



Académie d'Agriculture de France, 06 novembre 2019
Le cycle global du carbone, contributions du système terrestre

Les stocks de carbone et le potentiel de stockage dans les sols agricoles

**Claire Chenu¹, Alexandra Crème¹, Dominique
Arrouays², Songchao Chen², Sylvain Pellerin³**

1-INRA-AgroParisTech, UMR Ecosys, Grignon

2-UR Infosols, INRA, Orléans

3- UMR ISPA INRA

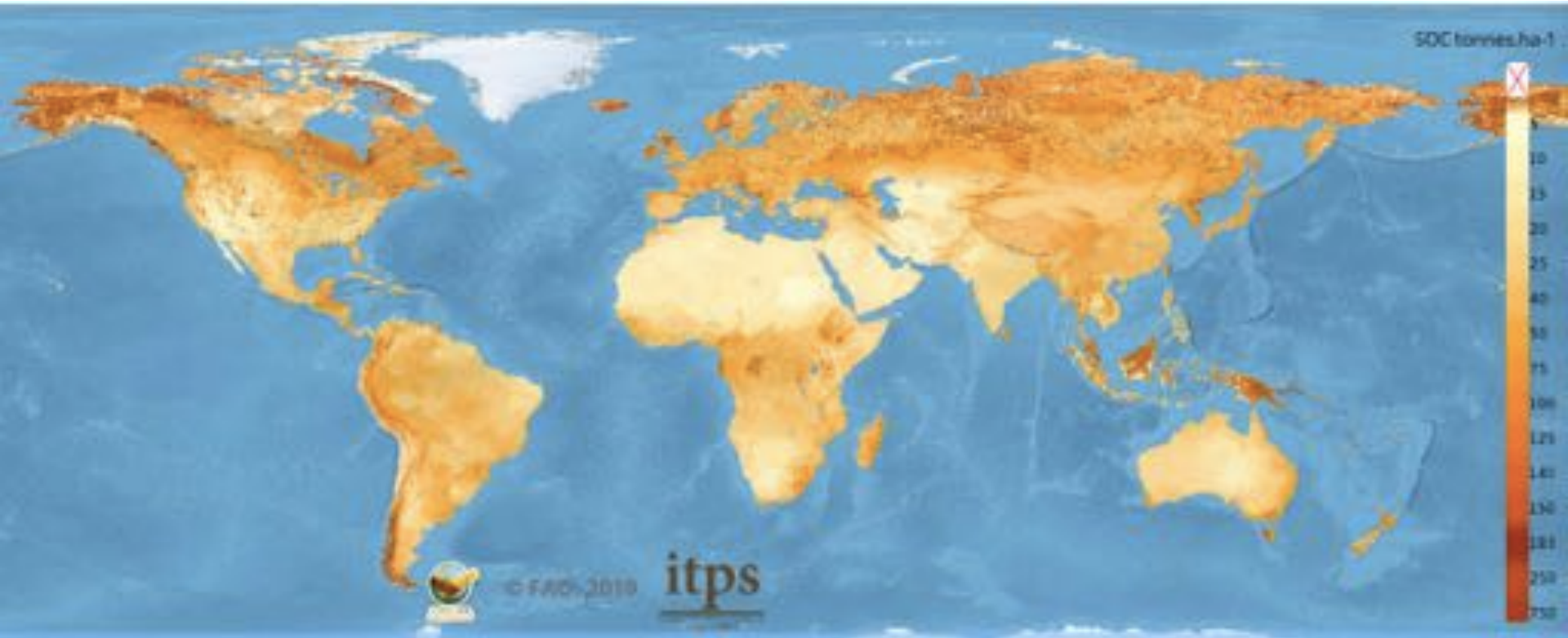
National Academies of Science, Engineering, Medicine USA, 2018. **Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration : A Research Agenda.**

Augmenter le stockage de carbone dans les écosystèmes terrestres car:

- Enorme potentiel
- Bénéfices associés
- Technologies existent, économiquement compétitives

Carte mondiale des stocks de carbone des sols

GSOC Map FAO, 2017

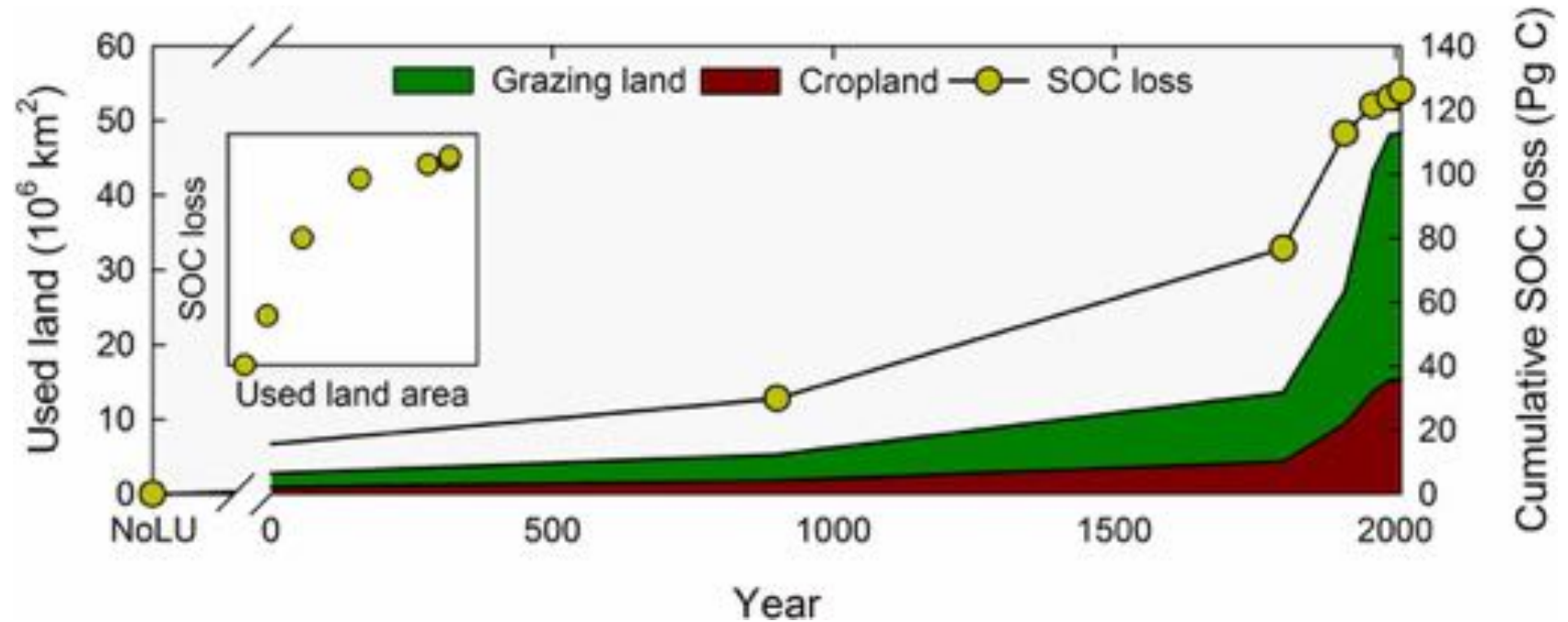


$680 \pm 17 \text{ Pg C}$

24%

Une dette en C des sols après 12000 ans d'activités humaines

Sanderman et al. PNAS



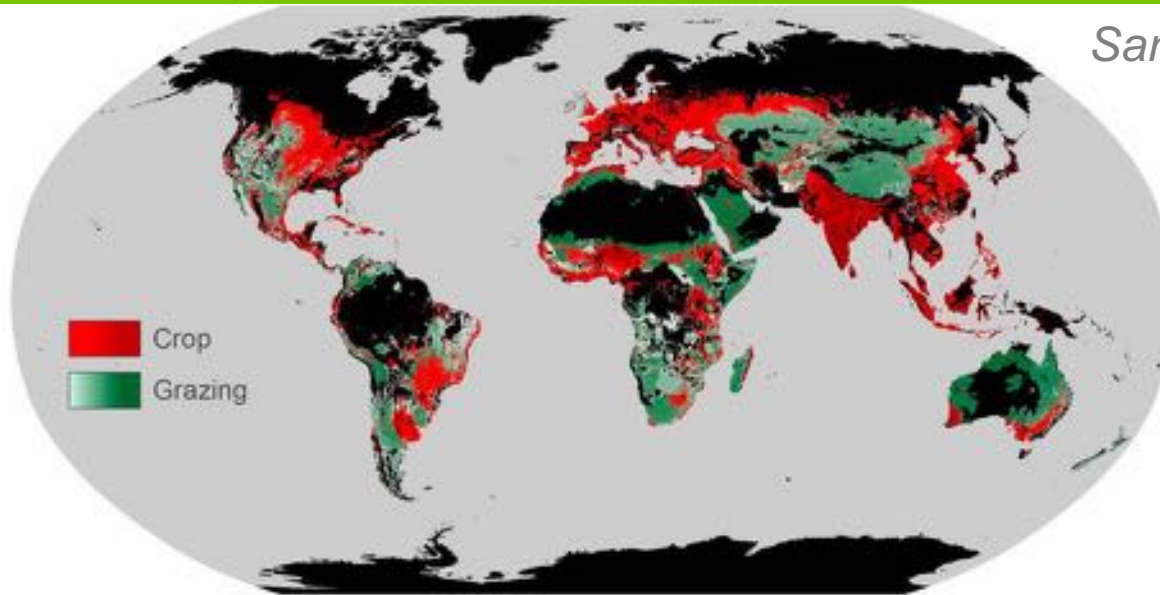
Perte de COS
(paturage, cultures)

0-30 cm	37 PgC
0-100 cm	75 PgC
0-200 cm	133 PgC

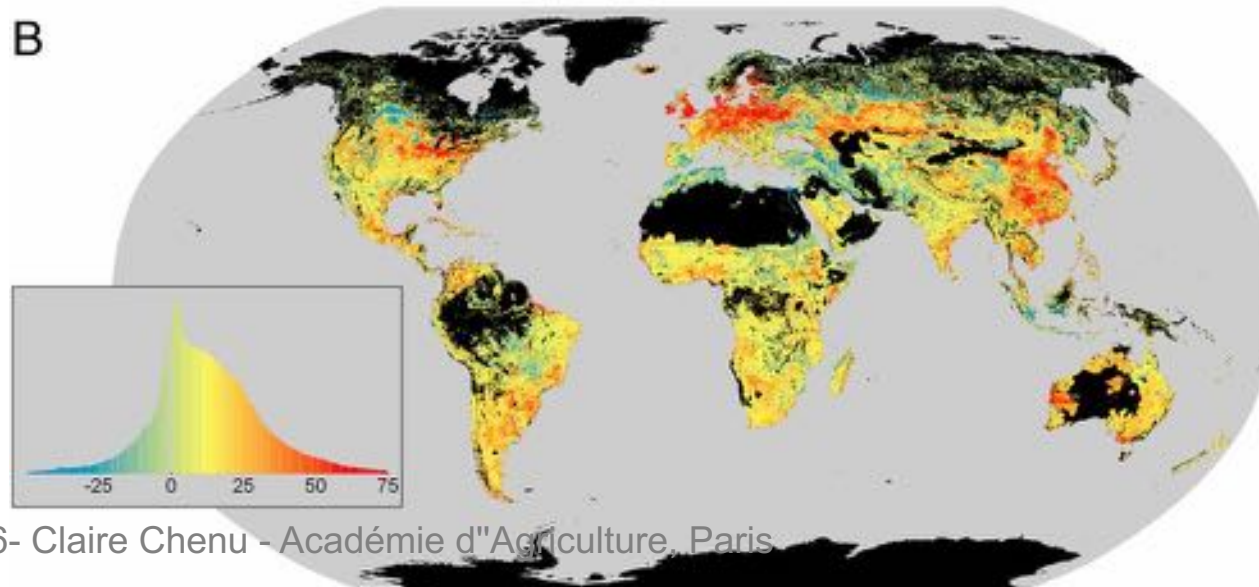
Une dette en C des sols après 12000 ans d'activités humaines

A

Sanderman et al. PNAS



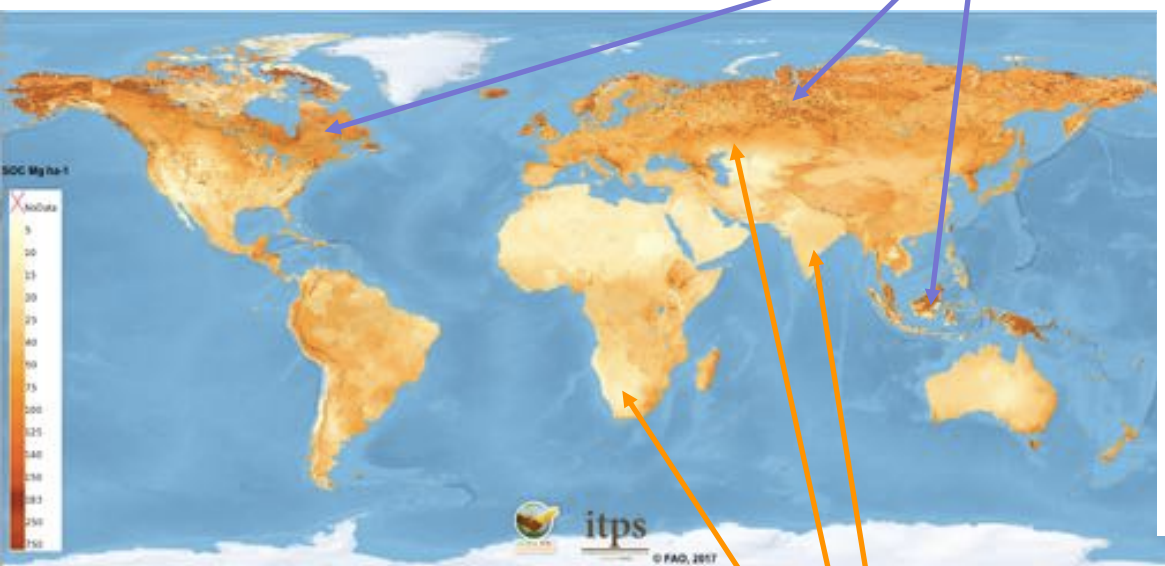
B



Objectifs



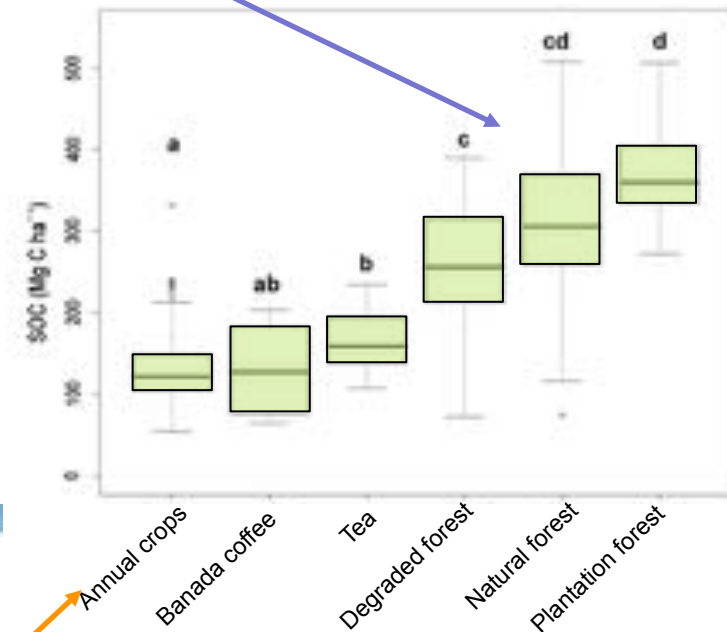
FAO, GSP, dec 2017



Protéger les stocks de C existants



Rwanda, Wasige et al. 2014



Augmenter les stocks de C

Quelles pratiques stockantes?

Pratiques existantes

*Fujisaki et al. (2018) sols tropicaux
≠ pratiques*

Pratiques	n	Delta COS Mg C ha ⁻¹ an ⁻¹
Organic inputs	16	0.45 ± 0.14
Mineral fertilization	37	0.24 ± 0.06
Mineral + organic inputs	38	0.34 ± 0.04
Rotation	12	0.83 ± 0.17
Reduced tillage	47	0.32 ± 0.06
Reduced tillage + inputs	64	0.56 ± 0.08
Mean		0.41 ± 0.03

Ogle et al. (2019) non labour ≠ pédoclimats

Temperature Regime	Moisture Regime	Soil Texture	Delta SOC (tonnes C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Cool	Dry	Loamy, Silty, and Clayey	0.06 (−0.08, 0.18)
Cool	Dry	Sandy	0.15 (−0.15, 0.44)
Cool	Moist	Loamy, Silty, and Clayey	0.27 (0.00, 0.56)
Cool	Moist	Sandy	0.35 (0.05, 0.65)
Warm	Dry	Loamy, Silty, and Clayey	0.21 (−0.15, 0.52)
Warm	Dry	Sandy	0.18 (−0.10, 0.46)
Warm	Moist	Loamy, Silty, and Clayey	0.33 (0.03, 0.61)
Warm	Moist	Sandy	0.50 (0.24, 0.76)
Tropical	Dry	Loamy, Silty, and Clayey	0.34 (−0.19, 0.85)
Tropical	Dry	Sandy	0.39 (0.18, 0.60)
Tropical	Moist/Wet	Loamy, Silty, and Clayey	0.54 (0.04, 1.02)
Tropical	Moist/Wet	Sandy	0.35 (0.13, 0.55)

“Frontier”

Biochar

Architecture des systèmes racinaires & rhizodéposition

Inversion de profils de sol

Biodiversité augmentée

Nat Acad USA 2018

Chenu et al. 2019

Des options sans regret ?

Sécurité alimentaire, atténuation, adaptation, désertification, dégradation des terres, biodiversité

Cesser de brûler les résidus



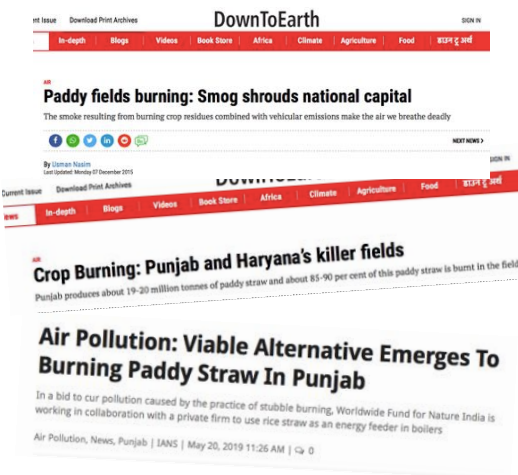
Plantes de couverture



Agroforesterie



Restoration de terres dégradées



Estimer le potentiel biophysique de stockage de carbone dans les sols ?

Tier 1, Tier 2: facteurs d'émission
Tier 3: Data driven, modélisation

Stockage

Séquestration

Puits net de CO₂
Durée longue

Olson et al. 2014
Nat Academies USA, 2018
Chenu et al. 2019

$$\text{COS}(t) = \text{COS}_{\text{ST}} \cdot F_{\text{LU}}(t) \cdot F_{\text{MG}}(t) \cdot F_{\text{I}}(t)$$

Stock C org (tC/ha)
(0-30 cm)

Stock C org
conditions de
référence

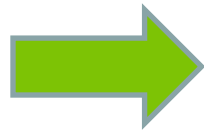
Occupation
du sol

Cultures annuelles: 0,69
Cultures pérennes: 1

Gestion

Labour: 1
Semis direct: 1,3

Intrants



Environ. Res. Lett. 15 (2018) 124020

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aacbbd>

Environmental Research Letters

LETTER

Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass
carbon storage in agroforestry systems

Rémi Cardinael^{1,2,3}, Viviane Umulisa^{1,4}, Anass Toudert¹, Alain Olivier¹, Louis Bockel¹ and
Martial Bernoux¹

IPCC – Tier 1 - facteurs d'émission

IPCC Guidelines, 2006

$$\text{COS}(t) = \text{COS}_{\text{ST}} \cdot F_{\text{LU}}(t) \cdot F_{\text{MG}}(t) \cdot F_{\text{I}}(t)$$

Stock C org (tC/ha) (0-30 cm)
Stock C org conditions de référence

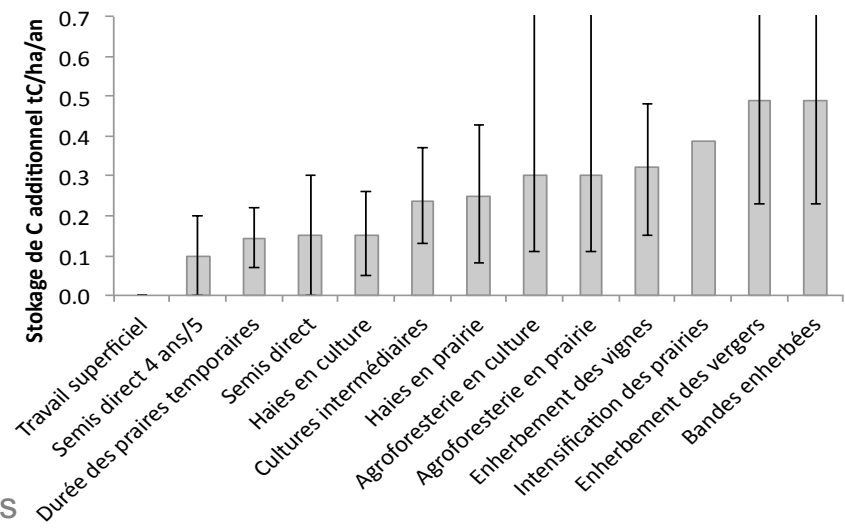
Occupation du sol
Cultures annuelles: 0,69
Cultures pérennes: 1

Gestion
Labour: 1
Semis direct: 1,3

Intrants

IPCC – Tier 2 - facteurs d'émission régionalisés

Pellerin et al. 2013, 2017
Chenu 2014



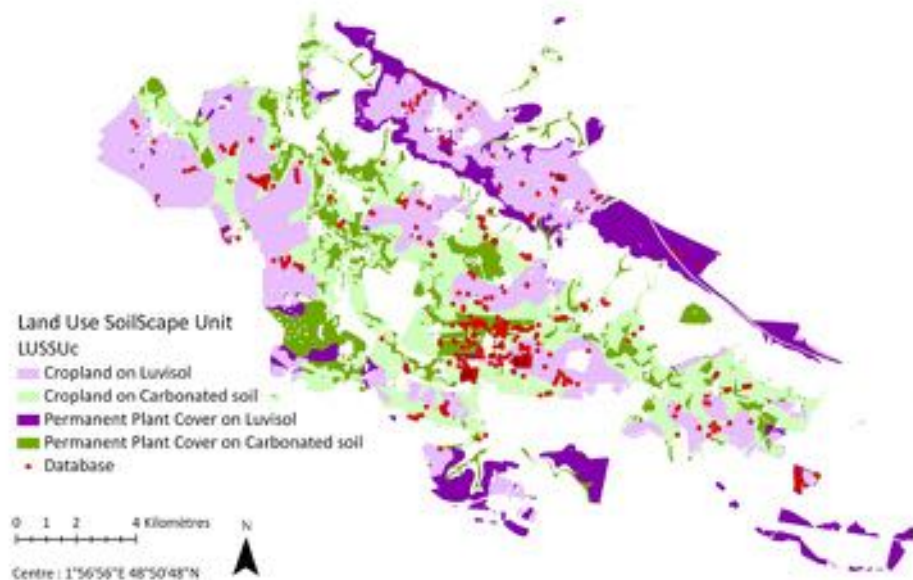
Tier 3- Approche statistique (Data driven)

Stock de COS maximum = Stocks de COS sous usage naturel

Stock de COS potentiels = Décile supérieur des valeurs observées par climat x type de sol x usage

Potentiel de stockage additionnel de COS = Stocks potentiels – stocks actuels

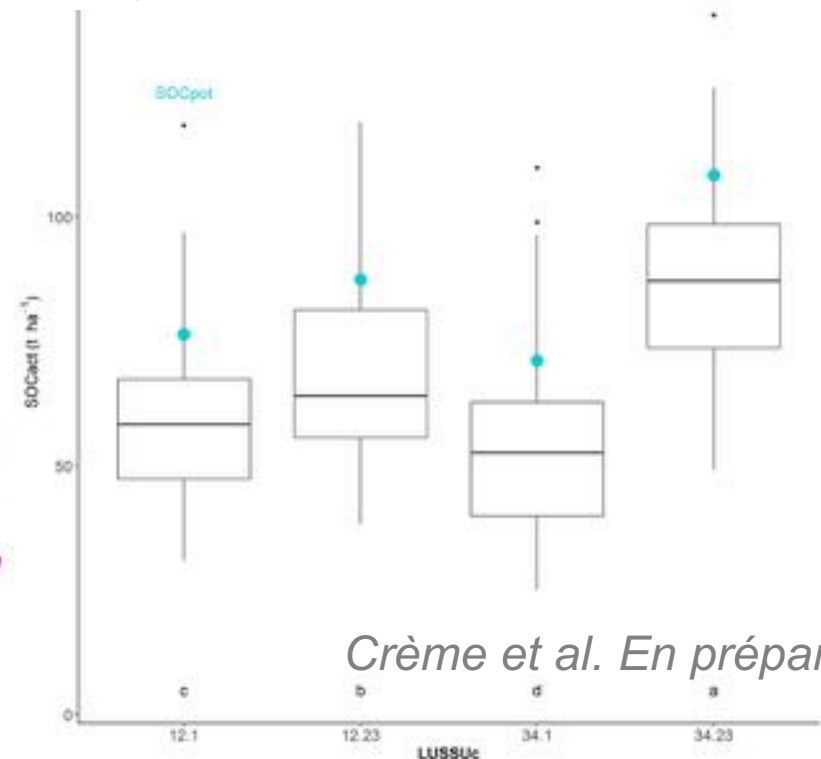
Plaine de Versailles – Projet StoreSoilC



Production: INRA Crème Alexandra 2019

Projection: Lambert 93

Source: Map 1/50 000e Crahet 1992, interpretation Michelin et Vaudour 2012; MOS 2017 IUA IDF



Crème et al. En préparation

Tier 3- Approche statistique (Data driven)

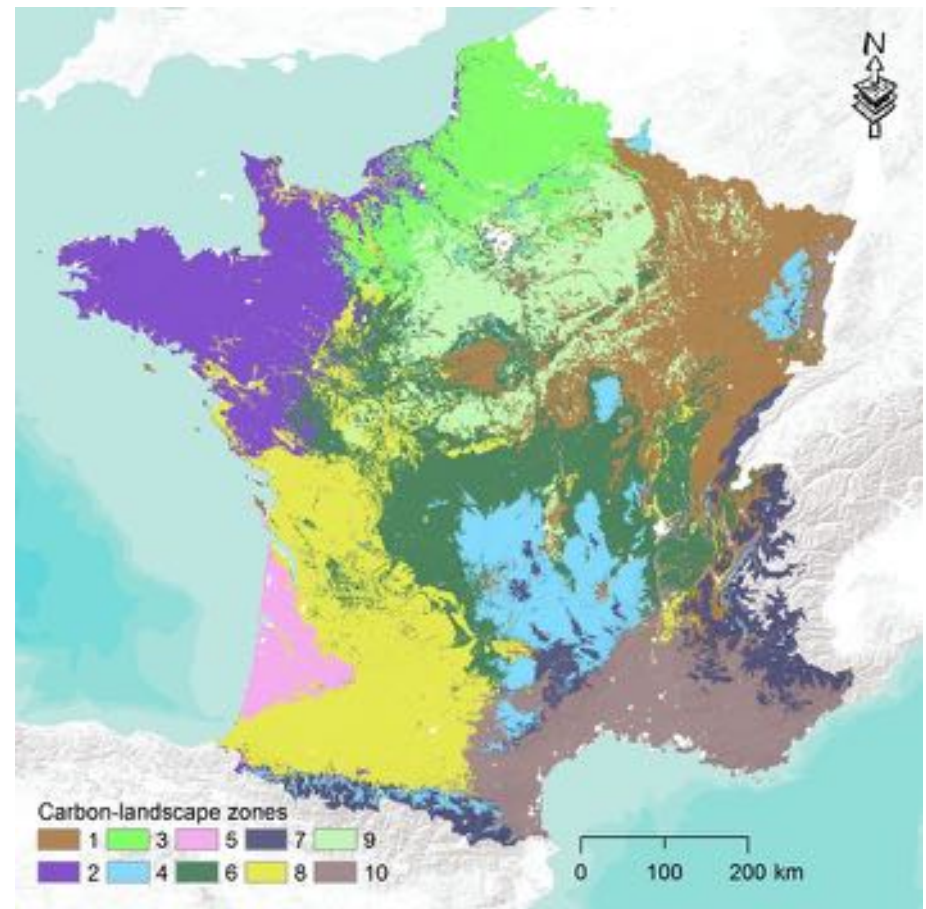
Stock de COS maximum = Stocks de COS sous usage naturel

Stock de COS potentiels = Décile supérieur des valeurs
observées par climat x type de sol x usage

Potentiel de stockage additionnel de COS = Stocks potentiels
– stocks actuels

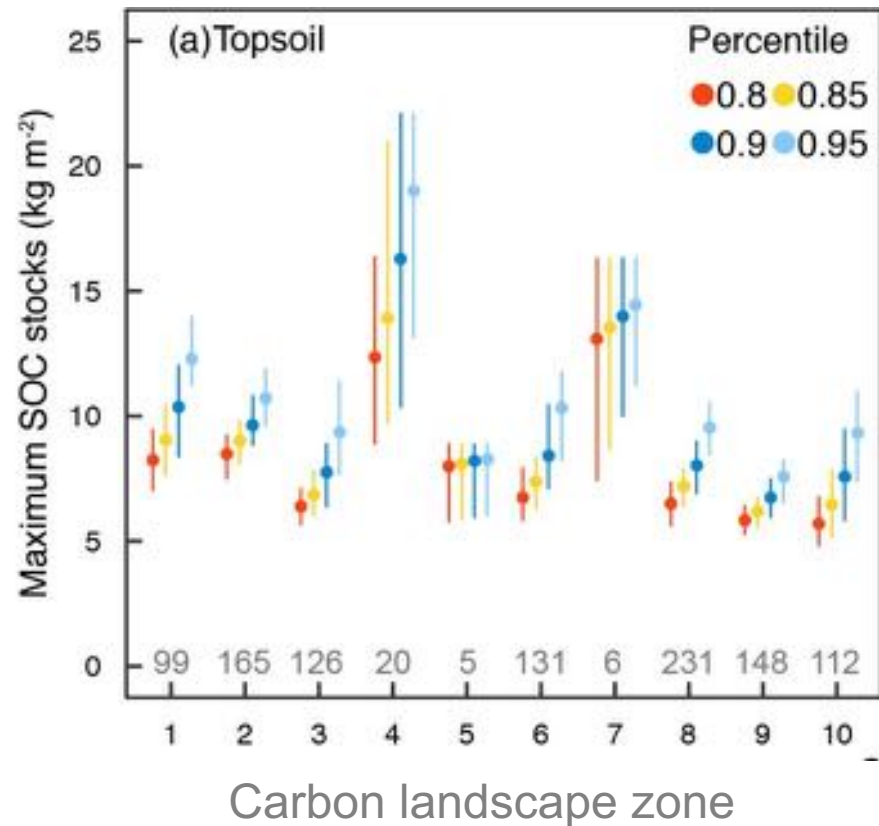
Carbon landscape zones
Terres cultivées

Chen et al. 2019 Stoten

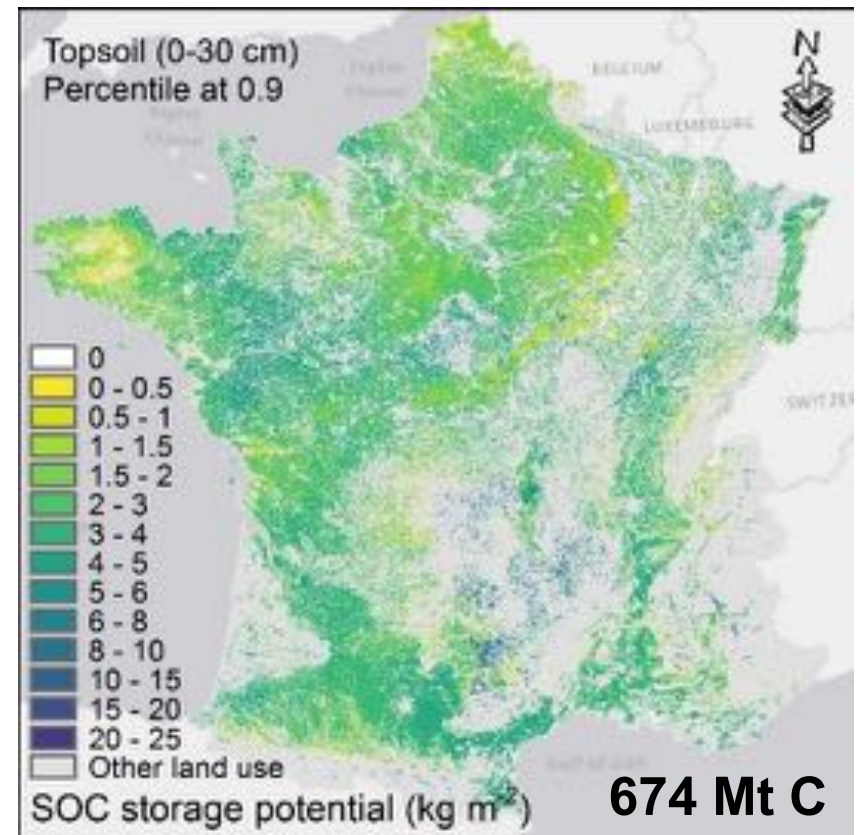


Tier 3- Approche statistique (Data driven)

Stock COS potentiel

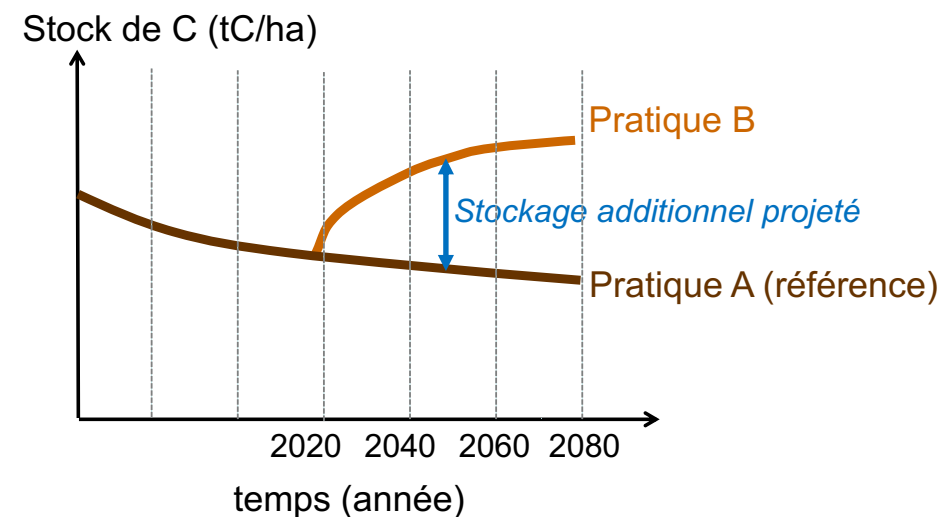


Potentiel de stockage additionnel de COS

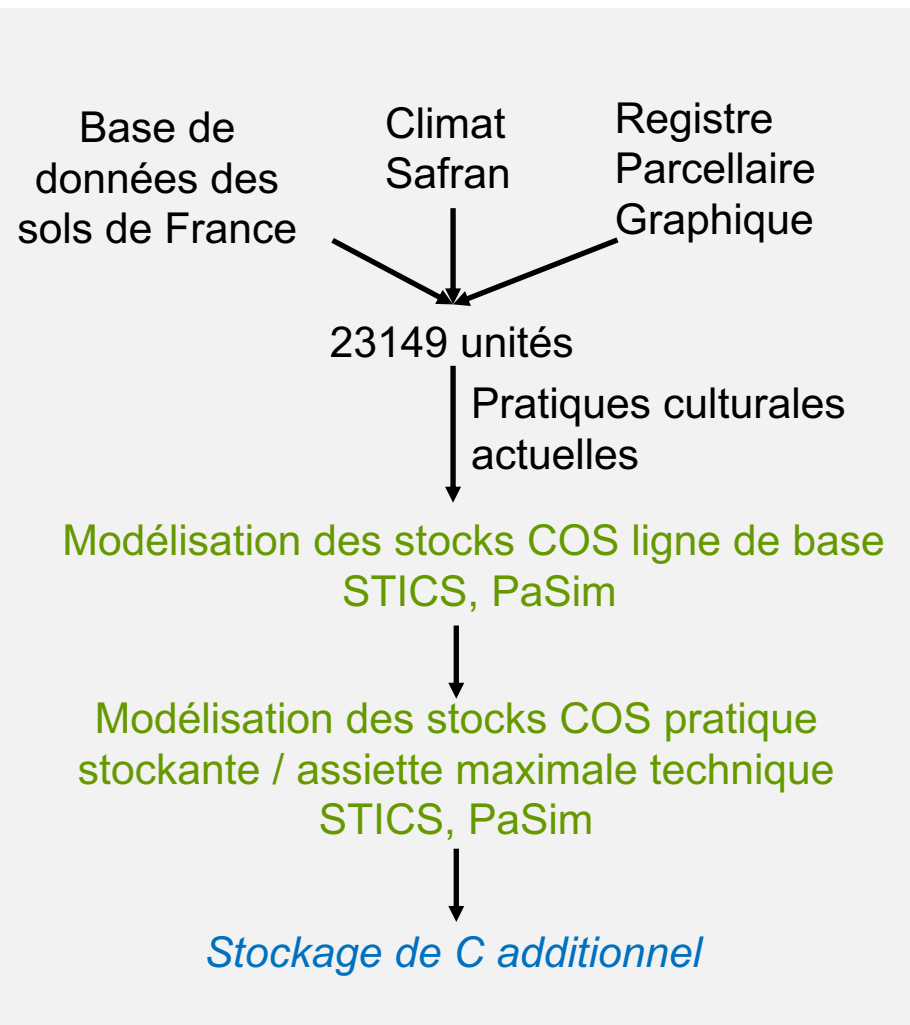


Chen et al. 2019 Stoten

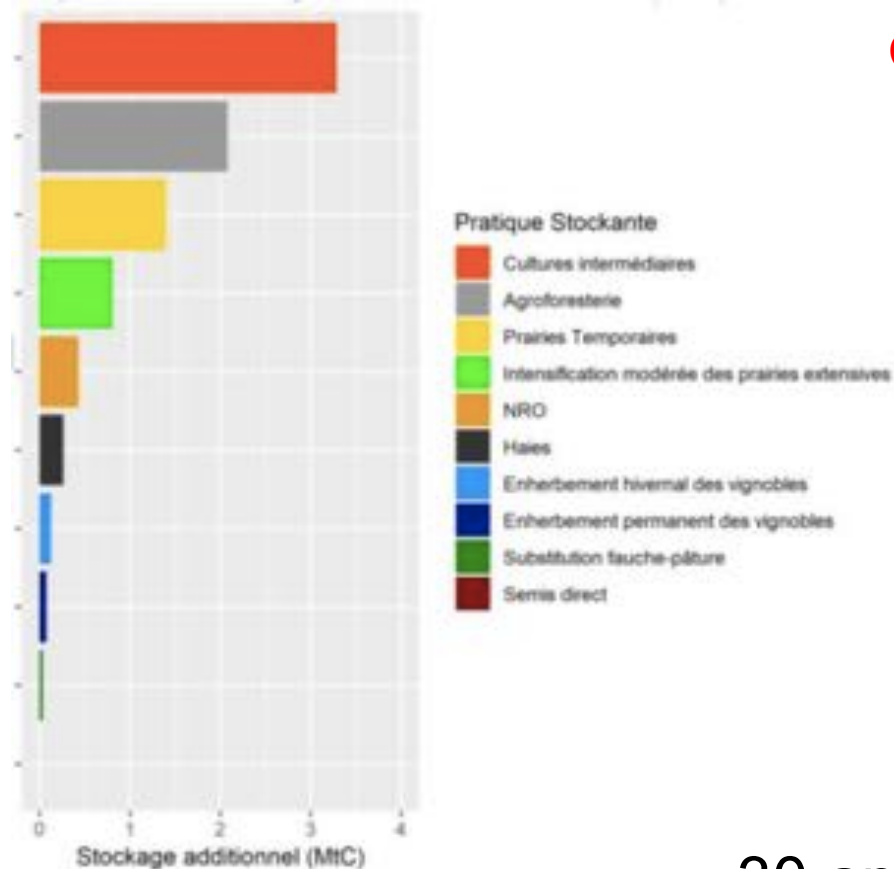
Tier 3- Approche par modélisation - Une estimation à l'échelle nationale – Etude 4p1000 France, 2019



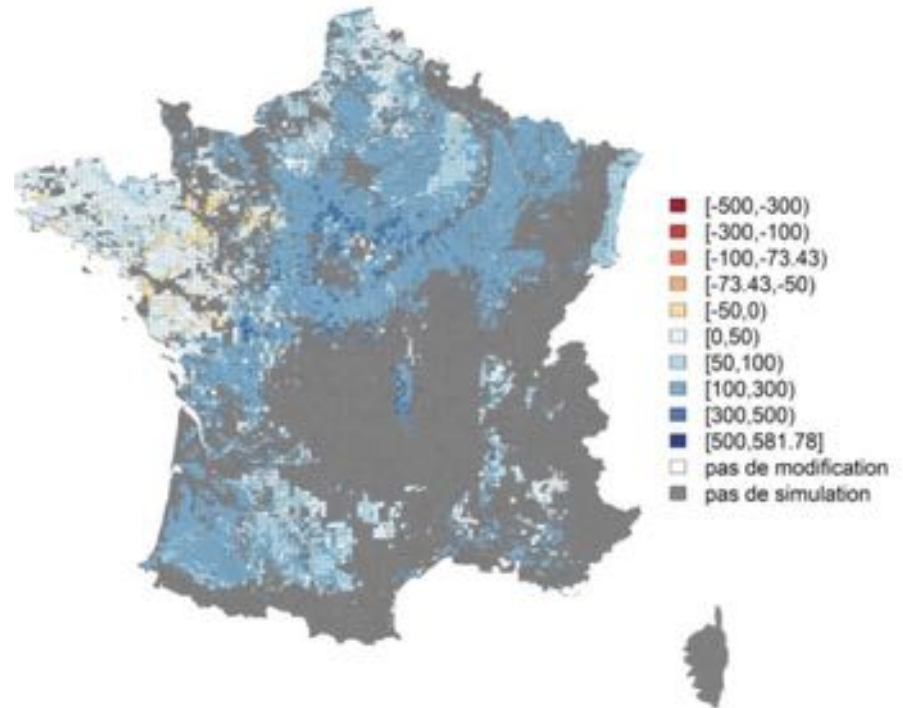
Pellerin, Bamière et al. 2019



Tier 3- Approche par modélisation - Une estimation à l'échelle nationale – Etude 4p1000 France, 2019



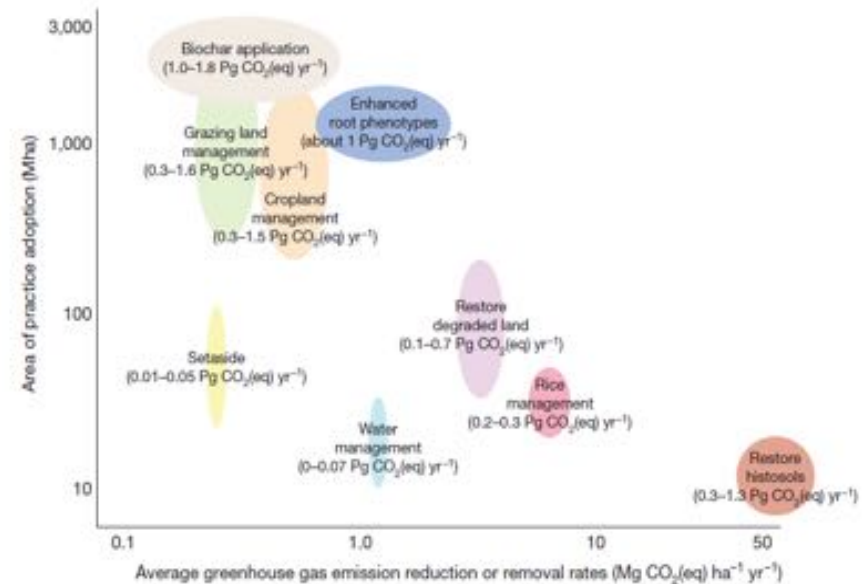
Cultures intermédiaires



Pellerin, Bamière et al. 2019

30 ans, combinaison de pratiques:
+8.43 Mt C.an⁻¹ -> 31 Mt CO₂e an⁻¹
41% émissions agricoles

Potentiel de stockage de C additionnel à l'échelle globale – sols agricoles



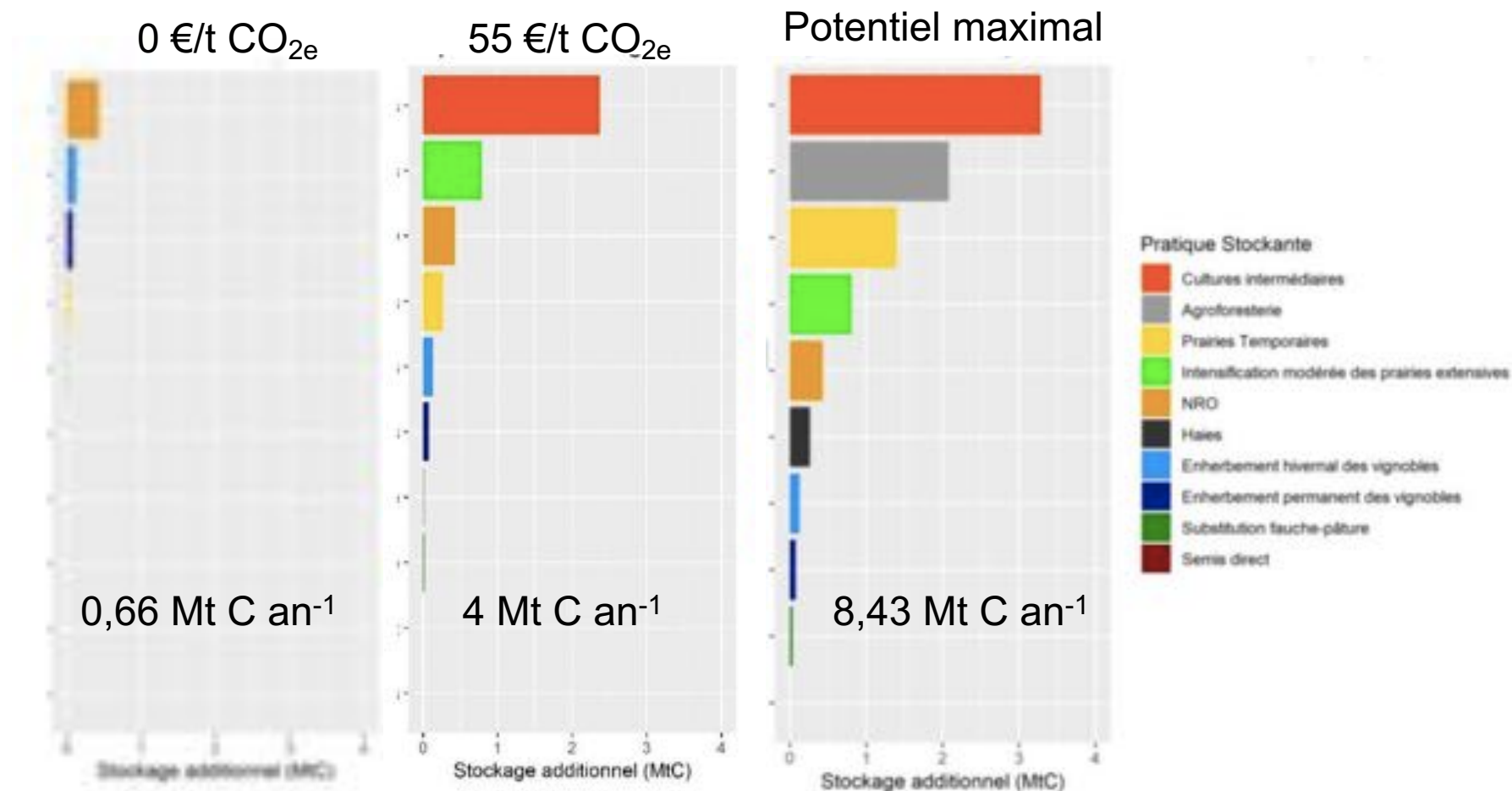
Paustian et al., Nature, 2016

	PgC an ⁻¹
Smith et al. 2008	1.4-1.5
Paustian et al. 2016	0.5-1.4
Zomer et al. 2017	0.9-1.85
Griscom et al. 2017	0.8-1.4
Fuss et al. 2018	0.6-1.4

Le potentiel de stockage “réel”?

Coût du stockage de COS- Une estimation à l'échelle nationale – Etude 4p1000 France, 2019

Pellerin, Bamière et al. 2019

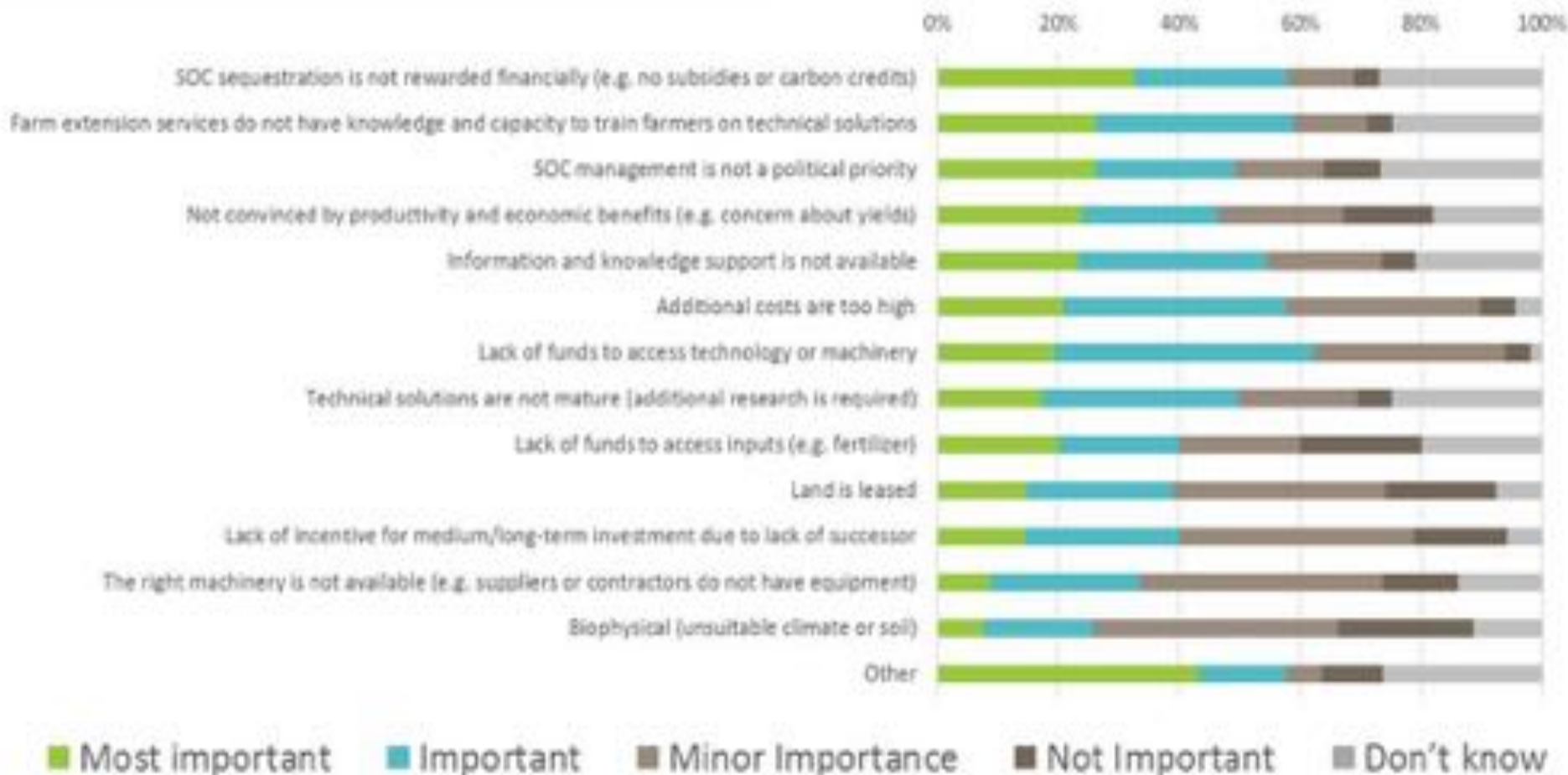


Barrières à la mise en oeuvre de pratiques stockantes

Stakeholders consultation. Agriculteurs (Monde, ≈ 1500)

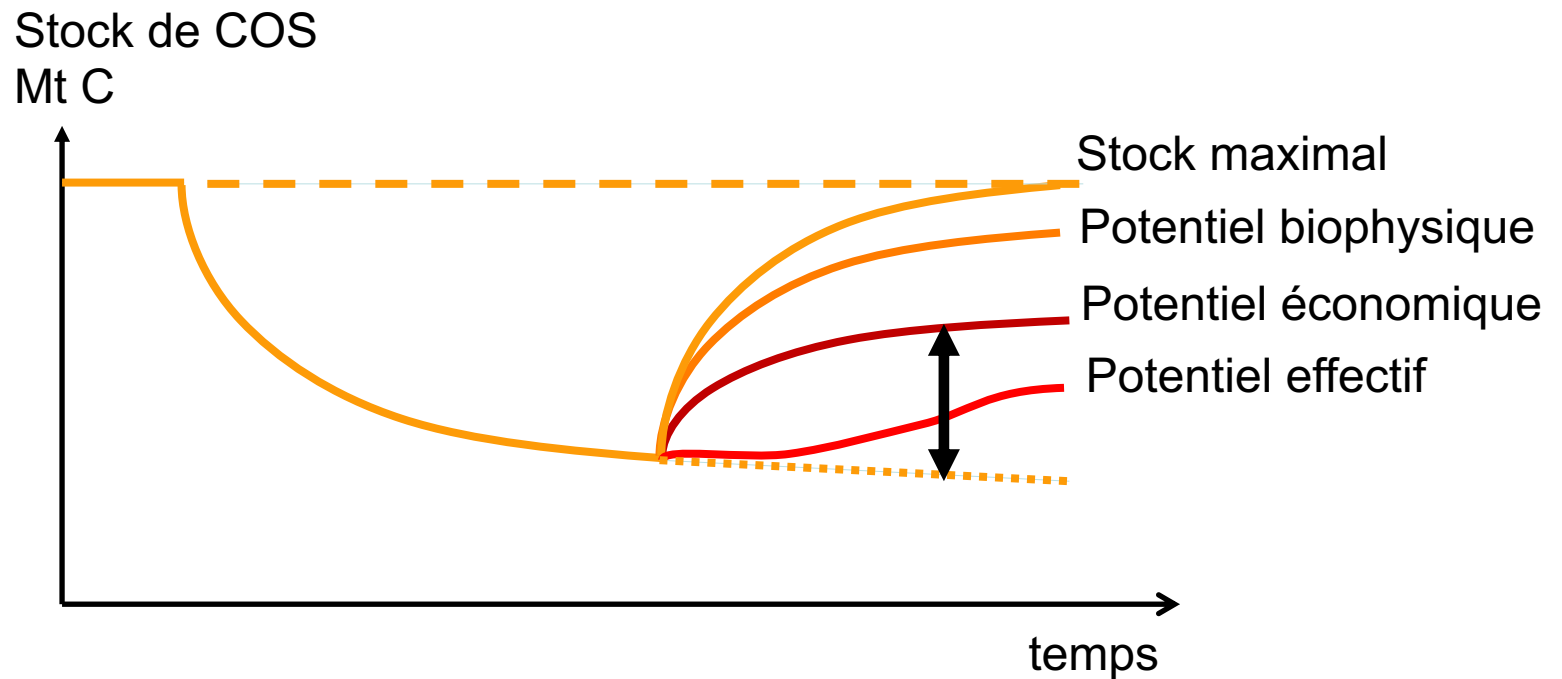


CIRCASA



<https://www.circasa-project.eu>

Expressions d'un potentiel de stockage de carbone



Conclusion

- Les sols agricoles représentent un potentiel de stockage de carbone important, pour répondre à des enjeux multiples;
- Différentes méthodes permettent d'estimer un potentiel de stockage de C biophysique, lequel est supérieur au potentiel de stockage effectif;
- Besoins de connaissance, besoins d'action:
 - Potentiel de stockage et persistance du carbone
 - Evaluation des pratiques stockantes
 - Mesure, rapportage et vérification
 - Développement d'un environnement favorable

Merci pour votre attention

Principales références citées

- Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., Bernoux, M., 2018. Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. *Environmental Research Letters* 13(12).
- Chen, S., Arrouays, D., Angers, D.A., Chenu, C., Barre, P., Martin, M.P., Saby, N.P.A., Walter, C., 2019. National estimation of soil organic carbon storage potential for arable soils: A data-driven approach coupled with carbon-landscape zones. *The Science of the total environment* 666, 355-367.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J., 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research* 188, 41-52.
- Chenu, C., Klumpp, K., Bispo, A., Angers, D., Colnenne, C., Metay, A., 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques* 37, 23-37.
- Fujisaki, K., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., Razafimbelo, T., Masse, D., Ndour, Y.B., Chotte, J.-L., 2018. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 259, 147-158.
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2018. Negative emissions technologies and reliable sequestration: a research agenda, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/25259>.
- Olson, K.R., Al-Kaisi, M.M., Lal, R., Lowery, B., 2014. Experimental consideration, treatments, and methods in determining soil organic carbon sequestration rates. *Soil Science Society of America Journal* 78, 348.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532(7597), 49-57.
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., Chemineau, P., 2017. Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy* 77, 130-139.
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., 2015. Agriculture et gaz à effet de serre - Dix actions pour réduire les émissions. Editions Quae, collection "Matière à débattre et décider".
- Pellerin, S., Bamière, L., Launay, C., Martin, R.I., Schiavo, M., Angers, D., Augusto, L., Balesdent, J.r.m., Basile-Doelsch, I., Bellassen, V., Cardinael, R.m., Cécillon, L., Ceschia, E., Chenu, C., Constantin, J., Darroussin, J.I., Delacote, P., Delame, N., Gastal, F.o., Gilbert, D., Graux, A.-I., Guenet, B., Houot, S., Klumpp, K., Letort, E., Litrico, I., Martin, M., Menasseri, S., Mézière, D., Morvan, T., Mosnier, C., Roger-Estrade, J., Saint-André, L., Jorge Sierra, O.T.r., Viaud, V.r., Grateau, R.g., Perchec, S.L., Savini, I., Réchauchère, O., 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France). 114 p. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Stocker-4-pour-1000-de-carbone-dans-les-sols-francais>
- Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G.J., 2017. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114(36), 9575-9580.