



**Gérer les stocks de matière organique des sols pour
entretenir leur fertilité et contribuer aux services
écosystémiques rendus par les sols.**

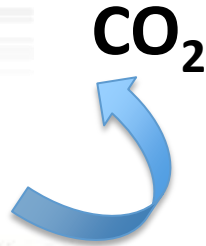
S. Houot, C. Chenu

ECOSYS, INRA-AgroParisTech 78850 Thiverval-Grignon

Les matières organiques des sols au cœur des services écosystémiques



Carbone et matière organique dans les sols



CO₂

- **Dynamique**

- ✓ Entrées: résidus récolte, fumiers, digestats, composts...
- ✓ Sorties: Minéralisation

- **Des matières organiques**

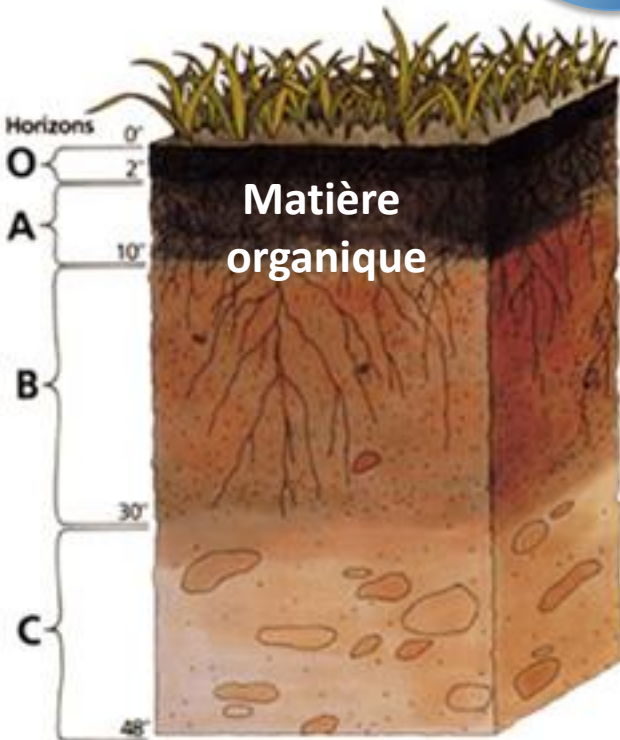
- ✓ Compartiments à dynamiques et caractéristiques différentes

- **Teneur en C et MO**

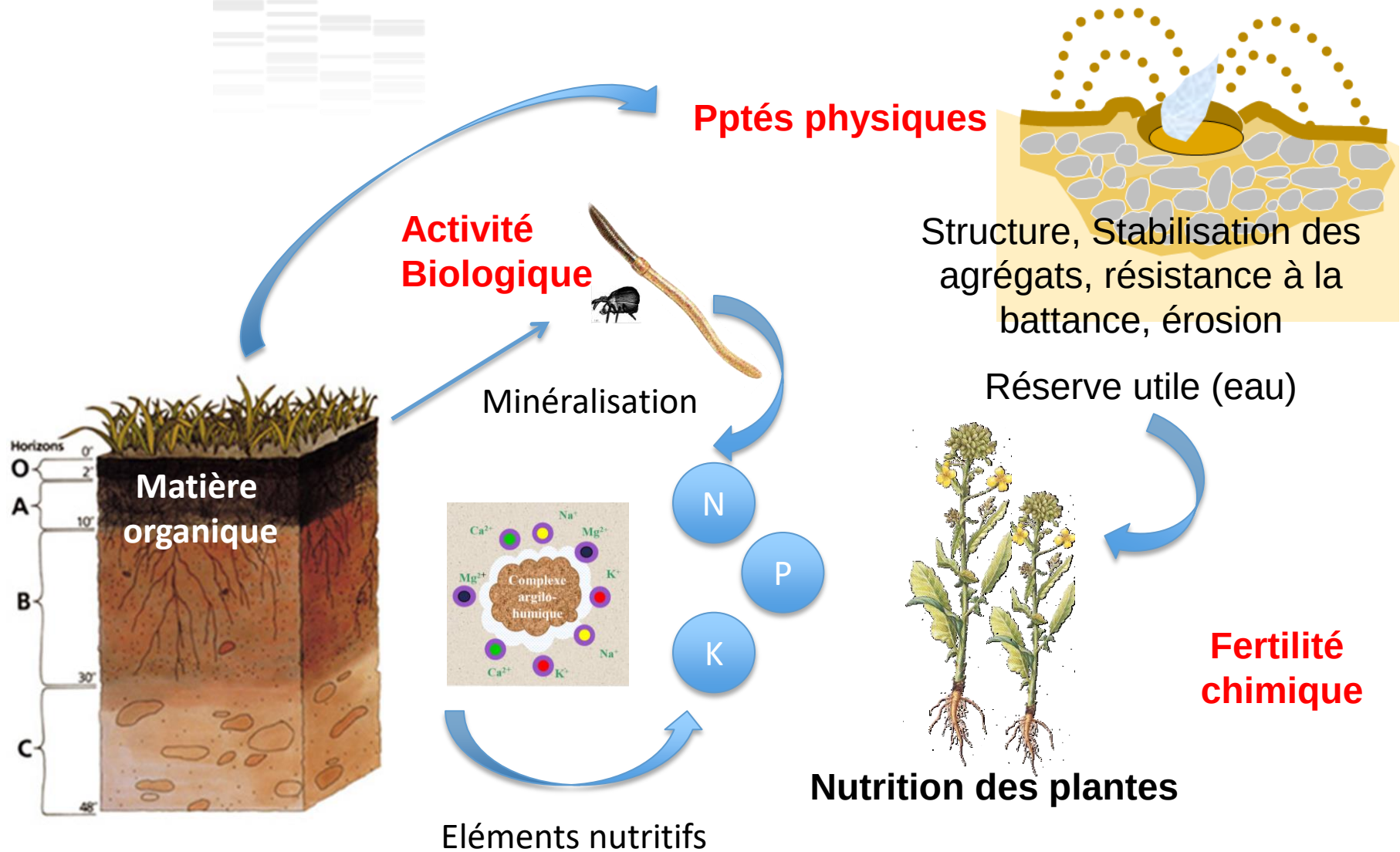
- ✓ Mesure teneur en C
- ✓ Teneur en MO = C x 1.72

- **Stock de C (tC/ha)**

- ✓ Mesure teneur en C
- ✓ Stocks de C: teneur (g/kg) x masse de terre à une profondeur donnée (t/ha)

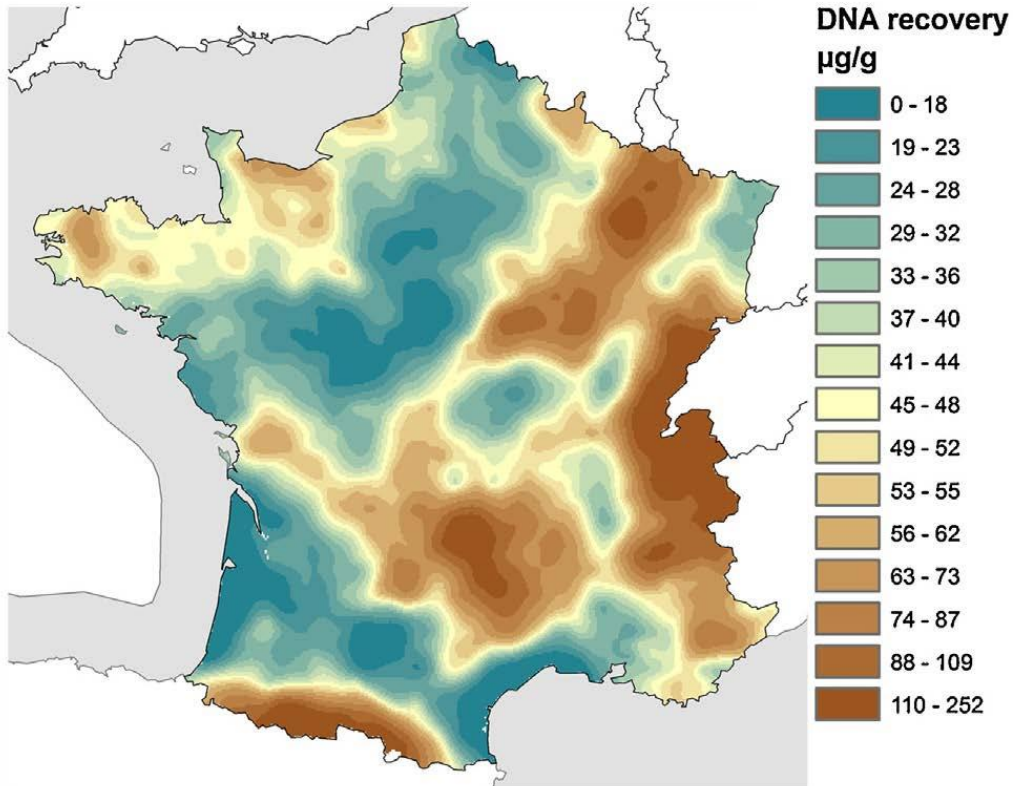


Matière organique et fertilité des sols



Matière organique et biologie des sols

Carte des teneurs en biomasse microbienne en France



Caractéristiques explicatives:

- **C organique**
- Argile
- Altitude
- pH

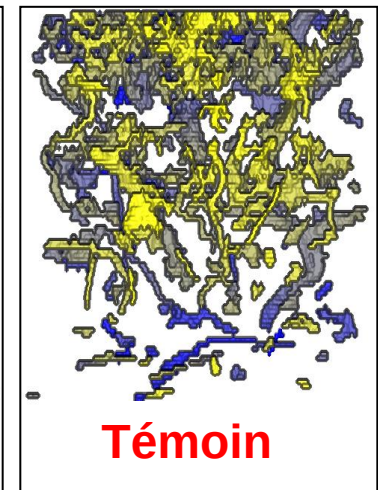
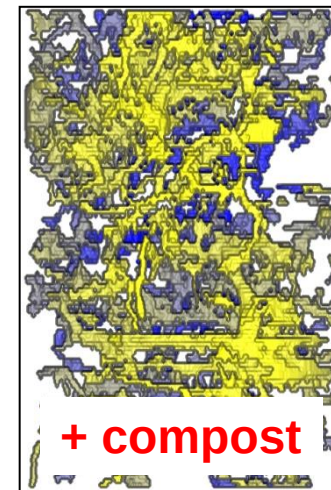
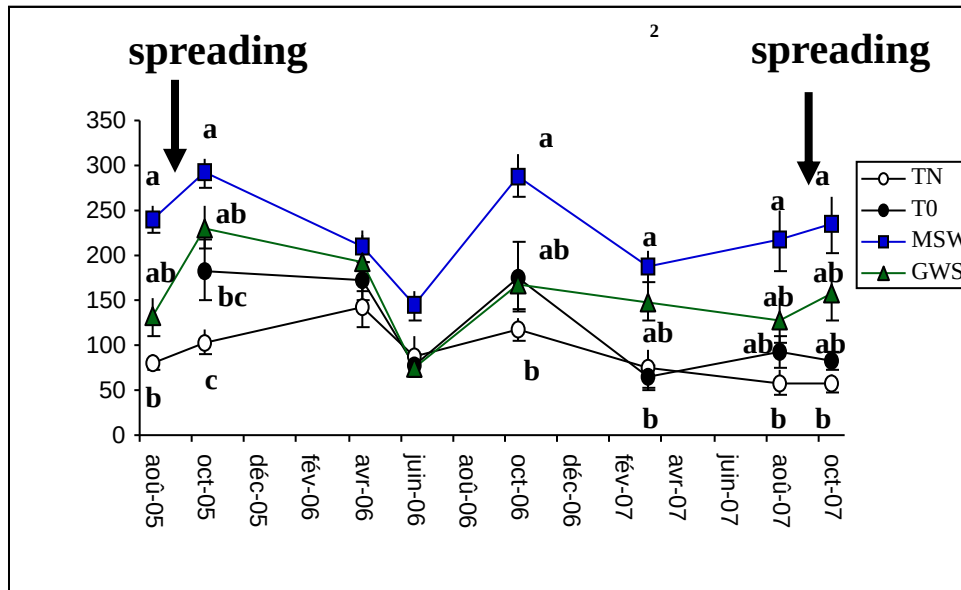
Horrigue et al, 2016

Matière organique et biologie des sols

Apports de matières organiques exogènes: les produits résiduaux organiques (PRO)

Augmentation de la densité de vers (nombre/m²)

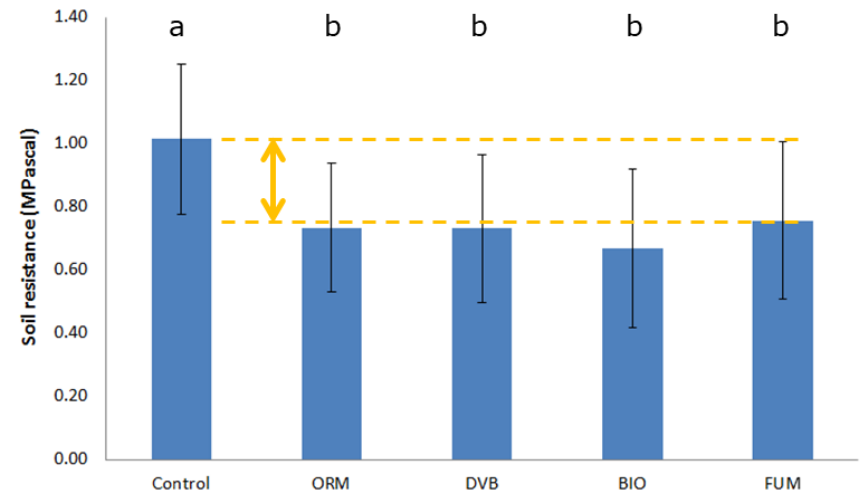
Augmentation de la porosité



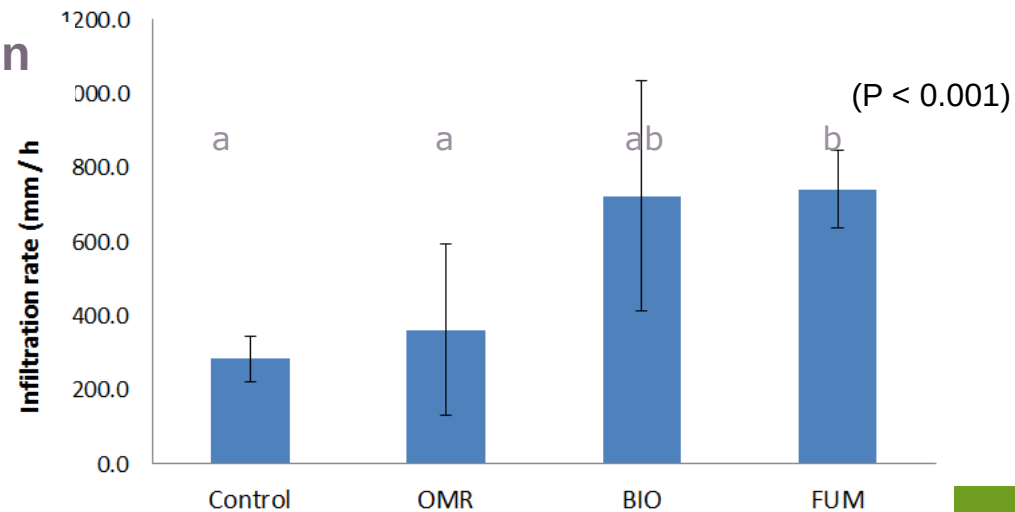
(Capowiez et al., 2009)

Matière organique et propriétés physiques

Diminution de la résistance
à la pénétration



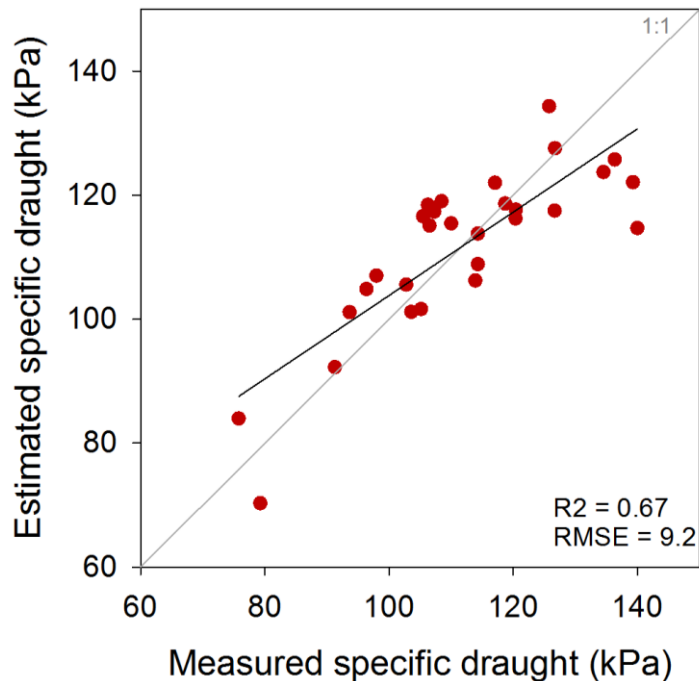
Augmentation de la vitesse Infiltration



Matière organique et propriétés physiques

Relation force de traction et Corg et argile (CRUCIAL experiment, DK)

Consommation de carburant, (% of difference compared to NPK treatment)



	Fuel for operation (L h ⁻¹)	Fuel savings
CHA	3.4 (0.5)	-25%
CH	3.8 (0.5)	-14%
DL	4.0 (0.4)	-11%
U	4.1 (0.3)	-7%
CMA	4.1 (0.7)	-7%
S	4.2 (0.5)	-5%
CS	4.2 (0.5)	-5%
SA	4.2 (0.6)	-5%
NPK	4.5 (0.4)	
HU	4.7 (0.1)	+5%

$$SDf = 58.85 + 6.76 \times \text{argile} - 17.35 \times \text{COS}$$

(Peltre et al., 2015 AGEE)

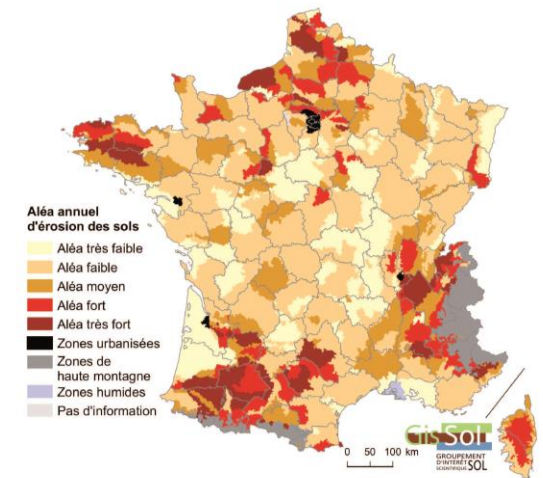


Matière organique et érosion

Teneur en C dans les sols

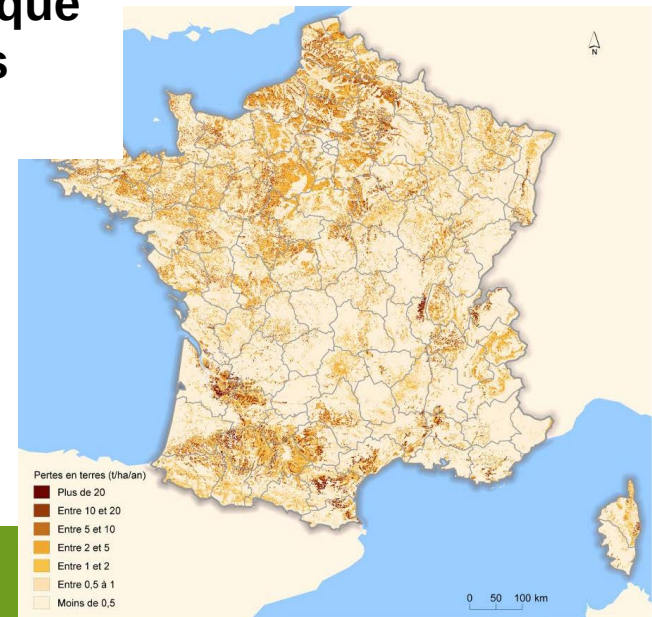
Aléa érosif par
petite région

Perte de terre par
érosion hydrique
(18% des sols
affectés)



Source : Gis Sol-Inra-SOeS, 2011.

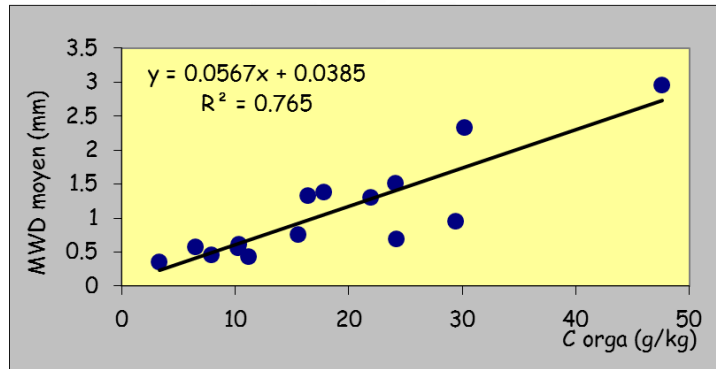
Note : L'aléa d'érosion des sols par petite région agricole est estimé à l'aide du modèle Mesales (Modèle d'évaluation spatiale de l'aléa d'érosion des sols), développé par l'Inra. Il combine plusieurs caractéristiques du sol (sensibilité à la battance et à l'érosion hydrique), du terrain (type d'occupation du sol, pente) et climatiques (intensité et hauteur des précipitations). L'aléa est par cinq classes représentant la probabilité qu'une érosion se produise.



Sources : BRGM, 2010. D'après Cerdan et al., 2010. Traitements : SOeS, 2013.

Matière organique, stabilité structurale et érosion

- Lien quantitatif entre teneur et propriété



(Chenu, 2000)

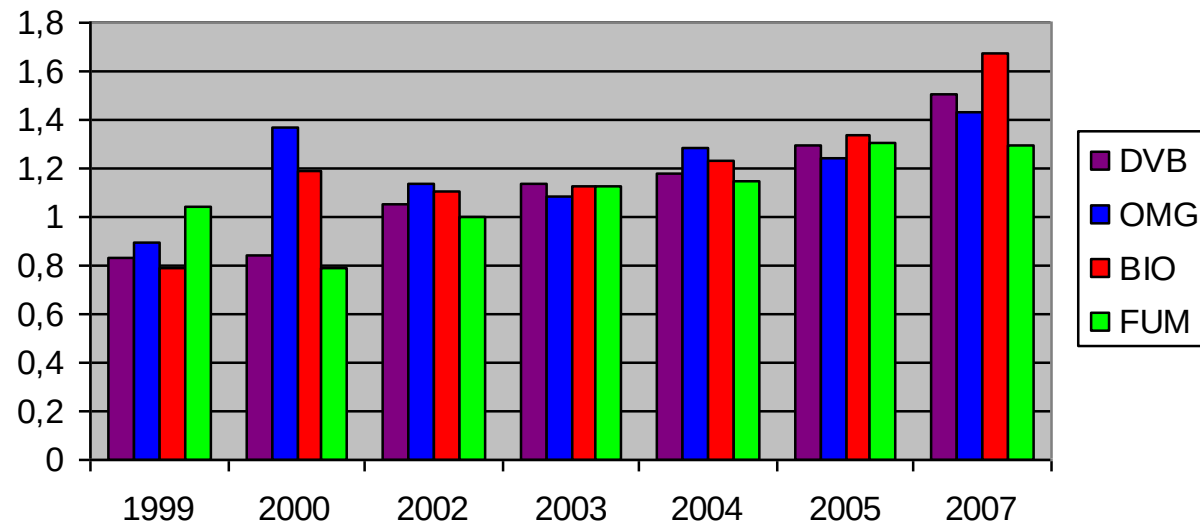
Fonction de pédotransfert:

$$\text{DMP} = 0,34 \text{ Corg} + 0,008 \text{ Argile} + \text{Type_culture}$$
$$R^2 = 0,87$$

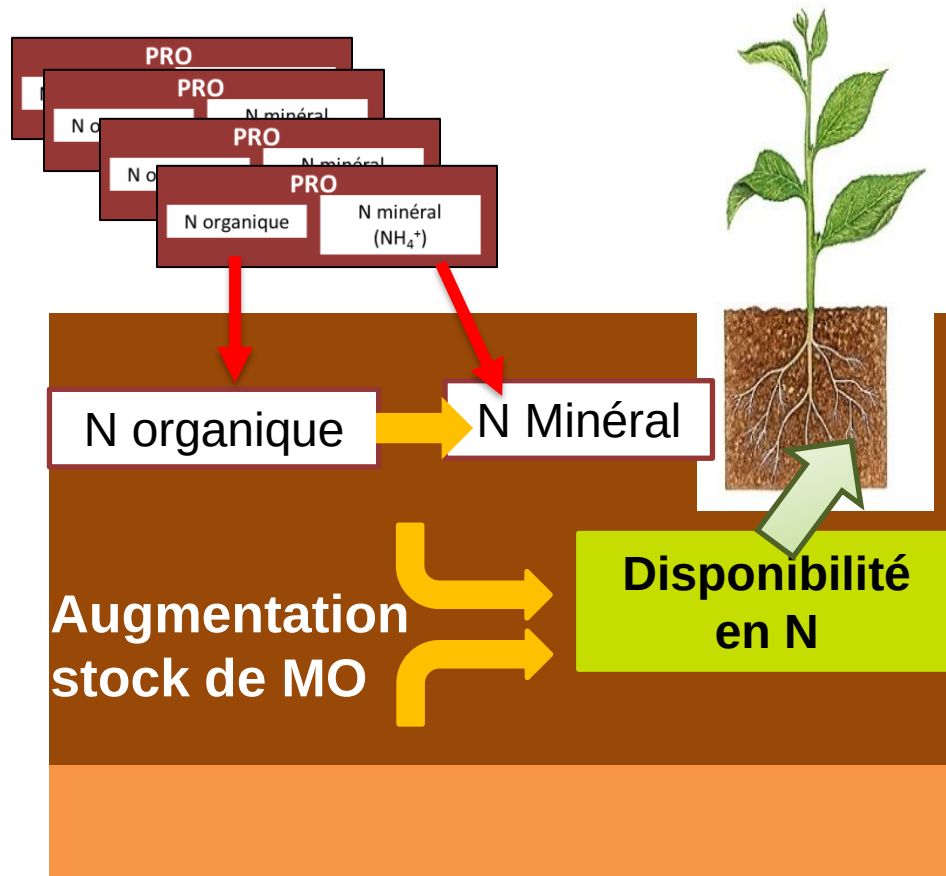
(Chenu et al., 2011)

- ✓ Effet positif des composts sur la stabilité des agrégats
- ✓ Effet relatif croissant

(Annabi et al., 2011)



Matière organique et fertilité chimique des sols

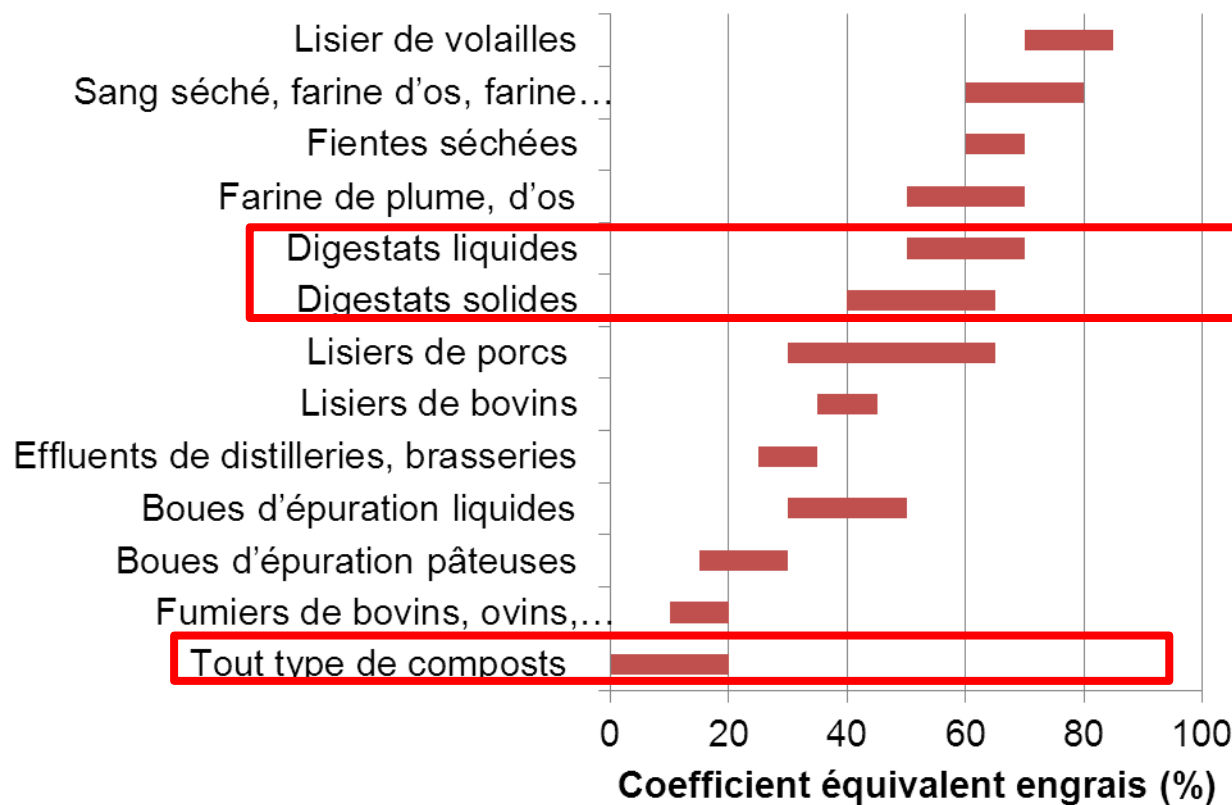


Double effet:

- Valeur fertilisante des PRO fertilisants: temps court (**engrais**)
- Valeur fertilisante liée à l'augmentation des stocks de MO (**amendements**)

Matière organique et fertilité chimique des sols

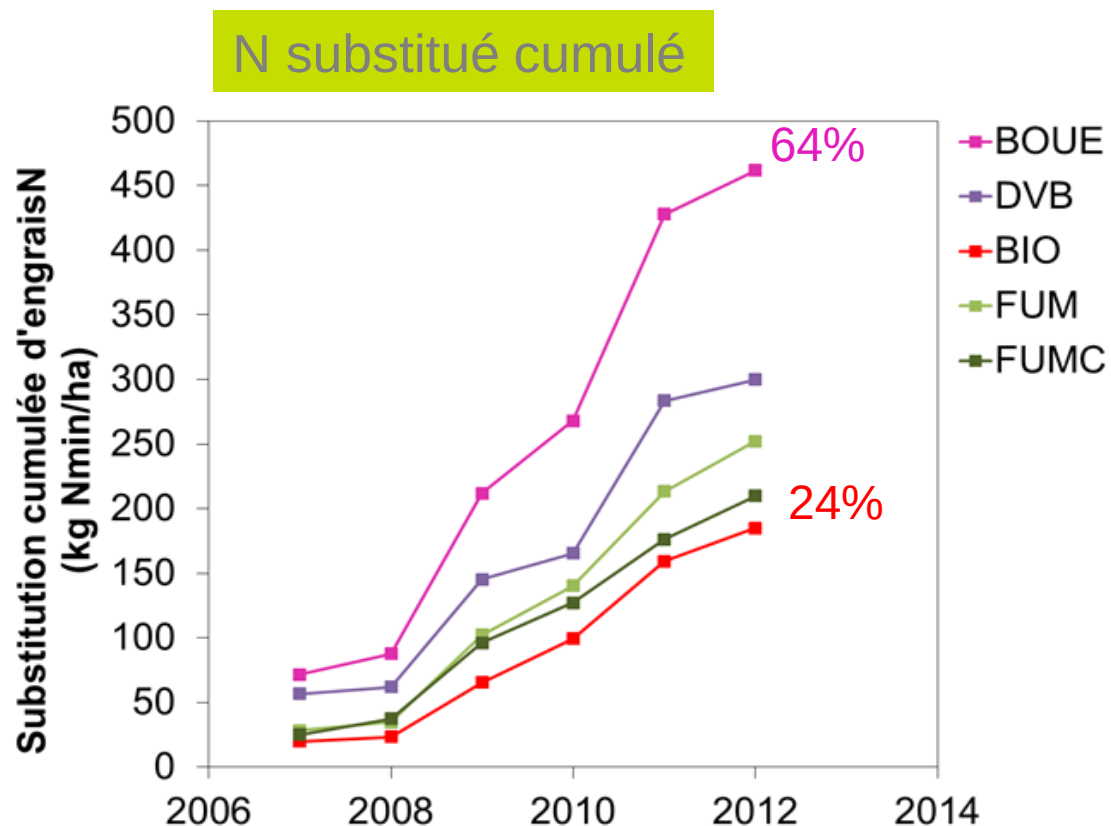
Valeur fertilisante azotée des PRO en référence aux engrais



Gutser, 2005)

Matière organique et fertilité chimique des sols

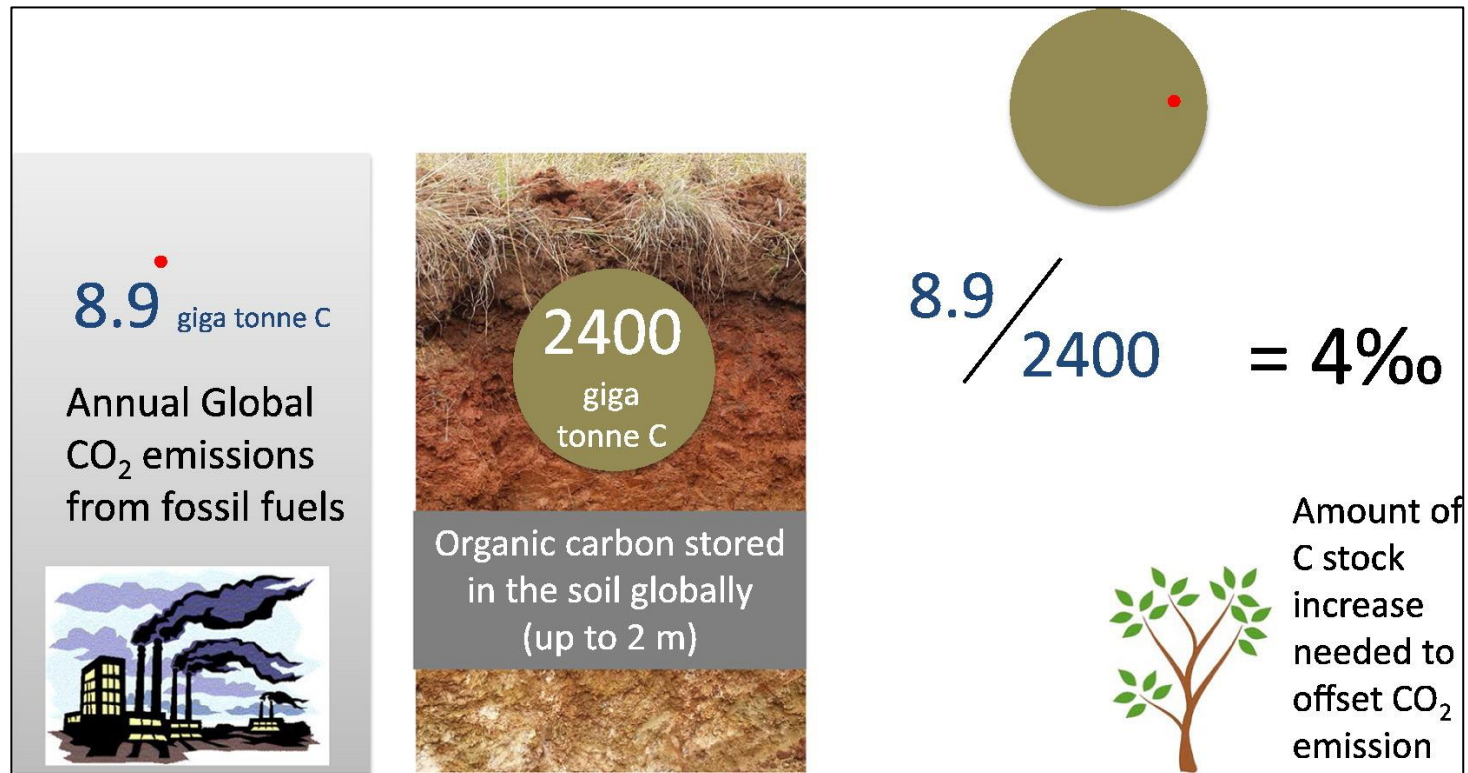
Les apports de PRO se substituent aux engrais azotés



Essai PRO'spective, Colmar

Matière organique et rôle environnemental des sols

Stockage de C et atténuation des changements climatiques: initiative 4‰



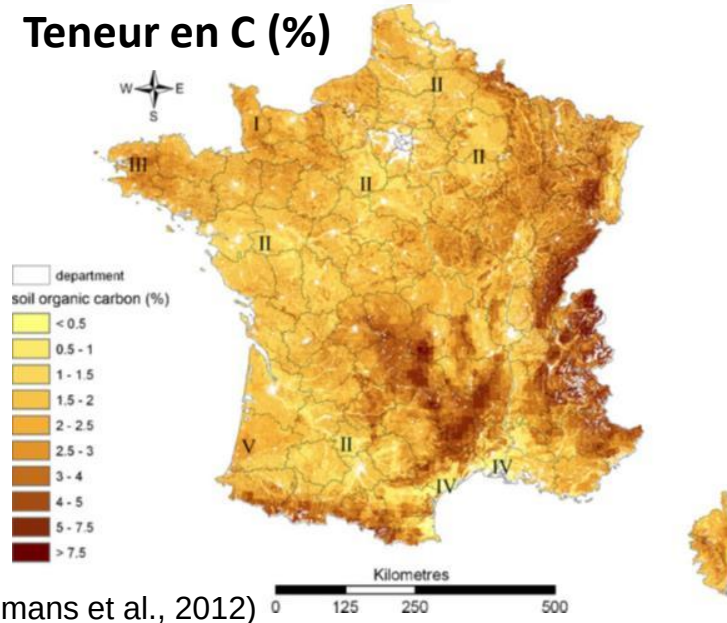
→ 2 à 3 Giga tonnes C/an

Minasny et al., 2017

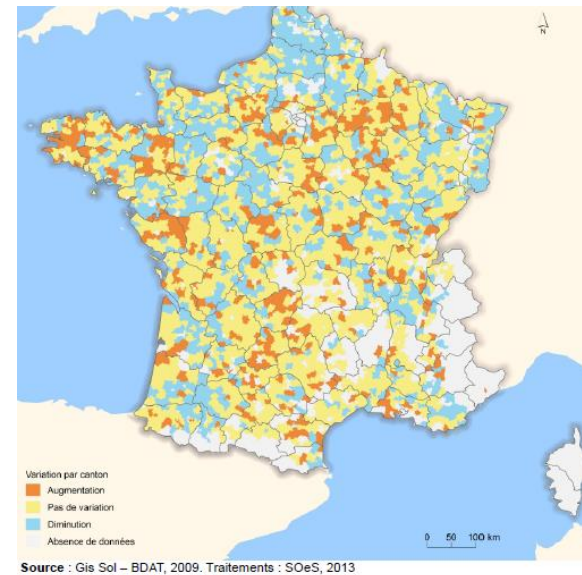
Teneurs en C dans les sols en France, évolution

Dépend de: type de sol (géologie, climat), occupation du sol, systèmes de production, pratiques culturales

Teneur en C (%)



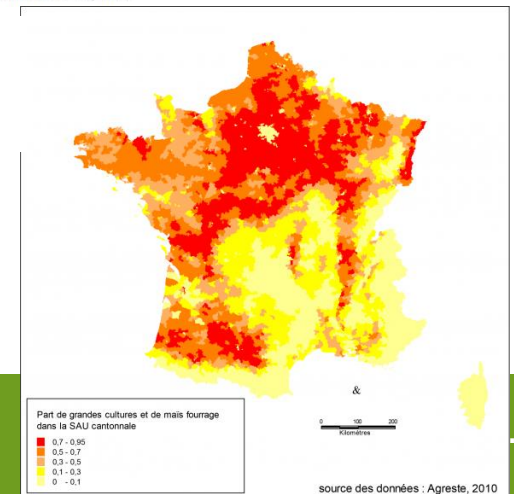
Evolution des teneurs de 1999 à 2004



Nombre de vaches laitières



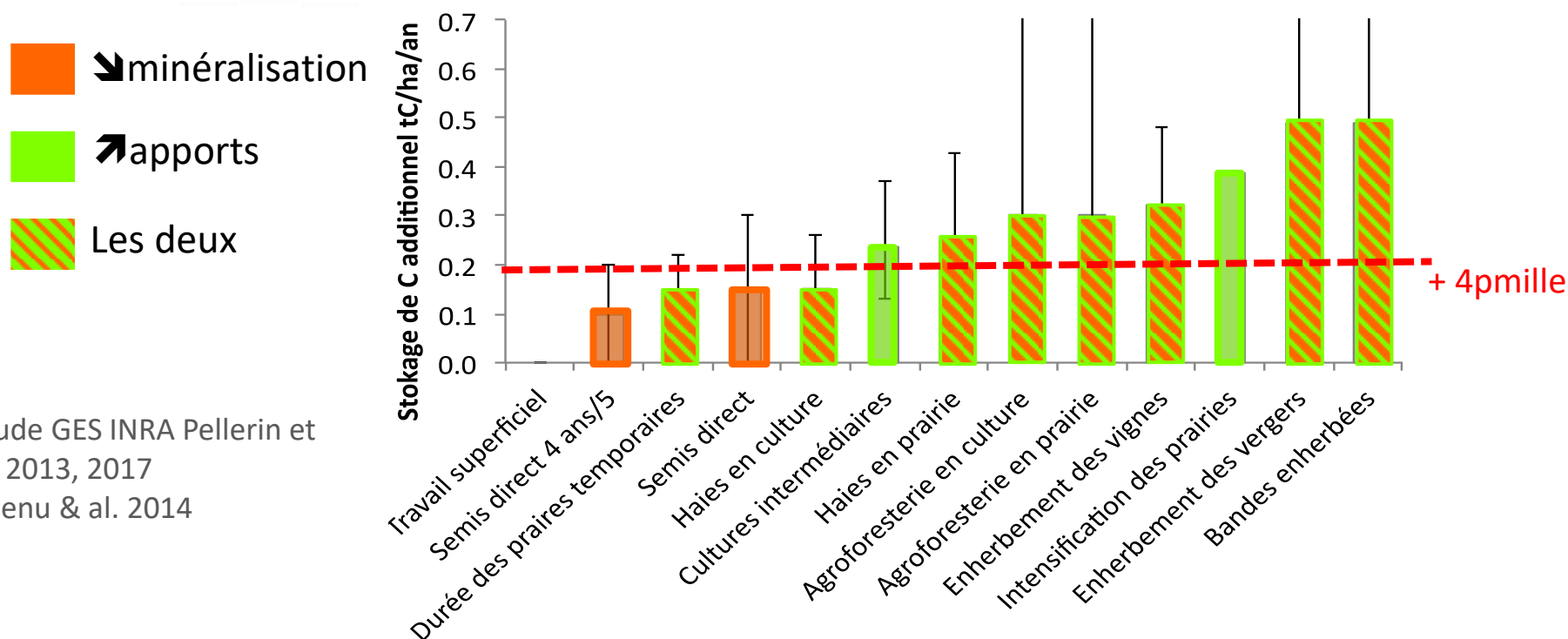
Grandes cultures et maïs (% SAU)



Agreste, 2010

Quelles pratiques stockantes?

Stockage de C additionnel par unité de surface:



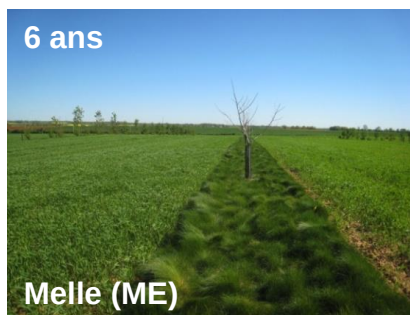
Etude GES INRA Pellerin et al. 2013, 2017
Chenu & al. 2014

- **Apport de matières organiques**

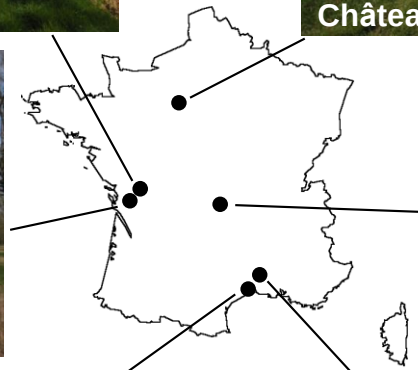
Ex **Compost** (10 t MS, 30% C, 6 épandages en 20 ans) → 10 à **50%** du C apporté soit 0.45 tC/ha/an

Stockage de carbone dans les sols en agroforesterie

Réseau de parcelles agroforestières (Agroof)



Projet AgriPSol
financé ADEME
Équipes Agroof, INRA, IRD,
AgroParisTech



*Cardinael et al. 2015
Geoderma, 2016, AEE*

➔ Taux d'accumulation moyen de **0.24 ± 0.07 t C/ha/an** sur 0-30 cm

Non labour : semis direct sous couvert végétal

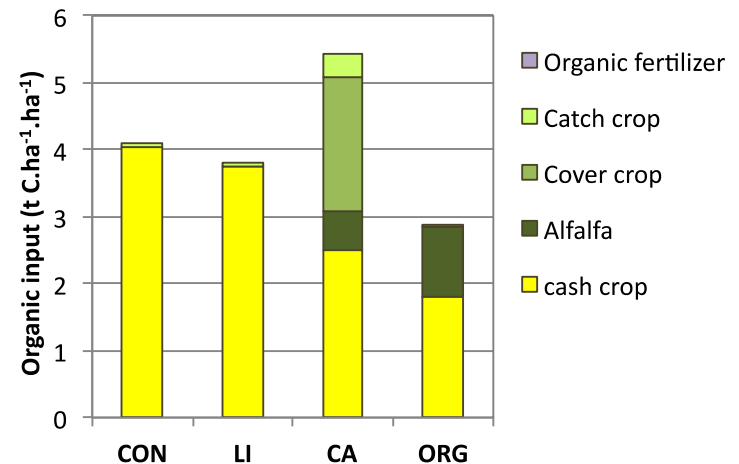
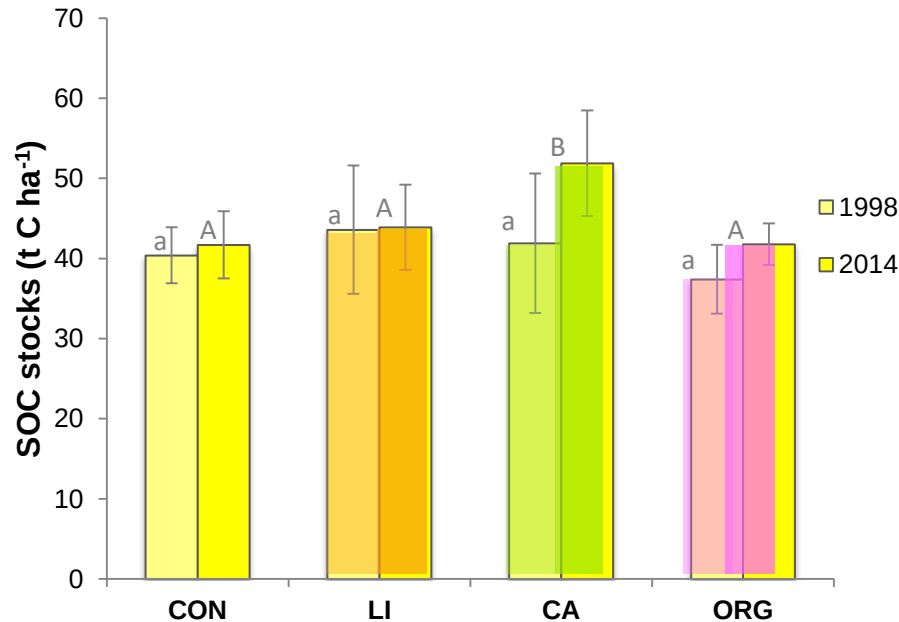
- Essai La Cage INRA Versailles



1998-2014	Productif PROD	Faibles intrants	Semis direct sous couvert AC	Biologique
Travail du sol	Labour 3 ans/4	Labour 3 ans/4	Non labour	Labour (sauf luzerne)
Fertilisants minéraux	+++	++	++	0
Fertilisation N (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	143	114	104	10
Pesticides	+++	+	++	0
Plante de couverture	0	0	Oui (fétuque, luzerne)	0
Rendement moyen du blé (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	9,7	8,9	6,7	5,4

Non labour : semis direct sous couvert végétal

- Essai La Cage INRA Versailles

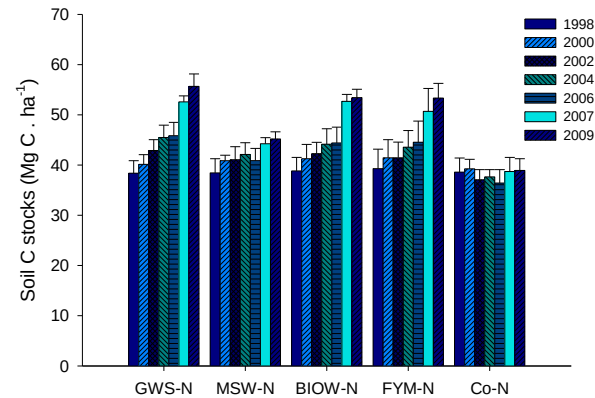


- ➔ Stocks de C augmentés en agriculture de conservation (0-30 cm: + 0.55 t C ha⁻¹ an⁻¹)
- ➔ Augmentation des entrées de C au sol (+ 37%)

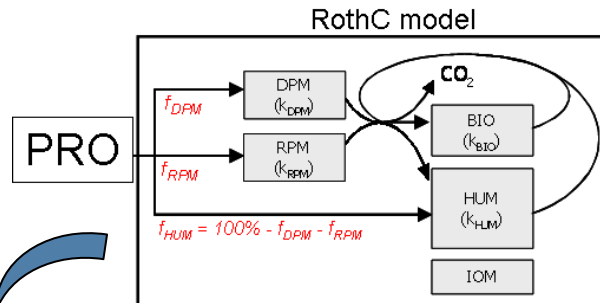
Autret et al. 2016, AEE

Apport de produits résiduaires organiques

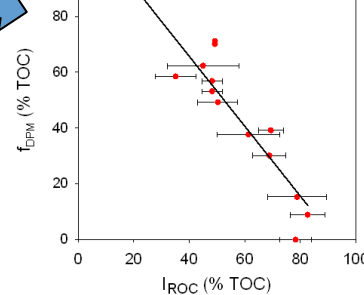
Mesures



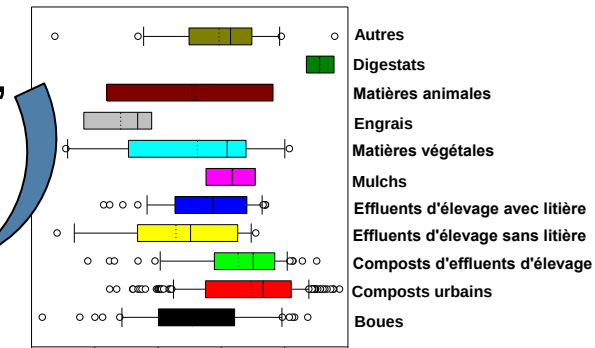
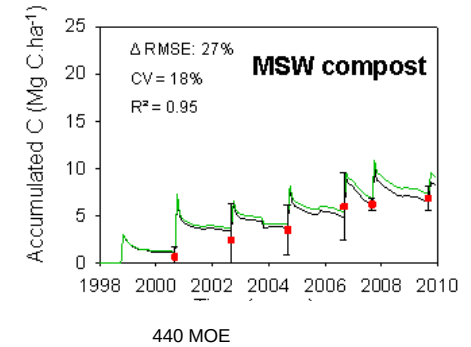
Peltre et al., 2012



$$f_{DPM} = -1.25 * ISMO + 115.92$$

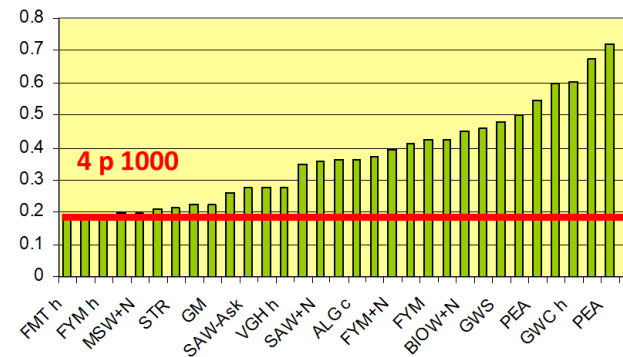


Base Typo,
ISMO



Stockage potentiel de C en T C . ha⁻¹ . an⁻¹ (20 ans)
Pour une application de 1 T C . ha⁻¹ . an⁻¹

Potentialité de stockage



Fumier frais

Tourbe,
Compost stabilisé

En conclusion

La/les matières organiques au cœur des services écosystémiques rendus par les sols:

- Support de biodiversité
- Amélioration des propriétés physiques → meilleure implantation des cultures, réserve utile, infiltration eau, résistance à l'érosion, à la battance....
- Fourniture de nutriments aux végétaux → production végétale
- Rôle environnemental des sols: stockage du C pour atténuer les émissions de GES (solution parmi d'autres: économie d'énergie fossile, substitution des engrais...)
- Double intérêt d'augmenter les stocks de MO dans les sols: environnement et sécurité alimentaire
- Différentes options pour stocker du C dans les sols → étude 4p1000 en cours
- Veiller aux trade-off (bilan complet des pratiques), pratiques soutenables et économiquement intéressantes (leviers de politique publique)

Références citées

Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M. & Bissonnais, Y.L. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal*, **71**, 413-423.

Autret, B., Mary, B., Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., Grandeau, G. & Beaudoin, N. 2016. Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **232**, 150-164.

Capowiez, Y., Cadoux, S., Bouchant, P., Ruy, S., Roger-Estrade, J., Richard, G. & Boizard, H. 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil and Tillage Research*, **105**, 209-216.

Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B., Saby, N., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M. & Chenu, C. 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - a case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, **259-260** 288-299.

Cardinael, R.m., Chevallier, T., Cambou, A.I., Béral, C., Barthès, B., Dupraz, C., Durand, C.I., Kouakoua, E. & Chenu, C. 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **236**, 243-255.

Chenu, C., Abiven, S., Annabi, M., Barray, S., Bertrand, M., Bureau, F., Cosentino, D., Darboux, F., Duval, O., Fourrié, L., Francou, C., Houot, S., Jolivet, C., Laval, K., Bissonnais, Y.L., Lemée, L., Menasseri, S., Pétraud, J.-P. & Verbègue, B. 2011. Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. *Etude et Gestion des Sols*, **18**, 161 -174.

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.

Eden, M., Gerke, H.H. & Houot, S. 2017. Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, **37**.

Horrigue, W., Dequiedt, S., Chemidlin Prévost-Bouré, N., Jolivet, C., Saby, N.P.A., Arrouays, D., Bispo, A., Maron, P.A. & Ranjard, L. 2016. Predictive model of soil molecular microbial biomass. *Ecological Indicators*, **64**, 203-211.

Meersmans, J., Martin, M.P., De Ridder, F., Lacarce, E., Wetterlind, J., De Baets, S., Bas, C.L., Louis, B.P., Orton, T.G., Bispo, A. & Arrouays, D. 2012. A novel soil organic C model using climate, soil type and management data at the national scale in France. *Agronomy for Sustainable Development*, **32**, 873-888.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.-C., Vågen, T.-G., van Wesemael, B. & Winowiecki, L. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, **292**, 59-86.

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., Benoît, 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. 2014. Quels leviers techniques pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole ? *Innovations agronomiques*, **xxx**, xxxxx.

Peltre, C., Nyord, T., Bruun, S., Jensen, L.S. & Magid, J. 2015. Repeated soil application of organic waste amendments reduces draught force and fuel consumption for soil tillage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **211**, 94-101.

Peltre, C., Christensen, B.T., Dragon, S., Icard, C., Kätterer, T. & Houot, S. 2012. RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry*, **52**, 49-60.