



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 OPTEER

AVEC LE PARTENARIAT
SCIENTIFIQUE DE

**RÉGION
BOURGOGNE
FRANCHE
COMTÉ**


**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*




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


alterre
bourgogne
franche-comté

Atmo^{BFC}
AIR - CLIMAT - ÉNERGIE
ACTEUR DE LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

opteer
COMPRENDRE
LE TERRITOIRE,
CONSTRUIRE L'AVENIR

ThéMA
UMR 6048 Thématix & Modéliser pour Aménager

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

Sylvain PELLERIN, INRAE



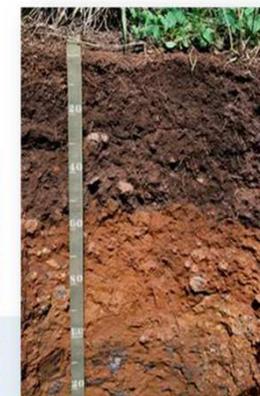
Un contexte d'urgence climatique

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



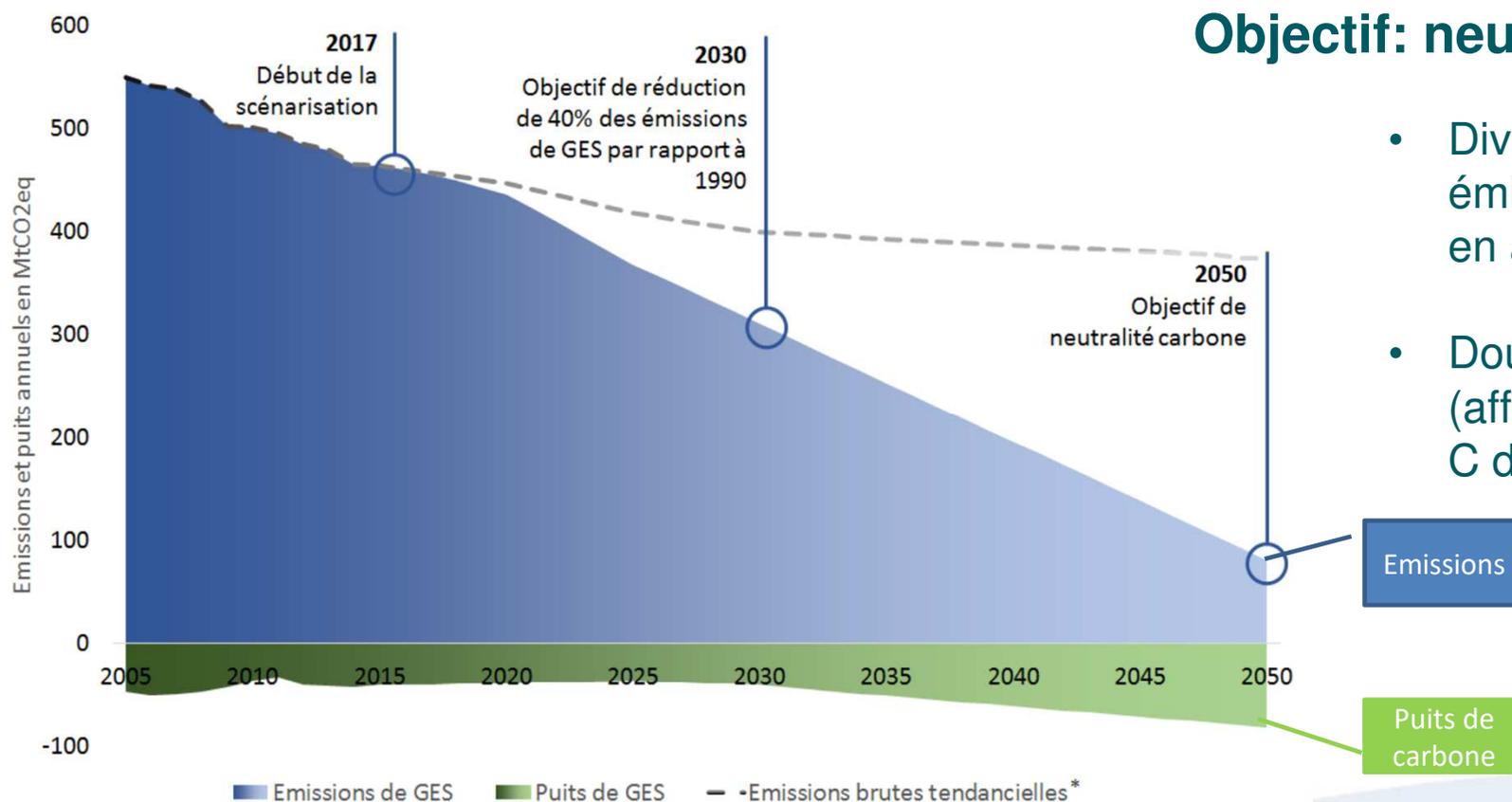
Deux leviers complémentaires

- **Réduire les émissions** de CO₂ liées à l'usage des énergies fossiles et à la déforestation, ainsi que les émissions des autres gaz à effet de serre (N₂O, CH₄)
- **Préserver et accroître le puits de CO₂** que constitue la biosphère (stockage dans la biomasse et les sols)





Stratégie Nationale Bas Carbone de la France

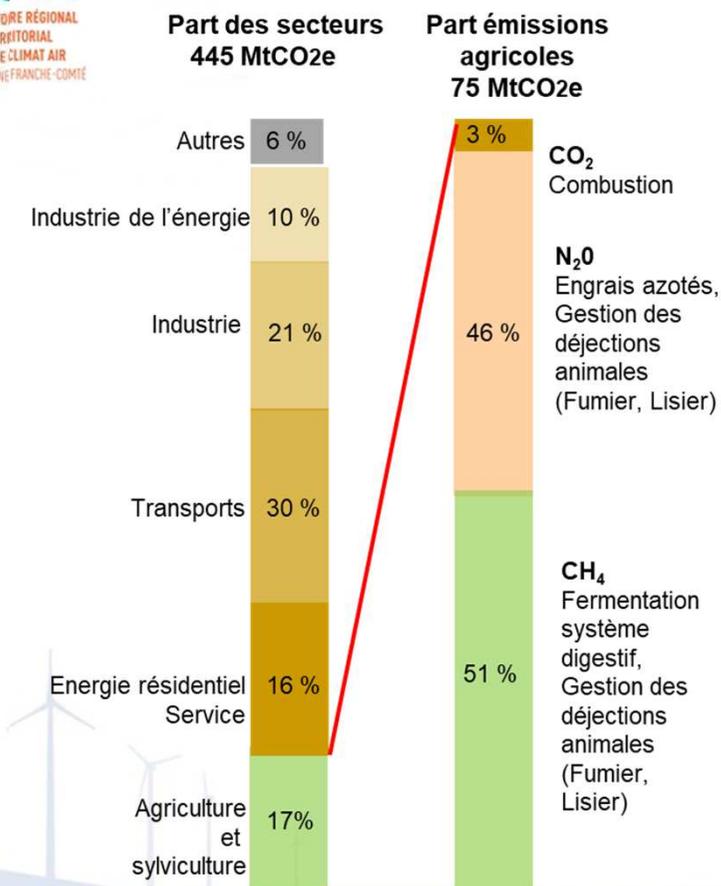


Objectif: neutralité C en 2050

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

→ 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 CO₂e

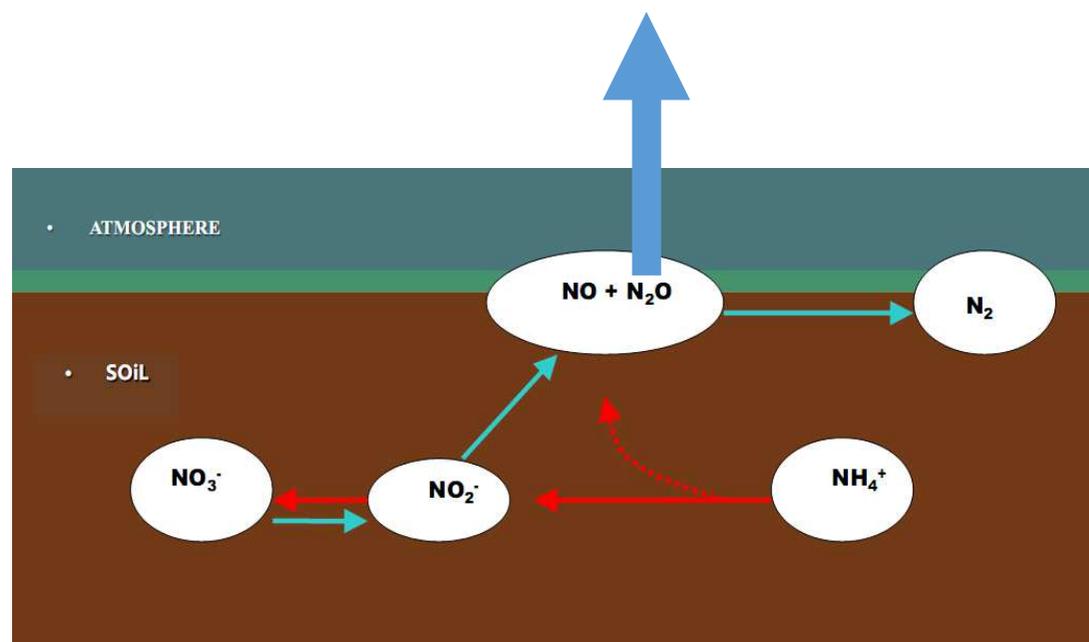


3% CO₂
46% N₂O
51% CH₄

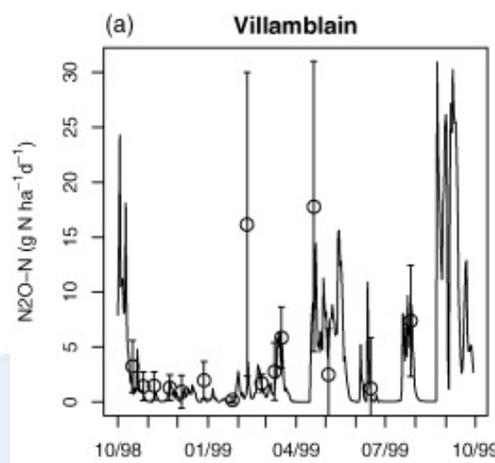
→ Des émissions agricoles majoritairement biogéniques, non énergétiques, diffuses

Sols et émissions de N₂O

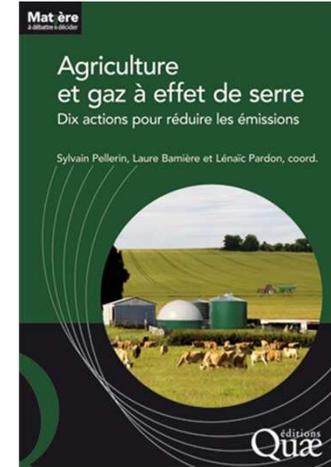
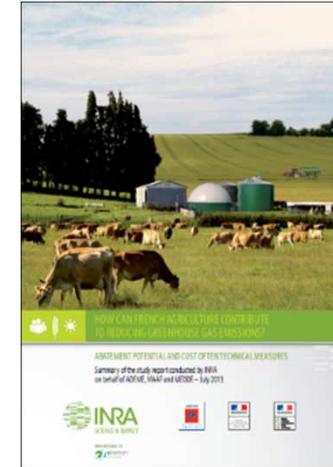
- Le N₂O (PRG=265) est produit lors des réactions de nitrification (en conditions aérobies) et dénitrification (en conditions anaérobies)
- Très forte variabilité spatiale et temporelle
- Les émissions sont très liées à l'usage des engrais azotés; Facteurs d'émission IPCC 2019:
 - 0,016 kg N-N₂O/kg N tot (engrais minéral)
 - 0,010 kg N-N₂O/kg N tot (fumier)
- En France le N₂O représente
 - 9% des émissions totales de GES
 - 46% des émissions agricoles



denitrification (anaerobic) – nitrification (aerobic)



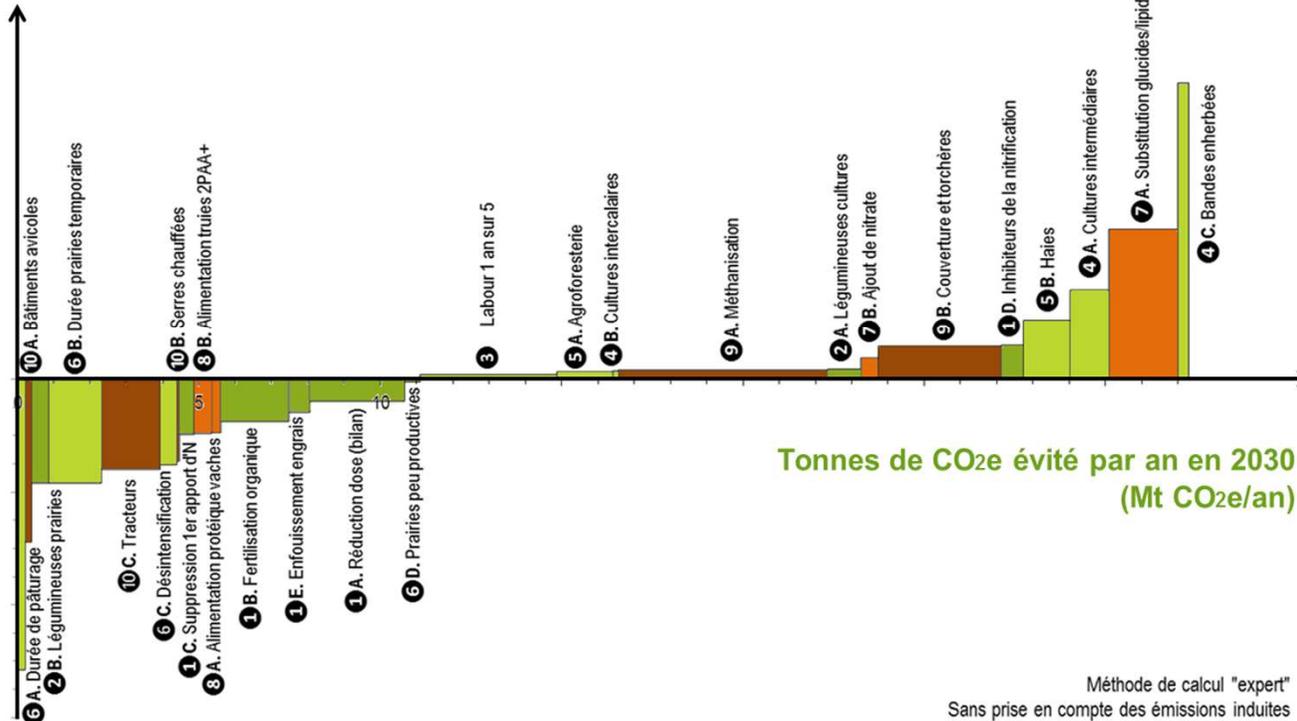
Rapport INRA sur l'atténuation des gaz à effet de serre en Agriculture



26 actions identifiées

- Chacune caractérisée par
- Son potentiel d'atténuation (MtCO₂e évitées par an)
 - Son coût pour l'agriculteur (€/tCO₂e évitée)

Coût annuel de la tonne de CO₂e évité (€/tCO₂e)



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

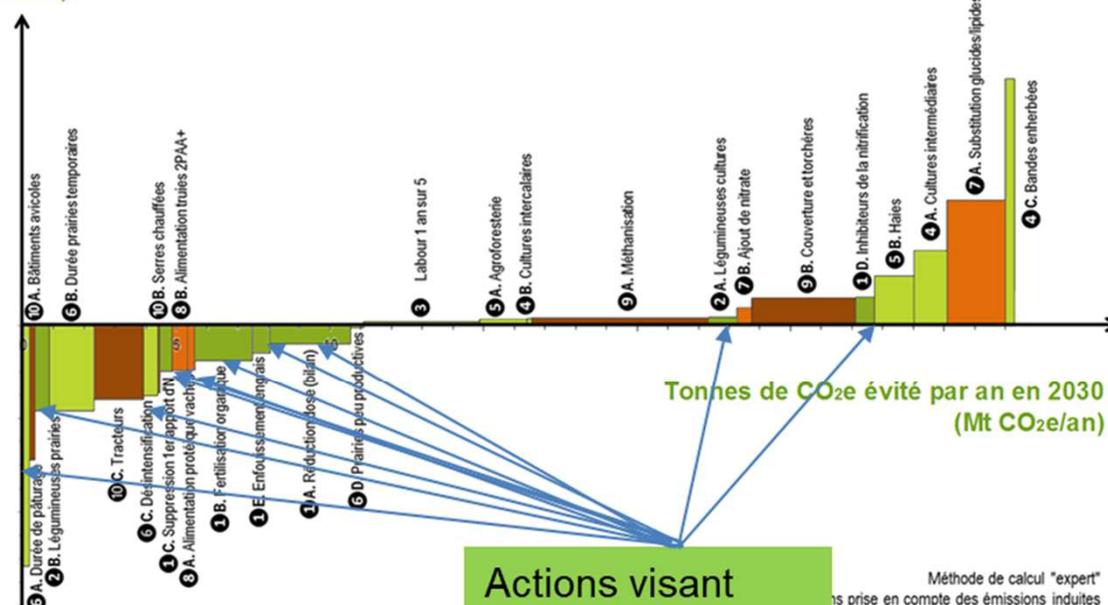


Les leviers visant une meilleure maîtrise du cycle de l'azote représentent 11 des 26 actions identifiées et 26% du potentiel d'atténuation total

- 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

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

Coût annuel de la tonne de CO₂e évité (€/tCO₂e)

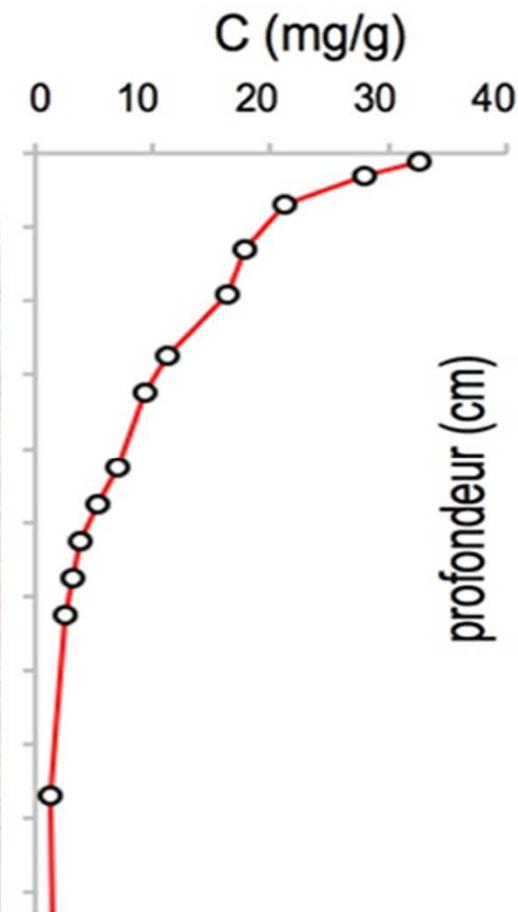


Actions visant une réduction des émissions de N₂O par la maîtrise du cycle de l'azote

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

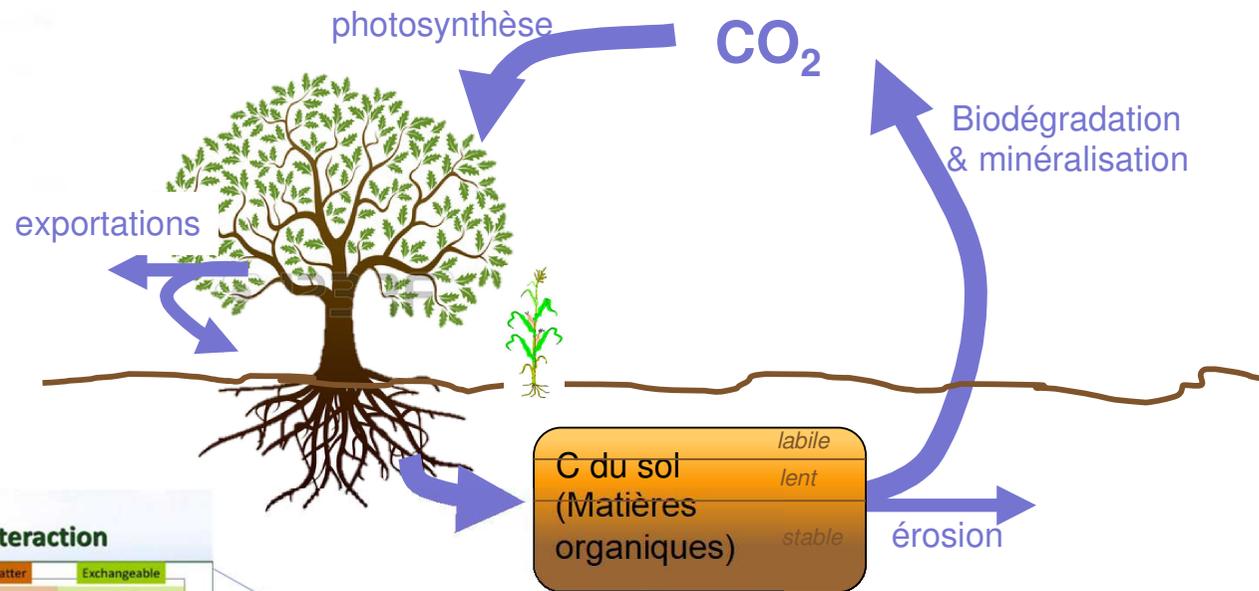
Sols et stockage de carbone

- ✓ 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 CaCO_3)

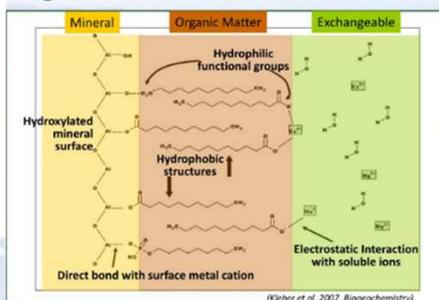


Sols et stockage de carbone

Le carbone organique du sol provient, après transformation, du retour au sol des résidus végétaux, élaborés par assimilation chlorophyllienne du CO₂ atmosphérique par les végétaux

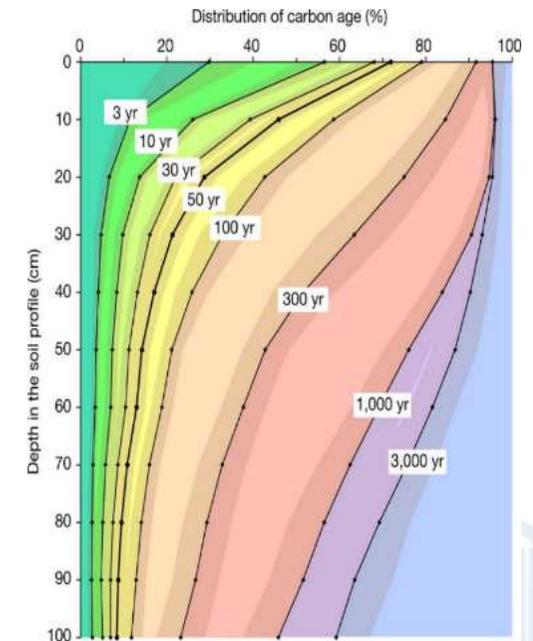


Organo-mineral interaction



stabilisation par des interactions organo-minérales

Chenu, 2016

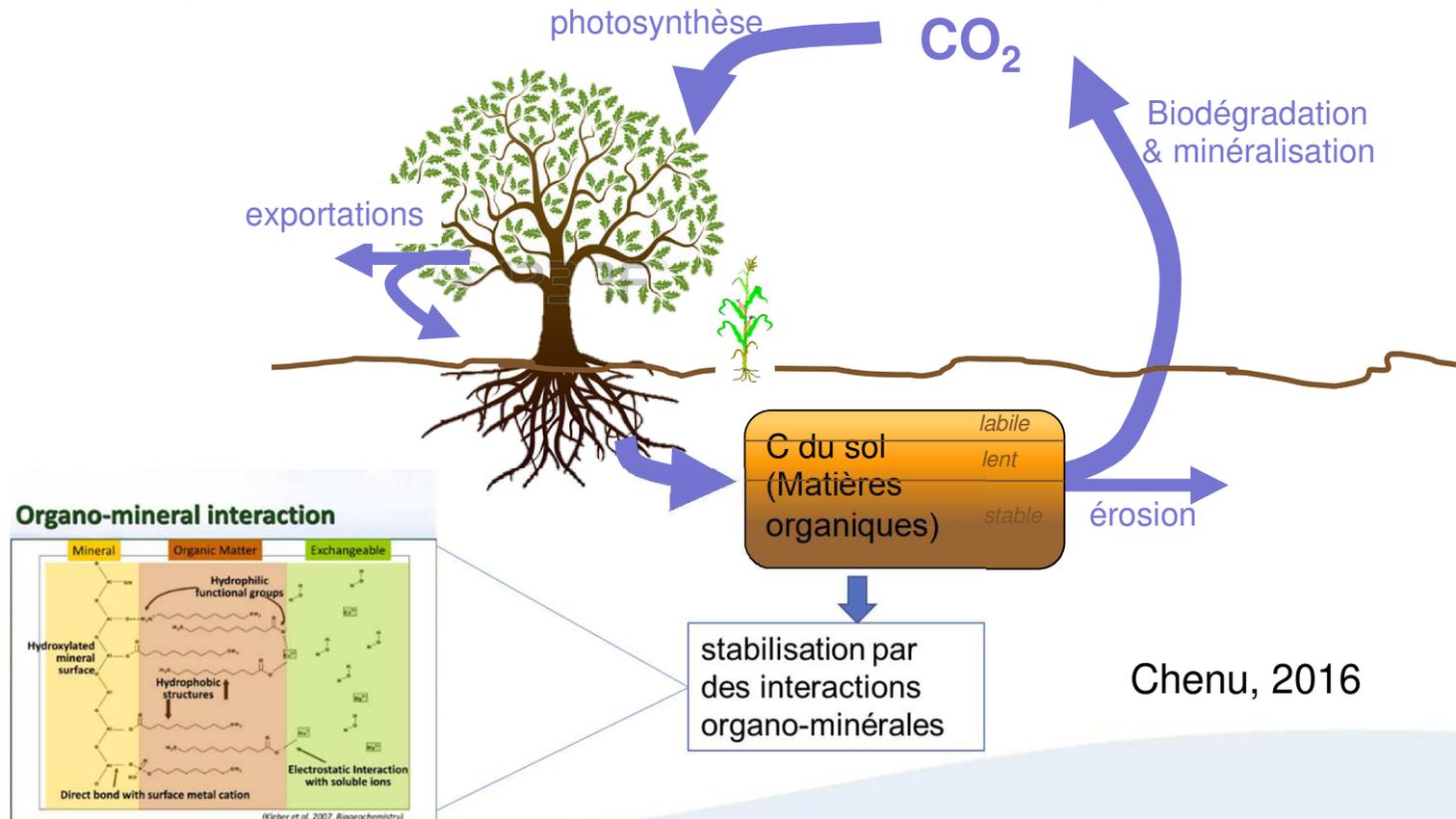


Balesdent et al., 2018)

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...

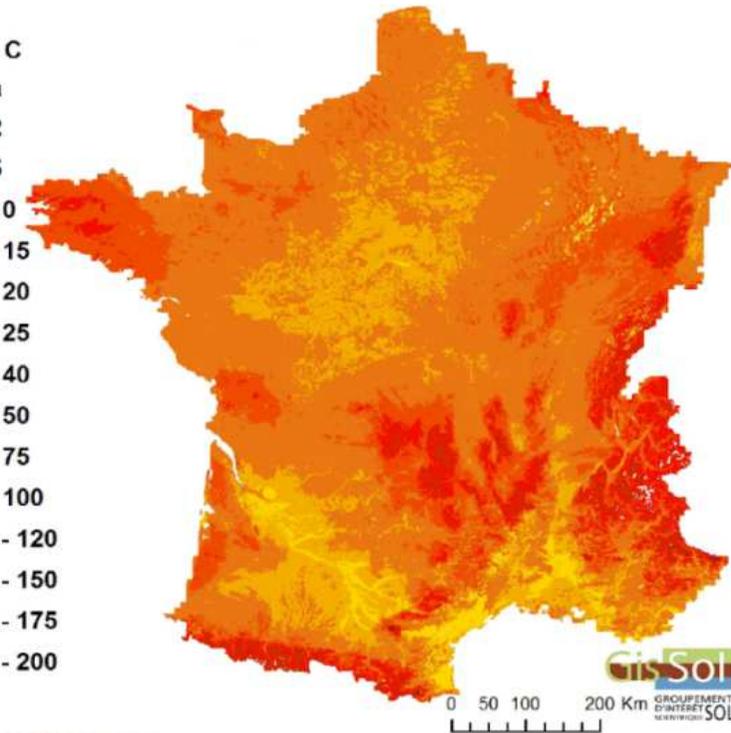
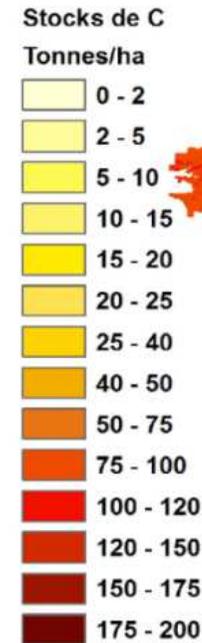


Chenu, 2016

...car ce carbone, tant qu'il est piégé dans la matière organique du sol, n'est pas sous forme de CO₂ 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 CO₂e, 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.

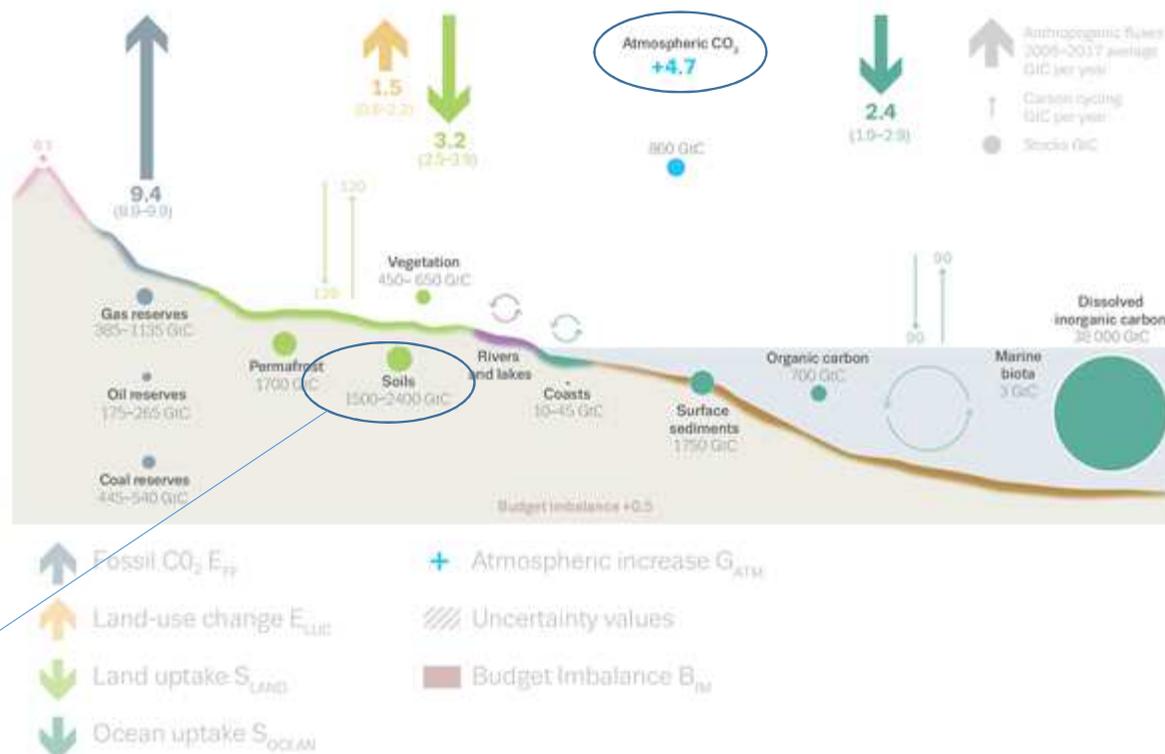
	min	moyenne	médiane	max	écart type
Stock de C organique sous prairie permanente (t/ha)	18,1	84,6	78,3	309	35.0
Stock de C organique sous grande culture (t/ha)	9,92	51,6	47,9	137	16.2
Stock de C organique sous forêts (t/ha)	6.87	81.0	73.4	230	35.4

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 (1,5GtC/an) permettrait de stopper l'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère (+4,7 GtC/an)

The global carbon cycle



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

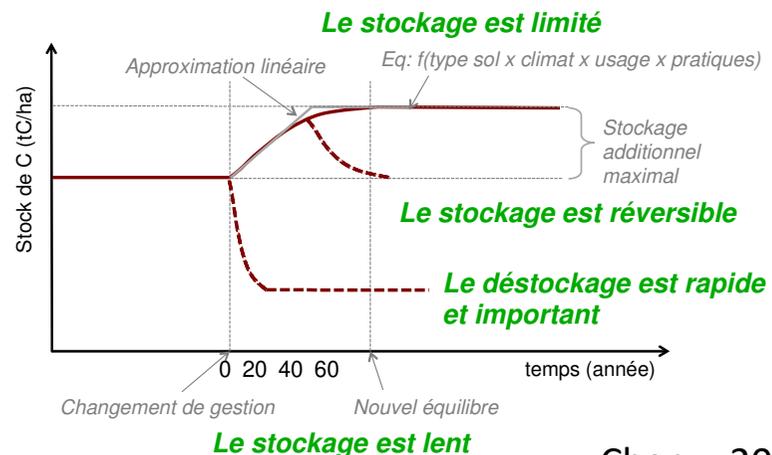
L'initiative 4%

Nombreuses controverses

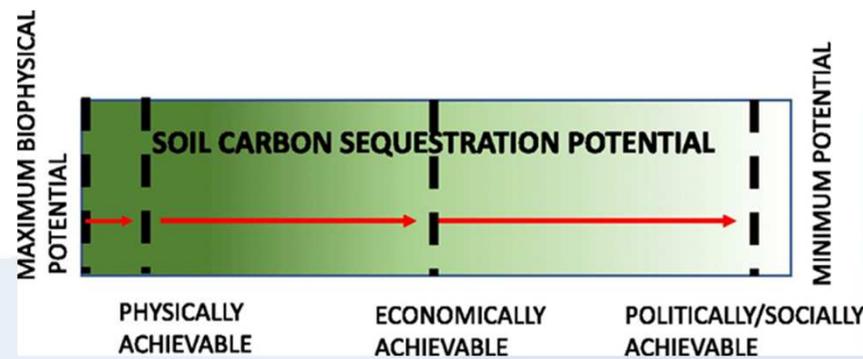
- Sur l'opportunité de l'initiative (risque d'affaiblir le message sur la nécessité de réduire les émissions)
- Sur la simplicité du calcul
- Sur les limites de la séquestration du C dans les sols
 - processus limité dans le temps, réversible, à rendement faible
 - nécessitant des ressources importantes 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**



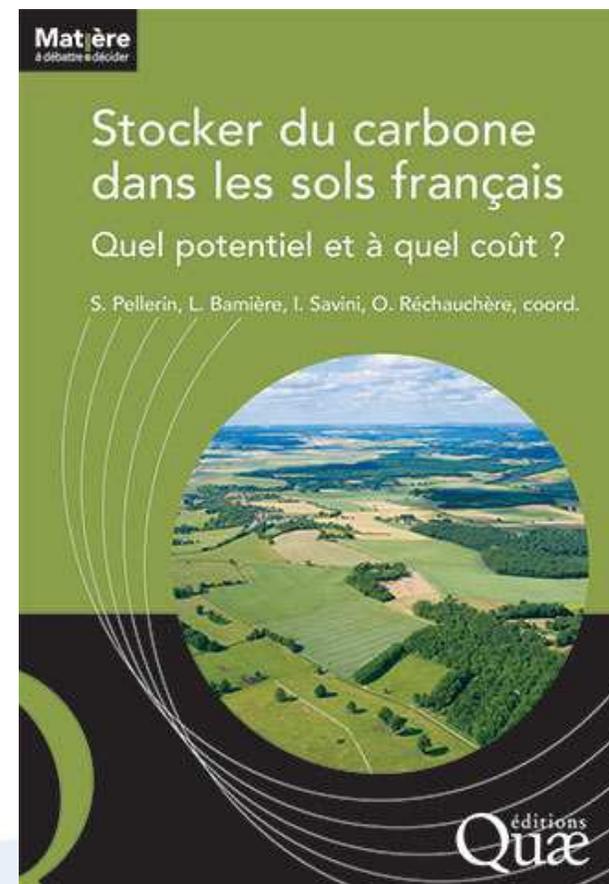
Chenu, 2016



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



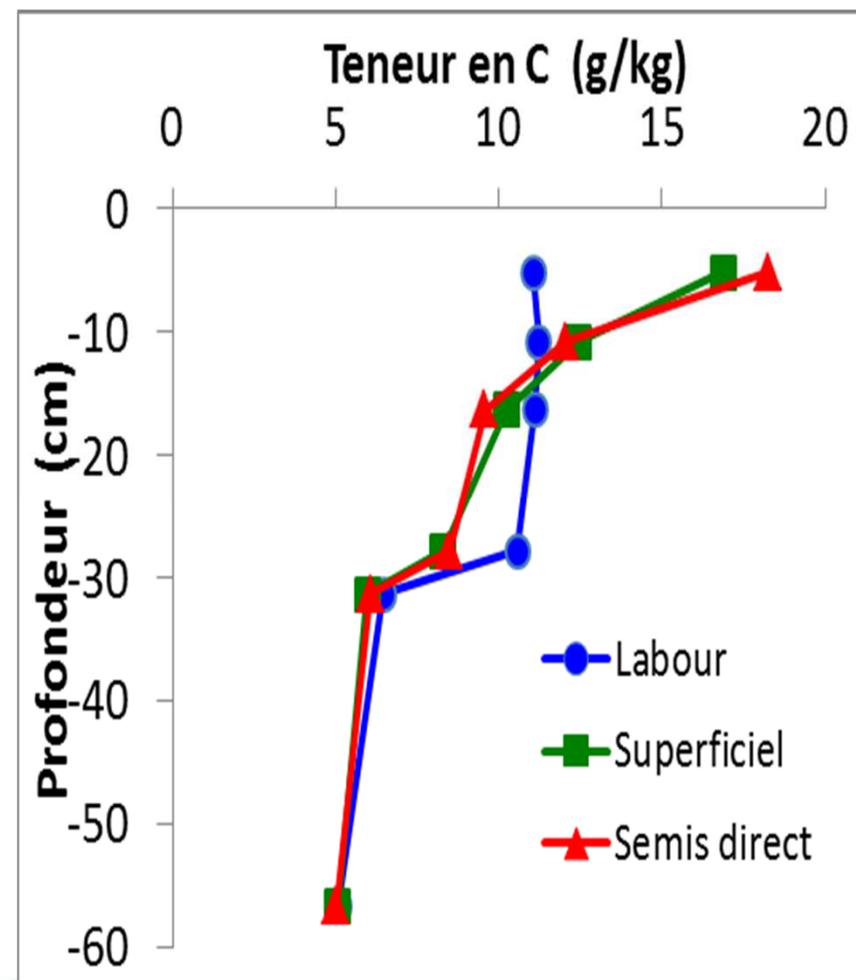
Neuf pratiques « candidates »

- 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:

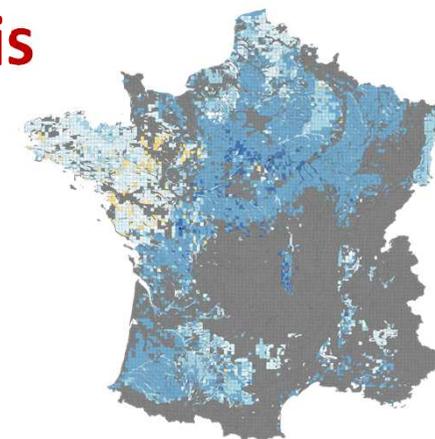
→ à revoir à **la baisse** le potentiel de stockage additionnel de C par réduction du labour, car non systématique (Dimassi 2014, Haddaway et al., 2017; Ogle et al., 2019) (*mais cette pratique garde tout son intérêt pour réduire la consommation d'énergie fossile, et vis-à-vis d'autres enjeux*)

→ 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)



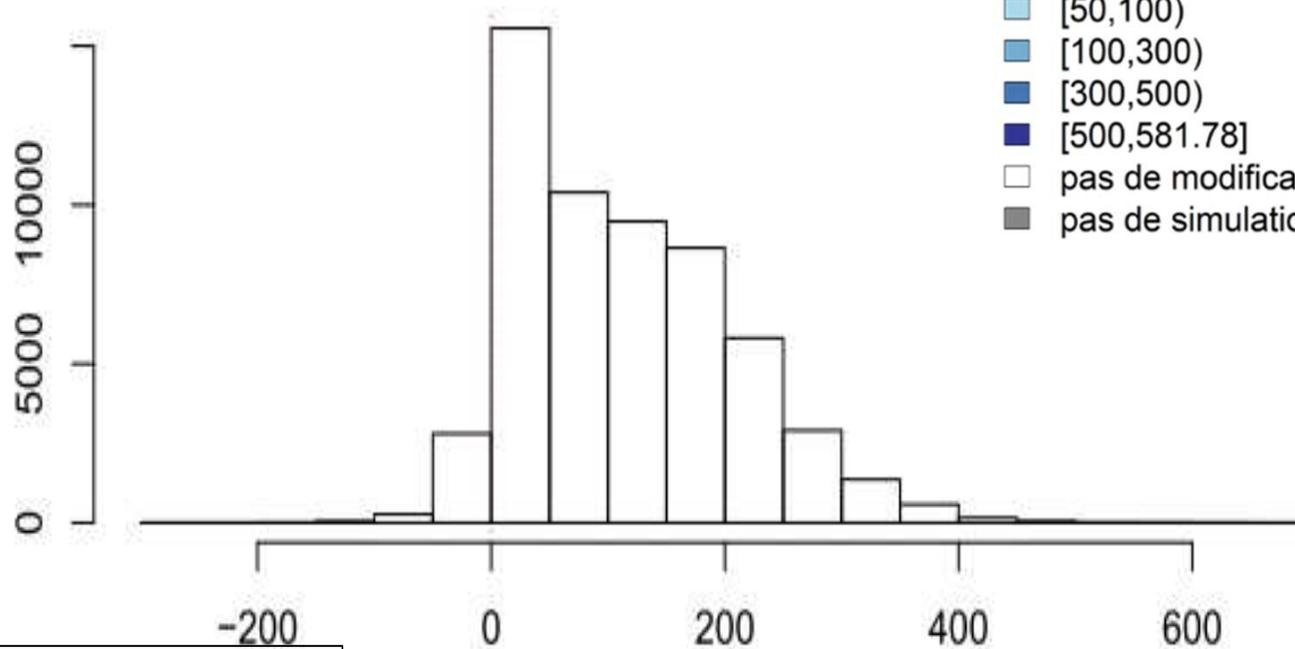
Essai Boigneville t=41 ans, Dimassi et al (2014)

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

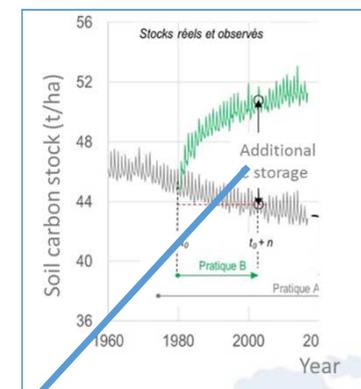


Stockage
additionnel
moyen par an

+126 ± 93 kg C/ha/an

17.62 Mha concernés

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



Pellerin et al, 2019

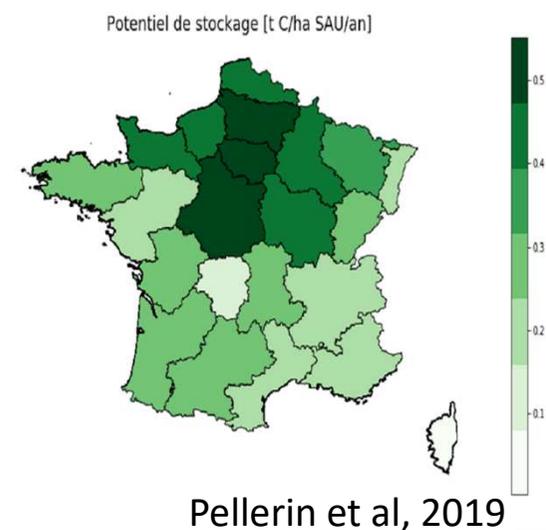
Bilan gaz à effet de serre complet de l'expansion des cultures intermédiaires

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

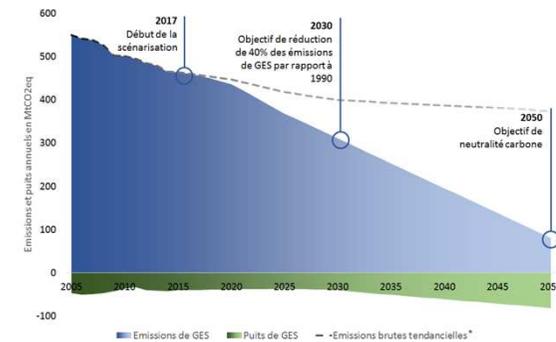
Pellerin et al, 2019

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 MtCO₂e/an) compenserait annuellement**
 - 6,9 % des émissions françaises de gaz à effets de serre (436 MtCO₂e en 2019)
 - 41,4 % des émissions agricoles (73,2 MtCO₂e 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€ /tCO₂e)**

Merci pour votre attention!

