



## webinaire ORECA

# Changement climatique et grandes cultures : réduction et séquestration des gaz à effet de serre

vendredi 10 juin 2022 • 9h30 - 12h00

ORECA EST PILOTÉ PAR

COORDONNÉ PAR ALTERRE EN PARTENARIAT  
AVEC ATMO BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

ORECA S'APPUIE SUR LA  
PLATEFORME OPTER

AVEC LE PARTENARIAT  
SCIENTIFIQUE DE

**RÉGION  
BOURGOGNE  
FRANCHE  
COMTÉ**

  
**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



  
**PRÉFET  
DE LA RÉGION  
BOURGOGNE  
FRANCHE-COMTÉ**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Atmo**<sup>BFC</sup>  
AIR • CLIMAT • ÉNERGIE  
ACTEUR DE LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

**opter**  
COMPRENDRE  
LE TERRITOIRE,  
CONSTRUIRE L'AVENIR

**ThéMA**  
UMR 6049 Thématique & Modéliser pour Aménager

---

# Atteindre l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 : l'enjeu du carbone en agriculture

**Sylvain PELLERIN, INRAE**



## Un contexte d'urgence climatique

Rapport spécial du GIEC de 2018 → contenir la hausse de la température moyenne en deçà de +1.5°C suppose d'atteindre la **neutralité carbone** à l'échelle planétaire au plus tard en 2050



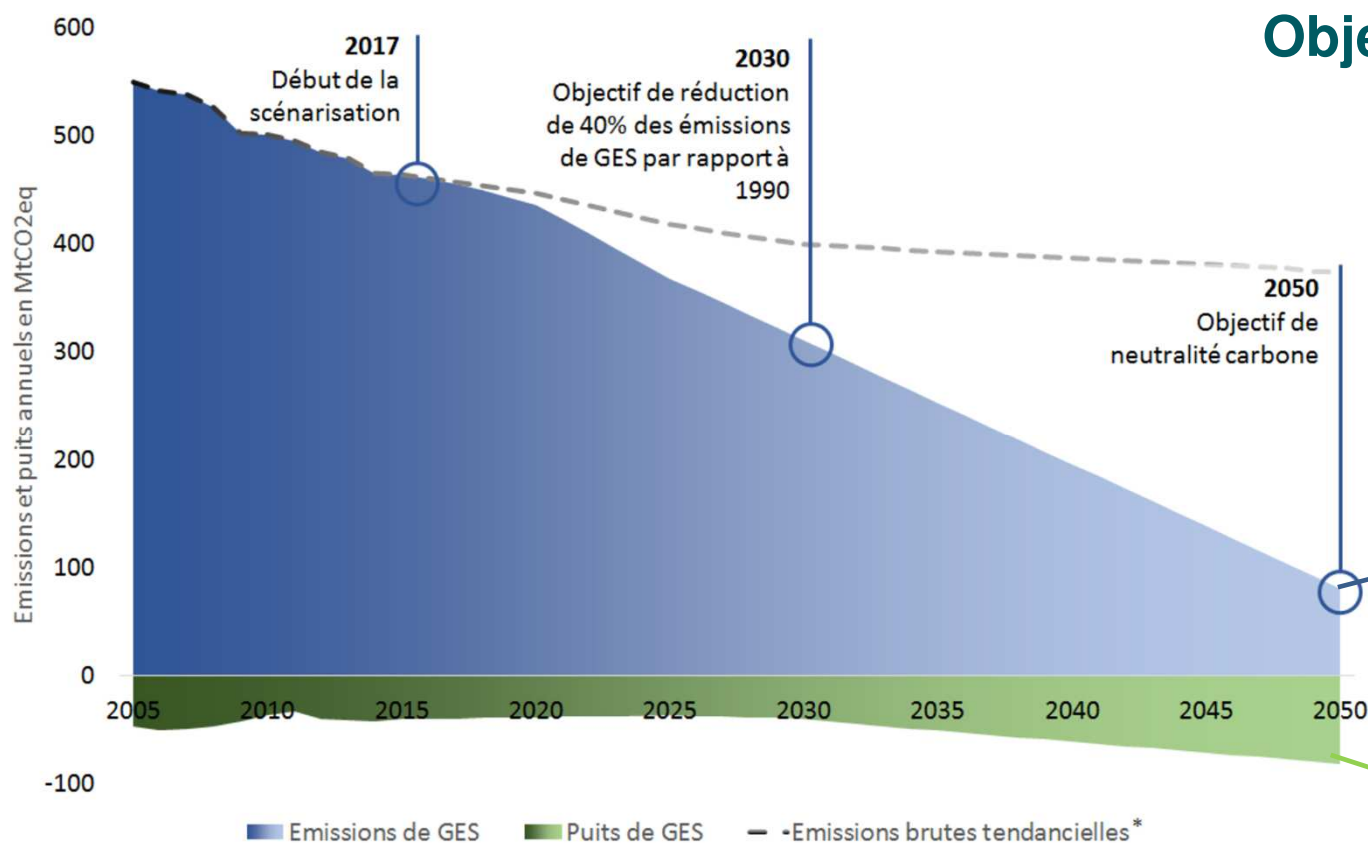
### Deux leviers complémentaires

- **Réduire les émissions** de CO<sub>2</sub> liées à l'usage des énergies fossiles et à la déforestation, ainsi que les émissions des autres gaz à effet de serre (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>)
- **Préserver et accroître le puits de CO<sub>2</sub>** que constitue la biosphère (stockage dans la biomasse et les sols)





# Stratégie Nationale Bas Carbone de la France



## Objectif: neutralité C en 2050

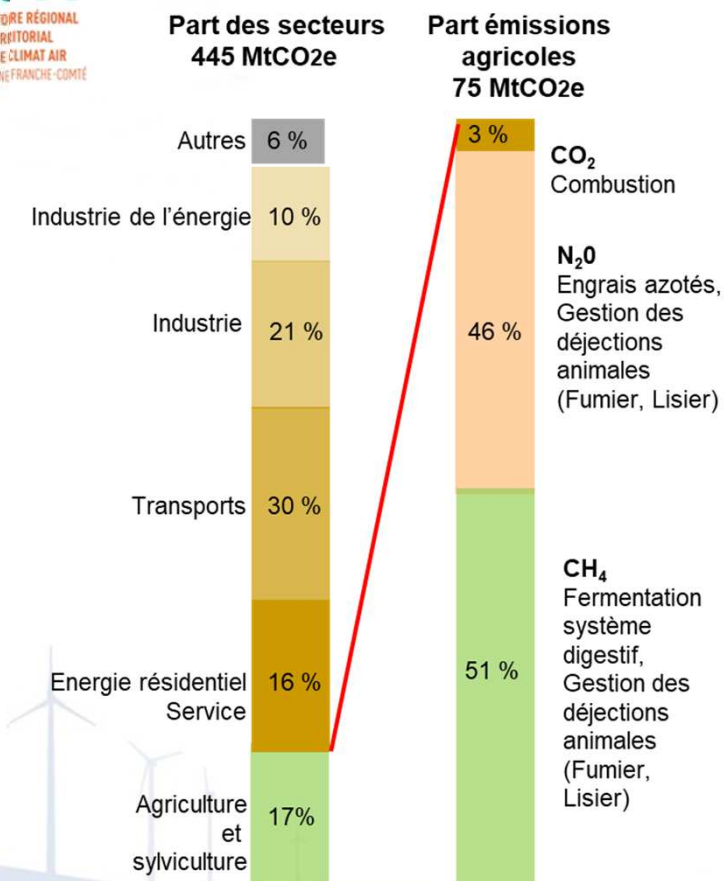
- Division par 6 des émissions (division par 2 en agriculture)
- Doublement des puits (afforestation, stockage C dans les sols...)

Emissions

Puits de carbone

→ **Attentes vis-à-vis du secteur agricole: réduire les émissions, accroître le stockage de C dans les sols et la biomasse**

En France le secteur agricole représente 17% des émissions de gaz à effet de serre exprimées en CO<sub>2</sub>e



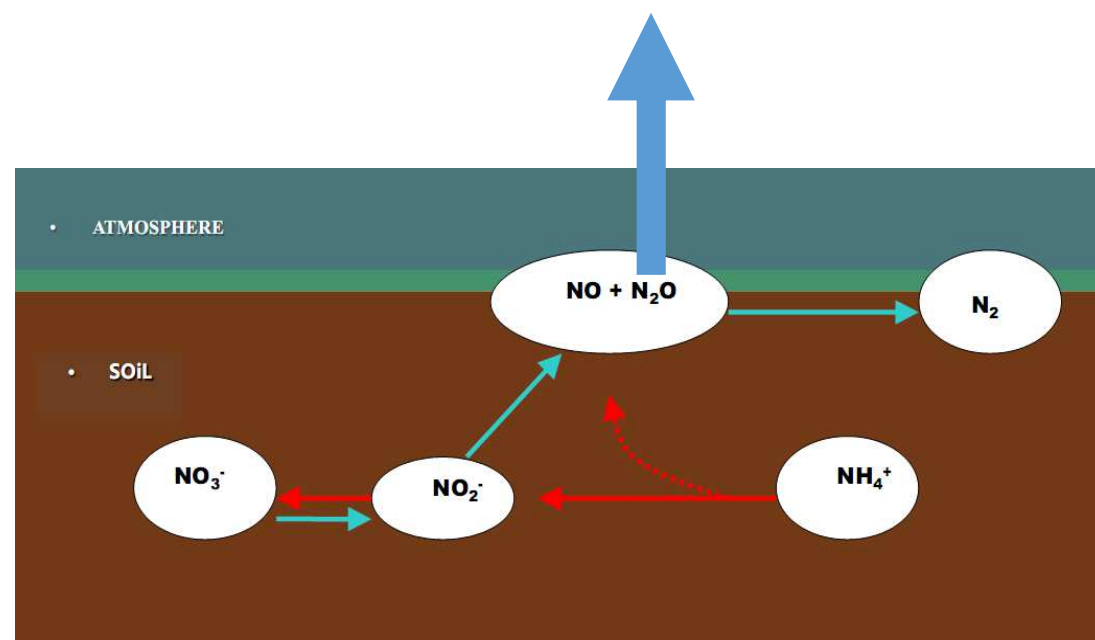
3% CO<sub>2</sub>  
46% N<sub>2</sub>O  
51% CH<sub>4</sub>

→ Des émissions agricoles majoritairement biogéniques, non énergétiques, diffuses

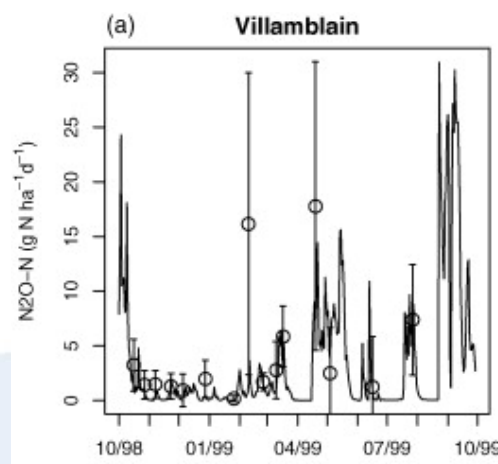


## Sols et émissions de $N_2O$

- Le  $N_2O$  (PRG=265) est produit lors des réactions de nitrification (en conditions aérobies) et dénitrification (en conditions anaérobies)
- Très forte variabilité spatiale et temporelle
- Les émissions sont très liées à l'usage des engrais azotés; Facteurs d'émission IPCC 2019:
  - 0,016 kg N- $N_2O$ /kg N tot (engrais minéral)
  - 0,010 kg N- $N_2O$ /kg N tot (fumier)
- En France le  $N_2O$  représente
  - 9% des émissions totales de GES
  - 46% des émissions agricoles

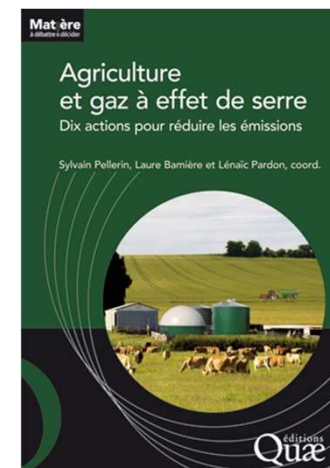
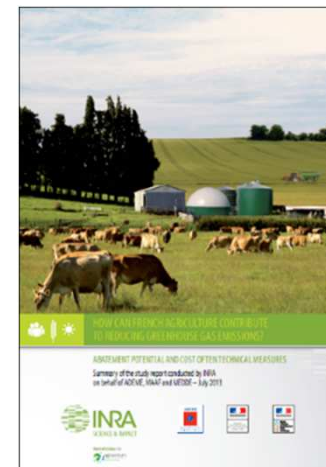
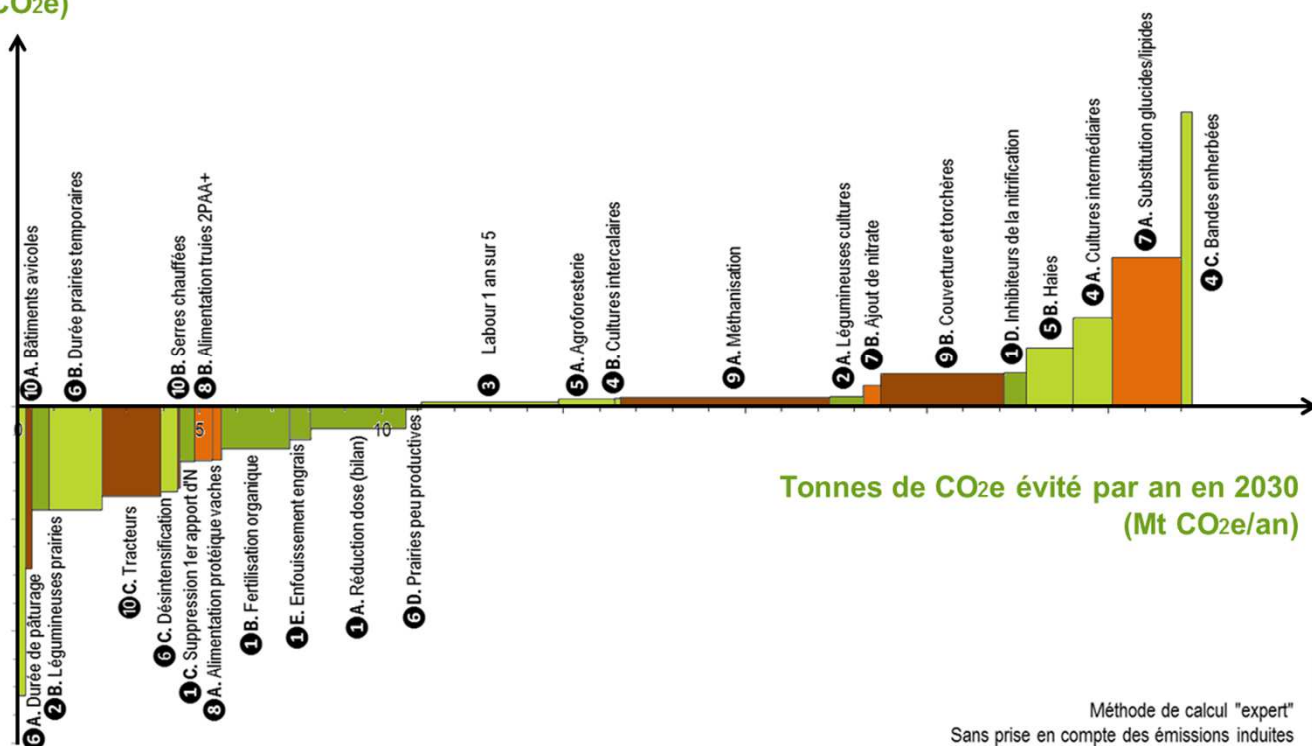


**denitrification (anaerobic) – nitrification (aerobic)**



# Rapport INRA sur l'atténuation des gaz à effet de serre en Agriculture

Coût annuel de la tonne de CO<sub>2</sub>e évité  
(€/tCO<sub>2</sub>e)



26 actions identifiées

Chacune caractérisée par

- Son potentiel d'atténuation (MtCO<sub>2</sub>e évitées par an)
- Son coût pour l'agriculteur (€/tCO<sub>2</sub>e évitée)

Pellerin et al, 2017

# La maîtrise du cycle de l'azote: 26% du potentiel d'atténuation en agriculture

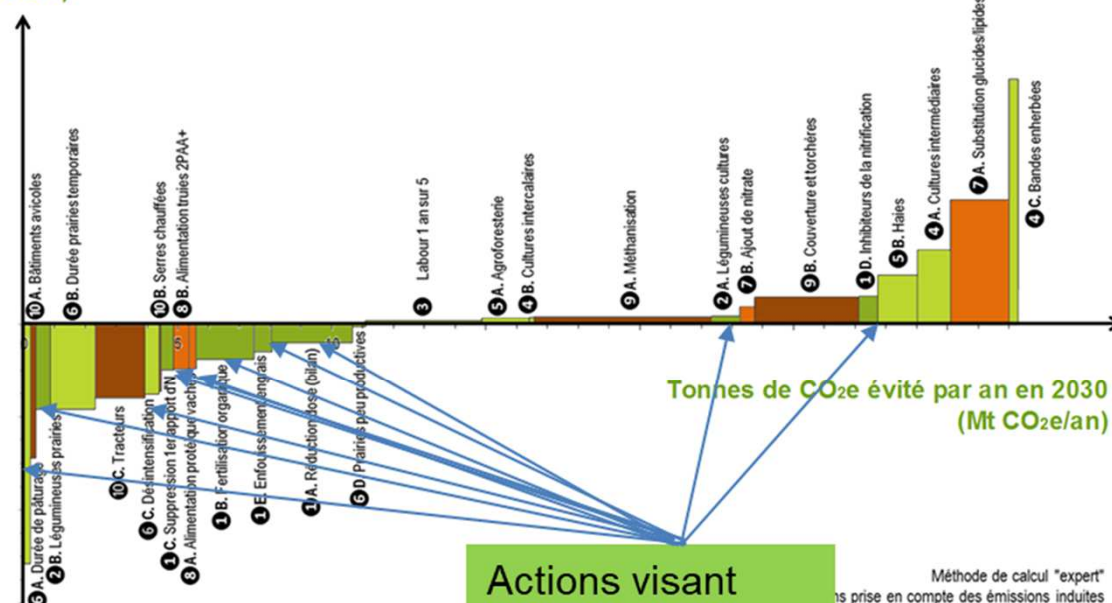


Les leviers visant une meilleure maîtrise du cycle de l'azote représentent 11 des 26 actions identifiées et 26% du potentiel d'atténuation total

- fertilisation raisonnée (dose, date, enfouissement); meilleure prise en compte des apports N des engrais organiques
- Développement des légumineuses (trèfle, luzerne, pois, soja,...)
- Ajustement alimentation protéique des animaux

Couts majoritairement négatifs (gagnant-gagnant)  
Co-bénéfices vis-à-vis d'autres enjeux (qualité eau, air,...)

Coût annuel de la tonne de CO<sub>2</sub>e évité (€/tCO<sub>2</sub>e)



Actions visant une réduction des émissions de N<sub>2</sub>O par la maîtrise du cycle de l'azote

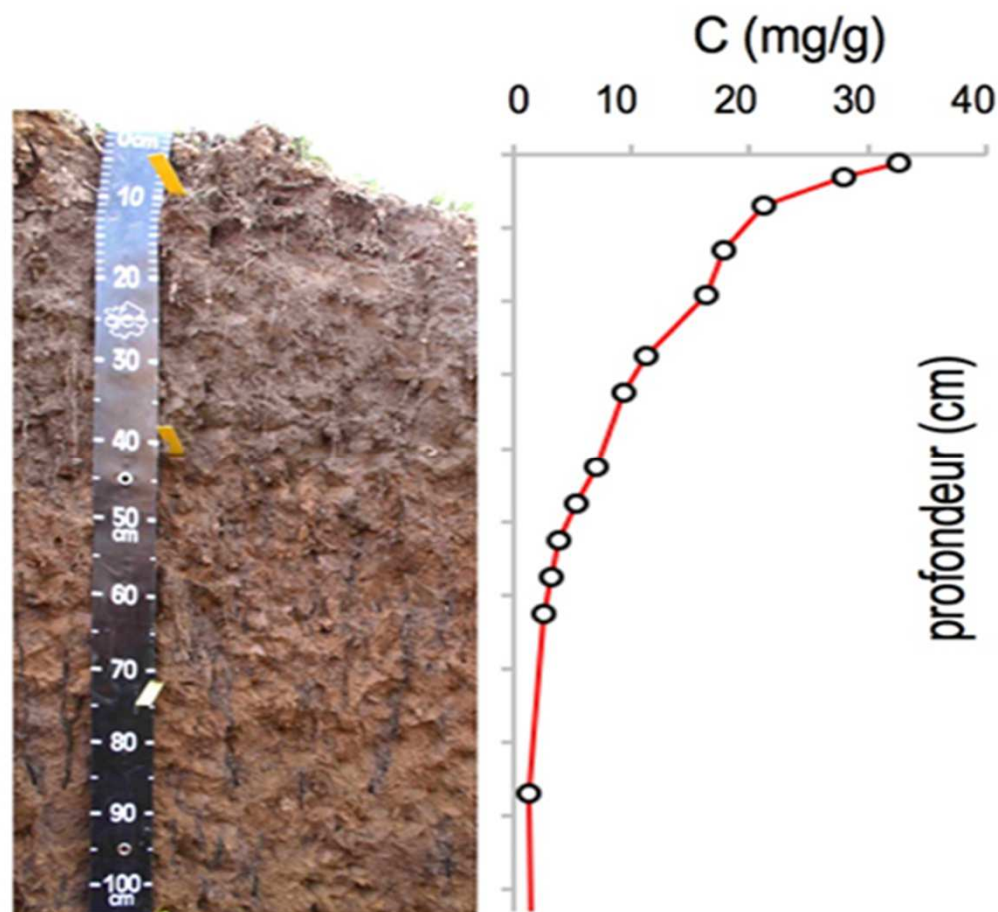
Méthode de calcul "expert"  
prise en compte des émissions induites

Pellerin et al, 2017



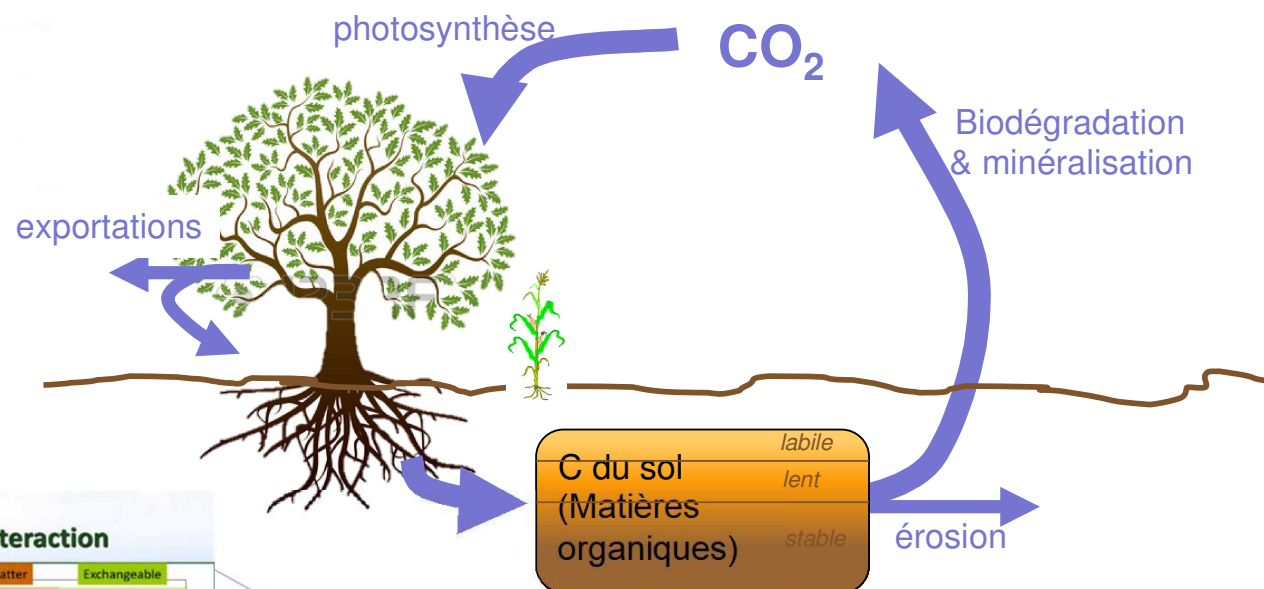
## Sols et stockage de carbone

- ✓ Entre 1 et 10% de la masse du sol est constitué de « Matières organiques »
- ✓ La concentration en matières organiques est généralement décroissante avec la profondeur
- ✓ Les matières organiques sont composées à 55% de carbone (C) → Carbone Organique du Sol (COS) ≠ Carbone Inorganique (ex  $\text{CaCO}_3$ )

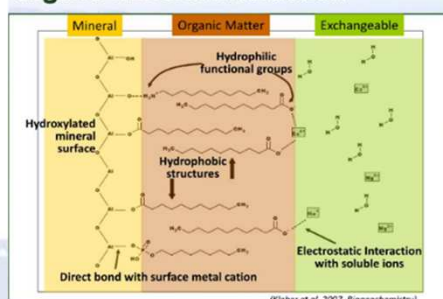


# Sols et stockage de carbone

Le carbone organique du sol provient, après transformation, du retour au sol des résidus végétaux, élaborés par assimilation chlorophyllienne du CO<sub>2</sub> atmosphérique par les végétaux

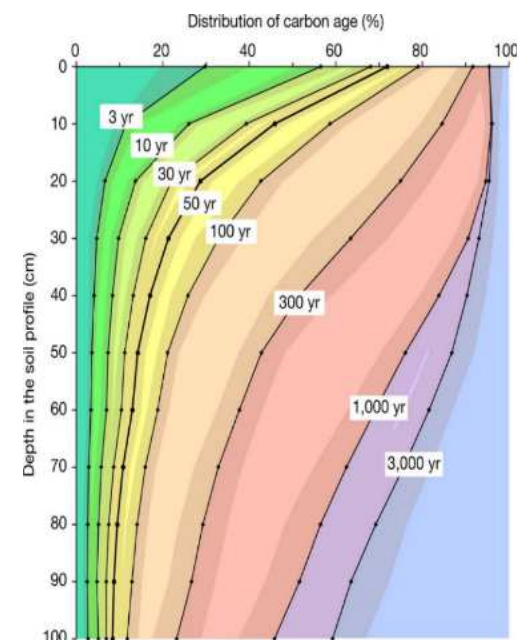


## Organo-mineral interaction



stabilisation par  
des interactions  
organo-minérales

Chenu, 2016

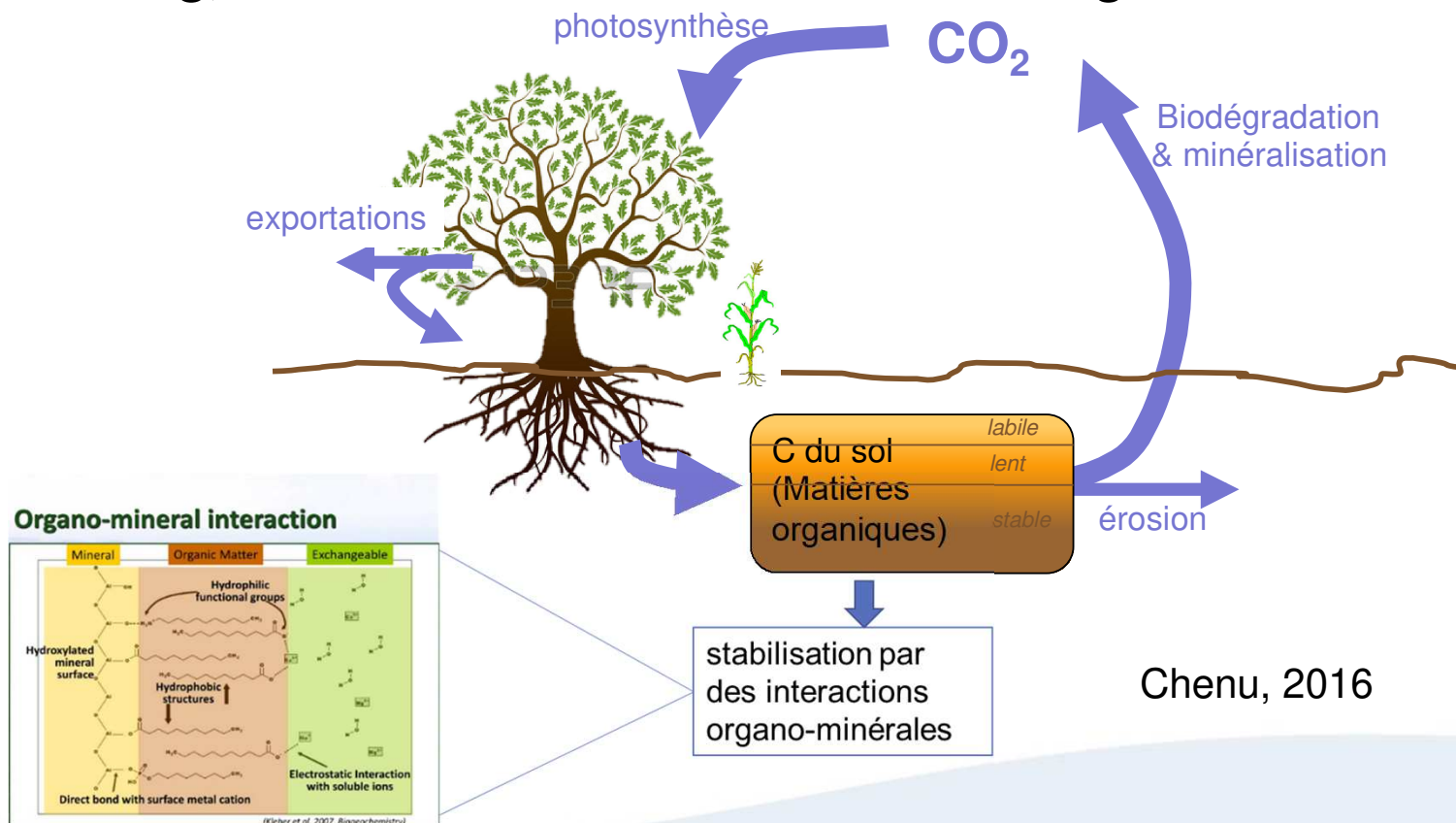


Balesdent et al., 2018)

La stabilisation d'une fraction du carbone « entrant » par des interactions organo-minérales fait que le temps de résidence du carbone dans le sol peut atteindre plusieurs décennies, voire plusieurs siècles

## Sols et stockage de carbone

L'existence d'un stock de carbone organique dans les sols, à temps de résidence long, contribue à l'atténuation du changement climatique...

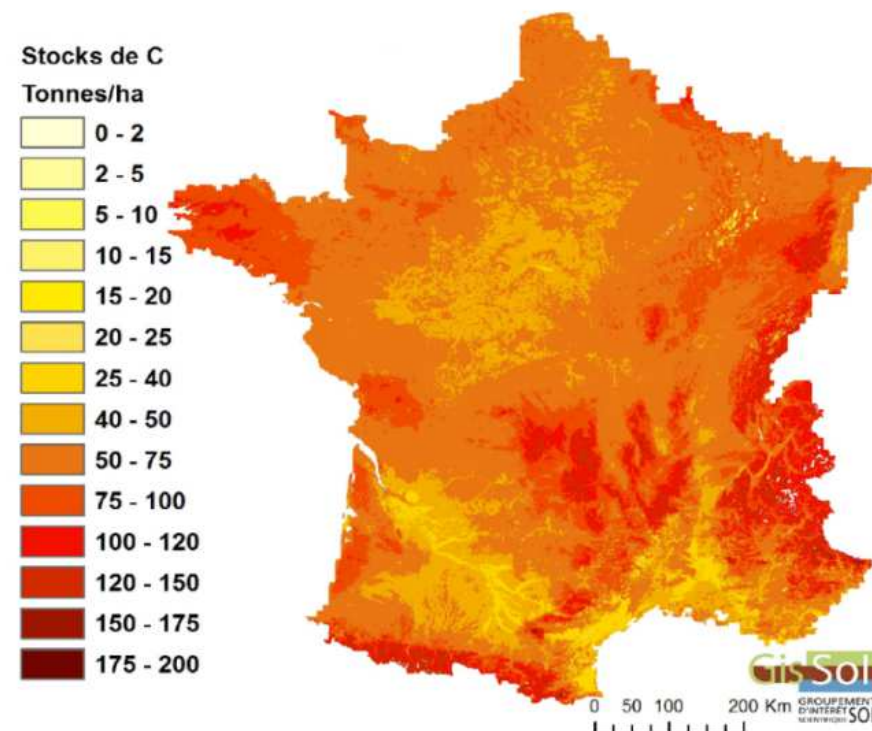


Chenu, 2016

...car ce carbone, tant qu'il est piégé dans la matière organique du sol, n'est pas sous forme de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère!

# Les stocks actuels de carbone dans les sols français

- Le stock de C organique des sols français sur l'horizon 0-30cm représente 3580 Mt de C (soit 13000 Mt CO<sub>2</sub>e, l'équivalent de 30 années d'émissions)
- Des stocks plus élevés en altitude, plus faibles en zones de plaine
- Des stocks plus élevés sous forêt, prairie permanente, plus faibles sous grande culture



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

	min	moyenne	médiane	max	écart type
Stock de C organique sous prairie permanente (t/ha)	18,1	84,6	78,3	309	35.0
Stock de C organique sous grande culture (t/ha)	9,92	51,6	47,9	137	16.2
Stock de C organique sous forêts (t/ha)	6.87	81.0	73.4	230	35.4

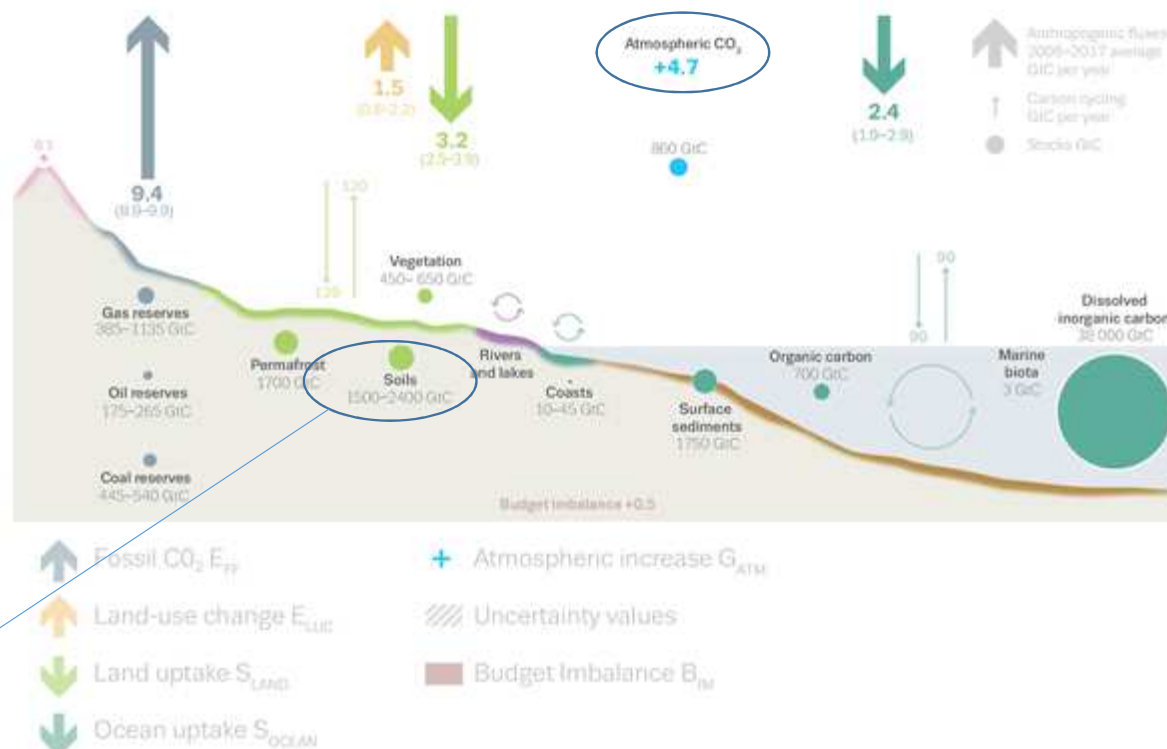


# L'initiative 4‰

Au départ un calcul simple, voire simpliste

- Le stock de C dans les sols mondiaux (horizon 0-30cm) est de 830 GtC
- Une augmentation de 4 pour mille par an de ce stock ( $830 \times 4/1000 = 3,2 \text{ GtC/an}$ ), associé à un arrêt de la déforestation ( $1,5 \text{ GtC/an}$ ) permettrait de stopper l'augmentation du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère ( $+4,7 \text{ GtC/an}$ )

## The global carbon cycle



830 Gt C dans  
l'horizon (0-  
30cm)



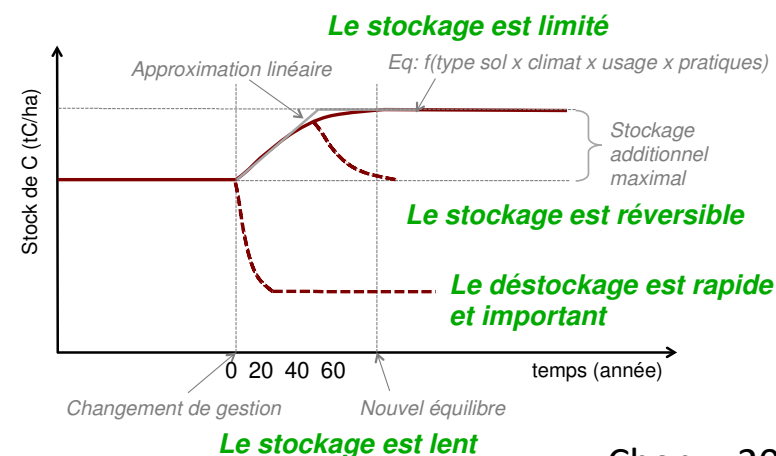
# L'initiative 4‰

## Nombreuses controverses

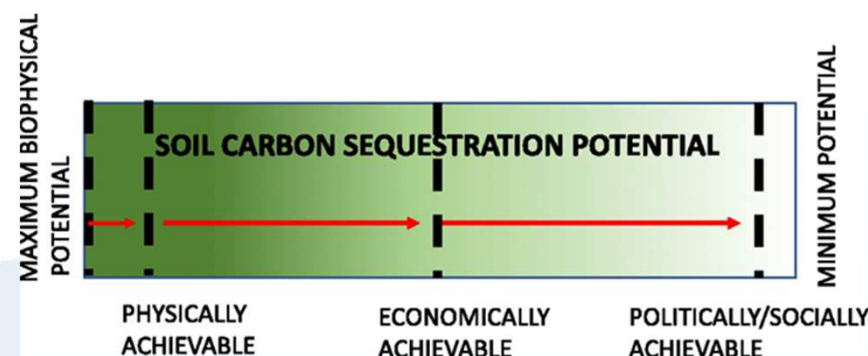
- Sur l'opportunité de l'initiative (risque d'affaiblir le message sur la nécessité de réduire les émissions)
- Sur la simplicité du calcul
- Sur les limites de la séquestration du C dans les sols
  - processus limité dans le temps, réversible, à rendement faible
  - nécessitant des ressources importantes en C « entrant »
  - impossible sans un stockage conjoint d'N, de P
  - dont la mise en œuvre se heurte à des obstacles techniques et socio-économiques



→ **Besoin d'une quantification « contextualisée » du potentiel de stockage**



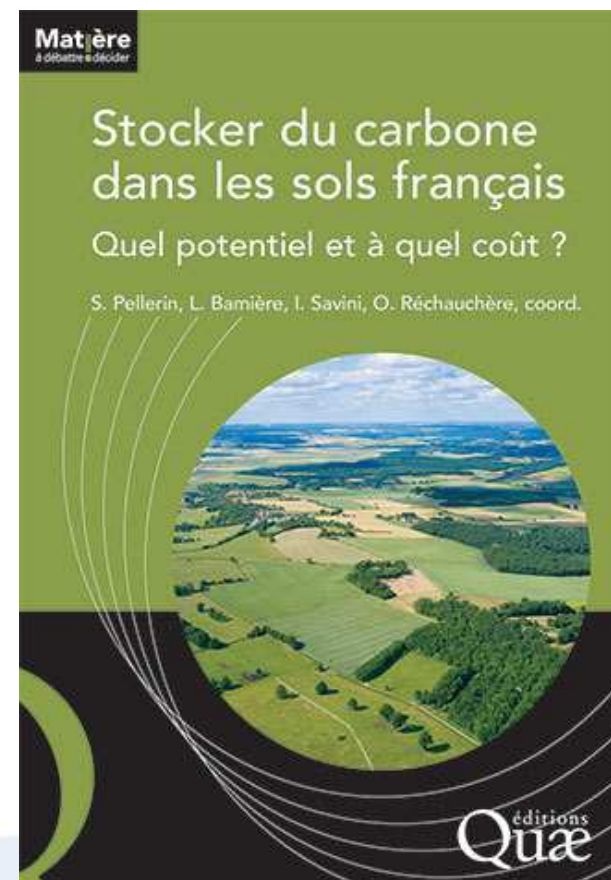
Chenu, 2016



Amundson, 2018

## Objectifs de l'étude « 4 pour mille France »

- Identifier des pratiques agricoles permettant d'accroître la teneur en carbone organique des sols français
- Quantifier les potentiels de stockage et les coûts, aux échelles régionales et nationales; les cartographier
- Evaluer les effets sur d'autres variables d'intérêt: production, autres gaz à effet de serre, lessivage nitrates...
- Proposer une stratégie d'allocation coût-efficace de l'effort de stockage



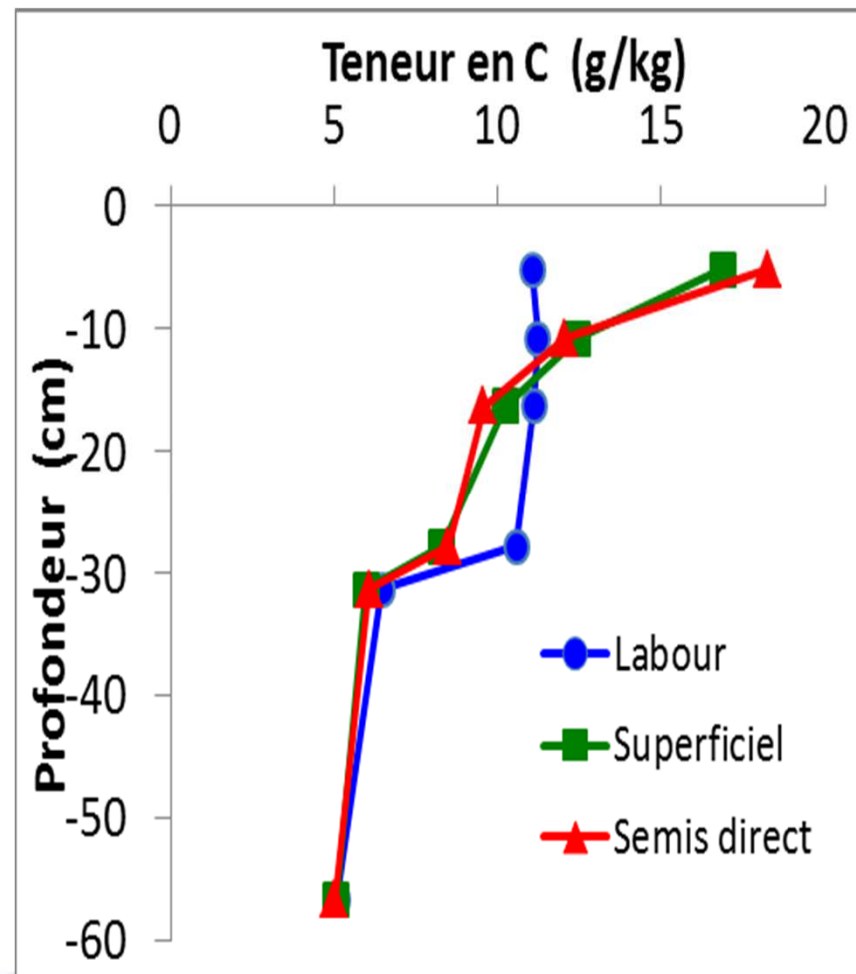
## Neuf pratiques « candidates »

- Extension des cultures intermédiaires
- Semis direct
- Mobilisation de nouvelles ressources organiques
- Insertion et allongement des prairies temporaires
- Agroforesterie intra-parcellaire
- Haies
- Intensification modérée des prairies extensives
- Substitution fauche / pâture
- Enherbement des vignobles

Les résultats récents conduisent:

→ à revoir à **la baisse** le potentiel de stockage additionnel de C par réduction du labour, car non systématique (Dimassi 2014, Haddaway et al., 2017; Ogle et al., 2019) (*mais cette pratique garde tout son intérêt pour réduire la consommation d'énergie fossile, et vis-à-vis d'autres enjeux*)

→ à revoir à **la hausse** le potentiel de stockage additionnel de C par des pratiques augmentant les entrées (ex. cultures intermédiaires) (Poeplau et al., 2015)

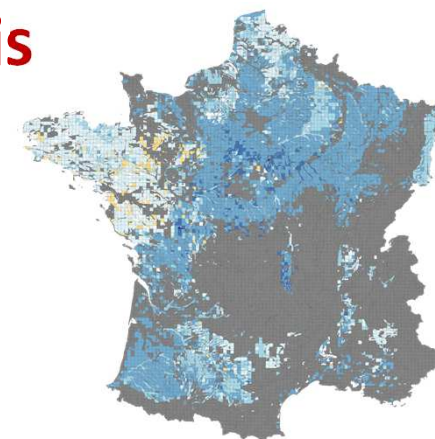
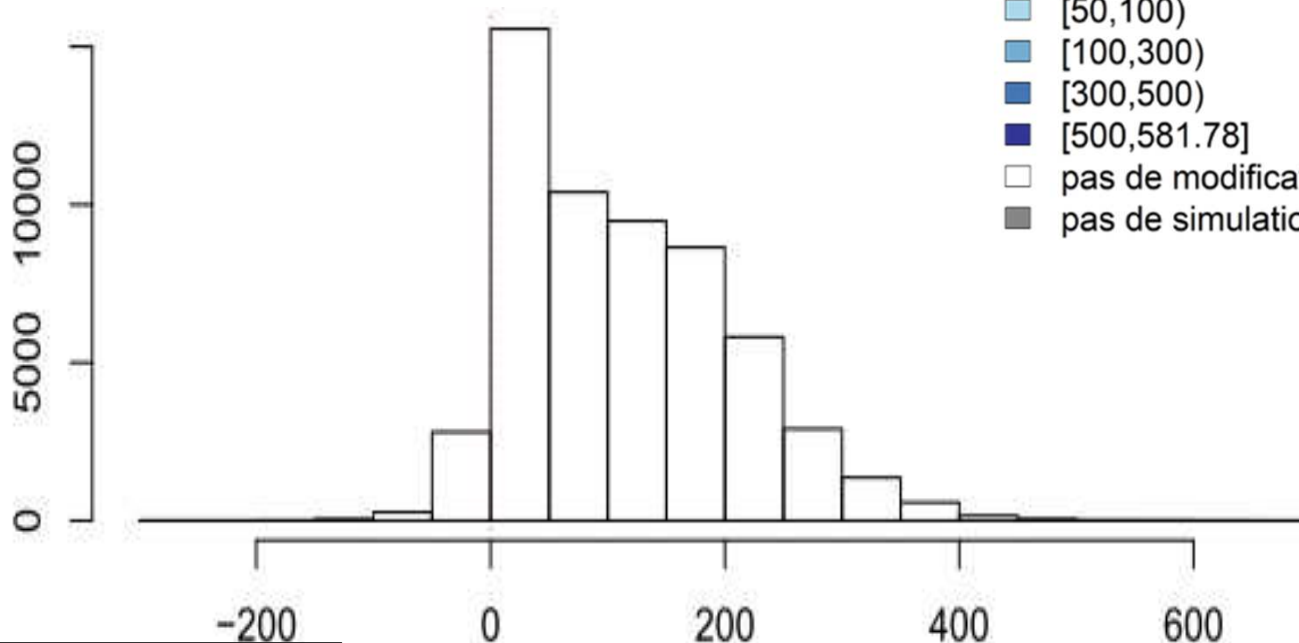


Essai Boigneville t=41 ans, Dimassi et al (2014)

# Exemple de résultat: Stockage additionnel permis par l'expansion des cultures intermédiaires

en kg C/ha/an

- [-73.43,-50)
- [-50,0)
- [0,50)
- [50,100)
- [100,300)
- [300,500)
- [500,581.78]
- pas de modification
- pas de simulation

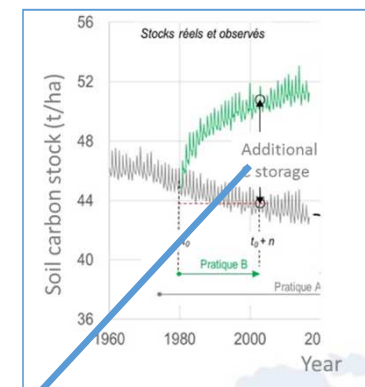


Stockage  
additionnel  
moyen par an

**+126 ± 93 kg C/ha/an**

**17.62 Mha concernés**

Stockage additionnel de C (en kg C/ha/an)



Pellerin et al, 2019

# Bilan gaz à effet de serre complet de l'expansion des cultures intermédiaires

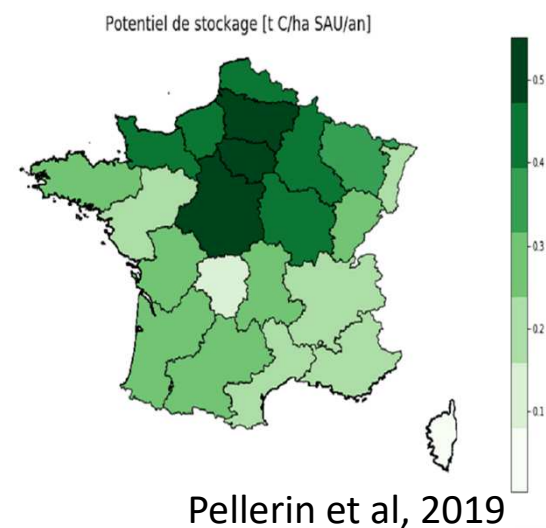
C séquestré sur 0-30 cm	Emissions N <sub>2</sub> O directes	Volatilisation NH <sub>3</sub>	Lixiviation NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Emissions N <sub>2</sub> O directes et indirectes	Consommation de carburant par les opérations agricoles	Emissions induites par la fabrication de fuel	Bilan
(kgCO <sub>2</sub> eq/ha/ an)	(kgN- N <sub>2</sub> O/ha/an)	(kgN- NH <sub>3</sub> /ha/an)	(kgN-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha/an)	(kgCO <sub>2</sub> eq/ha/ an)	(kgCO <sub>2</sub> eq/ha/ an)	(kgCO <sub>2</sub> eq/ha/ an)	(kgCO <sub>2</sub> eq/ha/ an)
-463	0,10	0,10	-3,70	34	15	4	-411

Pellerin et al, 2019

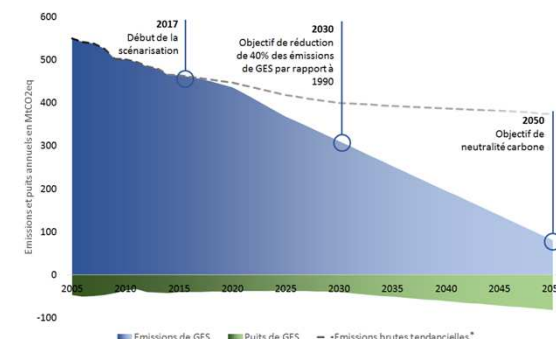


# Potentiel de stockage additionnel dans les sols français

- Le potentiel de stockage additionnel de carbone dans les sols agricoles français est de +5,69 Mt C par an dans l'horizon 0-30cm (+8,28 Mt de C par an sur toute la profondeur de sol)
- L'essentiel des possibilités de stockage additionnel se trouve dans les systèmes de grandes cultures (+5,1 ‰ par an; 86 % du potentiel total)
- Les pratiques avec les plus forts potentiels de stockage sont:
  - *L'extension des cultures intermédiaires (éviter les sols nus) (35,5%)*
  - *L'agroforesterie intraparcellaire (19,4%)*
  - *L'insertion et l'allongement de prairies temporaires à la place du maïs ensilage (14,8%)*
- En prairie permanente l'enjeu est plutôt de préserver les stocks, qui sont plus élevés qu'en grande culture (84,6t de C/ha sous prairie; 51,6t de C/ha sous grande culture)



# Potentiel de stockage additionnel dans les sols français



- **Calculé sur l'ensemble de la profondeur de sol, le stockage additionnel permis par l'adoption de pratiques agricoles plus stockantes (30,4 MtCO<sub>2</sub>e/an) compenserait annuellement**
  - 6,9 % des émissions françaises de gaz à effets de serre (436 MtCO<sub>2</sub>e en 2019)
  - 41,4 % des émissions agricoles (73,2 MtCO<sub>2</sub> en 2019, hors UTCACF)
- **Avec les pratiques de fertilisation azotée actuelles, les systèmes de grande culture resteraient des émetteurs nets de GES, même après mise en place de pratiques favorables au stockage de C (-54% d'émissions nettes avec les pratiques cultures intermédiaires, nouvelles ressources organiques, prairies temporaires)**
  - Favoriser le stockage de C ne dispense pas d'un effort visant à réduire l'usage des engrais azotés de synthèse
- **46% du potentiel de stockage est à un coût inférieur à la valeur tutélaire actuelle du carbone (55€ /tCO<sub>2</sub>e)**

Merci pour votre attention!

