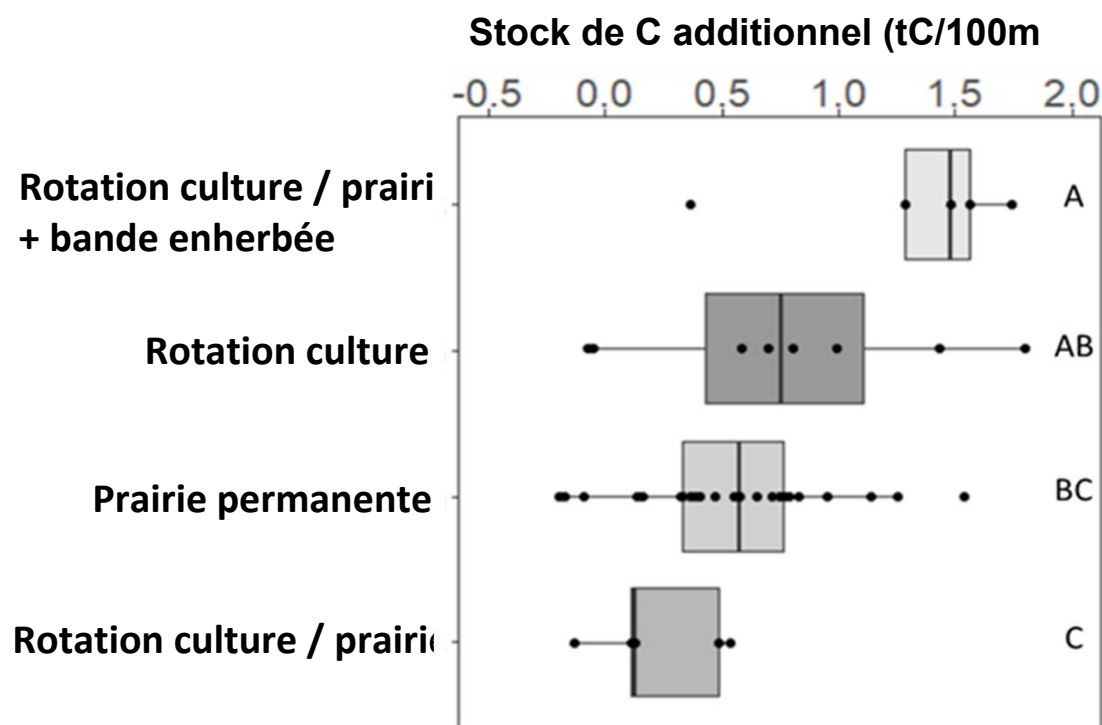
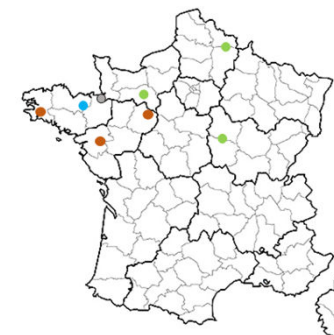


(Viaud et Kunneman, 2021 ;  
Lesaint et al., 2024)

- Localement : une augmentation de stock de 22% par rapport à une situation sans haie

# LES STOCKS DE C DU SOL AU VOISINAGE DES HAIES

## COMBIEN DE CARBONE EN PLUS AVEC DES HAIES ?

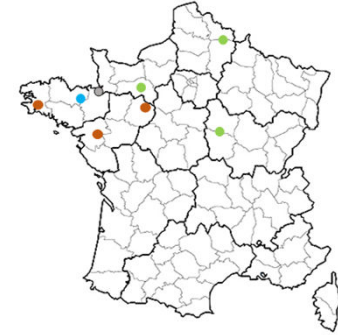


- L'effet additionnel de la haie sur le stock de C du sol, dépend de l'occupation du sol des parcelles adjacentes.

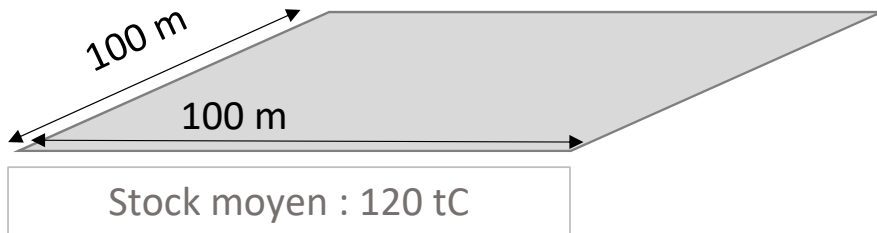
(Lesaint et al., 2024)

# LES STOCKS DE C AU VOISINAGE DES HAIES

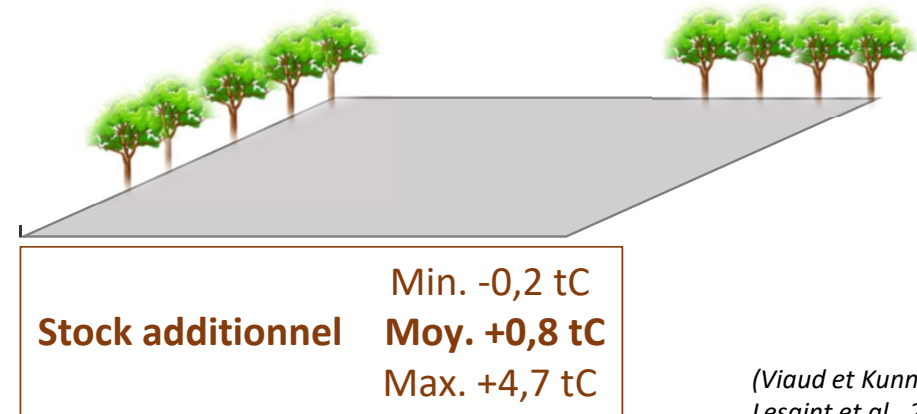
## COMBIEN DE CARBONE EN PLUS AVEC DES HAIES ?



Surface de 1 ha sans haie



Surface de 1 ha avec un linéaire de haies de 100 m



*(Viaud et Kunneman, 2021 ;  
Lesaint et al., 2024)*

- A l'échelle d'un paysage avec 100 m de haies par ha :
- une augmentation de stock de **0,6%** par rapport à une situation sans haie
  - en moyenne **+ 10 à 20 kgC/ha/an**

# LES STOCKS DE C AU VOISINAGE DES HAIES

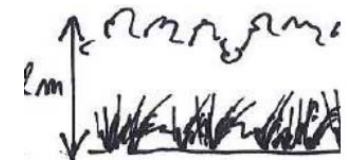
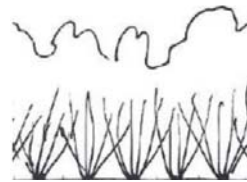
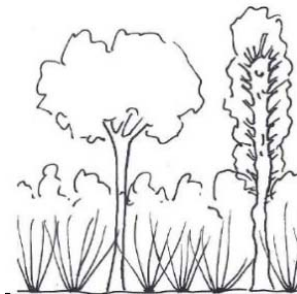
## COMBIEN DE CARBONE EN PLUS AVEC DES HAIES ?

	Pratique	Stockage additionnel (kC/ha/ha)
En succession de cultures	Semis direct	+60
	Cultures intermédiaires	+126
	Insertion, allongement des prairies temporaires	+114
En prairies	Intensification modérée	+176
	Remplacement fauche par pâture	+265

*Source Pellerin et al. (2019)*

# STOCKAGE DE C DANS LA BIOMASSE

## UN EFFET DU MODE DE GESTION DES HAIES

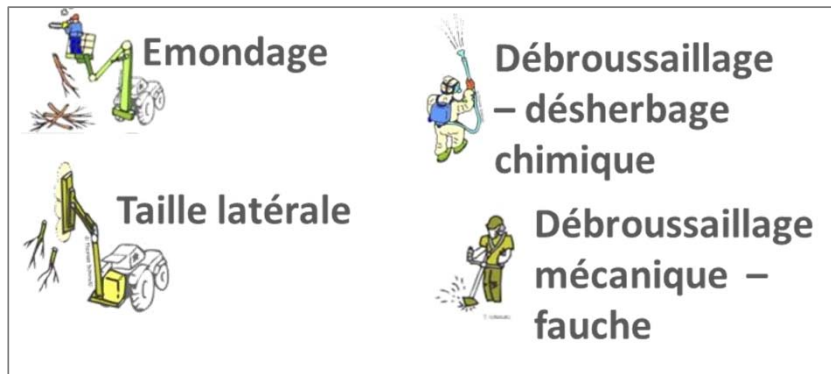


Stockage de C (kgC/100m/an)	Haie pluristrates	Haie de taillis	Haie de futaie	Haie arbustive
Racine	49	87	74	11
Biomasse aérienne exploitée	120	311	132	0
Biomasse aérienne non exploitée	52	0	132	38

# LES STOCKS DE C AU VOISINAGE DES HAIES

## UN EFFET DU MODE DE GESTION DES HAIES DIFFICILE À ÉVALUER

- Une diversité de combinaisons et d'intensité de pratiques : tailles des ligneux, de gestion du pied de haie,...



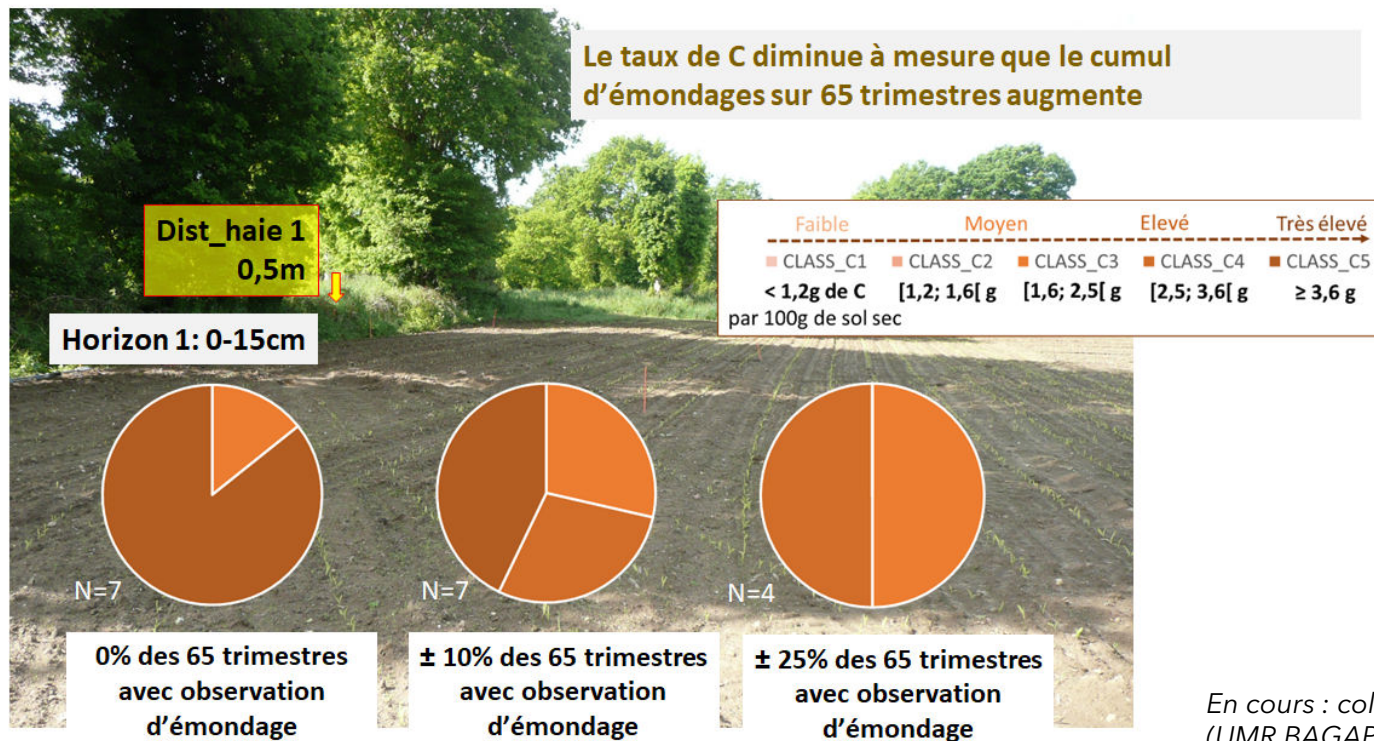
Source C. Thenail



# LES STOCKS DE C AU VOISINAGE DES HAIES

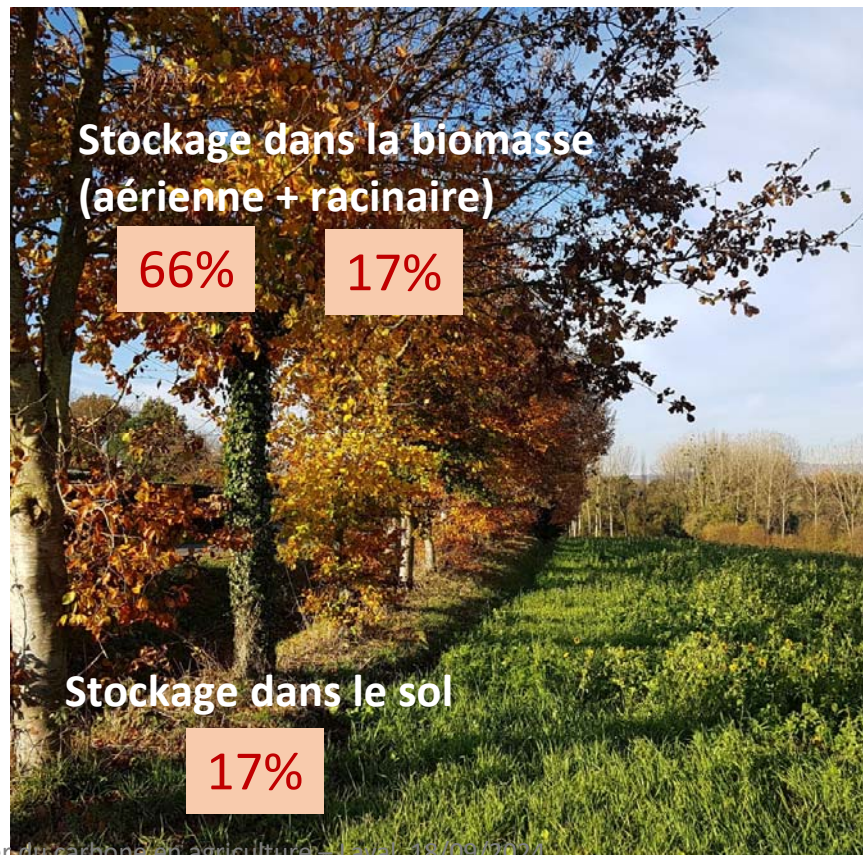
## UN EFFET DU MODE DE GESTION DES HAIES DIFFICILE À ÉVALUER

Exemple de résultat : teneur en C dans le sol à l'aplomb des arbres en fonction du cumul d'émondages



# STOCKAGE DE C DANS LA BIOMASSE

## RÉPARTITION DU CARBONE ENTRE SOL ET BIOMASSE



Pour une haie non-  
exploitée en bois énergie,  
3 à 7 tC stockées pour 100  
m linéaires

# CONCLUSION

## DES ENJEUX FORTS DE STOCKAGE DE C EN AGRICULTURE

### LES HAIES

- Un levier de stockage de C dans la durée, si elles sont maintenues en place et/ou entretenues, renouvelées
- Un levier à articuler avec d'autres leviers de stockage de C
- Une fonction de stockage de C à penser en complémentarité d'autres fonctions / intérêts des haies (ex : paysage, biodiversité, protection du bétail, production complémentaire)



## POUR ME CONTACTER

Valérie Viaud

INRAE UMR SAS – Rennes

[valerie.viaud@inrae.fr](mailto:valerie.viaud@inrae.fr)

