



# Le stockage de C pour répondre aux enjeux climatiques – les pratiques agricole

Katja Klumpp et al.

Grassland Ecosystem Research Unit,  
Clermont Ferrand, France





## Context

- **Quelques bases** sur la de séquestration

définition du vocabulaire: cycle C , matière organique

- **Effet des pratiques** sur séquestration de C ;

- Cultures intermédiaire
- Fertilisation
- Prairies
- mode de l'utilisation, et intensité d'utilisation

# Le climat en France en 2050

(Comparaison à la période 1976-2005)



**+2,2 °C**

de hausse des  
températures moyennes  
en France.



**5 à 15 jours**

de vagues de chaleur  
en plus selon un axe  
nord-ouest/sud-est.



**- 10 %**

des cumuls de pluie en été.  
Les sécheresses sont plus  
longues en été jusqu'à 5 à  
10 jours supplémentaires.



**-20 % à -50 %**

d'épaisseur de neige  
en moyenne montagne  
à l'horizon 2050.



**10 à 20 jours**

de gel en moins, d'ouest en  
est du pays et en montagne.

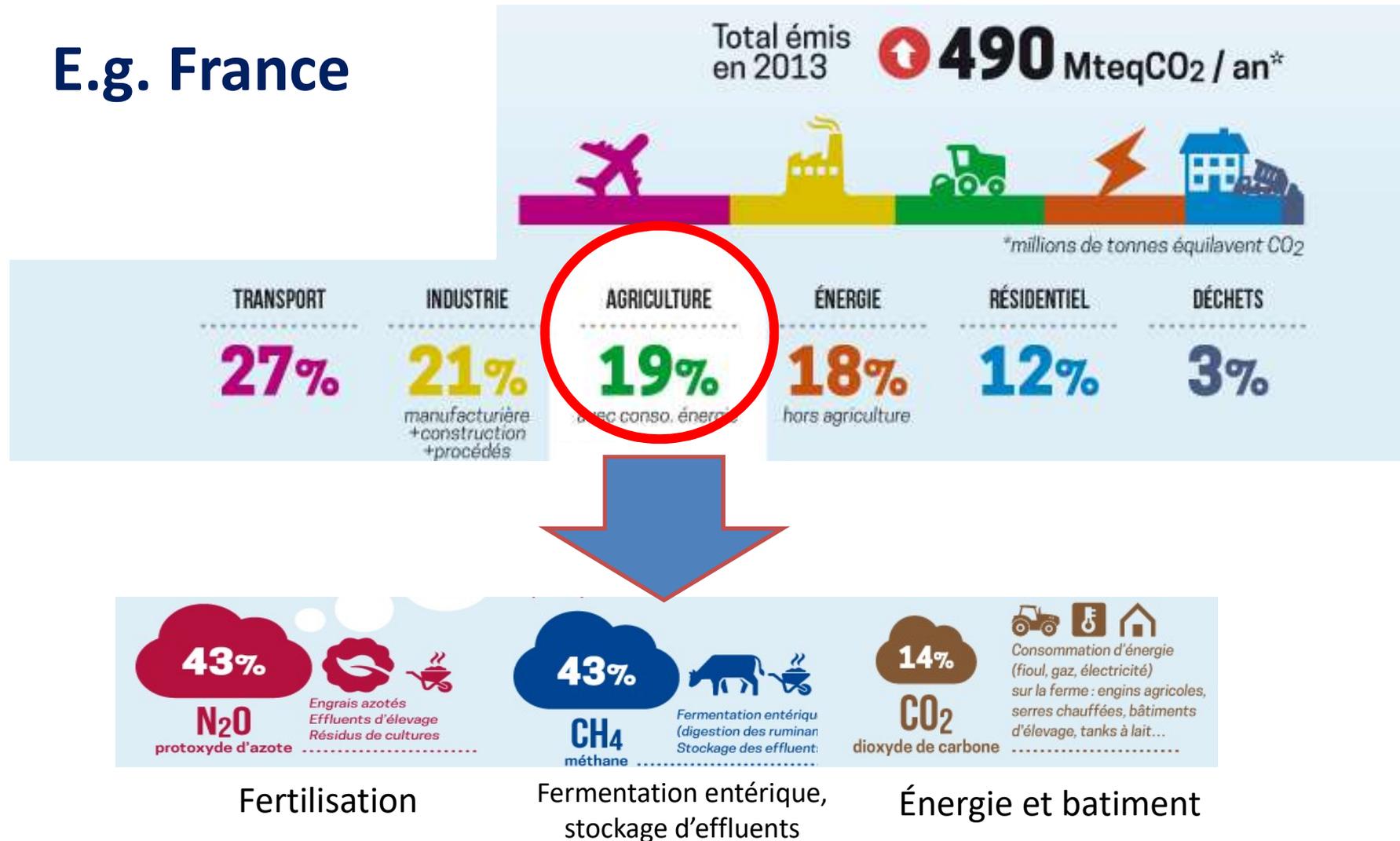


**10 à 20 nuits**

tropicales en plus sur la  
moitié nord de la France,  
et jusqu'à 50 nuits sur les  
régions méditerranéennes.

- Le secteur de l'agricole est responsable d'environ 19 % de toutes les émissions anthropiques de GES (Citepa 2020)

E.g. France

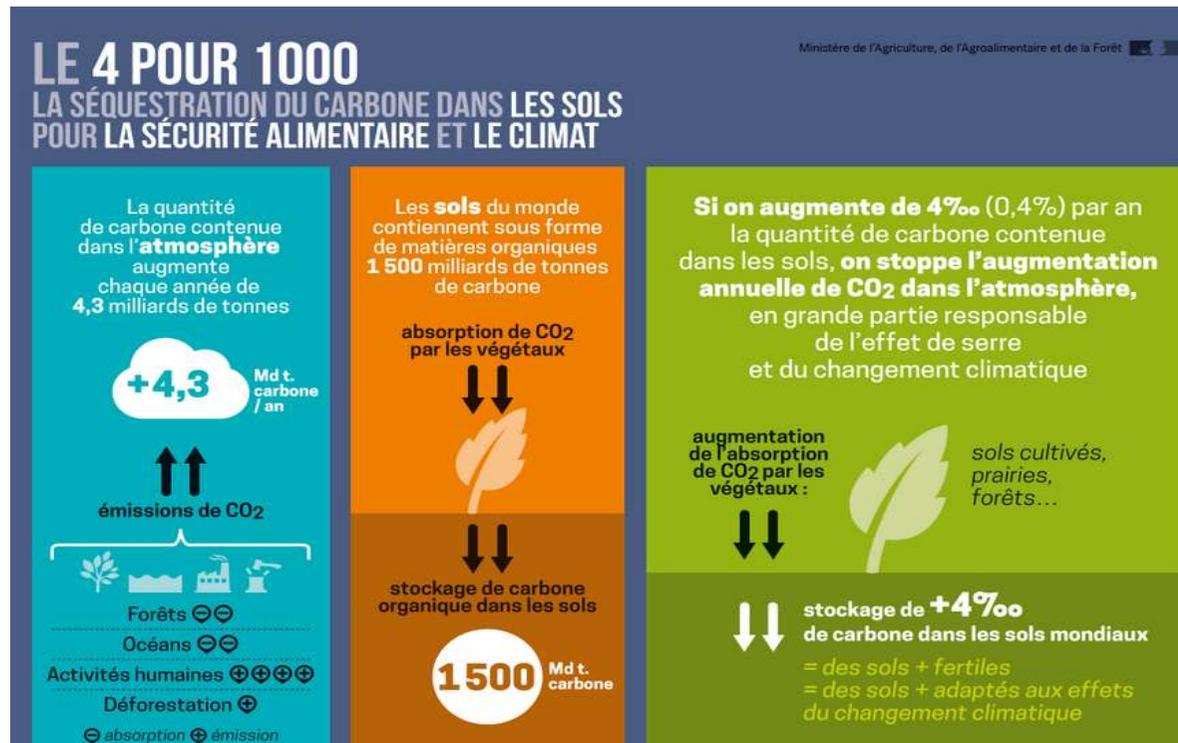


- **Capter le CO<sub>2</sub> atmosphérique et le stocker dans la végétation et le sol**



## COP21 (2015)

- La initiative **"4 pour mille »** pour la **sécurité alimentaire** et le climat" a été lancée dans le but d'augmenter les stocks de matière organique des sols de 4 pour 1000 (ou 0,4 %) par an.



L'initiative vise à montrer que **l'agriculture, et en particulier les sols agricoles, peuvent jouer** un rôle crucial pour la sécurité alimentaire et le changement climatique **limiter la hausse des températures à + 2°C**

# Le stockage de C pour répondre aux enjeux climatiques – les pratiques agricole



**Eviter des sols nu**



**Culture intermédiaire**



**Agroforesterie & Haies**



**Gestion des prairies**



**Restauration des surfaces dégradé**

**Fertilisation Organique**



**Agroecologie**

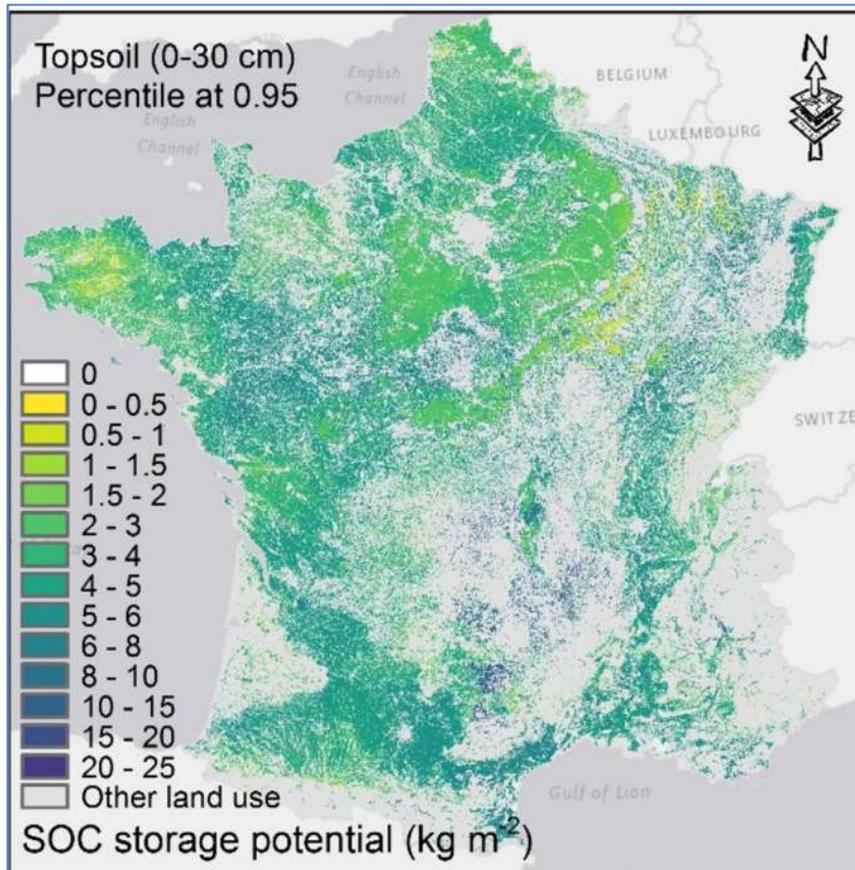


**Travail du sol**

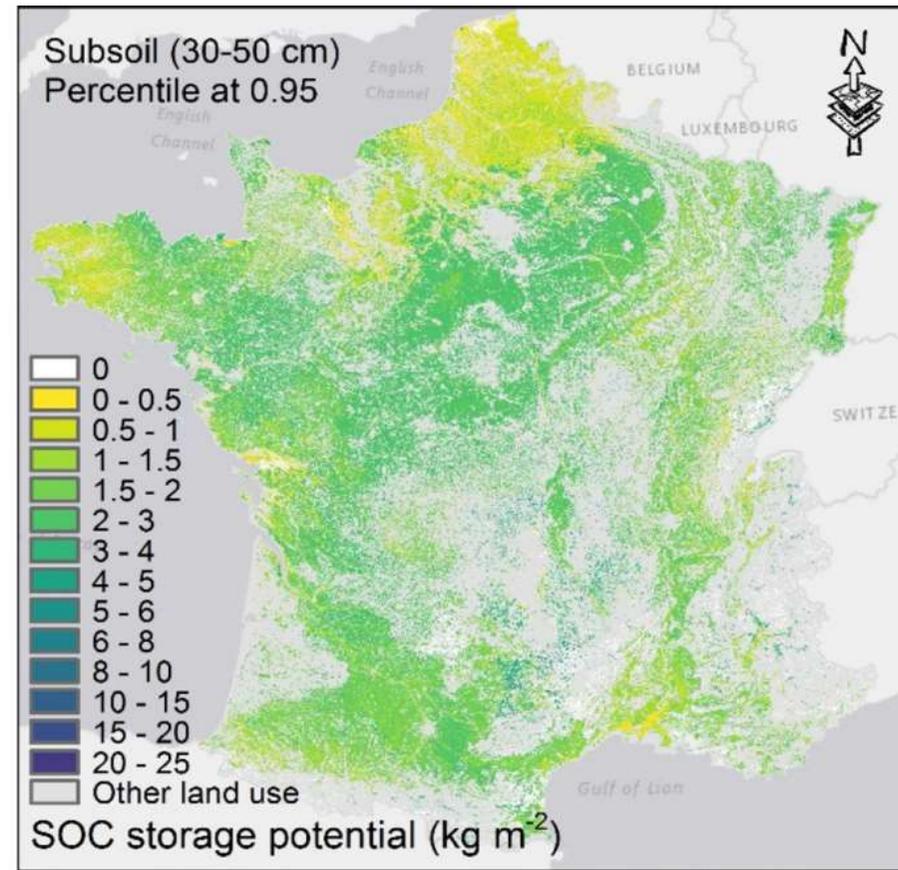


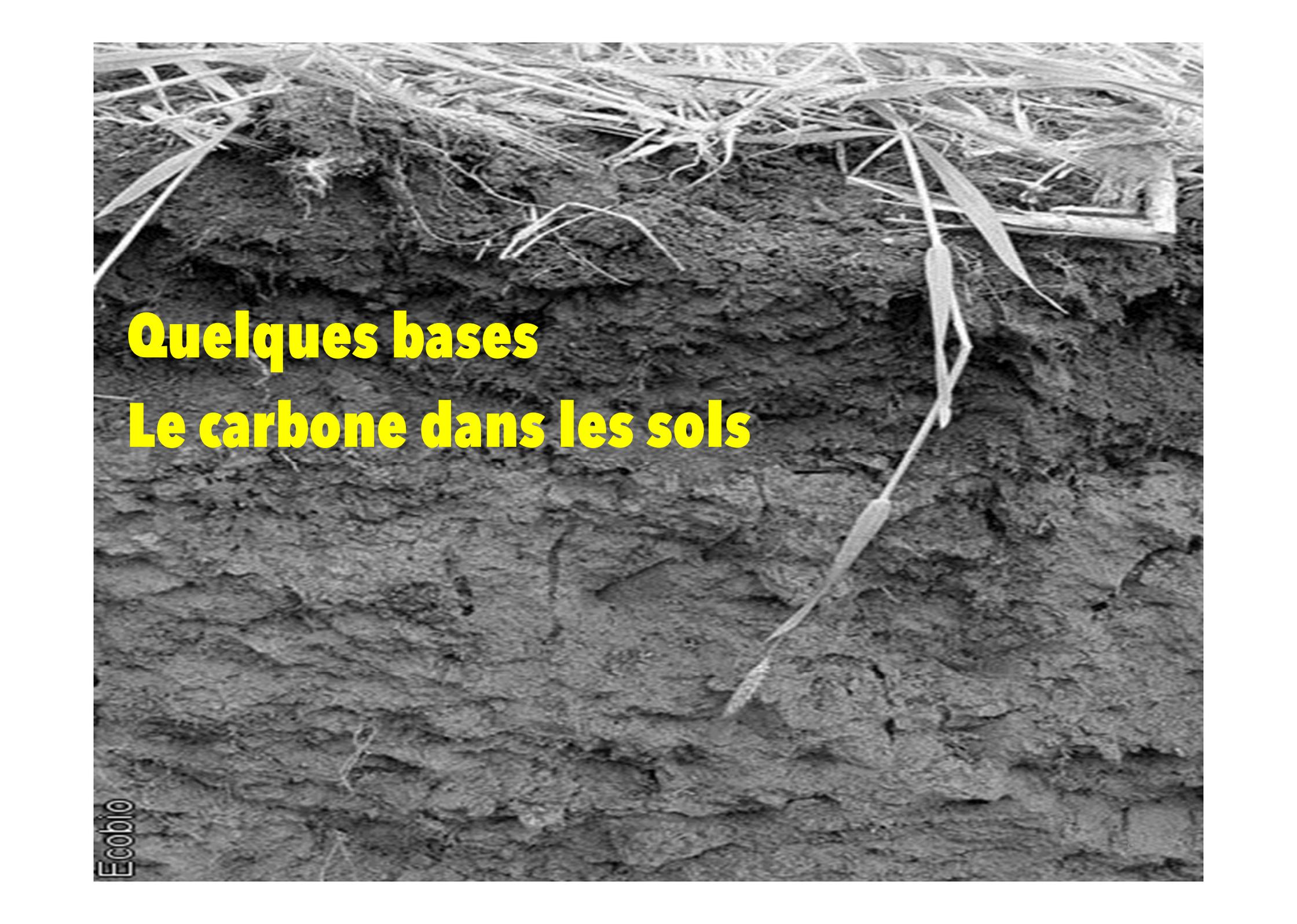
# Combien de carbone organique peut on encore stocker dans le sol ?

## 0-30cm



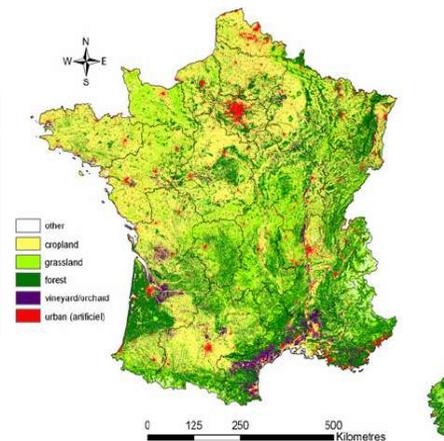
## 30-50cm



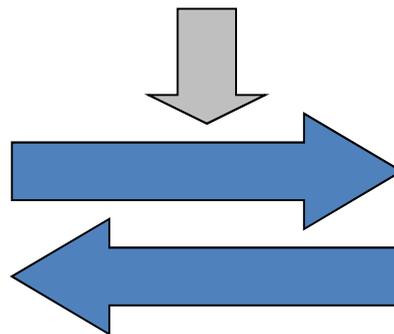
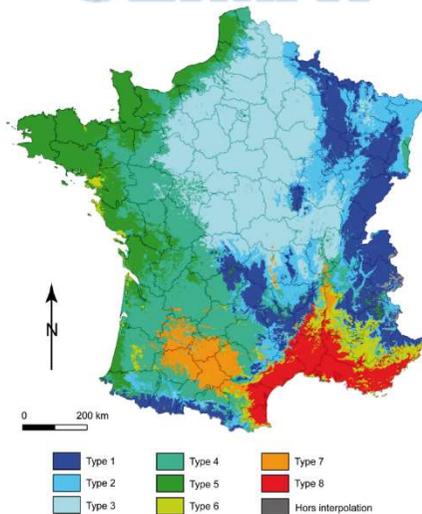
A black and white photograph showing a cross-section of soil. The top layer is dark and rich, with numerous plant roots extending downwards. The soil below is lighter and more textured, showing signs of cracking and erosion. The overall scene is a close-up of the soil's structure and root system.

**Quelques bases**  
**Le carbone dans les sols**

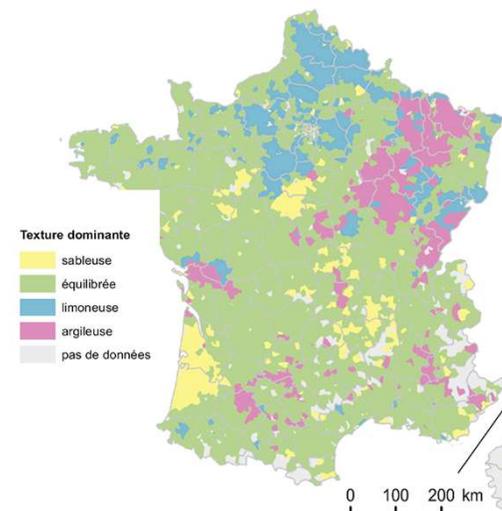
- Sur le long term le stock de C (héritage) dépend de



**CLIMAT**

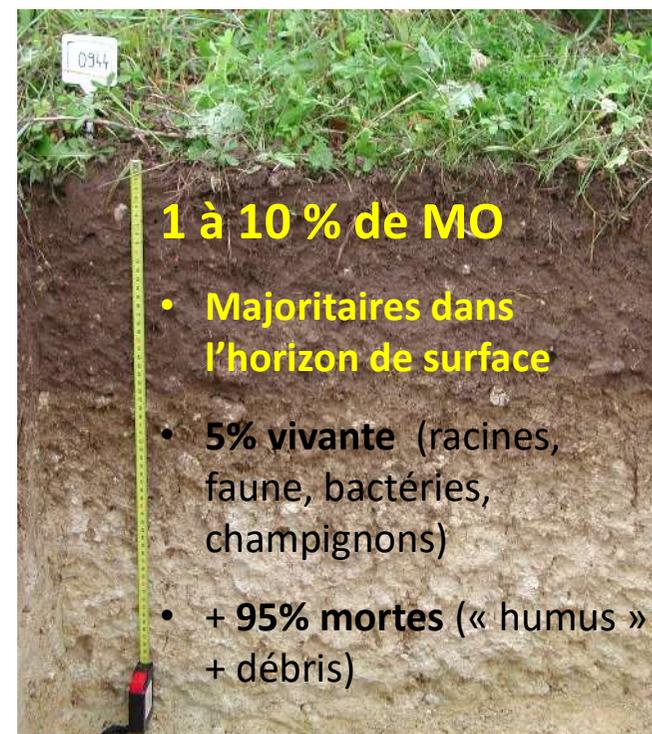


**Type de Sol**

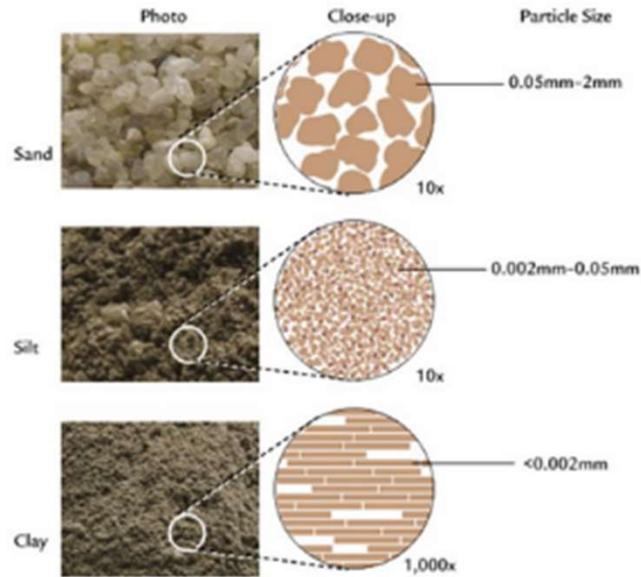


## Le stock de carbone (C) du sol : de quoi parle-t-on?

- Le Stock du carbone du sol fait souvent référence au **carbone organique** du sol (SOC)
- Le SOC est étroitement lié à la quantité de **matière organique** dans le sol (matière organique du sol) ( $SOM = SOC \times 1,72$ )
- Les **matières organiques (MO)** = composés carbonés **d'origine végétale et animale**
- Elles sont alimentées **par les entrées de C** Litière, racines, fertilisation org, pâturage ...

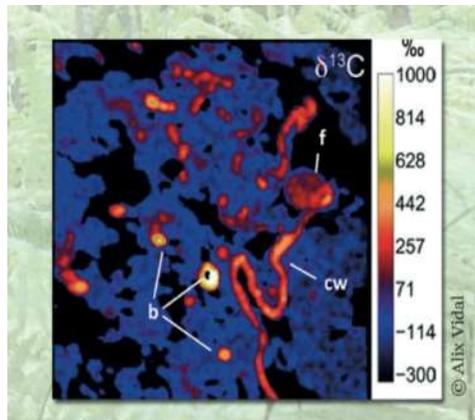
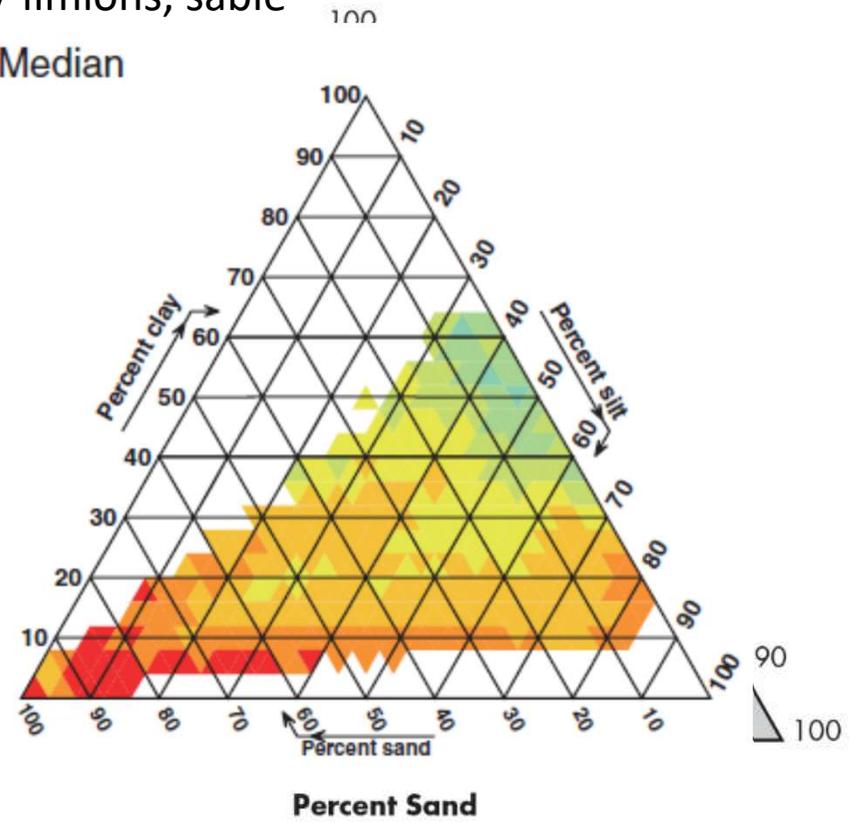


# C stock dépend de la texture du sol

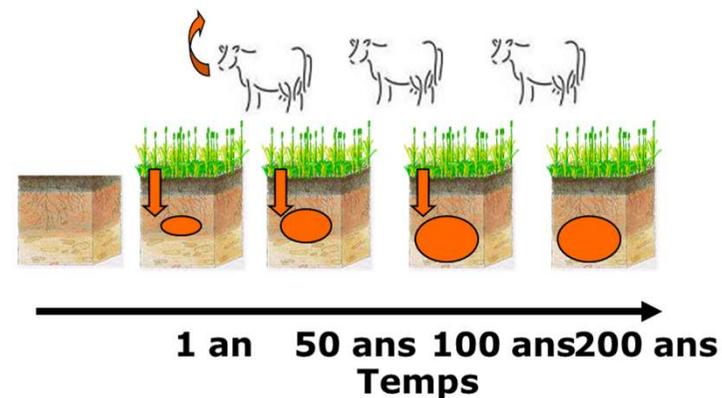
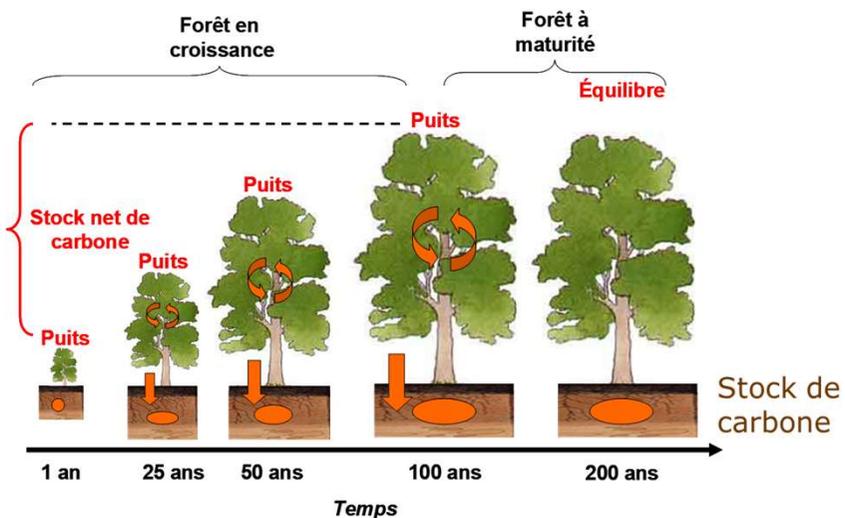


argile, / limions, sable

Median

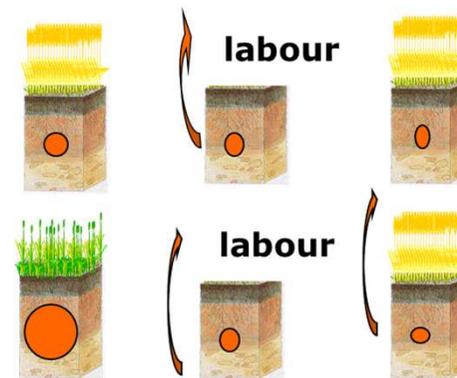


## C stock dépend de l'utilisation de terra

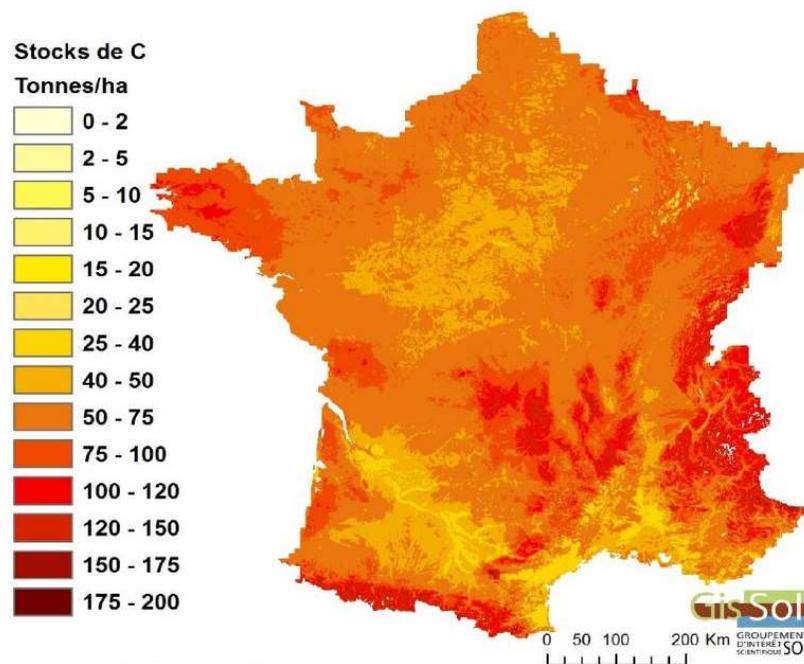
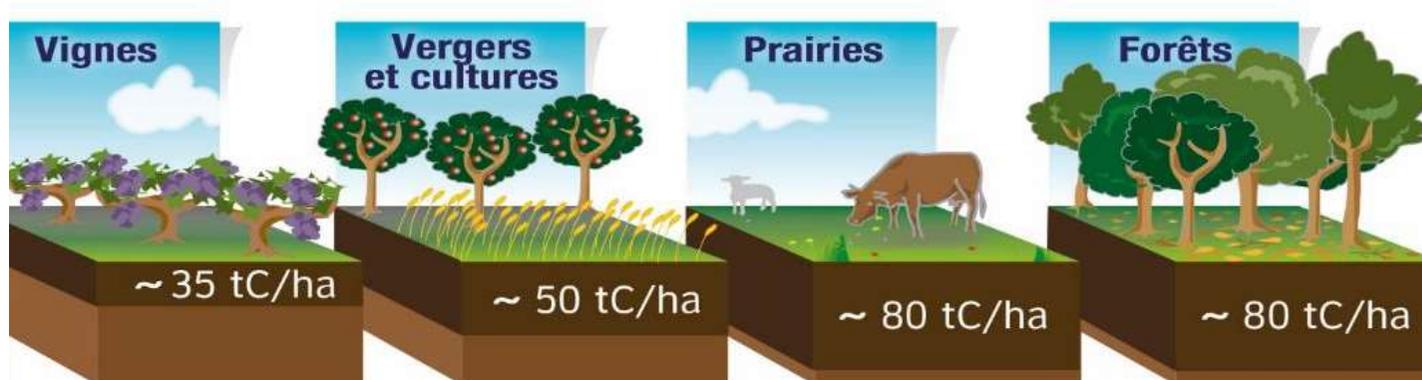


**Forêt et Prairies = puits de carbone...**

**Les grandes cultures = source**  
faible/ forte de carbone



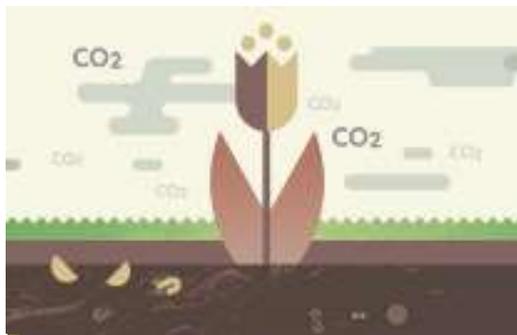
# Le stock de carbone moyenne selon le usage historique du sol



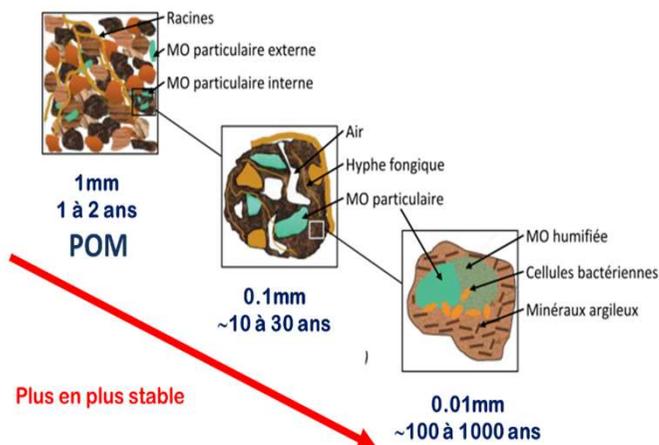
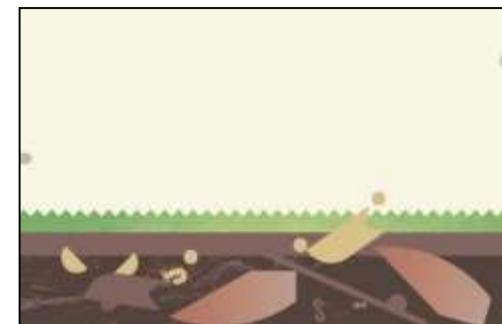
A black and white photograph showing a cross-section of soil. The top layer is dark and appears to be rich in organic matter, with numerous plant roots extending downwards. A single plant stem with several long, narrow leaves is visible on the right side, extending from the surface into the soil. The soil below the top layer is lighter in color and shows signs of cracking and erosion.

**Mécanismes impactant la  
dynamique du C des sols**

# • Cycle long du carbone organique



Chaque année, 30% de ce dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) est absorbé par les plantes grâce au processus de **photosynthèse**.



Jones & Donnelly 2004



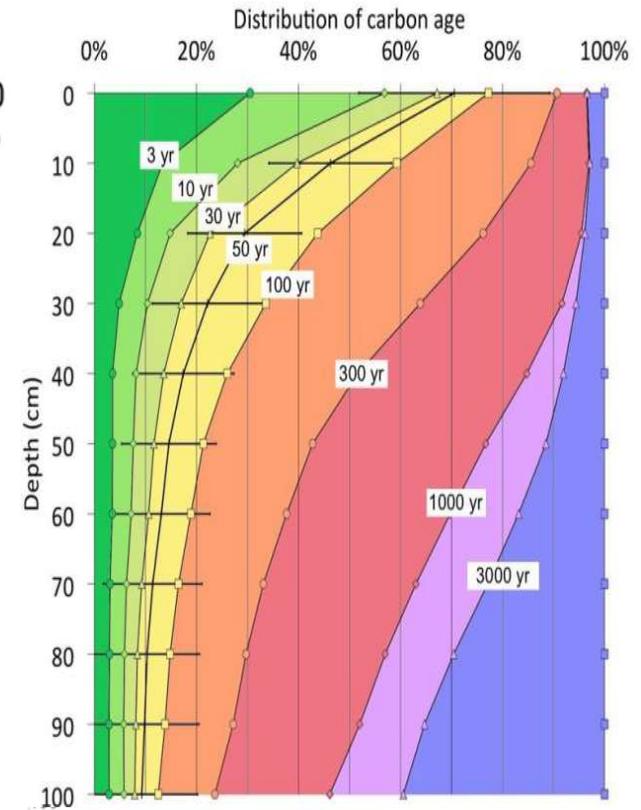
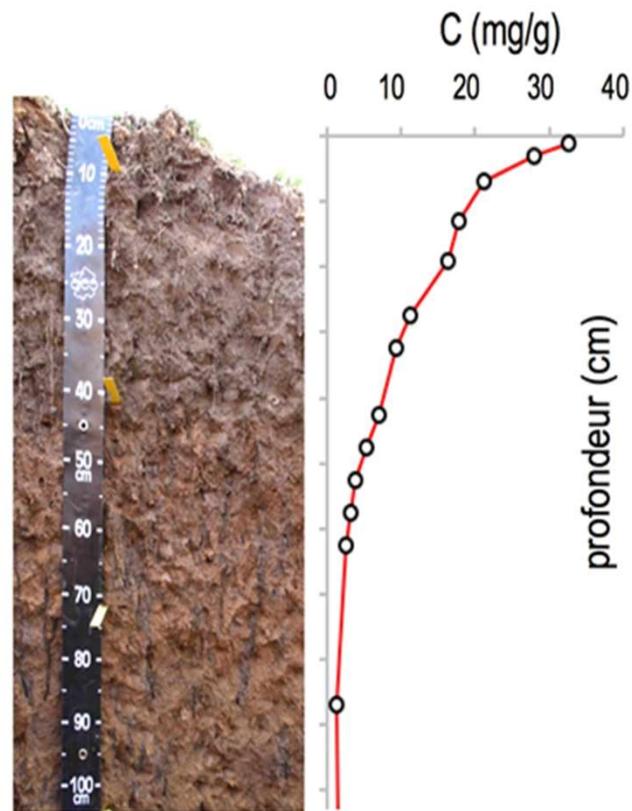
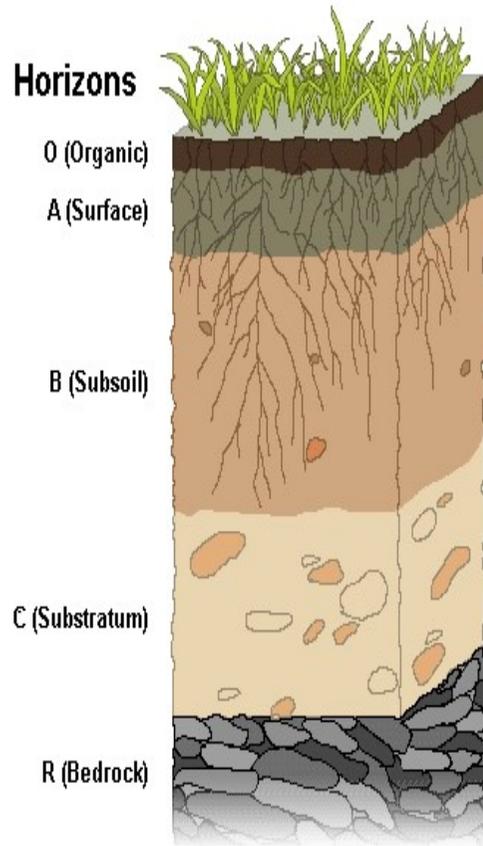
Ensuite, lorsque les plantes meurent et les organismes vivants du sol, tels que les bactéries, les champignons ou les vers de terre, les transforment et décomposent, en **matière organique du sol**.

.....constitution de l'humus et du stock de C organique du sol



**Combien du temps le  
carbone organique reste-  
t-il dans le sol,  
notamment dans  
horizons profonds?**

# La distribution verticale du carbone organique de ce sol distribution courante des âges du carbone

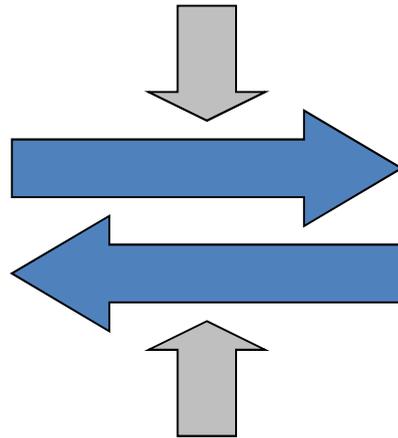


(Balesdent *et al.* (2018)).

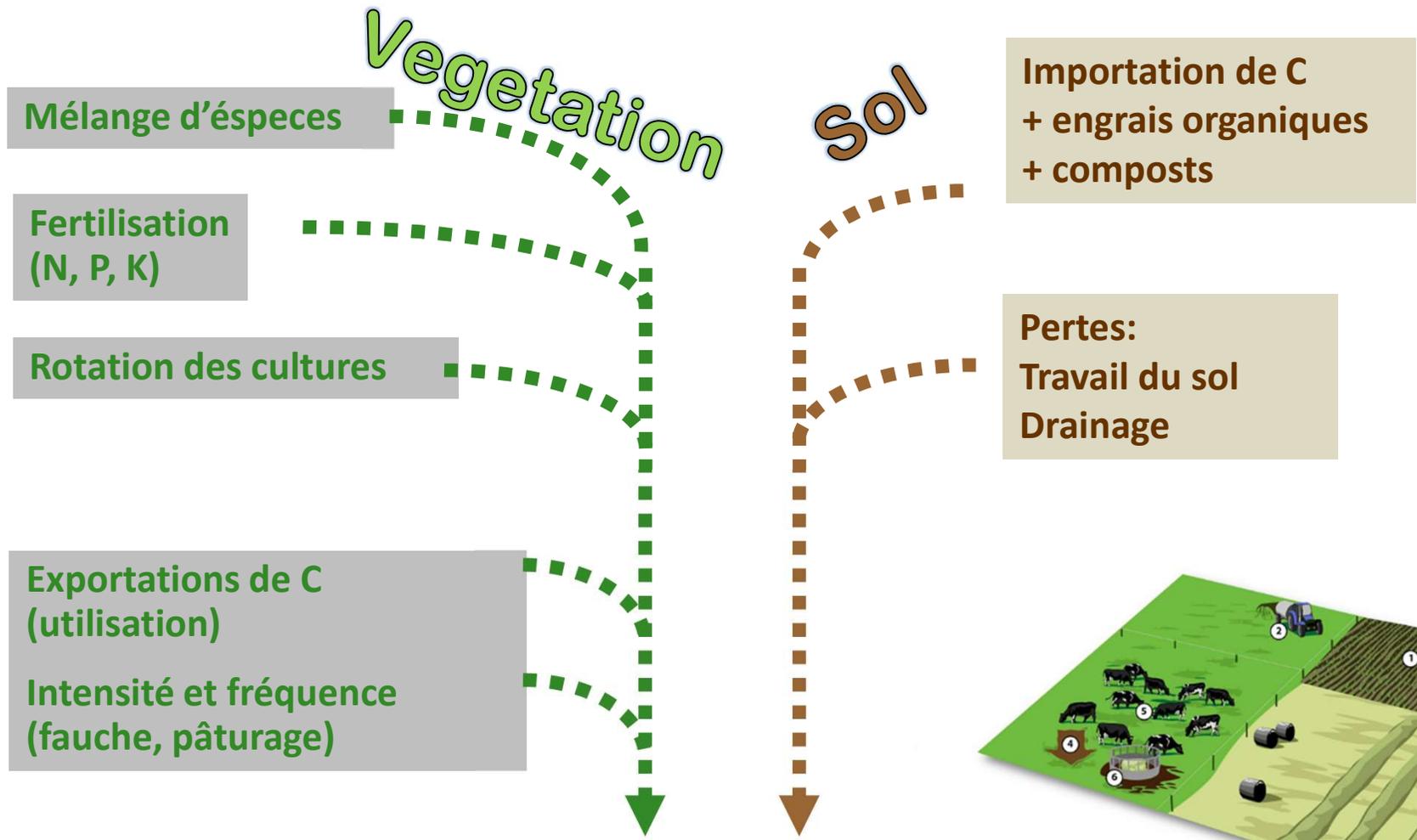
A black and white photograph showing a cross-section of soil. The top layer consists of dry, tangled plant matter, likely grass or straw. Below this, the soil is dark and appears to be rich in organic matter. Several plant roots and stems are visible, extending downwards from the surface layer into the soil. The soil surface shows some cracking and uneven texture.

**Quels sont de facteurs et modes de gestion qui favorisent le stockage du carbone ?**

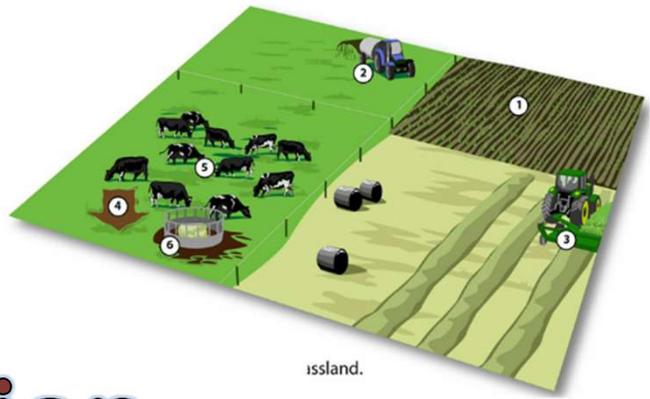
# Formation de stock du carbone à long terme



# Effet de la gestion



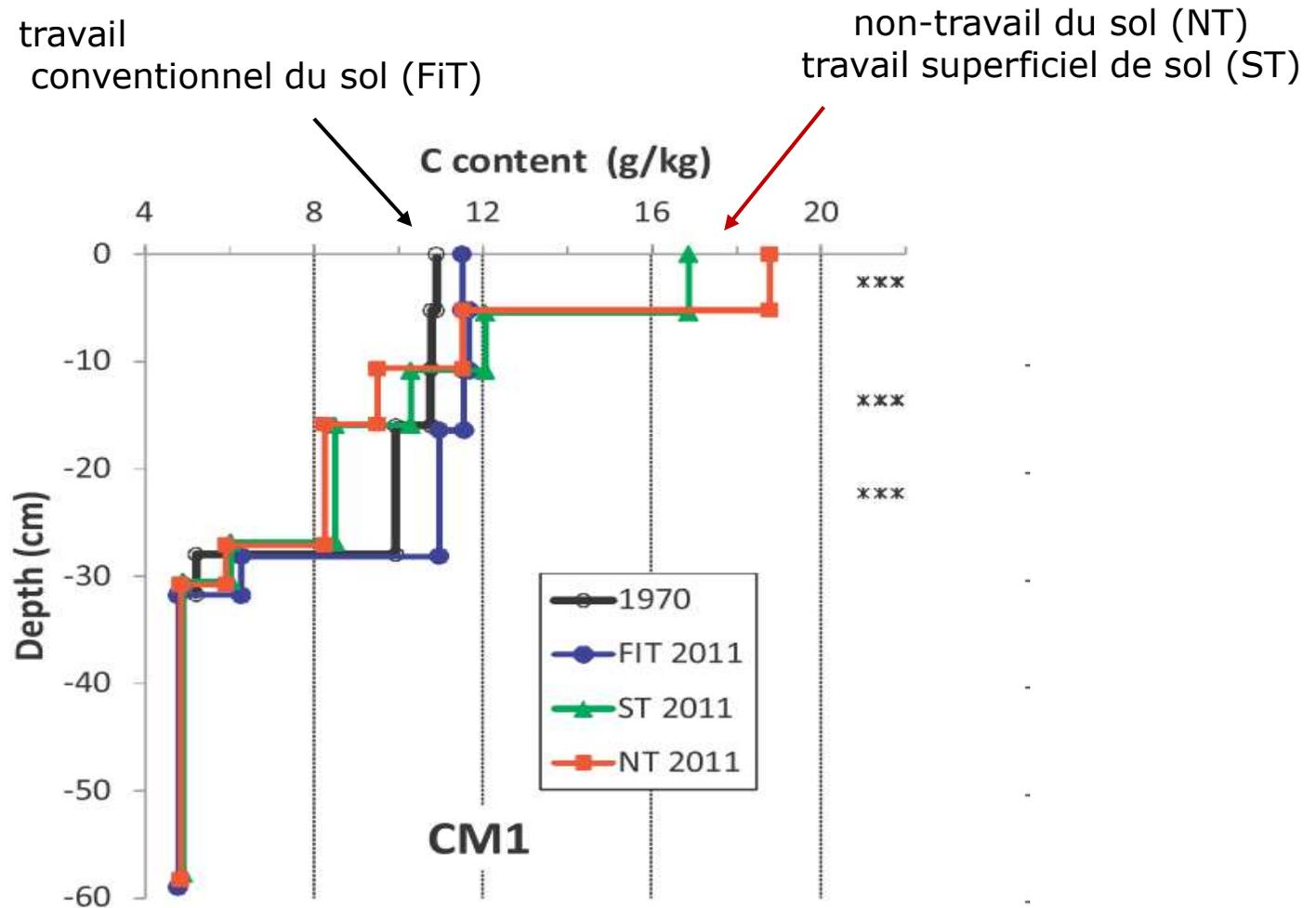
## C séquestration



# Travail du sol



# Gestion affectant la séquestration du carbone - (Non-) Travail du sol



Séquestration C

Dimassi et al 2014 Luo et al. 2010 AGEE  
Meta analyses (69 sites)

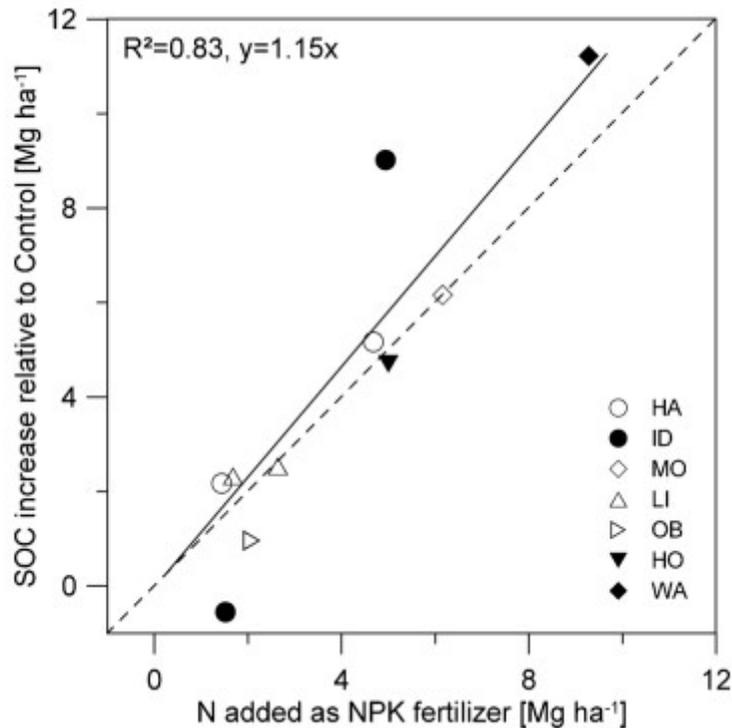
# Fertilisation



- Séquestration de carbone liée à la fertilisation NPK

Par engrais ajouté

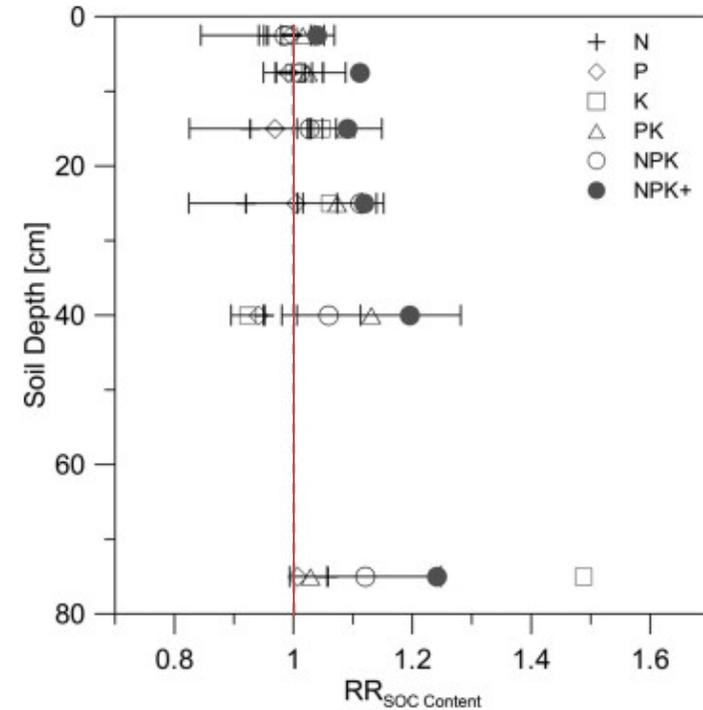
Séquestration C



(Pöpleau *et al.* 2018. AGEE)

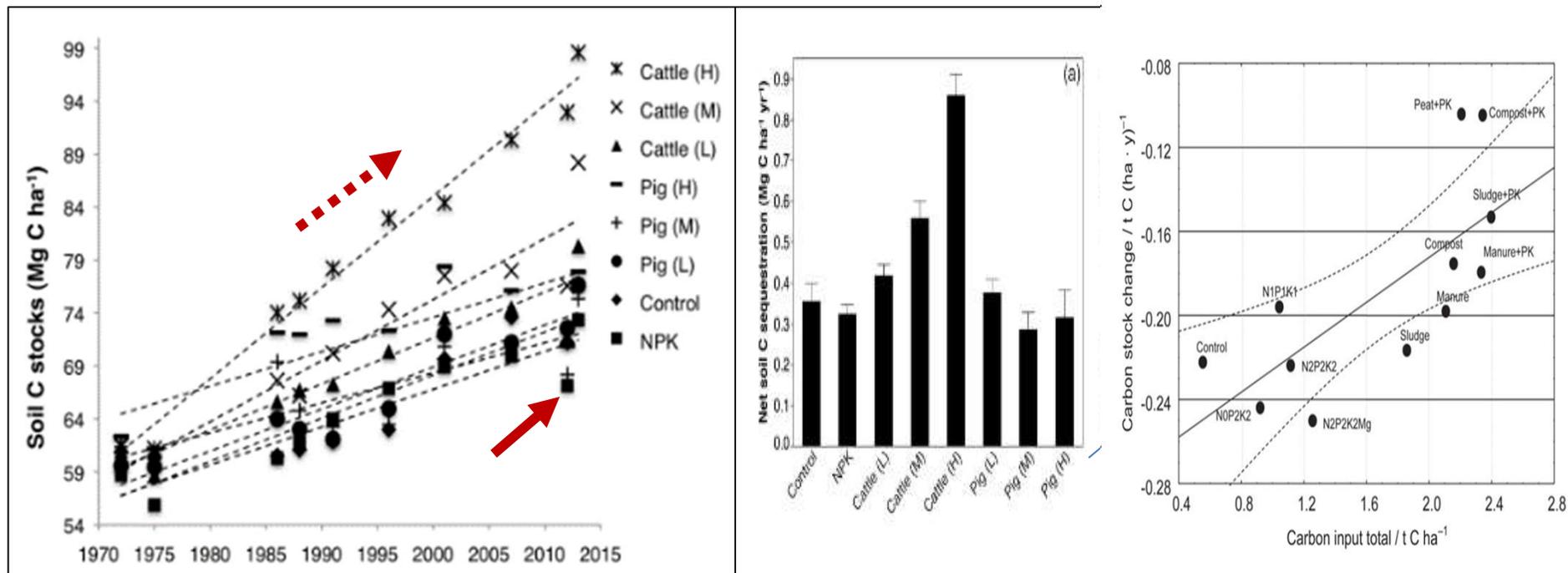
- L'ajout de N augmente la séquestration du C,
- **1,15 kg de N** était nécessaire pour séquestrer 1 kg de SOC.

Avec profondeur du sol



- L'ajout de N augmente la séquestration du carbone également dans les couches plus profondes du sol.

## La séquestration du carbone est liée à la fertilisation organique



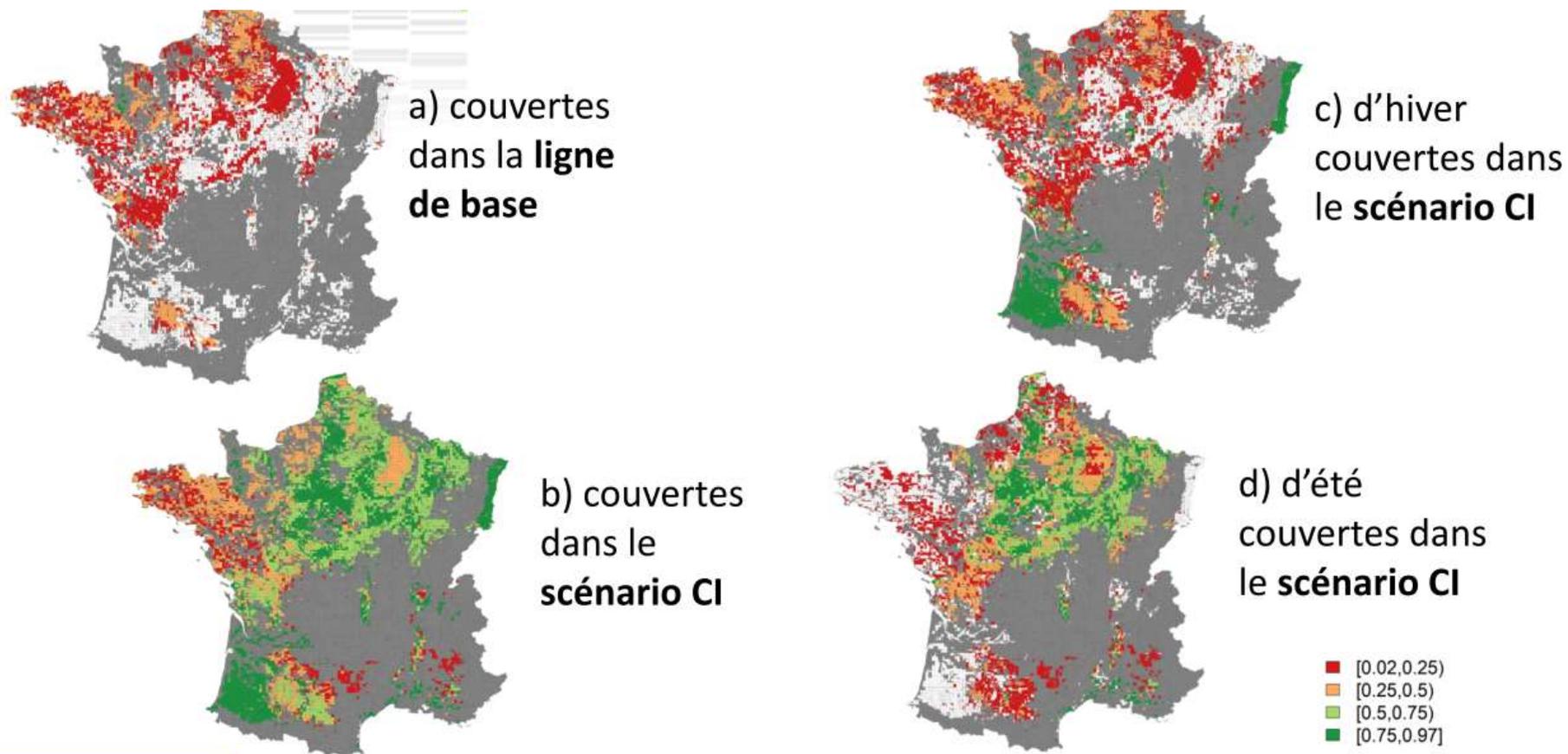
- Les lisiers de bovins offrent des **taux de séquestration de C plus élevés** que les lisiers de NPK et de porcs.
- **Les engrais minéraux** ont également un potentiel de séquestration du carbone, mais il faut tenir compte des émissions de N<sub>2</sub>O dues à la fabrication des engrais.

# Cultures intermédiaires



# "Insertion et allongement des cultures intermédiaires"

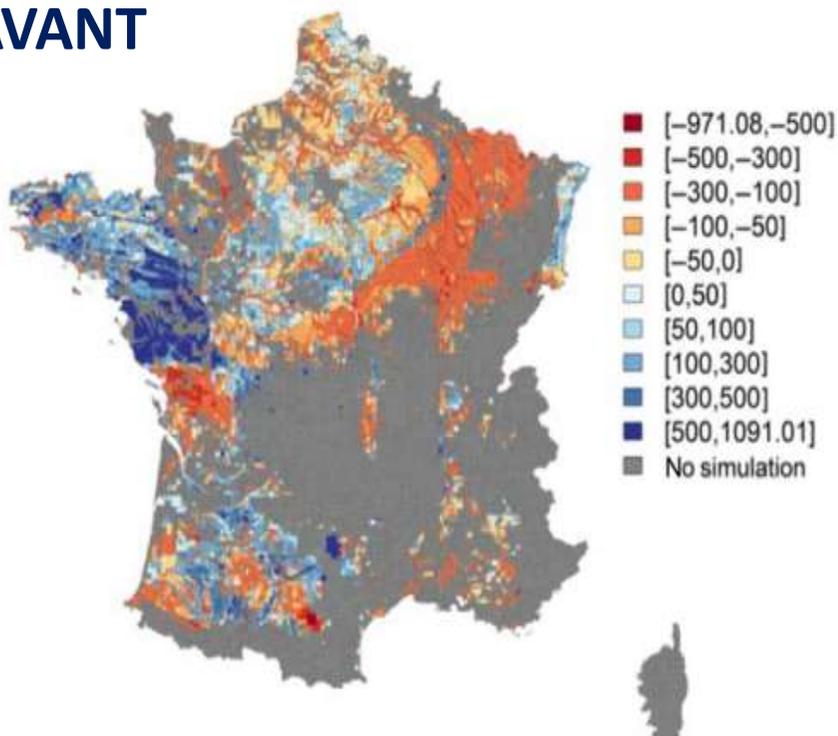
## Taux de cultures intermédiaires dans la rotation



# "Insertion et allongement des cultures intermédiaires"

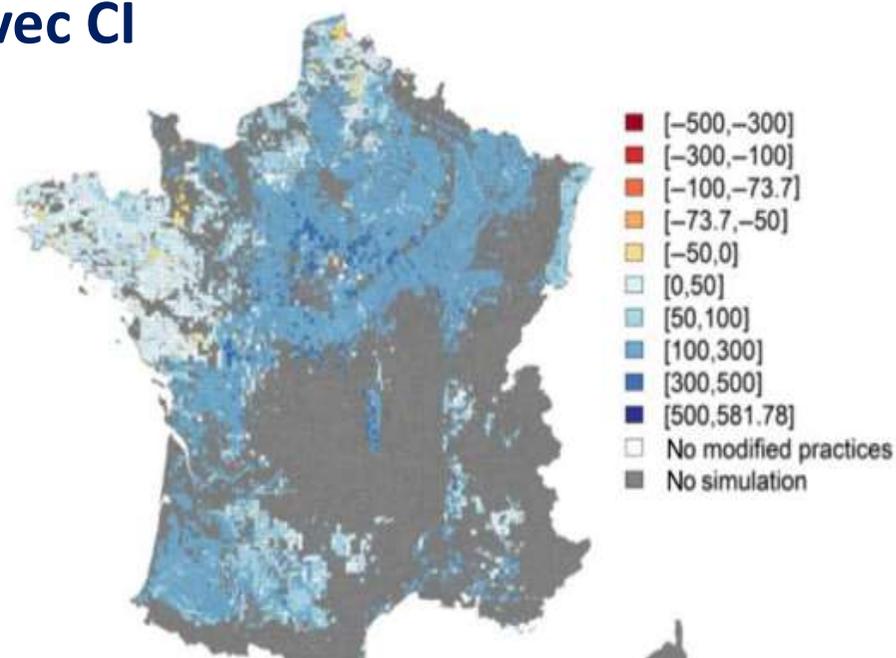
Stockage additionnel absolu (kgC/ha/an) sur 0-30 cm avec le scénario

AVANT



**Cultures:**  
**-59 ( $\pm 160$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

Avec CI



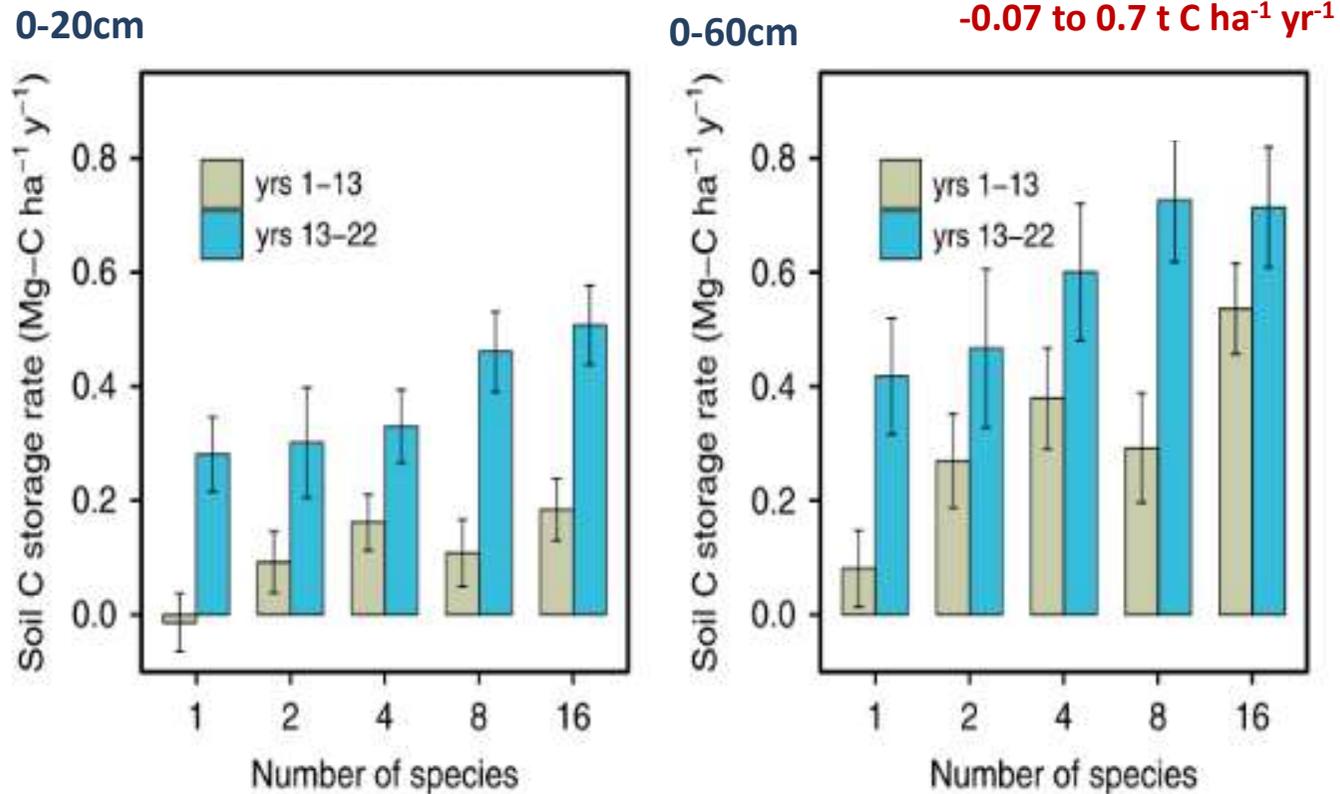
**Avec Ci**  
**+126 kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

# Mélange d'espèces et insertion des prairies dans la rotation



# Mélange d'espèces, effets de la biodiversité végétale sur la séquestration du carbone

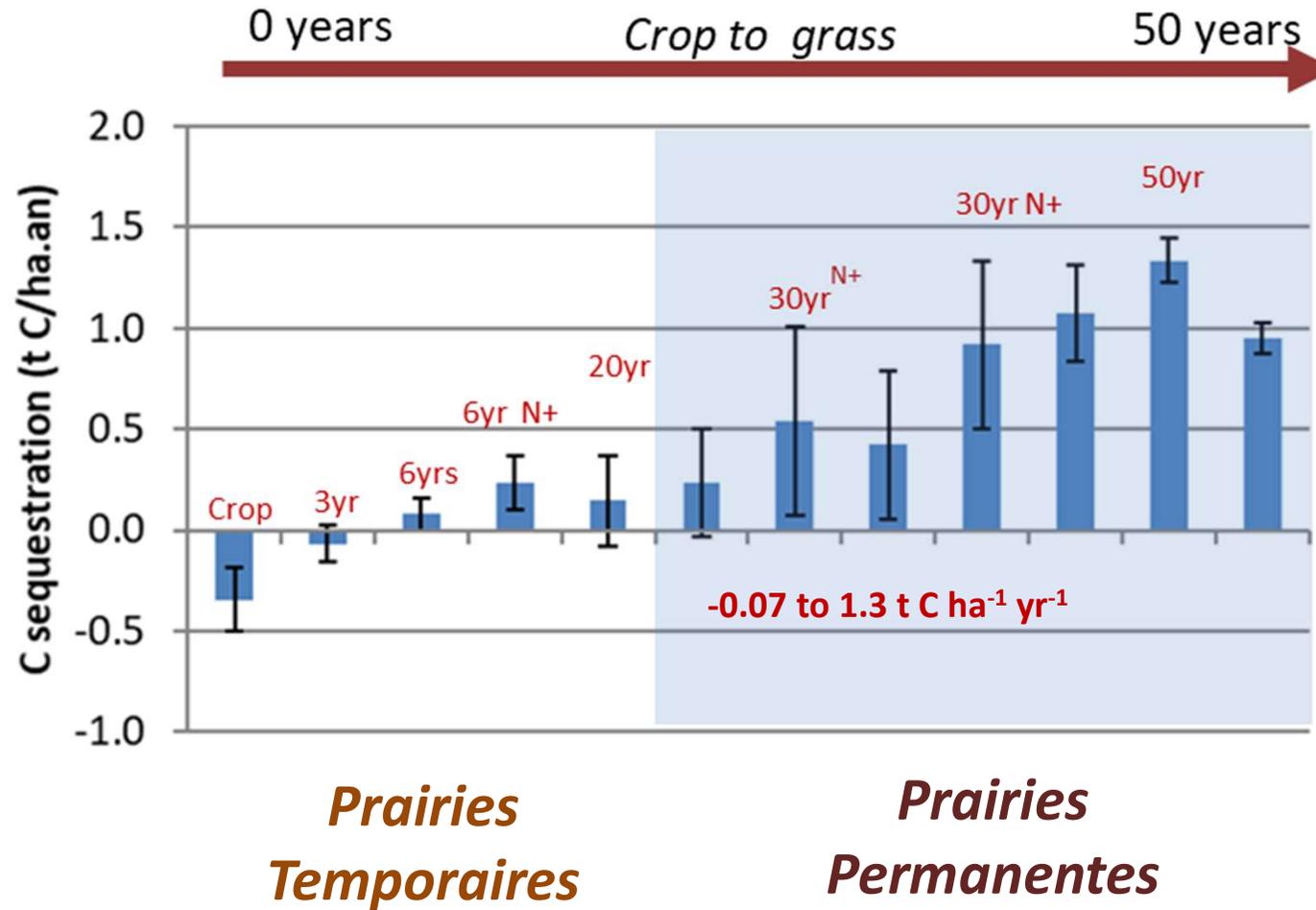
Séquestration C



La séquestration du carbone augmente avec la diversité de la végétation pour les jeunes et les vieux pâturages.

# Insertion des Prairies dans la rotation

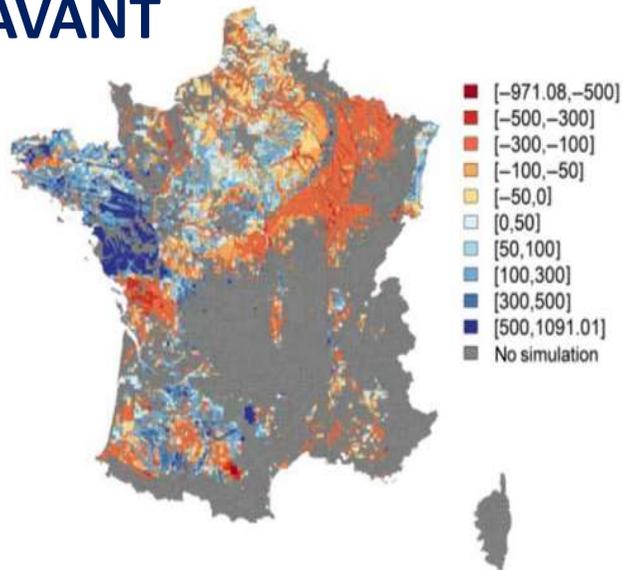
Séquestration C



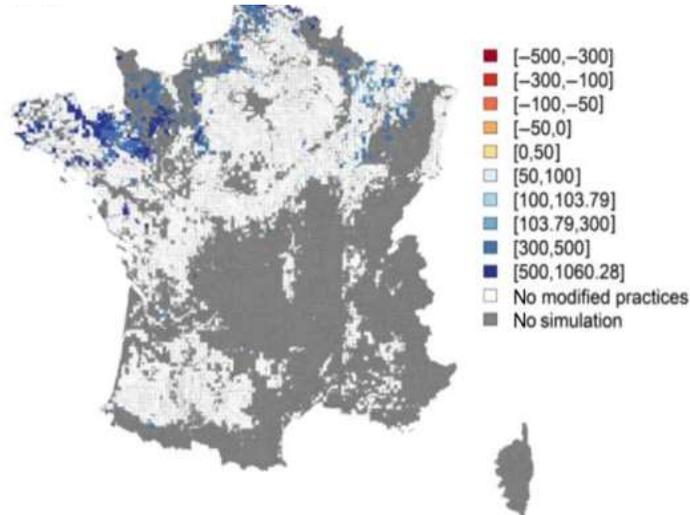
# Insertion des Prairies dans la rotation

Stockage additionnel absolu (kgC/ha/an) sur 0-30 cm avec le scénario

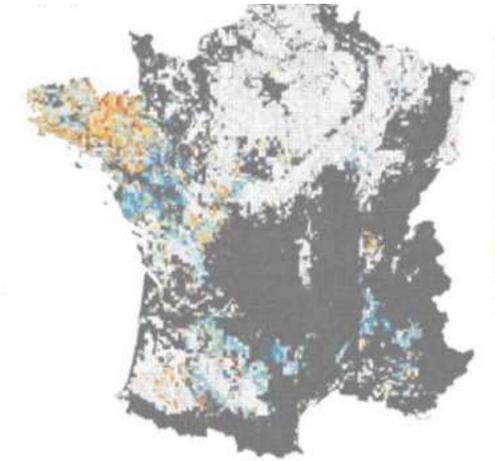
**AVANT**



**PT en rotation de  
Maize**



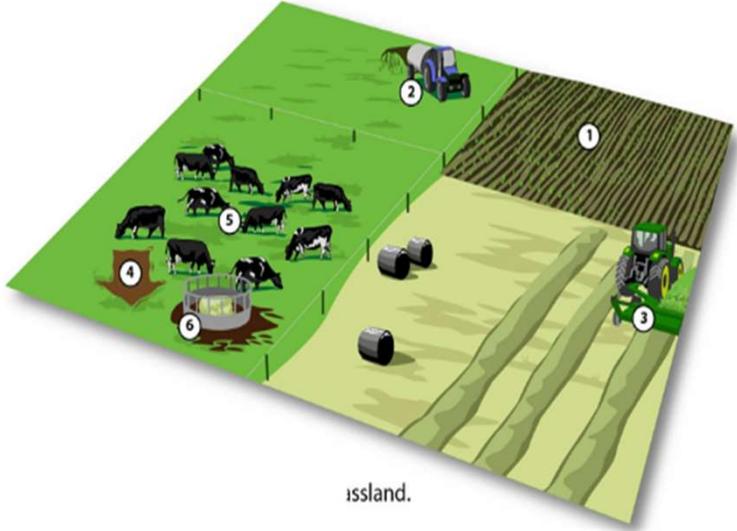
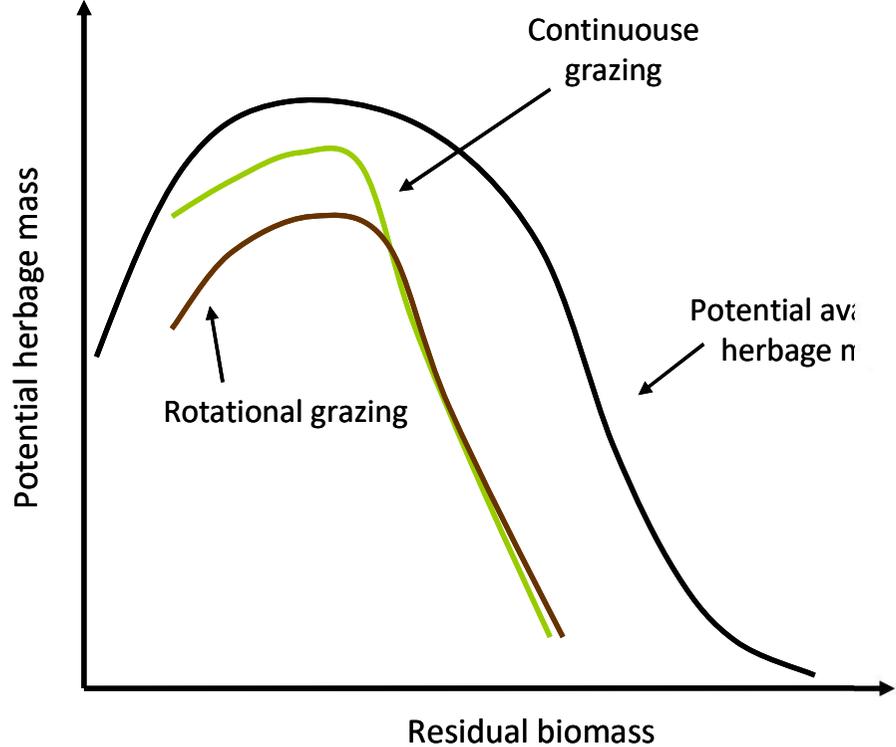
**Durée vie des PT**



**Cultures:**  
**-59 ( $\pm 160$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

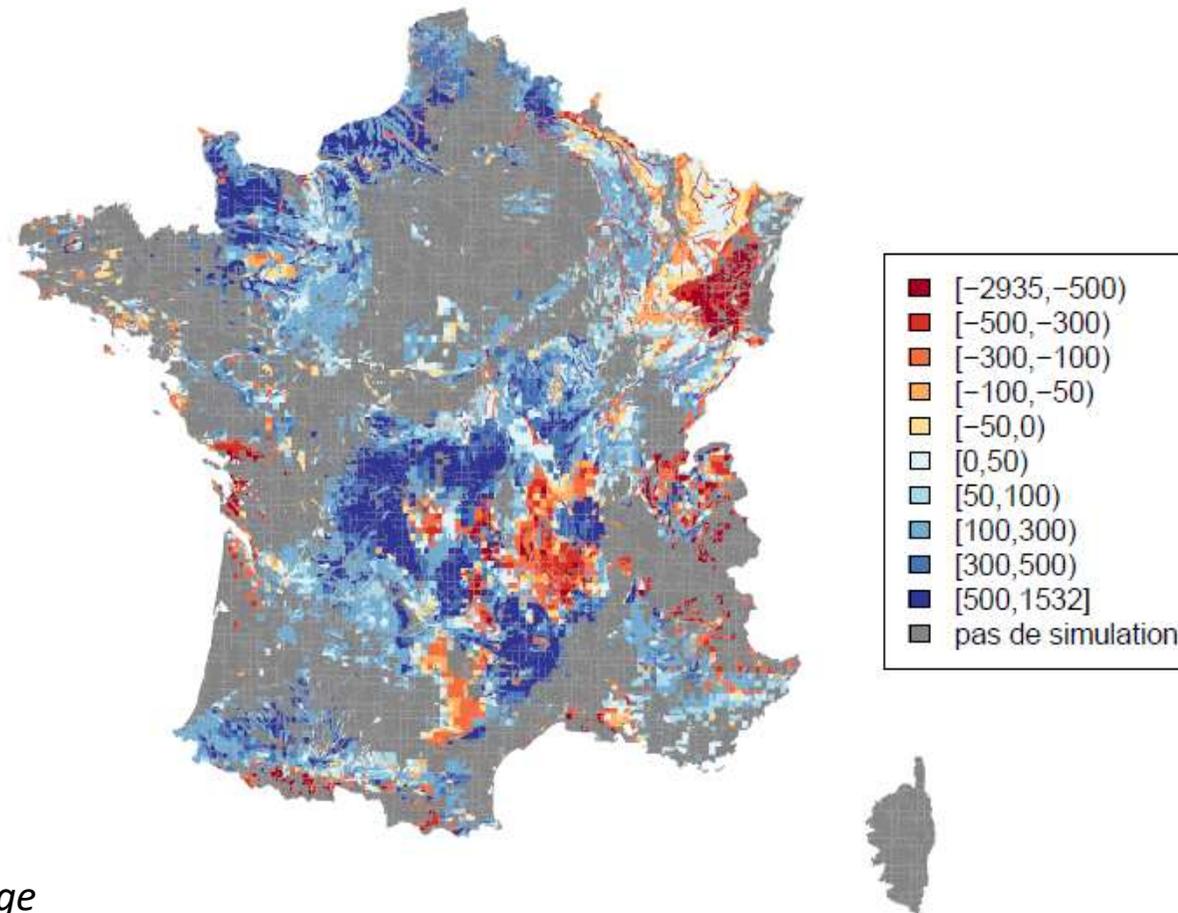
**Insertion PT**      **+466 ( $\pm 299$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**  
**durée de vie PT**    **+ 28 ( $\pm 279$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

# Gestion et Intensité d'utilisation des Prairies



After Parsons A, Rowarth J, Thornley J and Newton P: Primary Production of Grasslands, Herbage Accumulation and Use

- Prairies permanentes stockage potentiel de C (0-30cm)

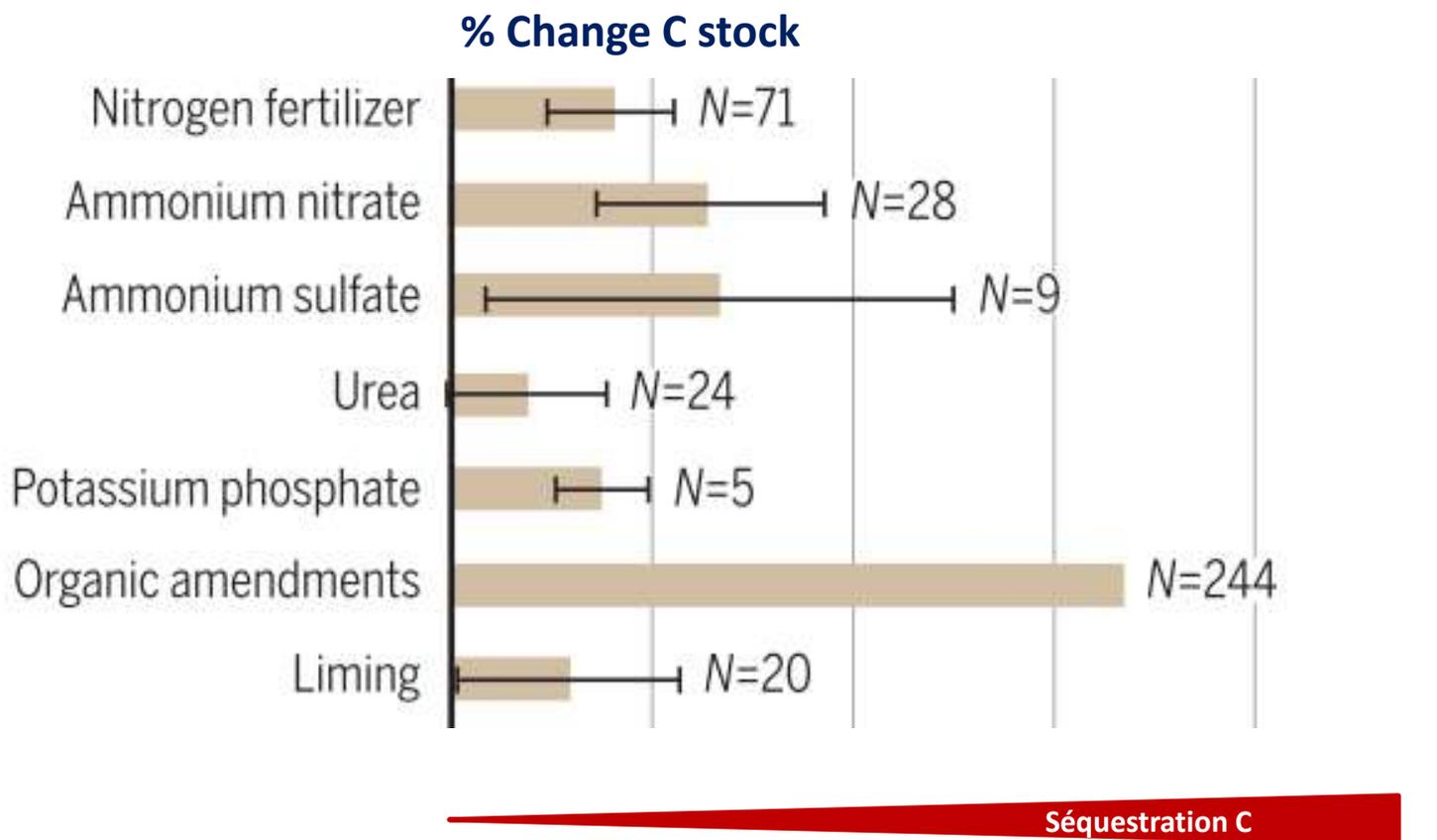


Potentiel de stockage  
(kgC/ha/an)

La plupart des prairies stockent du C  
**+212 ( $\pm 524$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

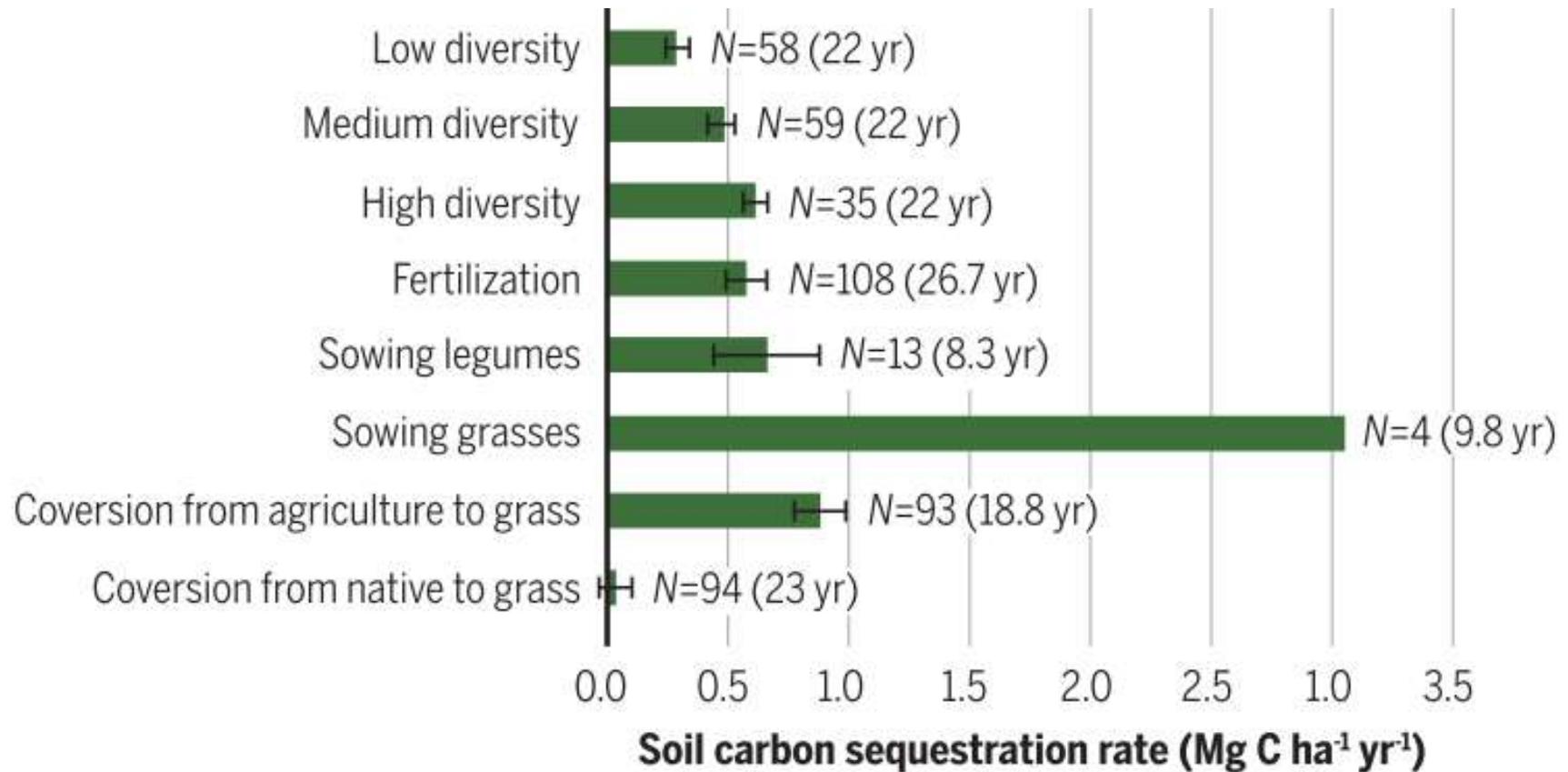
# Effet positif de la gestion des prairies :

- Fertilisation



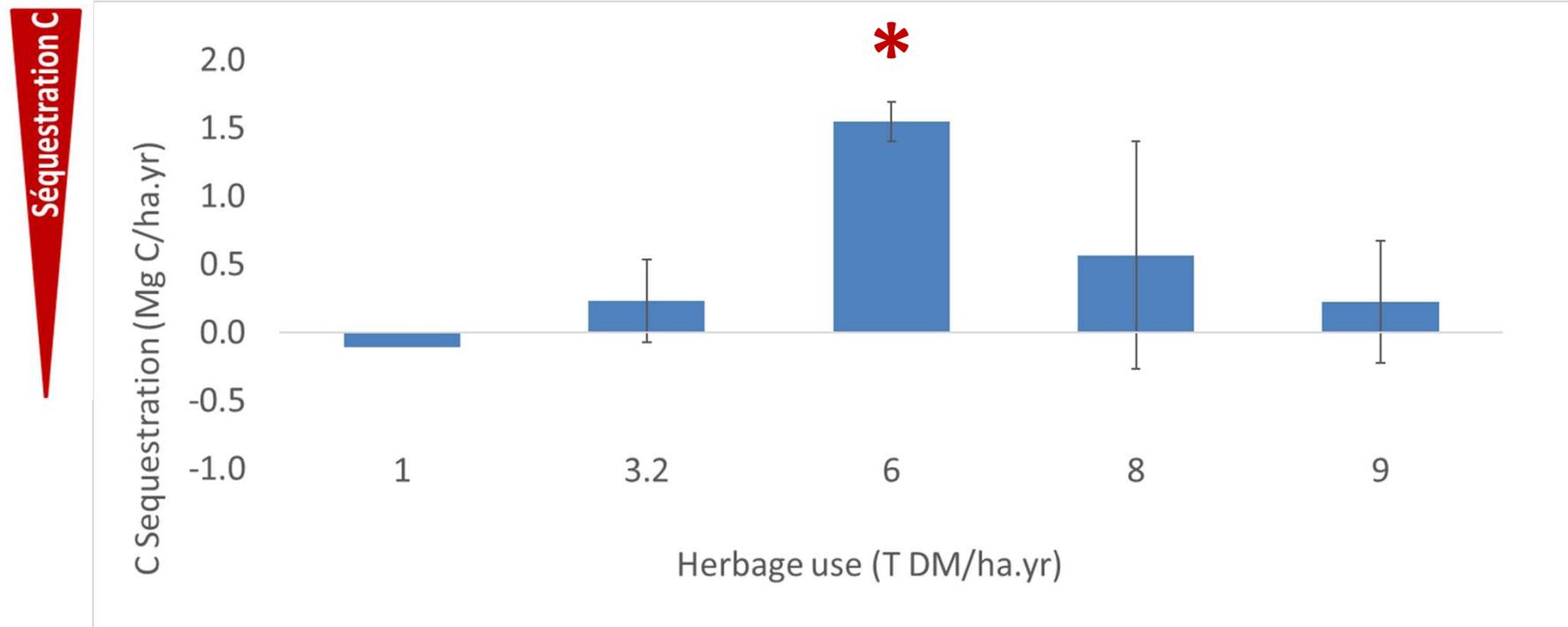
# Effet positif de la gestion des prairies :

- Fertilisation
- Diversité des espèces



Séquestration C

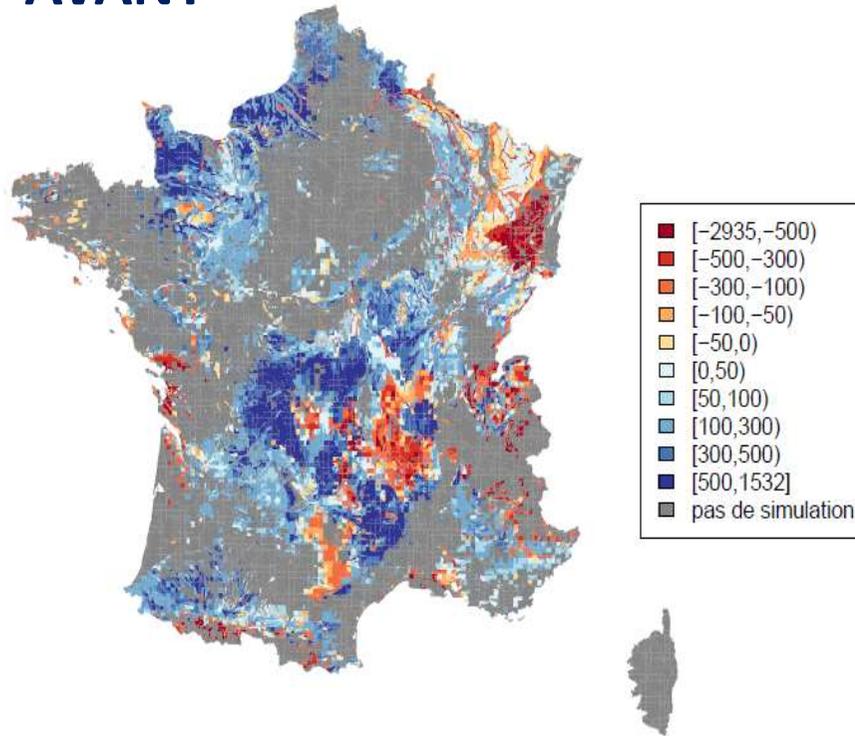
## Intensité de la fauche et de l'ensilage



- La séquestration de carbone augmente jusqu'à un point critique (seuil) et décline ensuite.

# Améliorer la gestion des prairies

AVANT



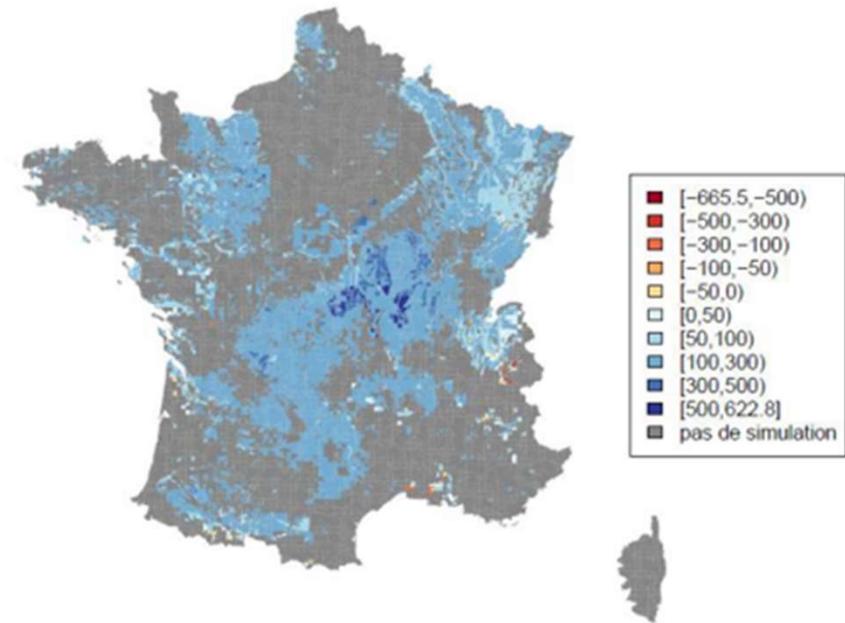
PP

**+212 ( $\pm 524$ ) kg C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>**

**INRAE**

INRA EsCo 2019 : 4p1000

- Fertilisation (50kgN) des prairies peu productives



**Stockage additional**

**+213 kg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>**

INRA EsCo 2019 : 4p1000

## Le stockage de C pour répondre aux enjeux climatiques – les pratiques agricole

	Stockage additionnel par ha d'assiette Horizon 0-30 cm (kgC/ha/an)	Assiette (Mha)	Stockage additionnel France entière Horizon 0-30 cm (MtC/an)	Stockage additionnel, rapporté au stock du mode d'occupation du sol correspondant (‰ /an)
<b>En grandes cultures et prairies temporaires</b>				
Extension des cultures intermédiaires	+126	16,03	+2,019	
Semis direct	+60	11,29	+0,677	
Nouvelles ressources organiques	+61	4,21	+0,257	
Insertion et allongement de prairies temporaires	+114	6,63	+0,756	
Agroforesterie intraparcellaire	+207	5,33	+1,102	
Haies	+17	8,83	+0,150	
<b>Total grandes cultures</b>			<b>+4,960 (86%)</b>	<b>+5,2</b>
<b>En prairie permanente</b>				
Intensification modérée	+176	3,94	+0,694	
Remplacement fauche-pâturage	+265	0,09	+0,023	
<b>Total prairies permanentes</b>			<b>+0,720 (12%)</b>	<b>+0,9</b>
<b>En vignoble</b>				
Enherbement	+182	0,56	+0,103	
<b>Total vignoble</b>			<b>+0,100 (2%)</b>	<b>+3,7</b>

## Le stockage de C pour répondre aux enjeux climatiques – les pratiques agricole

	Coût technique unitaire (€/ha/an)	Assiette maximale technique (Mha)	Coût total (M€/an)	Horizon 0-30 cm	Ensemble du profil de sol	
				Coût de stockage de la tonne de C (€/tC)	Coût de stockage de la tonne de C (€/tC)	Coût de stockage de la tonne de CO <sub>2</sub> e (€/tCO <sub>2</sub> e)
Extension des cultures intermédiaires	39	16,03	619	307	180	49
(Semis direct)	13	11,29	142	210		
Nouvelles ressources organiques	-52	4,21	-217	-846	-494	-135
Insertion et allongement des prairies temporaires	91	6,63	602	796	473	129
Agroforesterie intraparcellaire	118	5,33	628	570	302	82
Haies	73	8,83	645	4 380	2 322	633
Intensification modérée des prairies permanentes	28	3,94	109	157	130	35
Remplacement fauche-pâture en prairies permanentes	73	0,09	6	277	203	55
Enherbement des inter-rangs (vignobles)	permanent	0,15	-4	-106	-56	-15
	hivernal	0,41	-6	-96	-51	-14

Cout unitaire

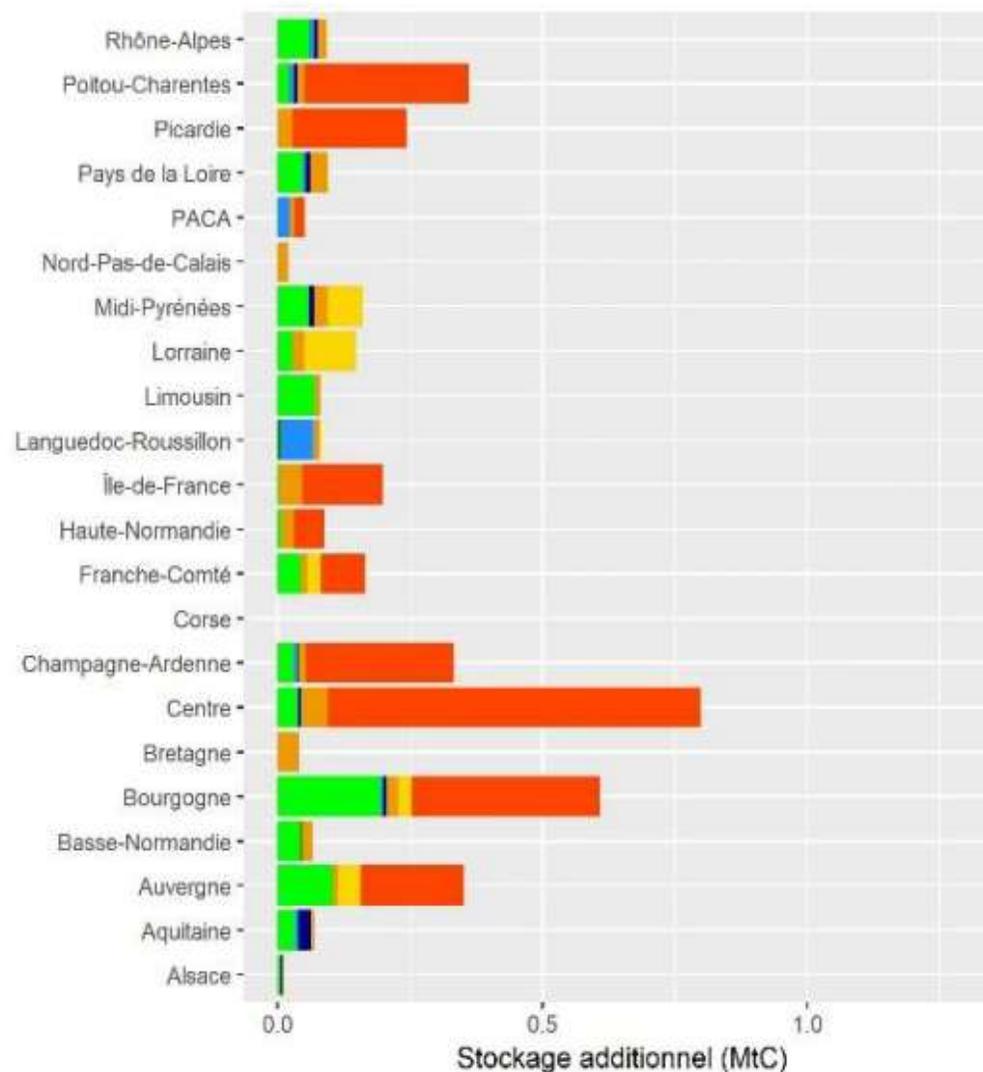
Cout  
Euro/t CO<sub>2</sub>e

# Contribution des régions au stockage additionnel, et détail par pratique,

au prix de la  
composante carbone  
55€/tCO<sub>2</sub>e

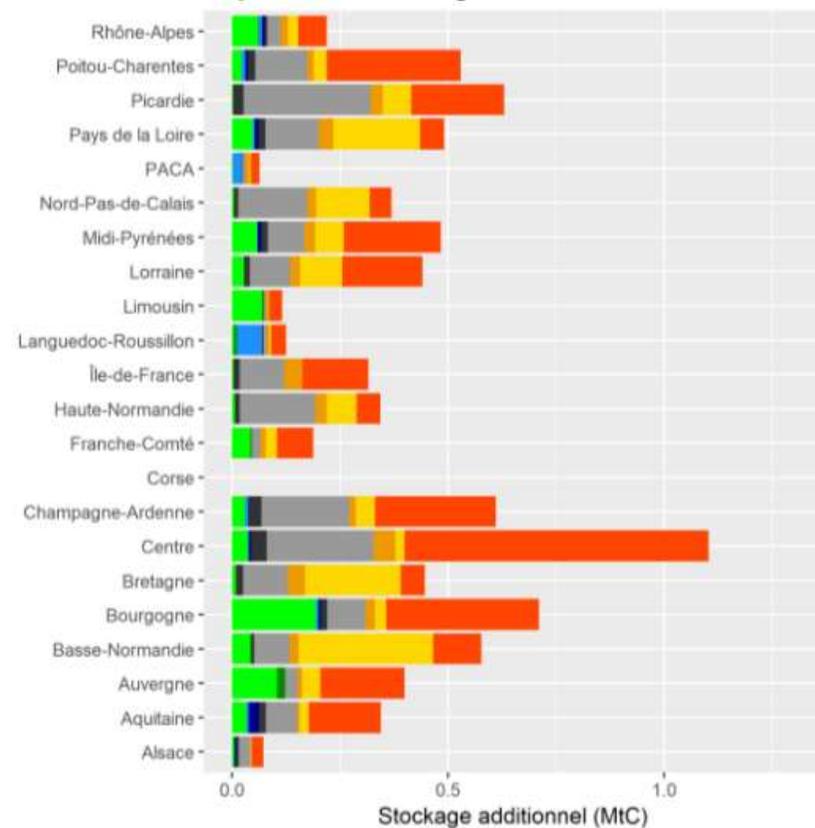
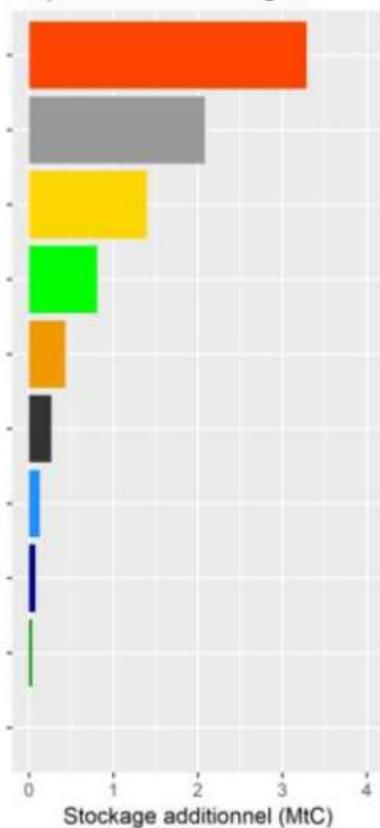
## Pratique Stockante

- Cultures intermédiaires
- Intensification modérée des prairies extensives
- NRO
- Prairies Temporaires
- Enherbement hivernal des vignobles
- Enherbement permanent des vignobles
- Agroforesterie
- Substitution fauche-pâturage
- Semis direct
- Haies



# Contribution des régions au stockage additionnel et détail par pratique

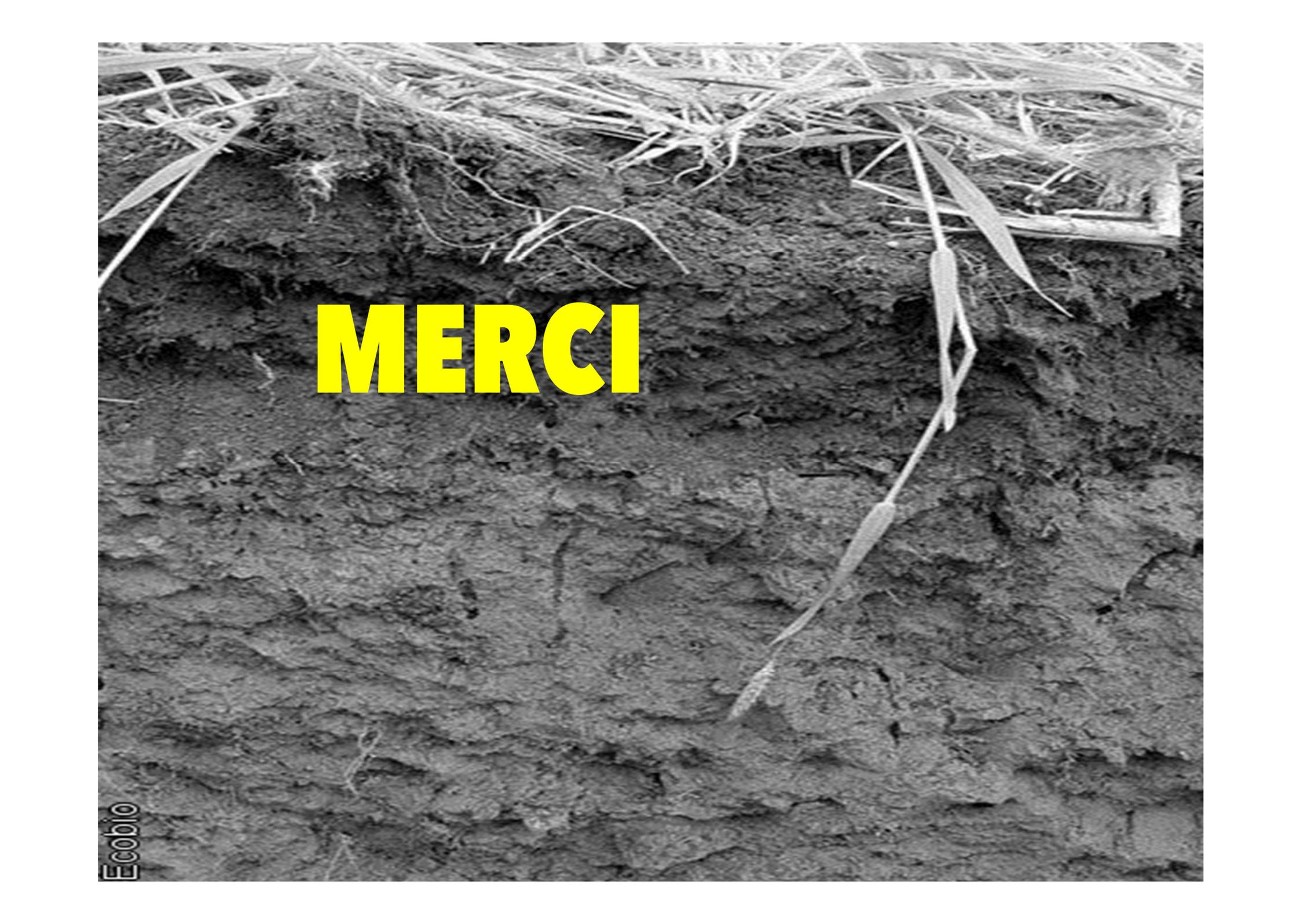
au prix de la  
composante carbone  
100€/tCO<sub>2</sub> e



- Des nombreuses pratiques agricoles permettant de lutter contre les changements climatiques.

# A retenir

- Il est importante de préserver le stock de C du sol existant et augmenter le stockage de la ou le stock de C sont faible ou dégradés
- Le retournement de prairie et cultures conduit à une perte importante et rapide de la matière organique du sol.
- Une réduction des fréquences de retournement, évite ainsi un déstockage du C du sol.
- Une exploitation des prairies se comportent comme des puits de carbone  
En moyenne =>  $0.2 \pm 0.5 \text{ Tg C/ha.an}$
- Une exploitation « modérée » (fauche ou pâturage) accroît le stockage du carbone, suite à la stimulation de la production végétale et un prélèvement moindre.
- En gestion « intensive », les exportations importantes de C (biomasse) réduisent les apports organiques dans le sol (stockage du C).
- En mode « modéré », le stockage de C dans le sol compense les autres émissions associées à l'élevage ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) (bilan GES  $0.4 \text{ Tg C/ha.an}$ ).
  - Des nombreuses pratiques agricoles permettant de lutter contre les changements climatiques.
- Parmi ces pratiques, l'AB peut potentiellement être identifiée comme un des leviers possibles

A black and white photograph showing a cross-section of soil. The top layer consists of dry, tangled plant matter, likely grass or straw. Below this, a single, long, thin plant root extends vertically downwards into the soil. The soil itself is dark and appears to be cracked or textured. The word "MERCI" is written in large, bold, yellow capital letters across the middle of the image, centered over the soil and the root.

**MERCI**



# 4P1000: C STORAGE IN FRENCH SOILS

'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE (ESCo)

JULY 2019



STOCKER DU CARBONE DANS LES SOLS FRANÇAIS

QUEL POTENTIEL AU REGARD DE L'OBJECTIF 4 POUR 1000 ET À QUEL COÛT ?

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE - JUILLET 2019

RÉALISÉE POUR L'ADEME ET LE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION



