

# Décrire l'incorporation des produits résiduaux organiques à la matière organique du sol

Florent Levavasseur,  
Sabine Houot

UMR INRA AgroParisTech ECOSYS, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon

Avec le soutien financier



Partenaires scientifiques et techniques



SAS PIVERT

## Contexte

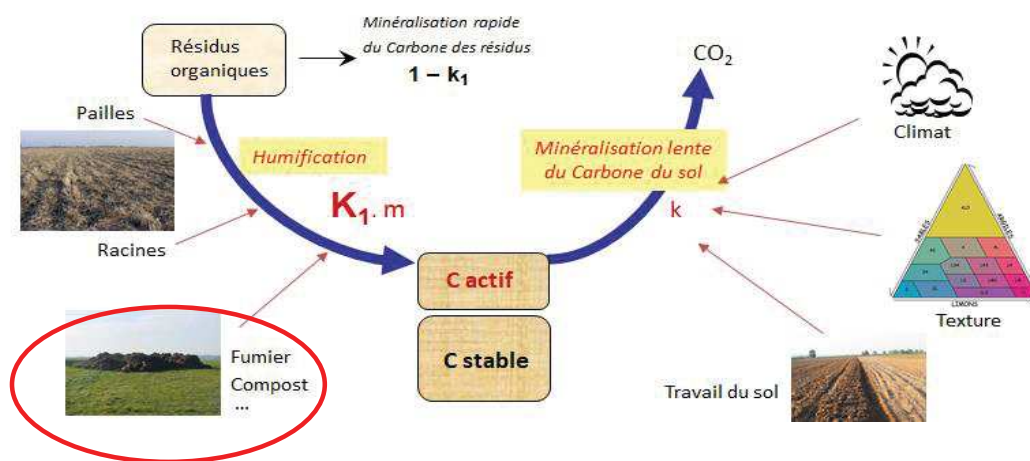
- Bénéfices des apports de Produits Résiduaux Organiques (PRO) (fourniture de nutriments, augmentation de la matière organique...)
- Pratique déjà fréquente (effluents d'élevage...), et développement du recyclage de nouveaux PRO (digestats...)
- Contribution à la matière organique du sol variable selon les PRO, sous contrôle de divers facteurs (Derrien et al., 2016)
- **Questionnement** : Quel effet des PRO sur les stocks et teneurs de carbone/matière organique ? Comment raisonner leur apport en fonction des objectifs, du système de culture, du sol et du climat ?  
→ **Potentiel des modèles de carbone, dont AMG, pour répondre à ces questions**



# Les PRO dans AMG

- Apport de carbone défini par la dose et fréquence d'apport du PRO, sa teneur en carbone et son **coefficient isohumique  $K_1$**
- Fraction  $K_1$  du carbone du PRO intègre le carbone actif du sol au bout d'un an, puis se dégrade à la même vitesse que le carbone actif du sol

*Exemple : 10 t PRO / ha, avec une teneur en C de 100 kg/t, et un  $K_1$  de 0,5 : stock de carbone actif du sol augmenté de  $10 \times 100 \times 0,5 = 0,5$  t C/ha en année  $n+1$*



Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018

3

## Objectif

- Forte variabilité des PRO (origine et traitement)
- Assez bonne connaissance des teneurs en carbone, mais faible connaissance des coefficients isohumiques  $K_1$
- Des valeurs existantes pour un nombre limité de PRO dans AMG, et des mises à jour nécessaires suite aux modifications du modèle (Clivot et al., soumis)
- Une détermination possible des  $K_1$  sur la base des essais au champ longue durée, mais nombre trop limité d'essais au champ → besoin d'une méthode de détermination de labo
- **Objectif**
  - Définir une méthode pour paramétrer les PRO dans AMG
  - Appliquer cette méthode pour paramétrer une large gamme de PRO dans AMG

Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018

4

# Démarche

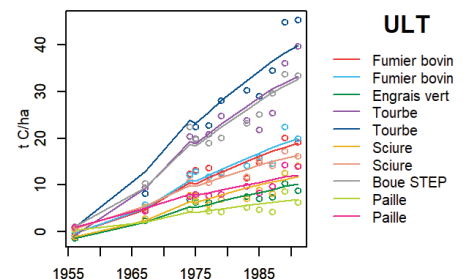
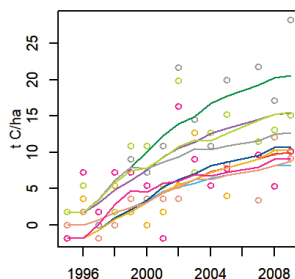
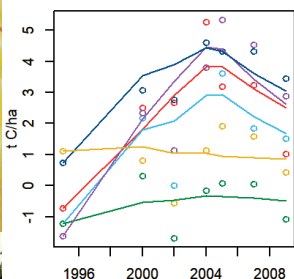
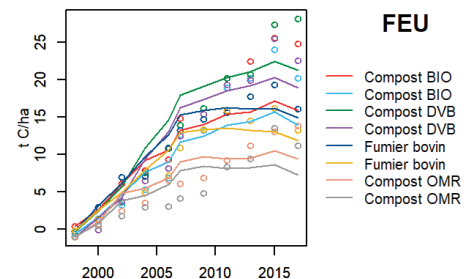
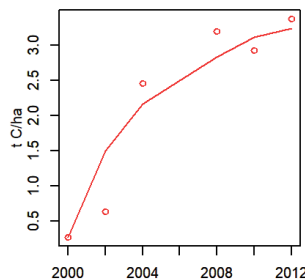
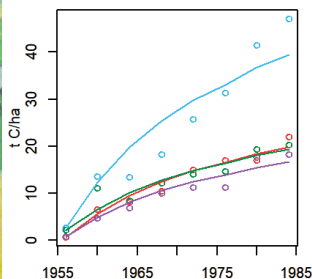
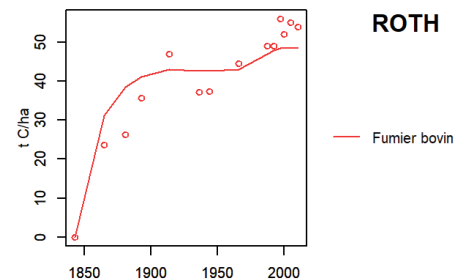
- 1) Détermination du  $K_1$  à partir de données au champ d'essais longue durée
- 2) Validation du potentiel d'indicateurs définis en laboratoire pour prédire les  $K_1$
- 3) Synthèse des valeurs d'indicateurs de laboratoire disponibles pour prédire le  $K_1$  pour une large gamme de PRO

## • Données disponibles

- 7 essais au champ longue durée (12 à 150 ans), recouvrant une diversité de sols, de climats (tempérés), de systèmes de culture, avec une diversité de PRO (surtout amendants)
- Base de données de laboratoire (+ 500 PRO) : teneurs C et N, incubations, fractionnement biochimique

## Validation du modèle AMG avec les données au champ

- Simulation des stocks de C avec  $K_1$  optimisés pour minimiser les erreurs de simulation
- Stockage du carbone par rapport au témoin sans PRO bien simulé : RMSE stock C = 3,1 t C/ha (7 %),
- Qualité comparable à des essais sans PRO avec AMG (Clivot et al., soumis) ou à d'autres modèles (Kahru et al., 2012, Peltre et al., 2012)



# K<sub>1</sub> des PRO obtenus au champ

- Cohérence de la hiérarchie des K<sub>1</sub> obtenus au champ au sein de chaque essai

Exemple de K<sub>1</sub> obtenus sur Ultuna

PRO	K <sub>1</sub>
Engrais vert	0,24
Fumier bovin	0,45
Tourbe	0,8

Exemple de K<sub>1</sub> obtenus sur la Séraïl

PRO	K <sub>1</sub>
Fumier bovin	0,56
Compost DV	1

# K<sub>1</sub> des PRO obtenus au champ

- Cohérence de la hiérarchie des K<sub>1</sub> obtenus au champ au sein de chaque essai

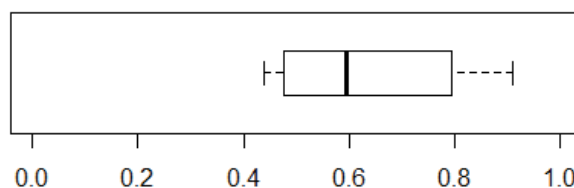
Exemple de K<sub>1</sub> obtenus sur Ultuna

PRO	K <sub>1</sub>
Engrais vert	0,24
Fumier bovin	0,45
Tourbe	0,8

Exemple de K<sub>1</sub> obtenus sur la Séraïl

PRO	K <sub>1</sub>
Fumier bovin	0,56
Compost DV	1

- Variabilité du K<sub>1</sub> d'un même PRO entre différents essais:

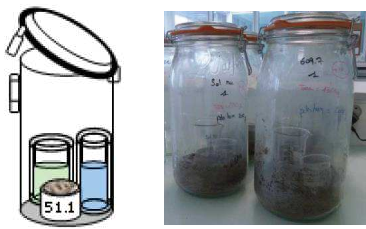


Variabilité des valeurs de K<sub>1</sub> du fumier bovin (n=8)

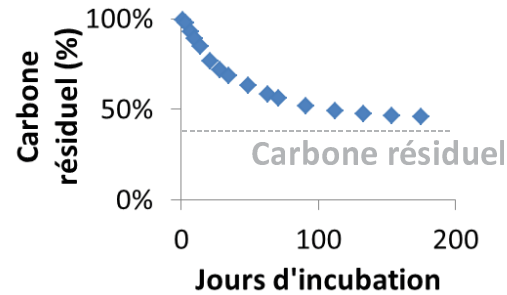
→ Variabilité des PRO + non prise en compte par le modèle de facteurs affectant la minéralisation des PRO ?

# Prédiction des $K_1$ par des indicateurs de laboratoire

- Incubations de PRO en conditions contrôlées : mélange sol+PRO, suivi des émissions cumulées de  $CO_2$  au cours du temps



Mélange sol+PRO en bocal pour incubation

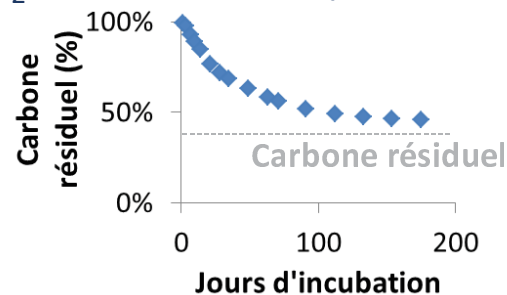


# Prédiction des $K_1$ par des indicateurs de laboratoire

- Incubations de PRO en conditions contrôlées : mélange sol+PRO, suivi des émissions cumulées de  $CO_2$  au cours du temps



Mélange sol+PRO en bocal pour incubation



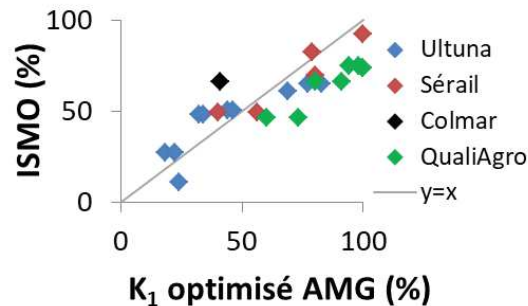
- Hypothèse : carbone résiduel du PRO pourrait être un prédicteur du  $K_1$
- Incubations lourdes à mettre en œuvre → indicateur ISMO développé pour prédire ce carbone résiduel
- Facilité de mise en œuvre de l'ISMO par rapport aux incubations : fractionnement biochimique de la matière organique et minéralisation du PRO à 3 jours, proposé en routine par des labos commerciaux

→ **Quel potentiel de prédiction du  $K_1$  d'AMG par l'ISMO ?**

- Des essais préliminaires concluants (Jousseau, 2011, Bouthier et al., 2014)

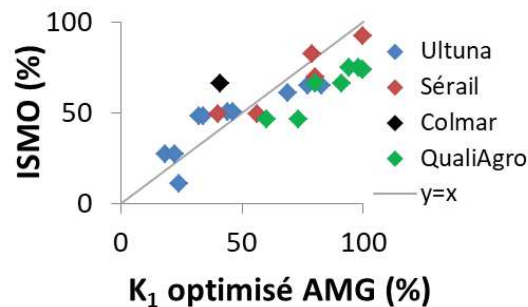
# Prédiction des $K_1$ par des indicateurs de laboratoire - ISMO

- Bonne relation entre  $K_1$  et ISMO ( $R^2=0.73$ ), biais faible (-6)
- proposition d'utiliser l'ISMO directement comme valeur de  $K_1$

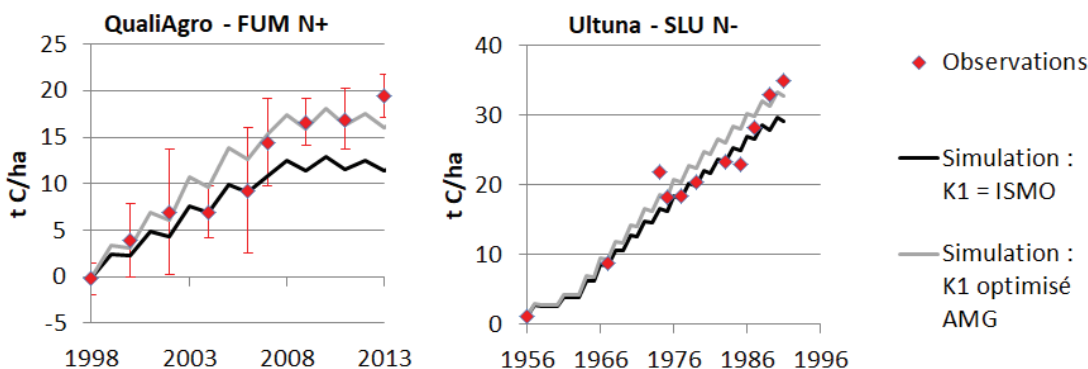


# Prédiction des $K_1$ par des indicateurs de laboratoire - ISMO

- Bonne relation entre  $K_1$  et ISMO ( $R^2=0.73$ ), biais faible (-6)
- proposition d'utiliser l'ISMO directement comme valeur de  $K_1$



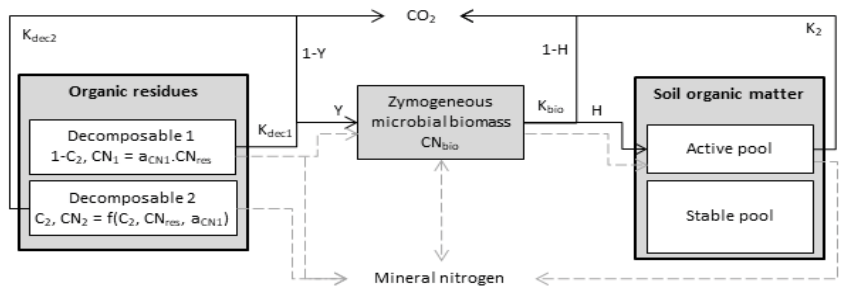
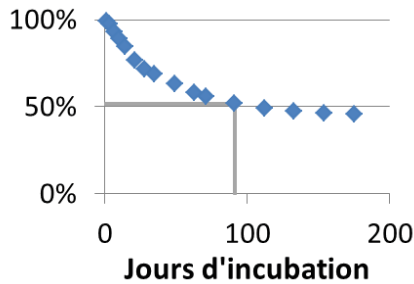
- Dégradation des résultats de simulation en prenant l'ISMO comme prédicteur des  $K_1$  (+1,4 t C/ha de RMSE sur stock), mais qualité reste acceptable
- Confirmation du potentiel de l'ISMO comme prédicteur des paramètres des PRO, déjà démontré pour le modèle Roth-C (Peltre et al., 2012)



# Prédiction des $K_1$ par d'autres indicateurs de laboratoire

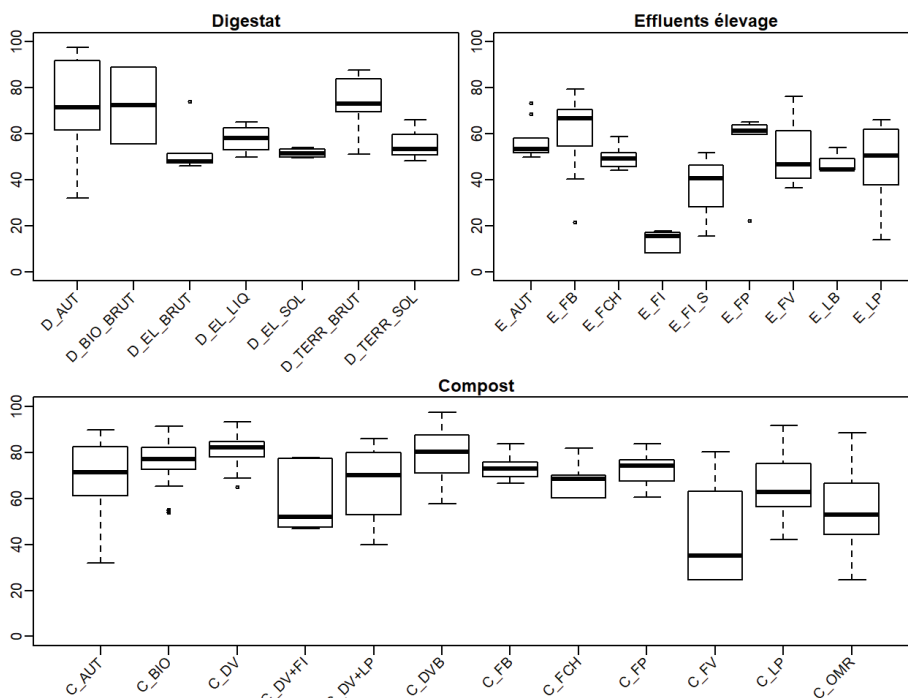
- Utilisation directe des incubations longue durée de laboratoire pour définir différents prédicteurs potentiels du  $K_1$ :
  - Cres : carbone résiduel du PRO (%) au bout d'une durée d'incubation correspondant à un 1 an au champ (ex : 91 jours à 28°C)
  - Calcul du  $K_1$  à partir des paramètres de décomposition des PRO optimisés dans le modèle STICS-résidus
- Faible amélioration de la prédiction des  $K_1$  et manque d'essais au champ où des données d'incubations sont également disponibles → maintien de l'ISMO comme prédicteur préféré

Carbone résiduel (%)



# Utilisation des bases de données d'ISMO pour prédire le $K_1$

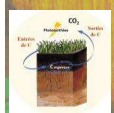
- Base de données d'ISMO
- Forte variabilité pour certains PRO (fumier bovin...)
- Peu de données pour certains PRO (digestats, lisier bovin...)



Exemple des valeurs d'ISMO pour les digestats, les effluents d'élevage et les composts

## Exemple de nouvelles valeurs de $K_1$ proposées dans AMG

- Choix du  $K_1$  de référence sur la base des ISMO :
  - Valeur médiane retenue
  - Regroupements pour certains PRO avec peu de données
- Teneur en C également mise à jour (ESCO MAFOR, Houot et al., 2014)



12

Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018

## Exemple de nouvelles valeurs de $K_1$ proposées dans AMG

- Choix du  $K_1$  de référence sur la base des ISMO :
  - Valeur médiane retenue
  - Regroupements pour certains PRO avec peu de données
- Teneur en C également mise à jour (ESCO MAFOR, Houot et al., 2014)

*Exemple du nouveau paramétrage d'AMG pour quelques PRO et apports C correspondant*

PRO	Teneur en C (kg/t MB)	$K_1$	C humifié pour 1 t PRO (kg)	Dose agronomique classique (t/ha)	C humifié pour dose agro (kg C/ha)
Paille blé	382	0.22	84	8	672
Boue déshydratée chaulée	63	0.46	29	12	348
Digestat brut	35	0.61	21	20	427
Fumier bovin	80	0.67	54	20	1072
Fiente de Poule	85	0.15	13	5	64
Lisier de Porc	21	0.51	11	30	321
Compost déchets verts	121	0.82	99	20	1984



12

Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018



## Exemple de nouvelles valeurs de $K_1$ proposées dans AMG

- Choix du  $K_1$  de référence sur la base des ISMO :
  - Valeur médiane retenue
  - Regroupements pour certains PRO avec peu de données
- Teneur en C également mise à jour (ESCO MAFOR, Houot et al., 2014)

Exemple du nouveau paramétrage d'AMG pour quelques PRO et apports C correspondant

PRO	Teneur en C (kg/t MB)	$K_1$	C humifié pour 1 t PRO (kg)	Dose agronomique classique (t/ha)	C humifié pour dose agro (kg C/ha)
Paille blé	382	0.22	84	8	672
Boue déshydratée chaulée	63	0.46	29	12	348
Digestat brut	35	0.61	21	20	427
Fumier bovin	80	0.67	54	20	1072
Fiente de Poule	85	0.15	13	5	64
Lisier de Porc	21	0.51	11	30	321
Compost déchets verts	121	0.82	99	20	1984

- Des « références », mais forte variabilité des PRO : besoin de laisser la possibilité à l'utilisateur de paramétrer lui-même son PRO (analyse de la teneur en C et ISMO)
- Forte augmentation des  $K_1$  par rapport aux anciennes versions (en partie expliquée par l'augmentation de la vitesse de minéralisation (Clivot et al., soumis))

12

Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018

## Conclusion

- $K_1$  des PRO : fraction du carbone du PRO qui intègre la matière organique du sol = paramètre important pour estimer les évolutions de la MO du sol dans les systèmes recevant régulièrement des PRO
- Validation de la capacité d'AMG à simuler les augmentations de stocks dans les essais avec PRO, en optimisant les  $K_1$
- Variabilité non négligeable des  $K_1$  pour un même PRO : variabilité naturelle des PRO + effets non considérés dans le modèle ?
- ISMO = prédicteur acceptable du  $K_1$
- Besoin de poursuivre la validation de la relation ISMO /  $K_1$  → manque de couples de données essai au champ long terme / ISMO
- Base de données d'ISMO utilisée pour prédire le  $K_1$  pour de nombreux PRO → mise à jour des valeurs de  $K_1$  des PRO dans AMG et nouveaux PRO paramétrés
- Besoin de laisser la possibilité à l'utilisateur de paramétrer lui-même son PRO au vu de la variabilité des PRO

13

Colloque Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? - Paris - 7.12.2018

# Merci de votre attention



## Références

- Andriulo, A., Mary, B., Guerif, J., 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agron. Sustain. Dev.* 19, 365–377.
- Bouthier, A., Duparque, A., Mary, B., Sagot, S., Trochard, R., Levert, M., Houot, S., Damay, N., Denoroy, P., Dinh, J.-L., Blin, B., Ganteil, F., 2014. Adaptation et mise en œuvre du modèle de calcul de bilan humique à long terme AMG dans une large gamme de systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage. *ResearchGate*.
- Clivot, H., Mouny, J.C., Duparque, A., Dinh, J.L., Denoroy, P., Houot, S., Vertes, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S., Mary, B., soumis. Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model. Submitted in *Environmental Modelling & Software*.
- Derien D. et al., 2016. Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Etude et Gestion des Sols* 23, 193-223.
- Houot, S., Pons M.-N., Pradel, M., 2014. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Rapport final de l'expertise scientifique collective.
- Jousseume D., 2011. Evolution des stocks de carbone dans les systèmes de culture incluant le recyclage de produits résiduaire organiques: paramétrage du modèle AMG. Mémoire de fin d'études d'ingénieur ESA d'Angers.
- Kahru, K., Gärdenäs, A., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M., Liski, J., 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil — Comparison of model-simulations to measurements. *Geoderma* 189-190, 606-616.
- Lashermes et al., 2009. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science* 60, 297-310.
- Nicolardot, N., Recous, S., Mary, B., 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant and Soil* 228, 83-103.
- Peltre, C., Christensen, B.T., Dragon, S., Icard, C., Kätterer, K., Houot, S., 2012. RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 52, 49-60.