

XXV<sup>e</sup> rencontres professionnelles RITIMO - Favoriser l'enrichissement des sols en matière organique

## Enrichir les sols en carbone: processus et facteurs

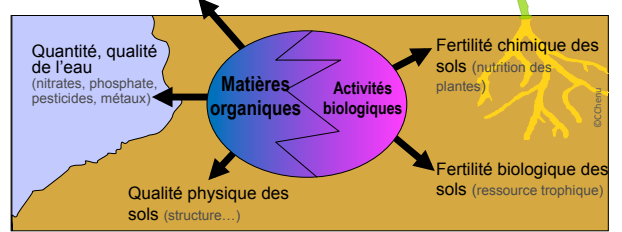
Claire Chenu  
[chenu@agroparistech.fr](mailto:chenu@agroparistech.fr)  
 UMR Ecosys, INRA AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Thiverval Grignon

INRA  
 agroParisTech

Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

### Enrichir les sols en matières organiques pour...

Gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>...) et stockage de carbone

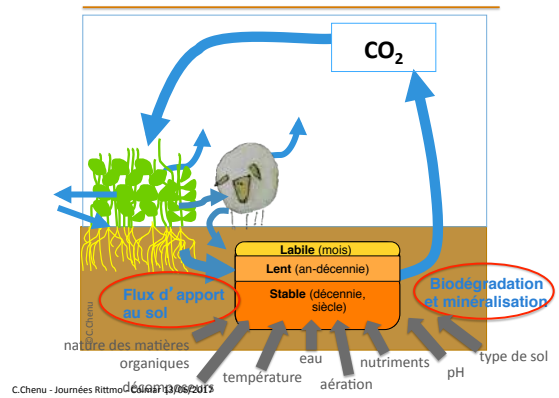


C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

### 1-Stockage, séquestration, persistance...

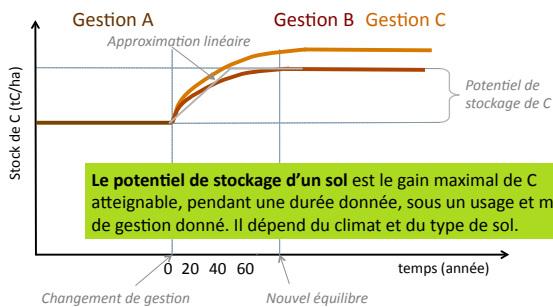
C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

### Le cycle du carbone à l'échelle locale



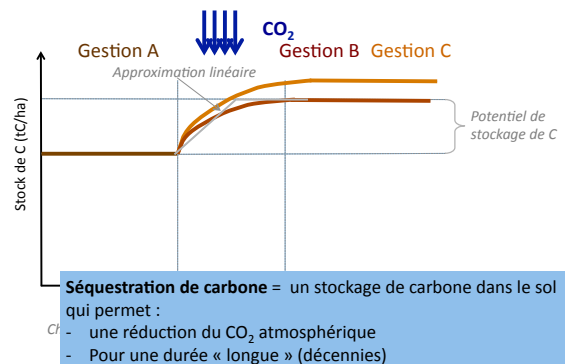
C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

### Stockage et déstockage de carbone des sols



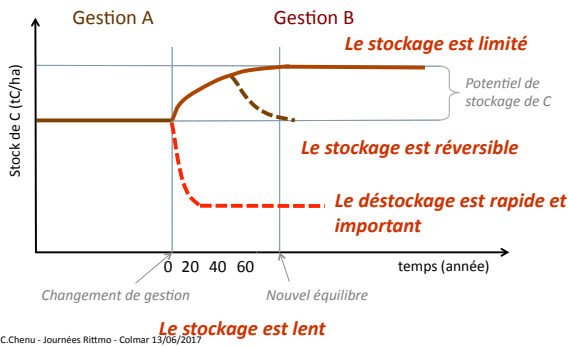
C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

### Stockage et déstockage de carbone des sols



C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Stockage et déstockage de carbone des sols



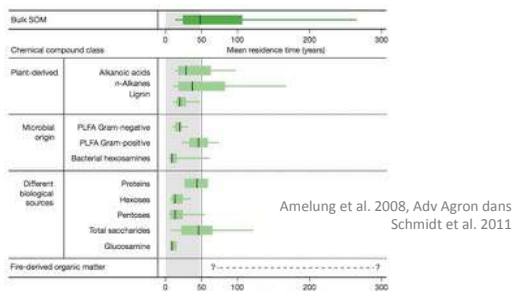
## 2-Des processus qui expliquent la séquestration des matières organiques dans les sols

Nature chimique des matières organiques  
Protection physique  
Protection physico-chimique  
Interactions biotiques

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Nature chimique des matières organiques et persistance

Temps de résidence de molécules organiques dans les sols : synthèse de données renouvellement du C de familles moléculaires GC-C-IRMS (<sup>13</sup>C)



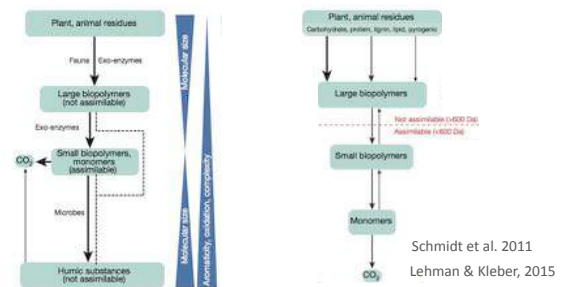
Il n'y a pas de molécules « récalcitrantes » à l'échelle séculaire, hormis les charbons

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Une vision renouvelée de la dynamique des MO

Vision traditionnelle : humification

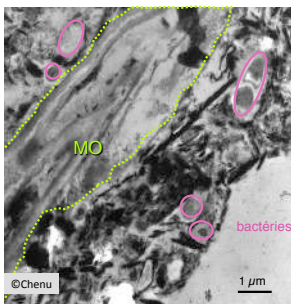
Vision actuelle : continuum de dégradation



Il n'y a pas néoformation de molécules humiques par condensation  
Les matières organiques persistantes sont des molécules microbiennes

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Protection physique des matières organiques



Limitation de l'accessibilité des microorganismes aux matières organiques dans la structure du sol

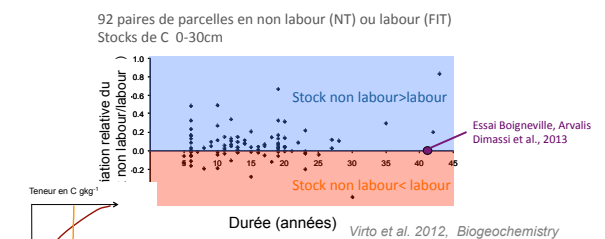
Le travail du sol « déprotège » les matières organiques

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Non labour



- Ré-évaluation des effets sur le stockage de carbone Angers & Eriksen Hamel 2008, Luo et al. 2010, Virto et al. 2012, Dimassi et al. 2014, Powlson et al. 2014
- Moins qu'anticipé ( $\approx 0.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) et très variable



Teneur en C gkg<sup>-1</sup>

Profoundeur (cm)

labour semis direct

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

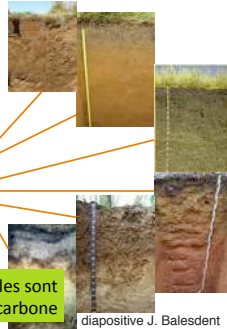
• Origine de la variabilité ?  
• Processus sous-jacents ?

## Interactions organo-minérales

- La stabilisation du C profond (age moyen  $^{14}\text{C}$ ) est plus dépendante du type de sol et de la minéralogie que du climat :

Méta-analyse de 118 profils mondiaux de  $^{14}\text{C}$   
Mathieu et al., Global Change Biology 2015.

Type de sol	Teneur en argile	Réactivité des argiles	$\Delta^{14}\text{C}$ profond (‰)
Andosol	++++	++++	-700
Nitisol	++++	+	-500
Vertisol	++++	+++	-300
Chernozem	+++	+++	-300
Ferralsol	+++	++	-300
Luvisol	++	++	-300
Cambisol	++	++	-300
Podzol	+	+	-100

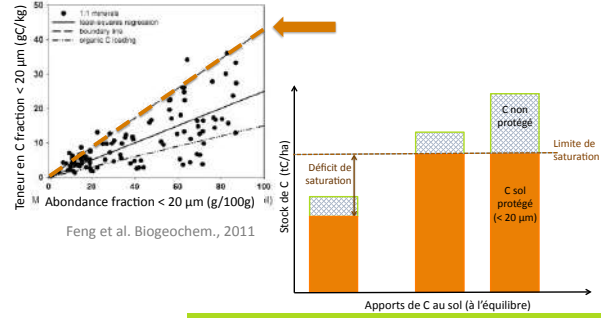


la nature et l'abondance des phases minérales sont des facteurs majeurs de la stabilisation du carbone

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

## Une saturation des sols en carbone ?

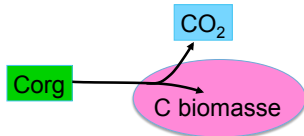
Une limite à la séquestration de C imposée par la texture des sols ?



=> Choisir où il est pertinent de stocker du carbone

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

## Interactions biotiques: tous aussi efficaces?



$$\text{Rendement d'assimilation} = \frac{\text{C biomasse}}{\text{C biomasse} + \text{C-CO}_2}$$

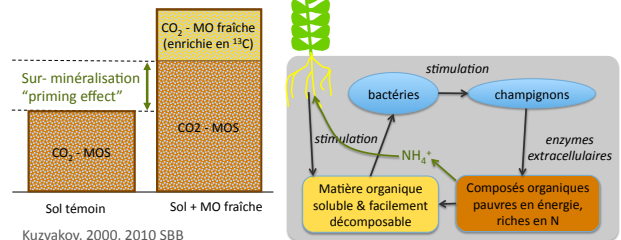
- Champignons > bactéries
- ≠ espèces microbiennes, état physiologique, disponibilité des nutriments
- Systèmes de culture

=> Un contrôle via les communautés microbiennes ?

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

## Interactions biotiques: le priming effect

- Les apports de MO fraîche peuvent induire une sur-minéralisation des MO du sol



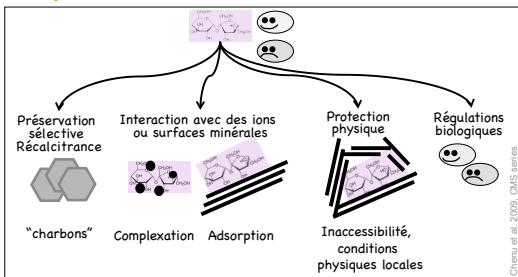
Kuzuyakov, 2000, 2010 SBB  
Fontaine et al. 2011, SBB  
Shazad et al.

=> Mieux évaluer le potentiel de stockage d'apports de MO au sol  
=> la sur-minéralisation est t'elle partout la même ?

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

## Qu'est ce qui contrôle la persistance des matières organiques ?

### Différents processus en interaction



« Soil organic matter persistence is an ecosystem property »

Schmidt et al. 2011

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

## 2- Des processus à la gestion des sols

C.Chenu - Journées Ritmo - Colmar 13/06/2017

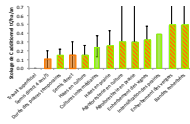
## Estimer un potentiel de stockage /de séquestration de C ?

- Des facteurs « par défaut » - Tier 1 GIEC

$$COS(t) = COS_{ref} \cdot F_{usage}(t) \cdot F_{gestion}(t) \cdot F_{restitutions}(t)$$

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

- Des références régionales / nationales



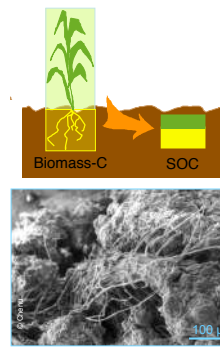
- Modélisation

- Mesures de terrain (essais longue durée, RMQS, BDAT...)

- Autres ?

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Stocker... par la racine



Le « rendement » en carbone du sol est plus élevé pour le C rhizodéposé que pour les résidus des parties aériennes ( $\approx \times 2,4$ )

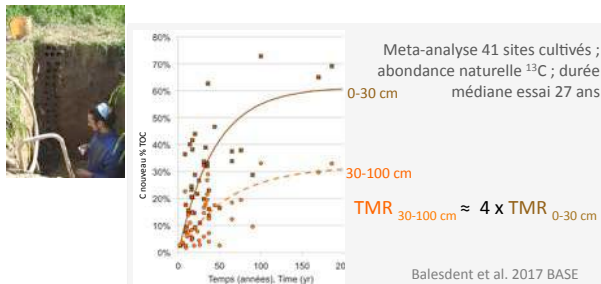
Rasse et al. 2005  
Katterer et al. 2011

=> Augmenter les apports de C au sol par voie racinaire

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Stocker... en profondeur

- Les matières organiques persistent plus longtemps dans les horizons profonds des sols



=> Incorporer des matières organiques en profondeur ?  
=> Bénéfices ?

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

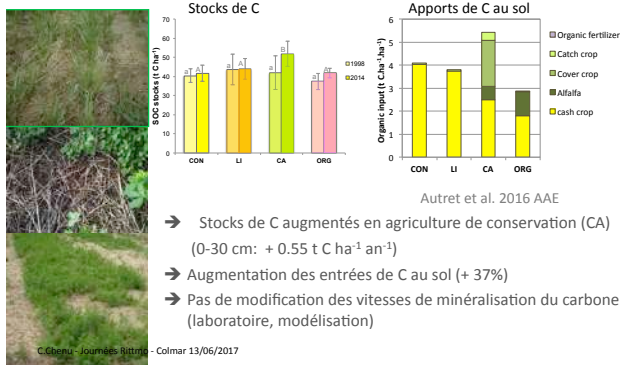
## Stocker du carbone en profondeur : Agroforesterie



C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Stocker... en augmentant les apports

### Essai La Cage, INRA: systèmes de culture alternatifs



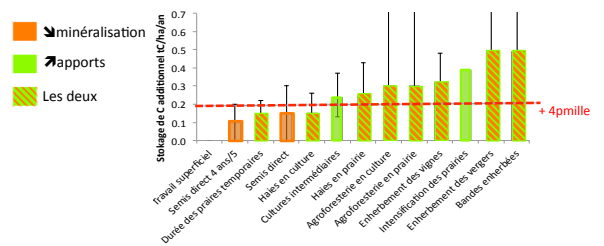
C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Stocker... en augmentant les apports



### Etude INRA Agriculture et émissions de gaz à effet de serre

Stockage de C additionnel par unité de surface:



Etude GES INRA  
Chenu & al. 2014  
=> Plus efficace d'augmenter les entrées de C au sol que (d'essayer) de diminuer les pertes par minéralisation ?

C.Chenu - Journées Rittmo - Colmar 13/06/2017

## Conclusion

Enrichir les sols en matière organique:

- C'est possible : ≠ volants d'action, ≠ pratiques
- Met en jeu des processus et facteurs ≠, en interaction
- Champ de connaissances à acquérir, mais assez de connaissances, de références et d'outils pour entreprendre.

C.Chenu - Journées Ritimo - Colmar 13/06/2017



## Les références citées :

- 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.
- Balesdent, J., Basile-Doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S., Fekiacova, Z., Fontaine, S.B., Guenet, B., Hatté, C., 2017. Renouvellement du carbone profond des sols cultivés : une estimation par compilation de données isotopiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 1-12
- Chenu, C., Virto, I., Plante, A.F., Elsass, F., 2009. Clay-size organo-mineral complexes in temperate soils: relative contributions of sorptive and physical protection. In: D.A. Laird, J. Cervini-Silva (Eds.), *Carbon Stabilization by Clays*. CMS workshop lectures. The Clay Minerals Society, Chantilly, VA, pp. 120-135.
- Chenu, C., Klumpp, K., Bispo, A., Angers, D., Colenne, C., Metay, A., 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques* 37, 23-37 <http://www6.inra.fr/cias/Revue/Volumes-publies-en-2014/Volume-37-Juillet-2014>
- Derrien, D., Dignac, M.-F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G.T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C., Barré, P., 2016. Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Étude et Gestion des Sols*, Volume 23 – pp 193-223.
- Dimassi, B., Mary, B., Wyleman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piroux, F., Cohan, J.-P., 2014. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 188, 134-146.
- Feng, Plante, A.F., Six, J., 2011. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. *Biogeochemistry*.
- Lehmann, J., Kleber, M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528(7580), 60-68.
- Mathieu, J., Hatté, C., Balesdent, J., Parent, E., 2015. Deep soil carbon dynamics are driven more by soil type than by climate: A worldwide meta-analysis of radiocarbon profiles. *Global Change Biology* 21, 278-292.
- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoit M., Butault J.P., Chenu C., Colenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Favardin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savin I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture> (un résumé en 8 pages est aussi disponible)
- Rasse, D.P., Rumpel, C., Dignac, M.F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil* 269(1/2).
- Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49-56.
- Virto I., Barré P., Burlot A., and C. Chenu. 2012. Carbon input differences explain the variability in soil organic C storage of no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry*, 108, 17-26.
- Kuzakov, Y., Friedel, J. K., Steyer, J. A., 2009. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1485-1498.
- Shahzad, T., Chenu, C., Repincay, C., Moughin, C., Ollier, J.L., Fontaine, S., 2012. Plant clipping decelerates the mineralization of recalcitrant soil organic matter under multiple grassland species. *Soil Biology & Biochemistry* 51, 73-80.

## Pour en savoir plus.. (carbone et sols)

- ADEME, 2014. Le carbone des sols, l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat. Brochure Réf. 7886 téléchargeable sur [www.ADEME.fr/mediatheque](http://www.ADEME.fr/mediatheque) (in english and in french)
- Atlas européen de la Biodiversité des sols (en anglais et en français). Téléchargeable à : [http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity\\_atlas/french.html](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/french.html)
- Un jeu des 7 familles sur la biodiversité des sols. Téléchargeable à : <http://www.gessol.fr/content/le-jeu-de-7-familles-la-vie-cachee-des-sols>
- FAO : abondante iconographie : infographies, plaquettes, vidéos créés à l'occasion de l'année internationale des sols <http://www.fao.org/soils-2015/fr/> à utiliser abondamment !
- Site du GIS Sol: beaucoup de données disponibles sur les sols de France et leur évolution y compris teneurs en MO et stocks de C des sols : <https://www.gissol.fr/thematiques>
- <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCRRD/sol.aspx#owhere>

Quelques vidéos, supports d'exposés:

- [http://www.dailymotion.com/video/x3c0w9\\_les-sols-levier-considerable-dans-l-attenuation-du-changement-climatique\\_news](http://www.dailymotion.com/video/x3c0w9_les-sols-levier-considerable-dans-l-attenuation-du-changement-climatique_news)
- [http://www.dailymotion.com/video/xxvsn\\_stocker-du-c-dans-les-sols-agricoles\\_tech#UT00baVokQ](http://www.dailymotion.com/video/xxvsn_stocker-du-c-dans-les-sols-agricoles_tech#UT00baVokQ)
- Etude INRA citée dans cet exposé: <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>
- Site de l'AFES: des webinaires, dont plusieurs sur les matières organiques des sols, la biodiversité, les biochars... <https://vimeo.com/channels/webinairesafes/vidéos>
- Une animation percutante sur les sols : <https://vimeo.com/54012605>
- Une vidéo sur le 4p1000 <https://youtu.be/CM2KcNUJECQ>

C.Chenu - Journées Ritimo - Colmar 13/06/2017

