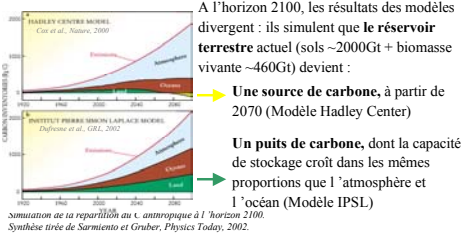


Les complexes organo-minéraux du sol : rôle sur la dynamique de séquestration du carbone



BASILE-DOELSCH Isabelle¹, DE JUNET Alexis¹, BOUCHERLE Amandine¹, LEGROS Samuel¹, BOTTERO Jean-Yves², ROSE Jérôme², MASION Armand², BORSCHNECK Daniel², MOUSTIER Stéphane², BRUN Thomas², BALESSENT Jérôme³, MAROL Christine³, DERRIEN Delphine³, DERENNE Sylvie⁴, TEMPLIER Joëlle⁴, SAINT MACARY Hervé⁵, FEDER Frédéric⁵

En 2100



En 2005

Les récents résultats de Bellamy et al. (Nature, 2005) montrent que certains sols se comportent déjà comme des sources de C depuis 1978 (perte de ~13 Mt/an à l'échelle l'Angleterre et du Pays de Galles).

La divergence des modèles ci-contre est en partie expliquée par les fortes lacunes dans la connaissance des mécanismes qui contrôlent le stockage du C dans les sols. Il en découle une impossibilité de quantification de la plupart des phénomènes (Arrouay et al. 2003).

Projet ECCO-PNBC 2004-2007

Le projet vise à étudier le rôle que jouent les **complexes organo-minéraux (COM^x)** sur la stabilisation de la matière organique (MO) (Torn et al. 1997) :

- OBJECTIFS DU PROJET :
1. Identifier les minéraux qui favorisent la stabilisation de la MO;
 2. Caractériser la nature des MO stabilisées par ces minéraux;
 3. Quantifier le turnover des MO stabilisées par ces minéraux;
 4. Décrire les interactions physico-chimiques à l'interface minérale/MO;
 5. Etudier l'impact de la modification du climat (5.) ou de la mise en culture (6.) sur la stabilité des COM^x;
 7. Quantifier la contribution des COM^x au stock actuel de C dans les sols, et leur rôle futur.

Le site du projet : <http://www.cerege.fr/projet/ecco-accueil.html>

Sols de La Réunion et Analyses

Les sols

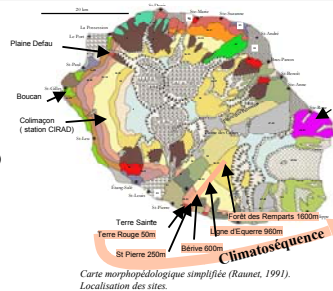
- sont caractérisés par une forte **variabilité minéralogique**
- sont localisés sur des **gradients climatiques** contrastés
- présentent de zones de **transitions de culture C3 / C4**.

Les méthodes permettent

- d'isoler les COM^x en fonction de leur minéralogie (densité)
- de caractériser les phases minérales (DRX, FTIR, RMN, chimie)
- de caractériser les phases organiques (FTIR, RMN, PyGCMS)
- de quantifier la dynamique du C (¹³C et ¹⁴C)

Les échelles d'étude sont

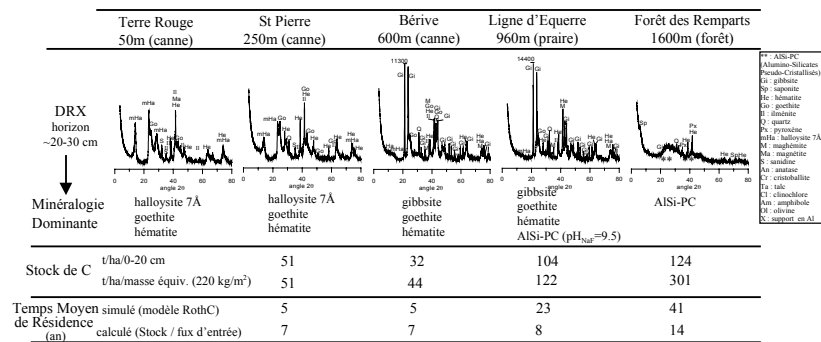
- à l'échelle des profils, analyses des horizons
- à l'échelle des horizons, analyses des COM^x et de la MO libre



Type de sol (d'après Ranquet 1991)	Site	Objectifs		DRX	COT	δ ¹³ C	sucres	horizon fractionné		PyG	CM	δ ¹³ C
		DRX	COT					FTIR	S			
Sol ferrallitique	Terre Sainte	1, 2, 5	oui									
	Terre Rouge	1, 2, 5	oui									
Vertical	Boucan	1	X									
	Plaine Dufau	1	oui									
Sol brun andique	Colombes	1	oui	oui	oui	oui	oui	20-35 cm	oui	oui	X	oui
	St Pierre	1, 2, 6, 7	oui	oui	oui	oui	oui	20-38 cm	oui	oui	X	oui
Andosol non perhydraté	Bérive	1, 2, 6, 7	oui	oui	oui	oui	oui	40-50 cm	oui	oui	X	oui
	Ligne d'Equerre	1, 2, 6, 7	oui	oui	oui	oui	oui	23-35 cm	oui	oui	X	oui
Andosol perhydraté	Forêt des Remparts	1, 2, 5, 7	oui	oui	oui	oui	oui	22-32 cm	oui	oui	X	oui
	Site Rose non cultivé	1 et 3	oui	oui	oui	oui	oui	40-50 cm	oui	oui	X	oui
	Site Rose 44 ans canne	3	oui	oui	oui	oui	oui	40-50 cm	oui	oui	X	oui
	Site Rose 100 ans canne	3	oui	oui	oui	oui	oui	40-50 cm	oui	oui	X	oui

Le tableau ci-dessus synthétise l'ensemble des travaux réalisés à ce jour dans le cadre du projet. Les résultats surignés (relatifs à la climatoséquence présentée ci-contre) sont présentés dans ce poster.

Climatoséquence : résultats à l'échelle des profils



Les diffractogrammes RX des horizons ~20-30cm présentés ci-contre montrent que, quel que soit le sol, les minéraux sont principalement des **phases secondaires formées au cours de la pédogenèse**.

Pour chaque profil, la minéralogie est très homogène au sein des différents horizons (résultats non présentés ici).

Sur la climatoséquence, les sols présentent une **évolution minéralogique marquée** pour les aluminosilicates (de Terre Rouge à Forêt des Remparts : halloysite / gibbsite / aluminosilicates pseudo-cristallisés / saponite).

Les stocks de C calculés (soit sur les 20 premiers cm, soit pour une masse équivalente pour tous les sols, tableau ci-contre) montrent une évolution marquée de la quantité de C séquestré. Cette **évolution des stocks de C est corrélée à l'évolution minéralogique des aluminosilicates**, et en particulier, à la présence des aluminosilicates pseudo-cristallisés.

Les **temps moyen de résidence du C** (tableau ci-contre) sont d'autant plus grands que le sol est riche en aluminosilicates pseudo-cristallisés. Les TMR calculés (stock/flux) et simulés (modèle RothC) ne sont pas cohérents dans les sols à aluminosilicates pseudo-cristallisés car le modèle ne prend pas en compte "l'effet minéralogique".

Andosol : résultats à l'échelle des COM^x (horizon 22-32 cm, Forêt des Remparts)

L'horizon est séparé en **six fractions densimétriques**. Pour ce sol, la procédure a permis de collecter 85% de la masse de sol initiale, et 70% du C initial (à noter que ces rendements diffèrent d'un sol à l'autre).

La MO des fractions d<1 et 1<d<1.9 est « libre » (pas de phases minérales observables par DRX et FTIR). La MO libre, principalement collectée dans la fraction 1<d<1.9, **représente 8% de la MO de l'horizon**.

A l'inverse, **60% de la MO est complexée aux AISi-PC** (densité 1.9<d<2.3). L'analyse FTIR montre que les AISi-PC sont de deux types : allophane très siliceux et structure d'opale.

Les autres phases minérales (gibbsite, saponite, quartz, feldspaths, pyroxène, olivine, hématite) ne complexent que peu de MO.

La MO complexée par les AISi-PC est principalement composée d'HAP, de composés azotés et de polysaccharides (δ¹³C : -24.7‰). Les composés dérivés de la lignine, les lipides et les composés aliphatiques ne sont pas complexés par les AISi-PC et se concentrent dans la MO libre (δ¹³C = -26.59‰).

Conclusions

A partir des résultats ci-dessus (ainsi que des résultats non présentés), nous répondons de façon préliminaire aux objectifs du projet (cf. introduction) :

1. Les **minéraux aluminosilicatés contrôlent** dans une large proportion la **séquestration du C** dans les sols. Les **aluminosilicates pseudo-cristallisés (AISi-PC) ont une affinité très forte pour la MO**. Dans les sols où les AISi-PC sont absents, la gibbsite et l'halloysite complexent la MO en moins grande quantité. Quel que soit le sol, les oxydes de Fer complexent de faibles quantités de MO.
2. La MO stabilisée par les AISi-PC présente une **spécificité moléculaire** très contrastée en comparaison de la MO libre.
3. Les premières données indiquent que la MO complexée par la gibbsite, l'halloysite et les oxydes de fer seraient plus stables que la MO complexée par les AISi-PC.
5. La nature des minéraux aluminosilicatés formés au cours de la pédogenèse varie en fonction du climat. Une **modification du climat est donc susceptible d'entraîner des évolutions minéralogiques et, par voie de conséquence, des modifications des stocks de C associés**.
7. Les premières simulations montrent que les **modèles de dynamique du C ne prennent pas correctement en compte les effets minéralogiques**.

Dans la suite du projet, l'ensemble des points ci-dessus sera complété et les points 4. (interactions organo-minérales) et 5. (effets agricoles) développés.

Caractérisation des phases minérales par DRX et FTIR (1.9<d<2.3)	Séparation densimétrique						
	MO non complexée			Complexes organo-minéraux			
Fractions densimétriques	d<1	1<d<1.9	1.9<d<2.3	2.3<d<2.45	2.45<d<2.8	2.8<d	non collecté
Distribution en % de la masse initiale	1.4%	1.9%	71%	1.9%	2.7%	5.9%	15.2%
Distribution en % du carbone initial	1.2%	7.1%	60.2%	0.6%	0.2%	0.2%	30.6%
			** **	** **			
			Allophane siliceux Opal	Saponite Gibbsite	Quartz Feldspaths	Pyroxène Olivine Hématite	
COT (mg de C / g de fraction)	112.9	486.9	111	38.9	11	3.5	
δ ¹³ C (‰)	-23.97	-26.59	-24.74	-25.03	-25.22	-25.22	
Caractérisation de la MO	Py-GC-MS	Lignine Lipides	Composés azotés	Composés azotés	Polysaccharides		

Références

- D. Arrouays et al., "Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?" (INRA, 2003).
 - P. H. Bellamy et al., Nature 437, 245 (2005).
 - Ranquet, Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion (CIRAD, 1991).
 - J. L. Sarmento, N. Gruber, Physics Today, 30 (2002).
 - M. S. Torn et al., Nature, London 389, 170 (1997).
- Production scientifique liée au projet
- I. Basile-Doelsch et al., Mineral control of soil organic carbon dynamic in an allophanic soil (La Réunion) EISS, DOI: 10.1111/j.1365-2389.2005.00703.x.
 - Derrien D. et al., The dynamics of neutral carbohydrates in a cultivated soil. A stable isotope labelling approach, Eurosol, Freiburg, Allemagne, 4-12 septembre 2004.
 - Derrien D. et al., Measurement of the ¹³C/¹²C ratio of soil-plant individual sugars by gas chromatography / combustion/isotope-ratio mass spectrometry of silylated derivatives, Rapid Communication in Mass Spectrometry, 17 : 2626-2631.
 - A. Boucherle, 2004. Rôle des phases minérales sur la séquestration du C dans les andosols, Rap.
 - S. Legros, 2004. Minéralogie des sols de la Réunion. Mémoire bibliographique. Rap.
 - S. Legros, 2005. Variabilité des complexes organo-minéraux en fonction du climat, Rap.
 - T. Brun, 2005. Caractérisation par FTIR des complexes organo-minéraux en fonction du climat, Rap.