

Comment mesurer l'évolution des stocks de matière organique des sols en grande culture ?

Bruno MARY, INRA, Unité Laon-Reims-Mons, **Michel DEGREDEL**, Union Rég. Nord des Experts Agricoles et Fonciers

Plusieurs articles français ont fait état d'une baisse des teneurs en matière organique des sols cultivés, parfois très conséquente sur les dernières décennies. S'agit-il d'une baisse du taux ou du stock de matière organique ? S'agit-il d'un phénomène général ou régional ? Est-il affecté par l'évolution des techniques agricoles (intensification, travail du sol,...) ? Peut-on le mesurer avec fiabilité ?

Pour contribuer à y voir plus clair, l'Unité d'Agronomie INRA de Laon a entrepris, à la demande de l'Union Régionale des Experts Agricoles et Fonciers de la Région Nord de la France, une étude sur la caractérisation et la modélisation de l'évolution des stocks de matière organique. Ce travail a donné lieu en mai 1999 à un rapport de contrat intitulé "Caractérisation et modélisation de l'évolution des stocks de matière organique des sols de grande culture en Picardie", et d'autres publications ultérieures. Il apporte un éclairage nouveau et moins inquiétant sur l'évolution des stocks de matière organique (généralement calculés sur 30 cm, parfois 60 cm), au moins pour la région Nord du Bassin Parisien.

Matériel et méthodes

L'étude réalisée par Richard Wylleman, au sein de l'Unité d'Agronomie INRA de Laon, a fait suite au travail de thèse d'Adrian Andriulo dans cette même Unité. Elle s'est appuyée sur 3 bases de données récentes essentielles :

- 1°) un essai céréalier blé-maïs, de longue durée, conduit par l'ITCF à Boigneville de 1970 à 1998 ;
- 2°) une enquête réalisée par l'INRA d'Amiens durant 14 ans de 1973 à 1986 sur une centaine de parcelles du CETA de Ham dans la région du Santerre (Somme), en système de grande culture avec betteraves, pommes de terre, légumes de conserve et céréales ;
- 3°) les données d'analyse de terre de la Station Agronomique de l'Aisne : une sélection rigoureuse a permis de retenir 391 parcelles agricoles ayant été analysées 3 à 4 fois sur une dernière période de 15 à 28 ans (1970-1998).

Cette étude a également testé la pertinence et l'intérêt de modèles de simulation du stock de carbone à long-terme. Elle a pris en compte :

- le modèle Hénin-Dupuis et le modèle AMG¹ précédemment mis au point et validé au cours de la thèse d'Adrian Andriulo sur les sols de la Pampa en Argentine ;
- un paramétrage indépendant du coefficient de minéralisation en fonction du taux d'argile et du taux de CaCO₃, mis au point pour simuler l'évolution de l'azote (modèle STICS) ;
- la méthode d'abondance naturelle ¹³C appliquée à la rotation blé-maïs.

Les 2 modèles d'évolution des M.O. (Hénin-Dupuis et AMG) ont été comparés et il a été mis en évidence plusieurs points importants :

- l'insuffisance du modèle Hénin-Dupuis pour simuler l'évolution des stocks à moyen terme. Ce modèle simule de trop fortes variations des stocks, soit en diminution, soit en augmentation, et ne peut donc être utilisé en prévision ;
- la nécessité de prendre en compte au moins deux types de composés carbonés ayant des dynamiques différentes. Pour des raisons de simplification du modèle, nous considérons 2 fractions : une fraction "stable", d'évolution très lente sur plusieurs décennies au moins, représentant environ les 2/3 du carbone, et une fraction "active" à évolution beaucoup plus rapide représentant environ 1/3 du carbone organique total ;
- la validation du modèle AMG prenant en compte ces deux fractions sur l'essai de Rothamsted en Grande-Bretagne sur 150 ans, sur les données d'Argentine et sur l'essai de Boigneville, malgré le petit nombre de paramètres du modèle (3 paramètres) ;
- un nouveau paramétrage du coefficient isohumique et du coefficient de minéralisation qui ont été recalibrés en partie sur les données de Boigneville ;
- une validation du modèle sur la base de données d'analyse de sols de la Station Agronomique de l'Aisne.

Les paramètres du modèle AMG

Le modèle AMG est une extension du modèle Hénin-Dupuis. Il calcule le stock de carbone année par année, et comporte 2 fractions de carbone (C_S et C_A) et 2 paramètres (k_1 et k). Le stock total de carbone varie annuellement selon l'équation suivante:

$$C = C_S + (C_0 - C_S) \exp(-k.t) + \frac{k_1 m}{k} (1 - \exp(-k.t)) \quad \text{avec}$$

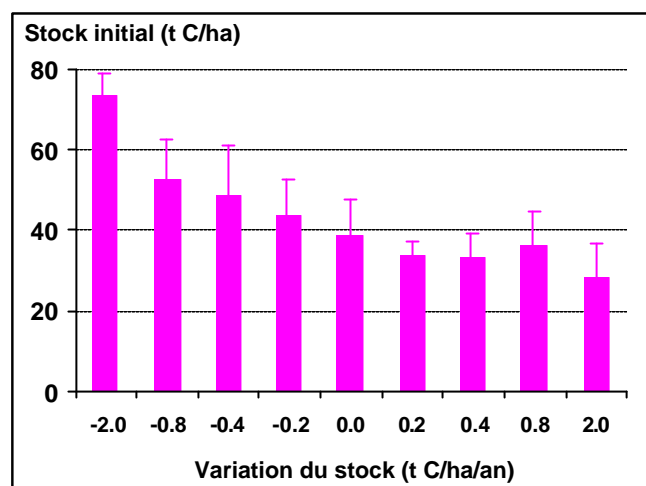
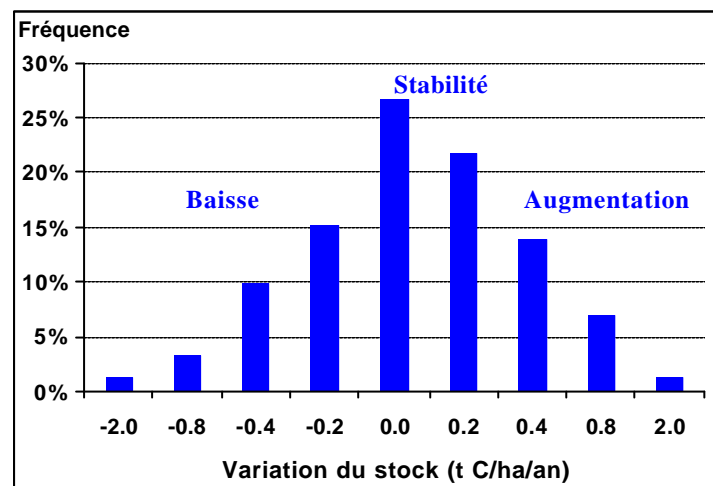
C = stock total de carbone organique	(t/ha)	k = coefficient de minéralisation de la fraction active	(an ⁻¹)
C_S = stock de carbone stable	(t/ha)	k_1 = coefficient isohumique	
C_0 = stock initial de carbone	(t/ha)	t = temps	(an)
$C_A = C_0 - C_S$		m = masse de C apporté ou restitué annuellement	(t/ha/an)

¹ AMG pour Andriulo-Mary -Guérif

Quelques résultats importants

En système céréalier tel que l'essai de Boigneville, les stocks de carbone augmentent légèrement avec le traitement "labour" lorsque les résidus de récolte sont restitués au sol. L'augmentation est nettement plus marquée avec un travail du sol réduit : travail "superficiel" ou semis direct.

Dans les parcelles d'agriculteurs, en Picardie, on observe en moyenne une stabilité des stocks de matière organique sur les 15 à 28 ans passés. Cette moyenne regroupe en fait 3 catégories : 49 % des situations sont stables, 29 % ont diminué significativement et 22 % des situations ont augmenté. Les fortes diminutions correspondent surtout à des stocks antérieurs élevés, notamment des antécédents de prairies, ou à des situations à faibles restitutions (forte proportion de cultures de pommes de terre ou de betterave), ou encore à un approfondissement du labour dans les années 70-80. Les situations ayant eu un enrichissement correspondent à des systèmes avec beaucoup de céréales, pailles enfouies.



Histogramme de variation annuelle du stock de carbone du sol observée sur 391 parcelles d'agriculteurs en Picardie, sur la période 1970-1998, exprimée en t C/ha/an. Relation entre ces classes de variation et le stock de carbone présent dans le sol au début de la période d'étude.

Le modèle AMG simule bien les différentes situations. L'évolution du stock de C est asymptotique : plus le sol est appauvri, moins forte est la minéralisation, et plus il est riche, plus cette dernière est importante, ce qui aboutit à des stocks d'équilibre peu variables (environ 38 t C/ha sur 30 cm), pour des situations avec labour annuel. Le passage aux techniques simplifiées avec la limitation des opérations culturales voire la suppression totale du labour conduirait à augmenter les stocks de C à l'équilibre. Inversement, l'enlèvement systématique des pailles conduit à une réduction du stock de carbone.

Conclusion

Les applications pratiques du modèle AMG pourraient être nombreuses en contrôle de l'évolution des stocks agricoles de carbone, que ce soit dans le domaine de la recherche appliquée ou de la vulgarisation. L'informatisation des calculs en facilitera grandement l'usage et un répertoire de données sera prochainement mis à la disposition des utilisateurs par l'INRA. Déjà plusieurs Experts Agricoles et Fonciers l'ont intégré à l'utilisation de la méthode des bilans organiques, et il est prévu de l'intégrer au logiciel REGIFERT. D'autres régions que le Bassin Parisien pourront s'y intéresser et un projet d'adaptation du paramétrage pour la zone méditerranéenne française est envisagé.

Bibliographie

Andriulo A, Mary B, Guérif J (1999) Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19 : 365-377.

Mary B, Guérif J (1994) Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques dans le sol. *Cahiers Agricultures* 3: 247-257.

Mary B, Wylleman R (2001) Characterization and modelling of organic C and N in soil in different cropping systems. 11^{ème} Nitrogen Workshop, 9-12/09/01, Reims, 251-252.

Mary B, Wylleman R (2002) Prediction of soil carbon evolution in agricultural fields. 7^{° Colloque ESA, Cordoba, 15-18/07/2002 (ESP)}

Thévenet G, Mary B, Wylleman R (2002) Stockage du carbone et techniques de travail du sol en milieu tempéré : bilan de 30 années d'expérimentation en grandes cultures. C.R. Acad. Agric. France, juin 2002.

Wylleman R (1999) Caractérisation et modélisation de l'évolution des stocks de matière organique. C.R. contrat, INRA Laon, 77 pp.

Wylleman R, Mary B, Machet JM, Guérif J, Degrendel M (2001) Evolution des stocks de matière organique dans les sols de grande culture : analyse et modélisation. *Perspectives Agricoles* juillet-août 2001, 270, 8-14.

Les auteurs remercient la Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie, les Agences de l'Eau Artois-Picardie et Seine-Normandie, le Conseil Régional de Picardie pour leur appui financier ou technique. Ils sont également très reconnaissants à la Station Agronomique de l'Aisne et à l'ITCF d'avoir accepté de mettre les données d'analyse à leur disposition.