

Appréciation de différences en C-séquestration dans les sols par la canne à sucre et autres productions végétales et impact de la destination énergétique des résidus de culture

M. Brouwers

*CIRAD-Persyst – systèmes cannier, 34398 Montpellier Cedex 5, France;
p/a SASRI, Private Bag X02, 4300 Mount Edgecombe, Afrique du Sud
(marinus.brouwers@cirad.fr)*

RESUME

Pour lutter contre le changement climatique annoncé, la question de "comment l'atténuer" par une plus grande fixation de CO₂ atmosphérique, d'une part dans les sols et, d'autre part à travers la valorisation de la biomasse aérienne produite pour la nourriture des hommes et ses autres besoins comme du bois et de l'énergie, est d'actualité.

Bien qu'il y ait une abondante littérature portant sur l'effet de modes d'usages des terres sur la quantité de matière organique présente dans les sols (MOS), dans très peu d'articles les différences ou changements en stock de carbone organique(SOC) rapportées paraissent être basées sur des données fiables. Dans cette contribution, les bases d'études portant sur de telles investigations sont rappelées: (i) expression des résultats en masse de C (ou de MOS) par unité de surface, (ii) appréciation de cette valeur jusqu'au moins 0.6 m de profondeur, (iii) unicité typologique des sols comparés, (iv) prise en compte de la variation latérale des caractéristiques des sols, et (v), réalisation des prélèvements selon les "règles de l'art". La matière organique du sol étant constituée de fractions à minéralisation rapide et lente, des propositions sont faites pour définir la fraction de carbone séquestré.

Après avoir rappelé dans une seconde partie de l'article, la quantité de carbone d'origine atmosphérique fixée dans la biomasse de la canne à sucre et quelques autres usages des terres, une brève analyse est faite quant à l'usage des résidus de culture à des fins énergétiques sans que cela compromette la capacité du sol à séquestrer du carbone d'origine atmosphérique.

Mots clés: C-séquestration, méthodologie, utilisation des sols, résidus de culture, canne à sucre, énergie.

INTRODUCTION

La culture de la canne, espèce C4, conduite à finalité sucrière ou sucrière et éthanol ou encore sucre et énergie, produit à chaque cycle une biomasse aérienne importante qui dépasse le plus souvent les 100 tonnes de tiges usinables à l'ha si sa culture est (bien) conduite en irriguée (exemples: CSS du Sénégal, KSC au Soudan, et les sucreries du nord d'Afrique du Sud). Cette production de biomasse est bien plus importante que celle des espèces C3 ou C5. Potentiellement la canne à sucre est donc une culture de fixation, au moins temporairement, de CO₂ d'origine atmosphérique. En raison de la relation existante entre biomasse aérienne et biomasse souterraine, potentiellement la canne peut donc aussi être une culture de séquestration dans les sols de CO₂ atmosphérique.

Bien qu'il y ait une abondante littérature portant sur l'effet de modes d'usages des terres sur la quantité de matière organique présente dans les sols, dans très peu d'articles - parmi ceux que nous avons pu consulter - les différences ou changements en stock de carbone organique(SOC) rapportés paraissent être basés sur des données fiables, y compris dans le

articles consacrés exclusivement ou en partie à la culture de la canne. Dans la première partie de cette contribution, les bases d'études portant sur de telles investigations sont rappelées. Dans une seconde partie nous rappelons la quantité de carbone d'origine atmosphérique qui est fixée dans la biomasse, tant aérienne que souterraine, par la canne à sucre en la comparant à celle fixée par la culture de la betterave sucrière, de céréales et de plantations forestières. La quantité de résidus de culture restant sur le sol après la récolte de la canne peut pour un même rendement en tiges usinables aller de zéro (cas du Soudan par exemple) à 15 t.ha^{-1} de matière sèche (pour un rendement commercial de 100 t.ha^{-1} , Fillols et Chabalier, 2007). La question se pose donc: dans le contexte, d'une part, de valorisation énergétique (ou pour l'alimentation animale) de ces résidus et, d'autre part, d'amélioration des qualités du sol (dont son stockage en C d'origine atmosphérique), quelle part de ces résidus potentiellement existants peut être exportée après la récolte ou brûlée immédiatement avant et après la récolte. Dans la troisième partie de cet article nous esquisserons quelques règles aidant à des prises de décisions dans ce domaine.

1 – CONDITIONS REQUISES POUR APPRECIER LES DIFFERENCES EN STOCK DE CARBONE DANS LES SOLS

La comparaison de différences en stock de carbone organique présent dans le sols (SOC) induite par celles en type de biomasse produite ou en itinéraire technique suivi doit nécessairement porter sur des sols de type comparable, développés sur le même genre de substratum et porter sur une même masse par unité de surface. L'appréciation du stock de SOC doit porter sur une profondeur significative de sol et s'appuyer sur des prélèvements réalisés dans les règles de l'art. Il s'en suit:

1.1. - Etude préalable

Préalablement à tout prélèvement visant à connaître le stock en SOC il convient d'identifier les différents horizons pédologiques qui seront par la suite prélevés. Dans le cas de terres cultivées, fût ce dans le passé, l'intervention d'outils aratoires et de matériel de récolte ayant crée - nécessairement -des niveaux agro-pédologiques, ceux-ci sont également à prendre en compte. Notons à cet égard:

- surtout dans le passé, il n'était pas rare que de temps à temps les terres étaient labourées jusqu'à 40-50 cm de profondeur et qu'encore actuellement il est procédé sur maintes terres agricoles à un sous-solage profond;
- un labour non superficiel conduit nécessairement à une dilution du SOC contenu dans l'horizon humifère (ou A) de sols 'vierges' (ou il est généralement de l'ordre de 17 cm d'épaisseur) à sa dilution dans celui (l'horizon Ap) crée par le labour;
- bien souvent les premiers 3-7 cm du sol présentent un état structural et une densité d'enracinement bien différents de ceux qu'on observe immédiatement en dessous et dont la cause peut être variée telle que sarclage, épandage d'engrais, paillage.

1.2. – Les prélèvements

Les prélèvements sur chaque niveau (agro)pédologique identifié, pour connaître la densité apparente (désignée maintenant par "masse volumique sèche") et la teneur en C peuvent se faire sur la totalité de l'épaisseur de chaque niveau distingué. Plus commode (et usuel) et aussi pertinent est de faire les prélèvements uniquement sur la partie la plus représentative de chaque niveau, si l'épaisseur des niveaux de transition entre horizons est déterminée.

1.2.1. - *Prélèvements pour la détermination de la teneur en carbone de la terre prélevée*

Pour faire en sorte que l'appréciation du SOC de chaque niveau (agro)pédologique identifié ne soit pas entachée d'erreurs induites de variations spatiales existantes à courte distance dans un même niveau (Brouwer et Bouma, 1997), il convient de constituer pour sa détermination un échantillon "moyen" provenant de plusieurs prises élémentaires. Selon des études anciennes publiées dans les années 1950 et '60, idéalement il convient pour cela d'en prendre 30, tout au moins pour les prélèvements portant sur les niveaux superficiels. Selon notre expérience, une huitaine de prises élémentaires faites avec une tarière de diamètre extérieure de 7 cm, soit un volume total de prélèvement de près de 4 litres, devrait suffire. Encore faut-il que les prélèvements soient réalisés dans les règles de l'art. Autrement dit, en employant une tarière de type Edelman, (aussi appelée 'Hollandais'), outil le plus communément utilisé, en écartant de chaque prise tout la partie qui se trouve dans sa pointe en forme de queue de cochon de même que celle qui se trouve tout à la base entre les deux joues de la tête de tarière. La règle première des prélèvements réalisés à des fins de recherche est en effet à faire en sorte qu'à chaque profondeur la carotte de terre prélevée ait le même diamètre. Le non respect de cette règle peut conduire à une sous estimation de la teneur en C allant jusqu'à 10 % (relatif) si à la base des joues commence un niveau de sol nettement moins pourvu en SOC. L'autre règle 'basique' est celle d'écarter systématiquement lors de prélèvements portant sur des niveaux sub-superficiels la terre qui se trouve en haut des joues. Car très souvent cette partie contient de la terre qui est tombée dans le trou de sondage ou qui a été raclée sur sa paroi à une moindre profondeur que doit porter le prélèvement. Si les prélèvements se font en fosse, nécessairement l'échantillon prélevé à chaque niveau doit provenir de multiples prises effectuées sur au moins 3 parois de la fosse.

Autre règle de base: Avant de procéder à la détermination de la teneur en carbone de l'échantillon il faut en enlever l'essentiel des racines visibles à l'œil. Autrement, la teneur en carbone obtenue inclut celle des racines alors que leur carbone ne fait pas (encore) partie du SOC de la matrice terreuse du sol. Pour la même raison, la mince couche à abondants débris organiques qui peut exister à la surface des sols (l'horizon O des pédologues) doit être écartée des prélèvements

1.2.2. - *Prélèvements pour la détermination de la densité apparente (Da)*

Très communément, la connaissance de la densité apparente des sols est appréhendée par les prélèvements faits au cylindre. Selon une ancienne étude néerlandaise, jamais publiée, avec des cylindres de 100 cm³ de contenance il faut en prélever, par niveau agro-pédologique identifié, une douzaine afin d'avoir une valeur précise de ce paramètre physique. En prenant des cylindres de plus grand volume, par exemple de 250 cm³, 5 prises devraient suffire. Encore faut-il que ces prélèvements au cylindre soient faits dans les règles de l'art. Car il n'est pas rare qu'un préleveur non expérimenté provoque lors de l'enfoncement des cylindres une compaction du sol dont l'effet sur le résultat de la mesure peut aisément atteindre 0.1 Mg.m³ et parfois bien plus.

L'outil le plus approprié pour les mesures de Da est sans conteste le densitomètre à membrane car il permet de déterminer ce paramètre sur des volumes allant de 1 à 3 litres et pour une épaisseur allant de 5 à 20 cm.

Sur tout sol, en particulier ceux qui sont sujet à gonflement et retrait, le prélèvement pour la mesure de la Da doit nécessairement se faire lorsque le sol est proche de sa capacité au champ. En le faisant sur des tels sols sur des mottes une erreur pouvant atteindre 100 % par rapport à la Da réelle peut en résulter.

1.3.- Profondeur de sol prise en compte

La profondeur qui devra être prise compte de préférence est d'au moins un mètre, notamment en culture pluviale, si tout au moins il n'y a pas d'obstacle chimique ou physique à l'enracinement profond. Cette profondeur correspond à celle qui est habituellement au minimum scrutée lors d'études pédologiques. En culture irriguée, sans restriction d'eau, la profondeur de scrutation peut être limitée à 60 cm car l'enracinement de la canne et d'autres cultures à long cycle annuel étant souvent relativement fort réduite au delà cette profondeur (Waksman, 1987, et observations personnelles).

1.4.- Communauté de typologie des sols

La nécessité d'apprécier des différences en SOC entre différents usages (actuels ou passés) du sol en tenant compte leur caractéristiques découle du fait qu'il a été démontré que la teneur en matière organique du sol dépend en bonne partie de sa fraction fine (Feller et Beare, 1997; Hassink, 1997). Elle découle aussi du fait qu'il a été montré que la nature minéralogique de la fraction argileuse influe sur la teneur de carbone du sol et même sa teneur et composition en sesquioxides extractibles au pyrophosphate (Percival et al., 2000).

2 - PRODUCTION DE BIOMASSE DE QUELQUES CULTURES

2.1. - Production et devenir de la biomasse aérienne

En culture de canne à sucre, le rendement en tiges dites usinables (donc débarrassées de leur 'bout blanc' et feuilles) va en moyenne pluriannuelle de 60 tc.ha⁻¹ an en système pluvial avec des précipitations annuelles de l'ordre de 1000mm jusqu'à 140 tc.ha⁻¹ en système irrigué, bien conduite, dans un climat chaud à fort ensoleillement. En admettant pour la conversion de la matière fraîche en matière sèche (MS) un ratio de 0.32¹ (Chabalier, Renault, 1998) cela représente une quantité de MS rendue usine de respectivement 19 et 45 t. ha⁻¹.

Pour une production de 100 tc.ha⁻¹ et en admettant (Fauconnier, 1991) un rapport 0.45² pour passer de MS en carbone (C) cela représente un contenu en C de 14.4 t.ha⁻¹. Sur la base d'un rendement industriel sucre de 10 % (valeur dépassée de qq. points dans bon nombre de régions cannières), près de la moitié de ces 14.4 tonnes de C devient du sucre et/ou d'éthanol et l'essentiel voire toute l'autre moitié (bagasse³ + écumes) est valorisée sous forme énergétique⁴.

Toujours pour un rendement commercial de 100 tc.ha⁻¹, bouts blanc et feuilles représente près de 19 tonnes de MS (Fauconnier, 1991) ou 9.5 t de C. Selon les situations, cette masse de matière organique aérienne sera entièrement brûlée (comme par exemple au Soudan), en partie restituée au sol, ou, plus rarement, entièrement laissée au sol.

En culture betteravière sucrière dans lequel les rendements moyens obtenus en France, Belgique ou Pays-Bas sont de l'ordre de 70 tc.ha⁻¹ à 17 % de sucre (source France Agricole, 2007) on se situe à un niveau comparable en terme de rendement en sucre à l'ha mais pas en contenance de C. Car compte tenue de la faible teneur en matière sèche (20-24 %) un tel rendement ne contient que de 6.9 tC.ha⁻¹, soit tout au plus 9 t ha⁻¹, racines fines, feuilles et restitutions comprises.

¹ Fauconnier (1999) et d'autres rapportent 0.30

² 0.5 pour le bois et la bagasse, 0.42 pour le sucre, 0,40 pour le glucose et la cellulose et 0.32 pour des acides aminés comme la glycine.

³ Pour 100 tonnes de canne livrées à la sucrerie, la bagasse représente environ 14 t. de MS, ou 7 t. de C, et 4 tonnes d'écumes à 75 % d'humidité (Fauconnier, 1991) soit 1 t. de MS dans lequel il y a 360 kg de C (donnée de Brouwers, 2004, sucrerie de KSC, Soudan, paru dans thèse d'Elsayed T.M., 2007).

⁴ Après les avoir débarrassées, à un coût énergétique, des 50 et 75 % d'eau que contiennent respectivement la bagasse et les écumes fraîches.

En culture céréalière, c'est aussi bien moindre qu'en culture de canne à sucre. Si en France il y a le 'club' des agriculteurs 'faisant' du 100 quintaux.ha⁻¹ (ou plus), le plus souvent ailleurs le rendement en grain est moindre et peut même être de seulement de 10 quintaux.ha⁻¹ (comme en zone Soudanienne par exemple). Pour un rendement en grain de 60 q.ha⁻¹ à 14% d'humidité et en admettant un rapport paille/grain de 2, la fixation de C atmosphérique par la partie noble de la culture peut être estimée à 2.3 t.ha⁻¹ et le double pour le part paille.

Quant à la fixation de CO₂ par des plantations forestières dans des pays où est aussi produite la canne et où le rendement en bois commercial va de 5 (Texas) à 20 m³.ha⁻¹.an⁻¹ (Afrique du Sud, (Timberwatch, 2000) et Gabon (Saint André et al., 2005), en se basant sur ce dernier rendement et en admettant une humidité de 50 % et un rapport C/MS de 0.5, cela représente 5 tC.ha⁻¹. an⁻¹. En se basant sur les données figurant dans Saint-André et al., (2005), au moment de la coupe, soit environ chaque 7 à 10 ans, la fixation de C par les résidus de la culture, souvent brûlés, est de 11 à 15 tC ha⁻¹. A cette quantité sont à ajouter les feuilles et branches mortes tombant chaque année au sol avant la coupe. Leur contenu en C peut selon cette étude être estimé à 2.7 t.ha⁻¹.

2.2. - Production en biomasse souterraine

Pour les niveaux de production de masse aérienne retenus plus haut et en retenant la valeur de 0.5 pour la conversion de MS en C, le contenu en C de la biomasse racinaire peut être estimé à:

* Canne à sucre: 2.1 (±0.7) t.ha⁻¹ (d'après données dans Fauconnier, 1991)

* Betteraves sucrières: 0.9 t.ha⁻¹ (Ludwig et al., 2007)

* Céréales: 1.2 à 2.4 t.ha⁻¹ selon la durée du cycle végétatif (Ludwig et al., 2007)

* Plantations forestières: Selon les données rapportées dans l'étude d'André et al. (2005), il s'élèverait à 8.3 t.ha⁻¹ à la coupe, sans les souches.

Notons à propos de cette biomasse racinaire aussi:

- à la récolte le shoot-ratio varie selon les espèces (par exemple, ce ratio serait de 0.2 pour les pins mais de 0.25 pour les Eucalyptus, Timberwatch, 2000) et les variétés (observations personnelles en ce qui concerne la canne à sucre);

- ce ratio augmente en condition de stress mais est réduit avec une bonne fertilisation (Marschner 1995; Morris et Tai, 2004). Il diminuerait aussi avec l'âge de la culture (André et al., 2005). Cependant, il est plus que vraisemblable que pour des cultures à cycle long (comme la canne et les plantations forestières) ceci ne traduit que le fait qu'une partie du système racinaire meurt au cours du cycle et va faire partie du SOC et cette partie est renouvelée par l'émission de nouvelles racines fonctionnelles;

- d'après Nguyen (2003) et Kuzyakov & Schneckenberger (2004) environ 30 % des assimilates produits par la partie aérienne d'espèces annuelles vont vers les racines dont la moitié devient racine, un tiers sert à leur aération et le reste, soit l'équivalent d'un tiers de la masse racinaire, s'intègre à la matière organique des sols.

Sauf cas particulier (exemple: dessouchage en foresterie), tout la biomasse souterraine produite va faire partie, au moins temporairement, du carbone organique des sols.

3 - RAISONNEMENT DU DEVENIR DES RESIDUS DE CULTURE DE LA CANNE A SUCRE DANS UNE OPTIQUE ENVIRONNEMENTALE

Ci-après nous considérons uniquement les repousses, car jusqu'à présent, dans l'essentiel des cas, la canne n'est que rarement plantée sans travail du sol.

En canne brûlée avant la récolte avec brûlage des résidus de récolte, l'effet de cette pratique - fort répandue de part le monde, surtout en cas de présence de termites xylophages- sur le statut organique du sol ne peut avoir aucune conséquence significative, comme semble le démontrer les données recueillies par nous à Sumatra, Indonésie, non reportées ici. En culture de canne irriguée sous climat aride, il nous avait même été donné de constater au Soudan que cette pratique avait permis d'accroître le stock de carbone dans les sols de près de 40 % après 15 ans de culture, par rapport à celui constaté dans des terres consacrées au sorgho pluvial les années à bonne pluviométrie (Brouwers, 2002). Par contre, cette pratique de brûlage total de résidus, facilitée par l'emploi d'un "maturateur", a au contraire conduit à une perte de carbone sur les terres en pente de la sole cannière de l'Afrique du Sud (Dominy et al., 2001).

Dans plusieurs états, la récolte de la canne en vert est maintenant une obligation légale sinon une action préconisée. Et dans maints d'entre eux où la cogénération s'est développée et/ou l'usage des résidus pour l'alimentation animale est pratiqué ou envisagé, des interrogations se font sur la quantité de résidus de récolte qu'il convient de laisser au champ afin de ne pas réduire la capacité productive des sols ou, mieux, de l'améliorer. Pour les terrains en pente, ce questionnement concerne en premier lieu, leur résistance à l'érosion, et pour l'ensemble des terres de la sole cannière: l'effet de ce paillage par les résidus de la culture sur les besoins en eau de la culture et les divers volets de la "santé" du sol: sa fertilité chimique et biologique voire sa résistance à la compaction induite par la récolte mécanisée. Comme dans le cas du brûlage total des résidus de la récolte évoqué plus haut, le raisonnement à faire à propos de la quantité de résidus de récolte à laisser au champ après la récolte est à faire selon les conditions pédologiques, climatiques et topographiques qui prévalent, sans oublier l'aménagement anti-érosif déjà en place et des objectifs que s'assignent les exploitants agricoles en termes de revenus à court et long terme.

CONCLUSION

Par rapport à d'autres grandes cultures annuellement récoltées, celle de la canne à sucre est le plus souvent nettement plus "environmental friendly".

Etudier l'effet de pratiques culturales ou de type d'usage des terres sur le stock en carbone du sol implique un bon savoir agro-pédologique.

Dans une optique de "best management practices", gérer la culture de la canne à sucre suppose que les conseils prodigués à l'agriculteur, grand ou petit, lui soient à la fois financièrement bénéfiques et, si possible, pour les générations à venir. Cette gestion suppose une interaction active entre acteurs de la recherche et de la vulgarisation.

BIBLIOGRAPHIE

Brouwer, J., Bouma, J. (1997). La variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel. Bulletin 49, ICRISAT-LUW, 42p.

Brouwers, M., (2002). La canne irriguée : une culture C4 C-séquestrante et protectrice de l'environnement. Colloque International sur l'influence de la Gestion de la Biomasse sur l'érosion et la Séquestration du Carbone, septembre 2002, Montpellier, France. In Bulletin du réseau érosion 23, p. 515-516, Ed. IRD

Chabalier, P-F., Renault (1998). Exportations minérales par la canne à sucre sous différentes systèmes de culture; fertilisation raisonnée et application aux apports d'effluents. Doc. interne CIRAD, Mais 1998.25p.

Dominy, C.S., Haynes, R.J. and Van Antwerpen, R. (2001). Long-term effects of sugarcane production on soil quality in the south coast and the midland areas of KwaZulu-Natal. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* 75: 222-227.

Fauconnier, R. (1991). *La canne à sucre*. Editions Maisonneuve et Larose, Paris. 165 p.

Feller, C. and Beare, M.H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116.

Fillols, E., Chabalier, P-F. (2007). *Guide de la fertilisation de la canne à sucre à la Réunion*. Ed. CIRAD/ ARTAS/CERF. 166p.

Hassink, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191: 77-87.

Kuzyakov Y., Schneckenberger K. (2004) Review of estimation of plant rhizodeposition and their contribution to soil organic matter formation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Volume 50, Number 1, 2004, pp. 115-132(18)

Ludwig, B., Schultz, E., Rethemeyer, J., Merbach, I., Flessa, H. (2007) Predictive modelling of C dynamics in the long-term fertilization experiment at Bad Lauchstädt with the Rothamsted Carbon Model. *European Journal of Soil Science*, October 2007, 58, 1155–1163

Marschner, H. (1995). *The Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition, Academic Pr., London, 889 p.

Morris, D. R., Tai, P. Y. P (2004). Water table effects on sugarcane root and shoot development. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 2004 (Vol. 24)

Nguyen, C. (2003). Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie* 23 (2003) 375–396

Percival H.J., Parfitt R.L., Scott N.A. (2000). Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: is clay content important? *Soil sci. soc. Am. J.*, 64, 1623-1630

Saint-Andre, L., M'Bou, A.T., Mabiala, A., Mouvoundy, W., Jourdan, C., Rouspard, O., Deleporte, P., Hamel, O., Nouvellon, N. (2005). Age-related equations for above- and below-ground biomass of a Eucalyptus hybrid in Congo. *Forest Ecology and Management* 205 (2005) 199–214

Vaksmann, M. (1987). *Etude du fonctionnement hydrique des andosols et des sols andiques de l'Ile de la Réunion*. Thèse Dr d'Université, Montpellier, USTL, 216 p.

<http://www.timberwatch.org.za/archives/2000807stateofforresty.htm>. The State of Forestry in South Africa Today;