



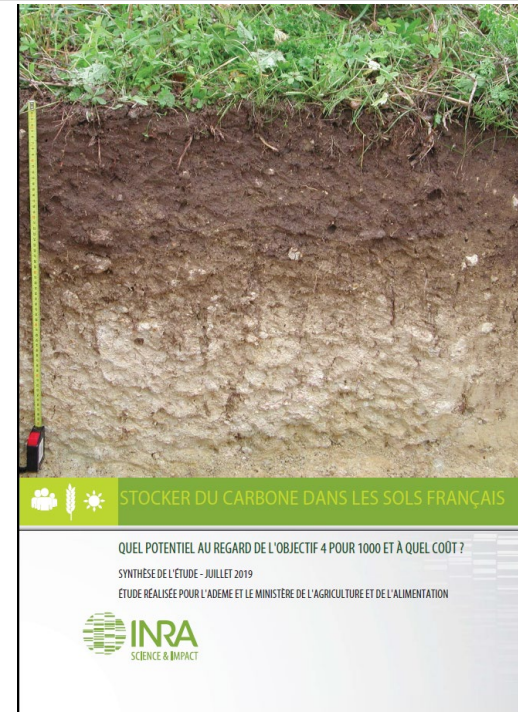
Stocker du carbone dans les sols français

Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût?

SYLVAIN PELLERIN & LAURE BAMIÈRE (INRAE)

Objectifs de l'étude « 4 pour mille France » (commande MAA-ADEME)

- 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



Démarche globale

Sélection de pratiques stockantes « candidates » (bibliographie)

Estimation de l'assiette maximale technique (AMT): surface sur laquelle la mise en œuvre de la pratique « stockante » est possible, en tenant compte des obstacles techniques (ex espèces présentes dans la succession, type de sol, taille des parcelles, présence d'un troupeau...)

Chiffrage du potentiel de stockage additionnel

- par simulation, à une résolution spatiale fine (km²), pour prendre en compte la diversité des contextes agro-pédo-climatiques; utilisation des modèles STICS et PaSim pour simuler l'évolution du stock de C pour
 - (i) la ligne de base (pratiques actuelles)
 - (ii) les scénarios « stockants »
- par calcul pour les pratiques pour lesquelles on ne disposait pas de modèle (ex Agroforesterie)

Calcul du coût additionnel pour l'agriculteur

Proposition d'une allocation cout-efficace de l'effort de stockage: quelle(s) pratiques mettre en œuvre? et où les mettre en œuvre? pour atteindre une cible de stockage donnée, en minimisant le coût

Calcul du stockage additionnel

Evolution du stock simulé sur 30 ans

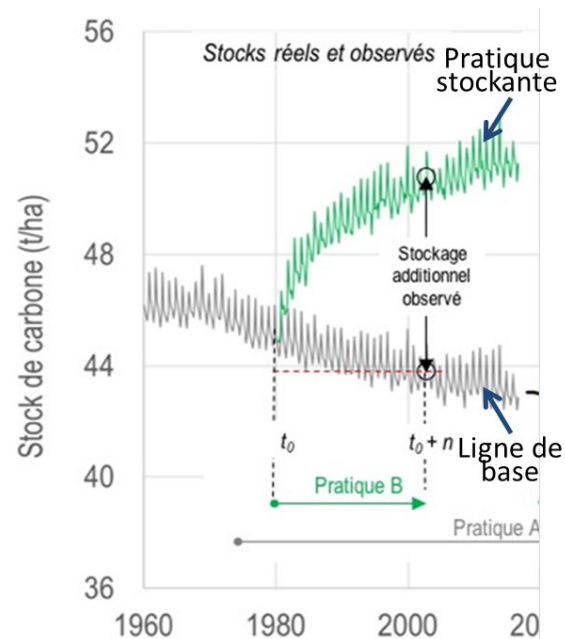
- sous hypothèse de maintien des pratiques actuelles = ligne de base
- sous hypothèse d'adoption de la pratique stockante

$$\text{Stockage additionnel (tC/ha/an)} = \frac{(\text{Stock C final pratique stockante} - \text{Stock C final ligne de base})}{30}$$

Simulations

- sur 30 ans, sous climat actuel (passé récent)
- pour l'horizon 0-30 cm
- extrapolées à l'ensemble du profil

Calcul d'un bilan GES complet par pratique





Pratiques stockantes

En grandes cultures :

- Extension des cultures intermédiaires
- Semis direct
- Mobilisation de nouvelles ressources organiques
- Insertion et allongement des prairies temporaires
- Agroforesterie intra-parcellaire
- Haies

En prairie permanente

- Intensification modérée des prairies extensives
- Substitution fauche / pâture

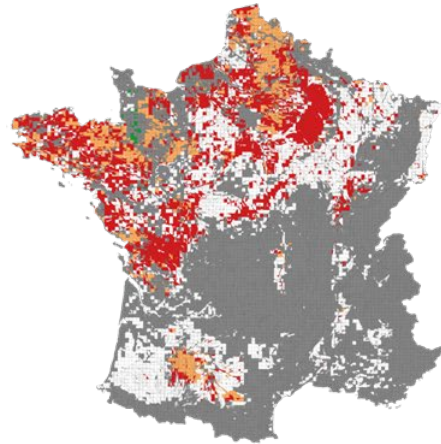
En vigne

- Enherbement

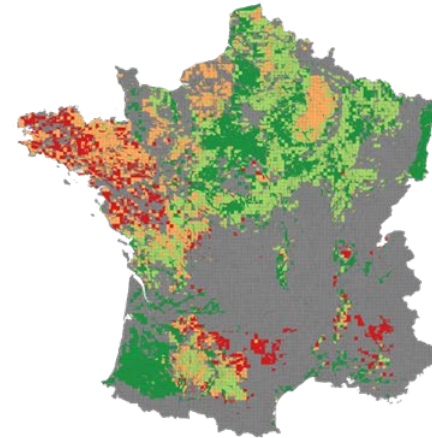


Exemple de résultats: Scénario extension des cultures intermédiaires (CI)

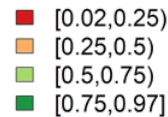
Fréquence des intercultures...



a) ... couvertes dans
la ligne de base



b) ... couvertes dans
le scénario CI



**Ajout principalement de cultures intermédiaires en été
et de féverole après maïs grain en Alsace et Aquitaine.**

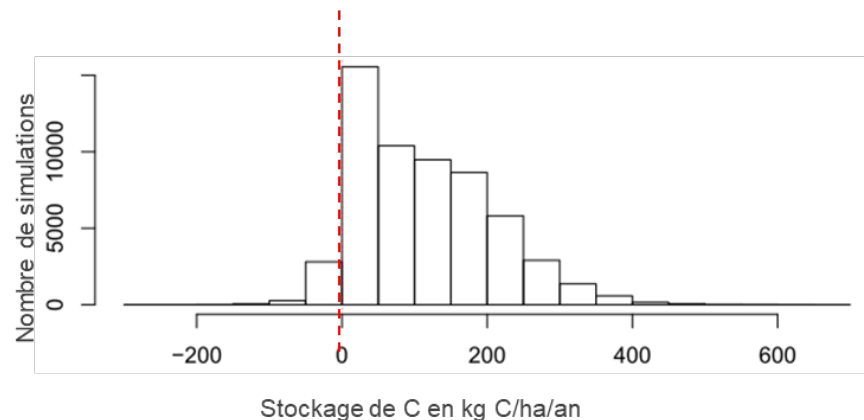


Exemple de résultats: Scénario extension des cultures intermédiaires (CI)

Stockage additionnel par rapport à la ligne de base

Moyenne : +126 ±93 kg C/ha/an

Surface concernée : 16,64 Mha (96,1% de la surface en grandes cultures et prairie temporaire)

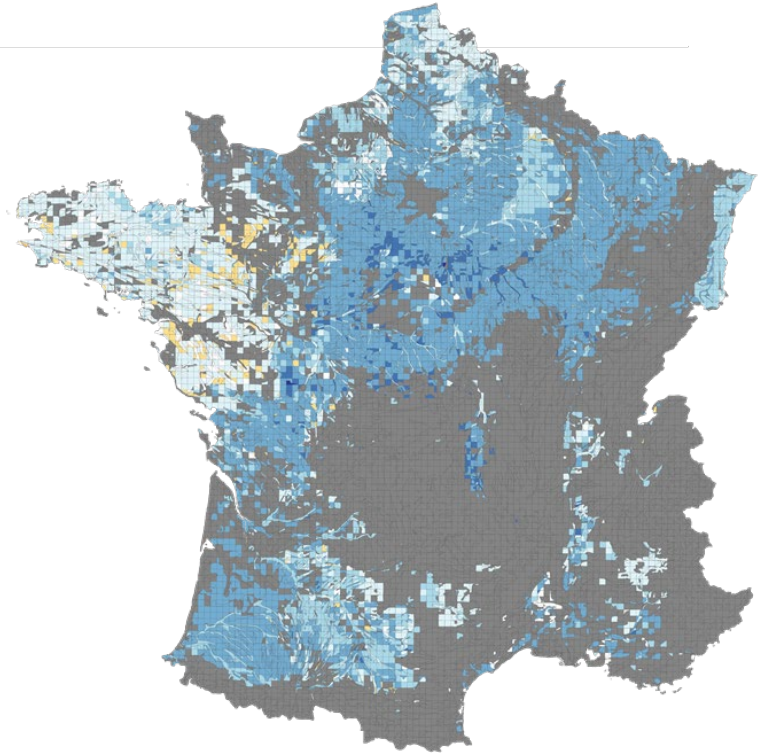
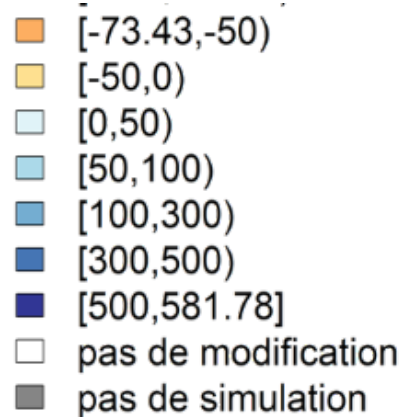


Référence de la littérature : +313 kgC/ha/an dans des situations où des cultures intermédiaires sont insérées dans des intercultures d'hiver nues.



Exemple de résultats: Scénario extension des cultures intermédiaires (CI)

Carte du stockage additionnel de carbone (en kgC/ha/an)





Potentiel de stockage agrégé

	Stockage additionnel par ha d'assiette Horizon 0-30 cm	Assiette	Stockage additionnel France entière Horizon 0-30 cm	Stockage additionnel, rapporté au stock du mode d'occupation du sol correspondant
	Kg C/ha/an	Mha	Mt C/an	% /an
En grandes cultures et prairies temporaires				
Extension des cultures intermédiaires	+126	16,03	+2,019	
Semis direct	+60	11,29	+0,677	
Nouvelles ressources organiques	+57	1,46	+0,084	
Insertion et allongement de prairies temporaires	+127	6,63	+0,840	
Agroforesterie intraparcellaire	+207	5,33	+1,103	
Haies	+17	8,83	+0,150	
Total grandes cultures			+4,873	+5,1



Potentiel de stockage agrégé

	Stockage additionnel par ha d'assiette Horizon 0-30 cm	Assiette	Stockage additionnel France entière Horizon 0-30 cm	Stockage additionnel, rapporté au stock du mode d'occupation du sol correspondant
	Kg C/ha/an	Mha	Mt C/an	‰ /an
En prairie permanente				
Intensification modérée	+176	3,94	+0,694	
Remplacement fauche-pâturage	+265	0,09	+0,023	
Total prairies permanentes			+0,717	+0,9
En vignoble				
Enherbement	+182	0,56	+0,103	
Total vignoble			+0,103	+3,7
Ensemble des surfaces agricoles			5,693	+3,2

→ En extrapolant à l'ensemble du profil de sol, et en écartant le semis direct, cela représente 8,28 MtC = 30,4 Mt CO₂e, soit 6,6% des émissions nationales



Calcul des coûts techniques unitaires

« Coût additionnel » = « coût » pratique stockante – « coût » pratique de la ligne de base

Coût = Manque à gagner ou gain par rapport à la pratique actuelle (pratique, région)

❖ Δ dépenses

- ❖ Variation des charges variables (ex. engrais, semences, alimentation animale, etc.)
- ❖ Variation des opérations culturales (ex. main d'œuvre, amortissement du matériel, carburant)
- ❖ Investissements spécifiques (ex. implantation de rangées d'arbres)

❖ Δ recettes

- ❖ Augmentation / diminution des rendements (ex. intensification prairie permanente)
- ❖ Création d'un nouveau revenu (ex. vente du bois produit en agroforesterie)
- ❖ Perte de revenu due au changement d'assolement (ex. substitution de cultures par des arbres)

Excluant les subventions (aides locales, mesures agroenvironnementales, etc.)

Calcul d'une annuité constante avec un taux d'actualisation de 4,5% (CGDD)

Calculs effectués avec assolements, cheptels, contextes techniques et économiques constants, correspondant à la période de référence 2009-2013

Coûts techniques et de stockage

Pratiques stockantes	Assiette (Mha)	Stockage C additionnel (tC/ha/an)	Potentiel total de stockage C (M tC/an)	Coût pour l'agriculteur (€/ha/an)	Coût de stockage (€/tC)	Coût de stockage (€/tCO ₂)
Haies	8,83	0,031	0,28	73 (54; 87)	2 322 (2 013; 3 618)	633 (549; 987)
Insertion et allongement des prairies temporaires	6,63	0,192	1,27	91 (-40; 263)	473 (-242; 1 667)	129 (-66; 455)
Agroforesterie	5,33	0,391	2,08	118 (63; 179)	302 (195; 386)	82 (53; 105)
Nouvelles ressources organiques	1,46	0,098	0,14	22,6 (-92; 269)	231 (-467; 3422)	63 (-127; 933)
Substitution fauche-pâturage en prairies permanentes	0,09	0,362	0,03	73 (-85; 146)	203 (-2 791; 518)	55 (-761; 141)
Extension des cultures intermédiaires	16,03	0,215	3,45	39 (12; 147)	180 (69; 1 104)	49 (19; 301)
Intensification modérée des prairies permanentes	3,94	0,213	0,84	28 (12; 38)	130 (60; 1 189)	35 (16; 324)
Enherbement des vignobles						
permanente	0,15	0,464	0,07	-26 (-27; -22)	-56 (-44; -77)	-15 (-21; -11)
hivernal	0,41	0,300	0,12	-15 (15; 15)	-51 (-51)	-14 (-14)



Courbe de coût marginal de stockage

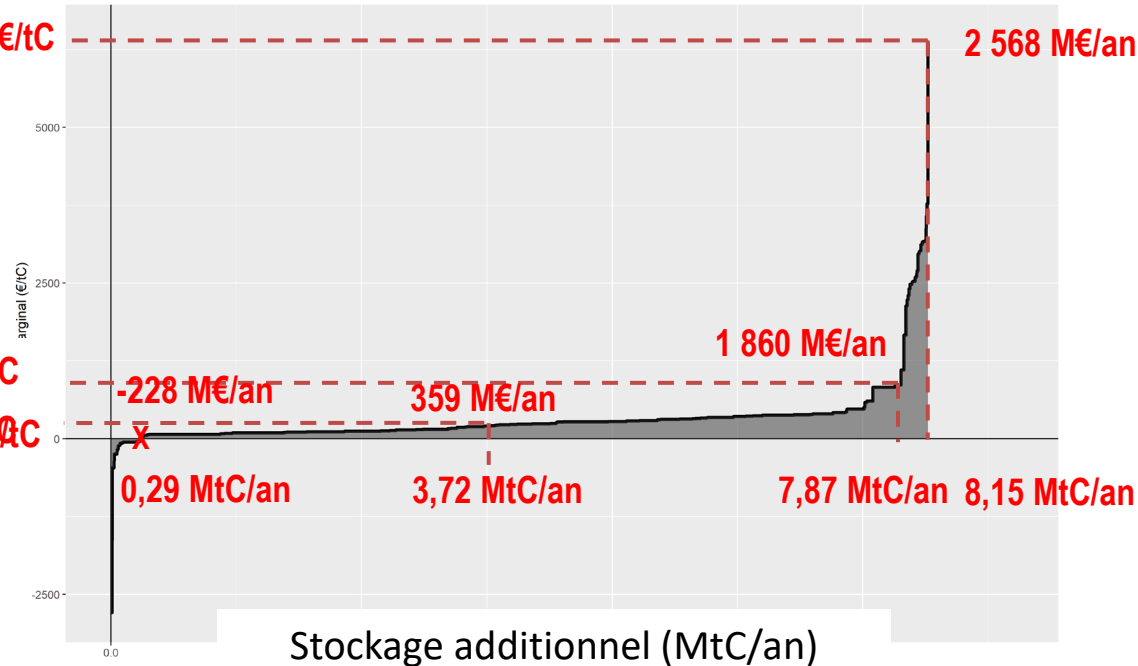
Coût de la dernière
 tC stockée (€/tC) **6364 €/tC**

Valeurs de l'action pour
 le climat 2020 et 2030

250 €/tCO₂e = 917,5 €/tC

55 €/tCO₂e = 201,70 €/tC

France métropolitaine, courbe de coût marginal de stockage de carbone dans le sol (horizon 0-100 cm)





Pour résumer

- Un potentiel maximal de stockage additionnel de C de +8,28 Mt C/an (+3,2 ‰ pour les sols agricoles ; -30,4 Mt CO₂e/an;)
- qui compenserait
 - 6,6% des émissions françaises de GES
 - 39,6% des émissions agricoles
 - Ce bilan est amélioré de +94% par la prise en compte des autres postes d'émission de GES, essentiellement du fait du stockage de carbone dans la biomasse aérienne permis par l'agroforesterie intra-parcellaire et les haies
- Ce potentiel de stockage additionnel se trouve principalement dans les systèmes de grandes cultures (87 % du total), en partie du fait d'un faible stock initial
- Les objectifs de stockage additionnel élevés ne peuvent être atteints qu'avec la généralisation des cultures intermédiaires et le développement notable de l'agroforesterie intra-parcellaire et de l'introduction et l'allongement des prairies temporaires dans les assolements.

Pour résumer

- Il n'y a pas « une bonne pratique » pour accroître le stockage de C dans les sols ...
- ... mais « des bonnes combinaisons de pratiques aux bons endroits »
- Les pratiques stockantes rendent d'autres services que le seul stockage de C dans le sol
 - Importance de tenir compte de l'ensemble des postes d'atténuation des émissions de GES dans le cadre d'une politique visant l'atténuation du changement climatique
 - Coordination nécessaire d'une politique d'incitation au stockage de C dans le sol avec les politiques existantes
 - Prise en compte de l'ensemble des (dys)services écosystémiques rendus (= bouquets de services)
- Il est important de préserver les stocks existants où ils sont élevés, et de les augmenter là où ils sont faibles



En ligne

<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Stocker-4-pour-1000-de-carbone-dans-les-sols-francais>

- Synthèse de l'étude : version définitive, mise à jour de juillet 2020
- Rapport de l'étude avec des fiches pratiques détaillées
- Données en ligne sur DataInrae

- A venir : Fiches régionales combinant études GES et 4/1000, financées par l'ADEME