



# Modélisation des effets d'apports répétés de produits résiduaux organiques : utilisation de modèles sol-culture et évaluation multicritère

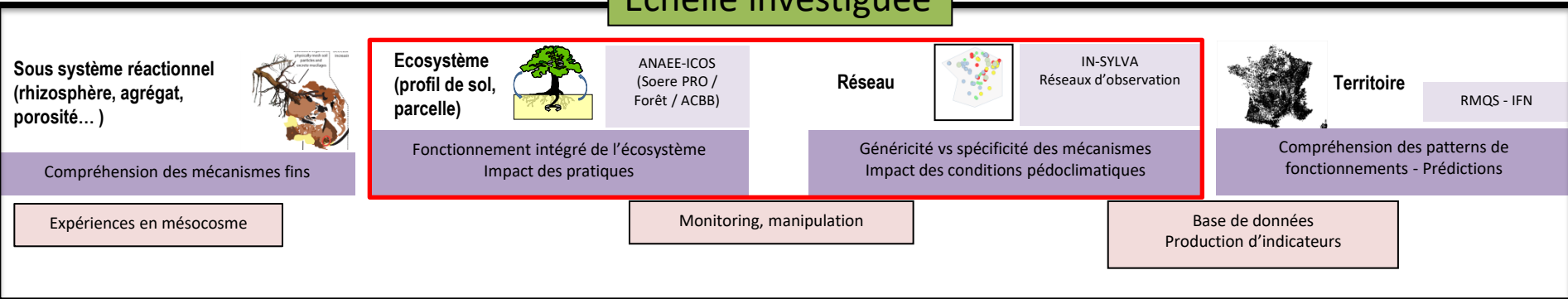


Florent Levavasseur, Sabine Houot  
UMR INRA AgroParisTech ECOSYS

## Pratique étudiée



## Echelle investiguée

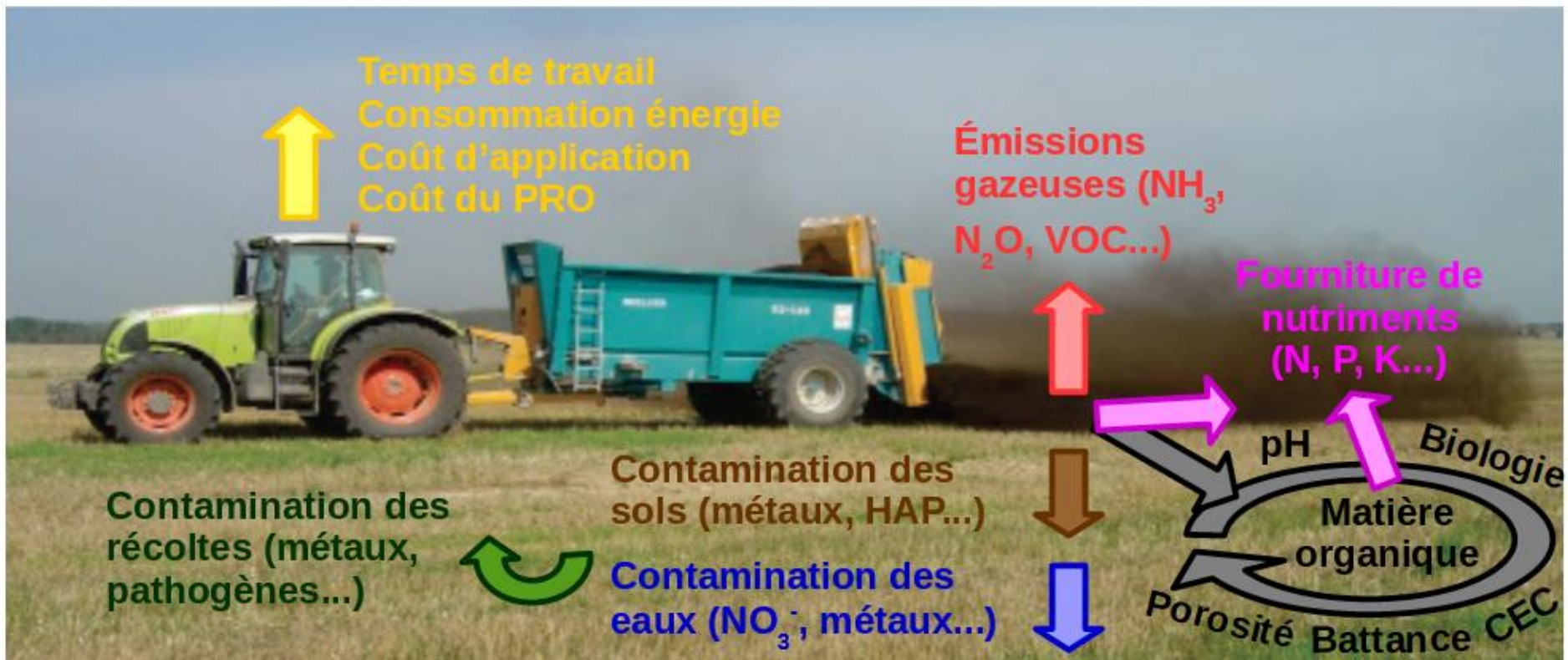


## Objectifs du projet et/ou sorties opérationnelles

- Valider les capacités prédictives de modèles de dynamique C et N avec PRO
- Développement d'outils d'aide à la décision pour les acteurs de terrain en lien avec gestion des PRO
- Evaluation des performances des systèmes de culture avec retour au sol des PRO

# Contexte

- Multiple effets positifs du retour au sol des PRO (stockage de carbone, fourniture de nutriments) mais des impacts à limiter (contamination, émissions gazeuse...)
- Effets des PRO dépendent des caractéristiques des PRO, des systèmes de culture, du contexte pédoclimatique, etc.

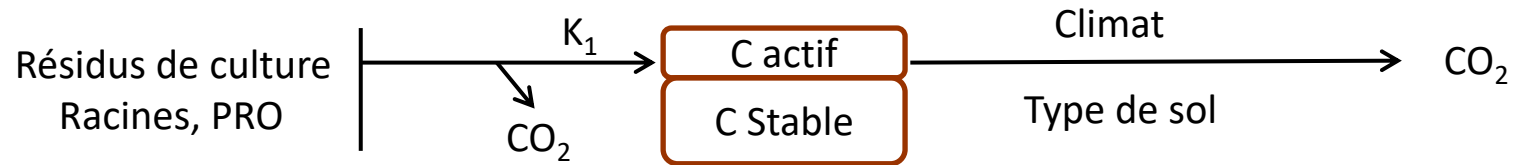


# Objectif

- Transition agroécologique : recherche ↗ autonomie fertilisant, ↗ fertilité du sol, ↘ émissions GES...
- Reconception de systèmes de cultures qui optimisent le recyclage des PRO pour répondre (pour partie) à ces objectifs
- Impossible de tester au champ tous les systèmes → besoin d'expérimentation virtuelle par modélisation
- Nombreux effets des PRO sont liés aux dynamiques du C et du N :
  - Performances des modèles de carbone et sol-culture à prédire les effets C et N des apports de PRO ?
  - Ces modèles peuvent-ils être utilisés pour contribuer à l'évaluation multicritère de la pratique ?

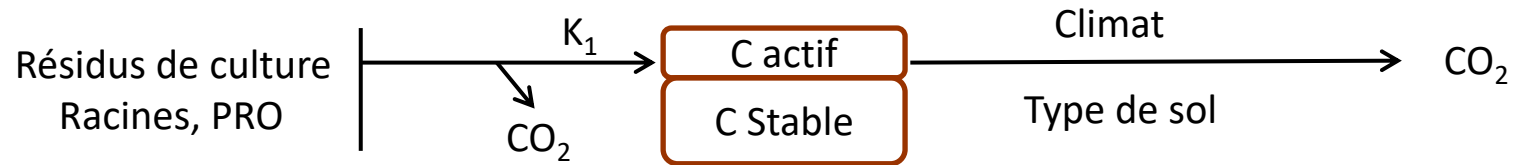
# Simulation des stocks de C avec AMG

- AMG : un modèle de carbone du sol simple (*Andriulo et al., 1999, Clivot et al., 2019*)
- Stockage C des PRO dépend des pratiques, du sol et du climat, du %C et du coefficient isohumique  $K_1$  du PRO = % C du PRO humifié / an

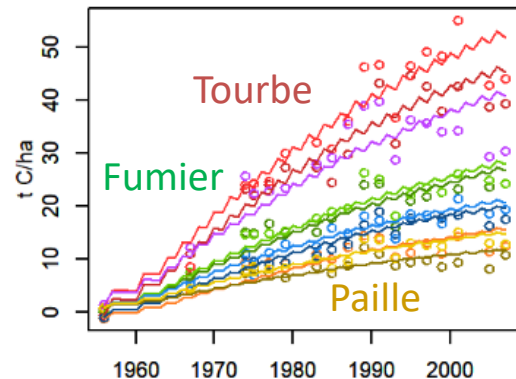


# Simulation des stocks de C avec AMG

- AMG : un modèle de carbone du sol simple (*Andriulo et al., 1999, Clivot et al., 2019*)
- Stockage C des PRO dépend des pratiques, du sol et du climat, du %C et du coefficient isohumique  $K_1$  du PRO = % C du PRO humifié / an



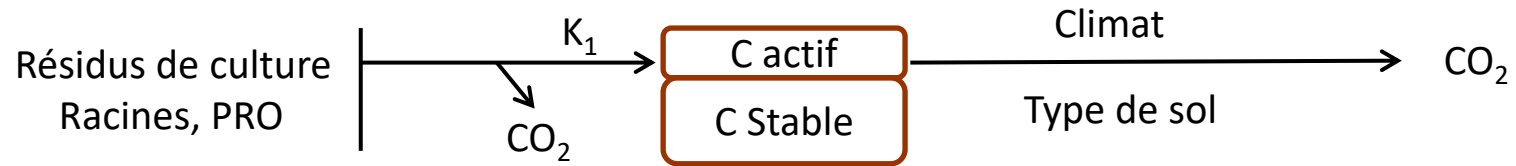
- Performances d'AMG validés sur 7 essais longue durée avec optimisation du  $K_1$



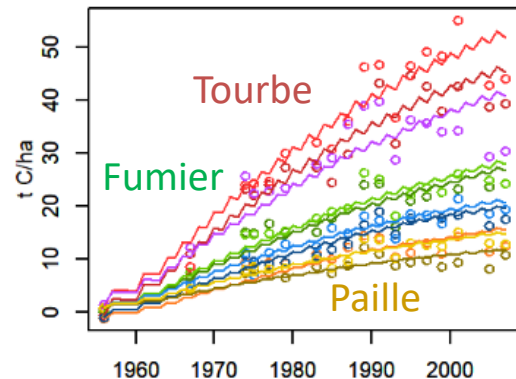
Valeurs observées ( $\circ$ ) et simulées (-) du  $\Delta$ stock entre traitement avec et sans PRO sur l'essai d'Ultuna (tous traitements PRO avec 4 t C/ha tous les 2 ans)

# Simulation des stocks de C avec AMG

- AMG : un modèle de carbone du sol simple (*Andriulo et al., 1999, Clivot et al., 2019*)
- Stockage C des PRO dépend des pratiques, du sol et du climat, du %C et du coefficient isohumique  $K_1$  du PRO = % C du PRO humifié / an



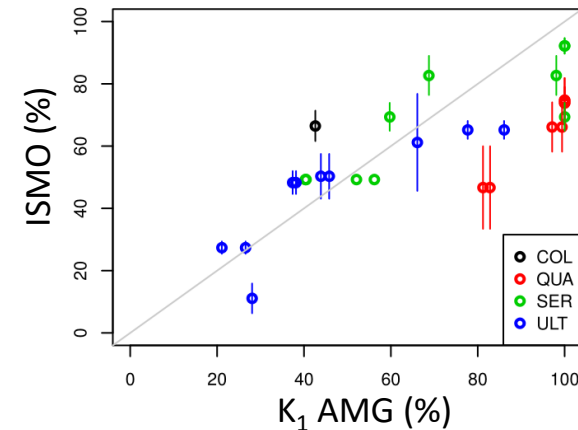
- Performances d'AMG validés sur 7 essais longue durée avec optimisation du  $K_1$
- $K_1$  optimisés au champ bien prédit par indicateur de labo ISMO (*Lashermes et al., 2009*) → possibilité de paramétrer de nombreux PRO avec ISMO
- Forte variabilité du  $K_1$  en lien avec l'ISMO → importance de la stabilisation biochimique pour des MO transformées en comparaison aux résidus de culture ?



Valeurs observées (○) et simulées (-) du  $\Delta$ stock entre traitement avec et sans PRO sur l'essai d'Ultuna (tous traitements PRO avec 4 t C/ha tous les 2 ans)

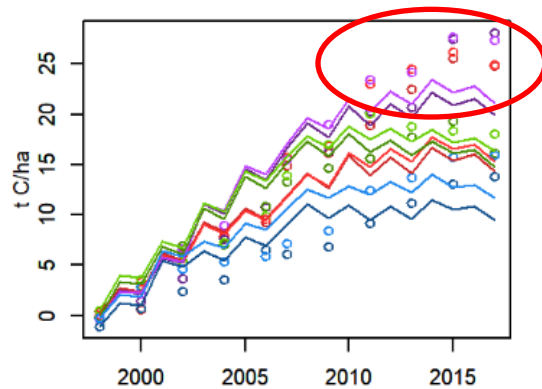
Relation  $K_1$  optimisés au champ et ISMO pour différents essais

(*Levavasseur et al. subm. a*)



# Simulation des stocks de C avec AMG

- Des augmentations de stocks très fortes sur certains sites non simulées par AMG alors que la vitesse de minéralisation du sol est bien calibrée pour les témoins sans PRO → plus forte stabilité de la MO des PRO que de la MO du sol ?



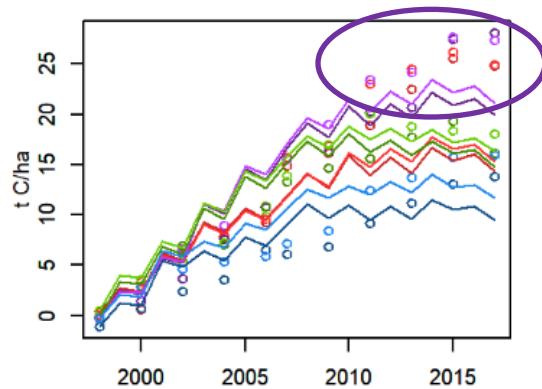
Stockage sous estimé avec  $K_1=100\%$

*Valeurs observées et simulées du  $\Delta$ stock  
entre traitement avec et sans PRO sur  
l'essai QualiAgro*



# Simulation des stocks de C avec AMG

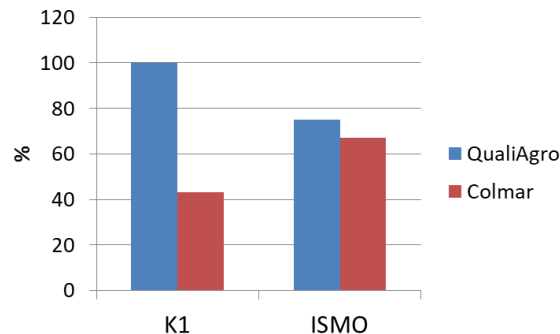
- Des augmentations de stocks très fortes sur certains sites non simulées par AMG alors que la vitesse de minéralisation du sol est bien calibrée pour les témoins sans PRO → plus forte stabilité de la MO des PRO que de la MO du sol ?



Compost déchets verts et boue : stockage sous estimé avec  $K_1=100\%$

Valeurs observées ( $\circ$ ) et simulées ( $-$ ) du  $\Delta$ stock entre traitement avec et sans PRO sur l'essai QualiAgro

- Des différences de stockage entre sites pour des PRO identiques non expliquées par AMG et l'ISMO → des interactions non prises en compte ?



$K_1$  optimisé au champ et ISMO pour un compost de déchets verts et boue sur les sites de QualiAgro et Colmar



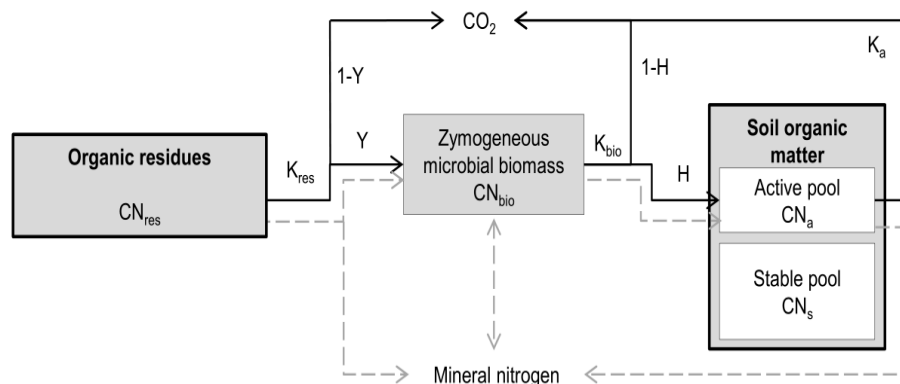
# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

- STICS : modèle sol-culture développé à l'INRA depuis 1998 (*Brisson et al., 2008*)
- Inclut les classiques d'un modèle sol-culture : croissance de la plante, dynamique eau, C et N dans le sol et la plante
- Validé dans de nombreux contextes pédoclimatiques, (*Coucheney et al., 2015*), mais peu sur le long terme et avec des apports répétés de PRO

# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

- STICS : modèle sol-culture développé à l'INRA depuis 1998 (*Brisson et al., 2008*)
- Inclut les classiques d'un modèle sol-culture : croissance de la plante, dynamique eau, C et N dans le sol et la plante
- Validé dans de nombreux contextes pédoclimatiques, (*Coucheney et al., 2015*), mais peu sur le long terme et avec des apports répétés de PRO
- Décomposition des PRO dans la version standard simulée de la même façon que les résidus de culture (*Nicolardot et al., 2001*) : impossible de simuler proprement la décomposition des PRO les + stables (composts, fumiers...)

Model v10.1: standard version of STICS

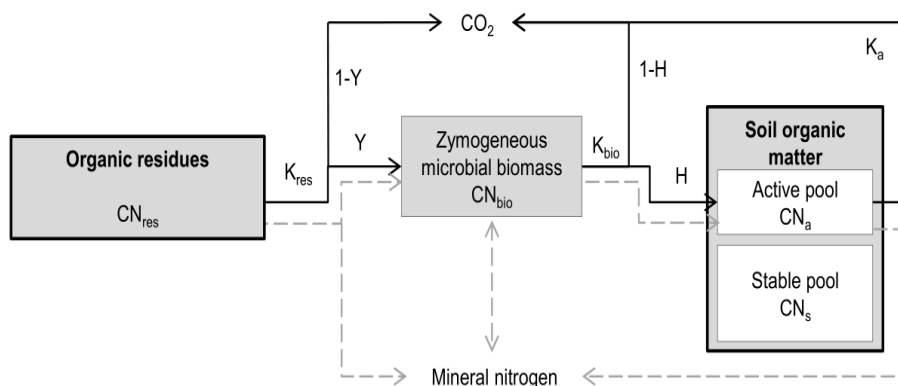


# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

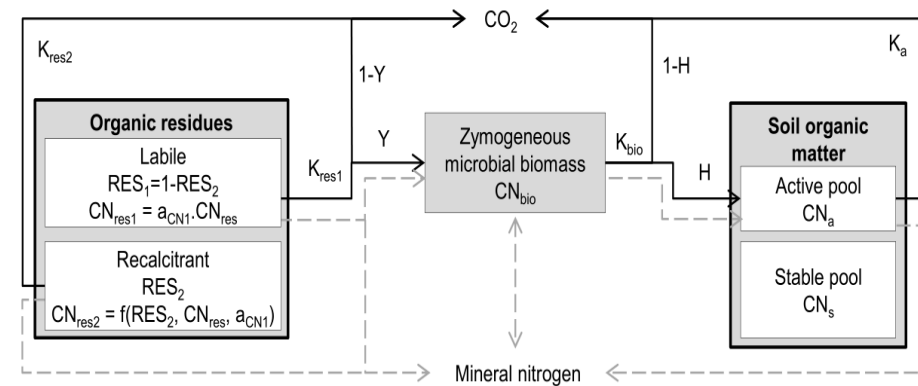
- STICS : modèle sol-culture développé à l'INRA depuis 1998 (*Brisson et al., 2008*)
- Inclut les classiques d'un modèle sol-culture : croissance de la plante, dynamique eau, C et N dans le sol et la plante
- Validé dans de nombreux contextes pédoclimatiques, (*Coucheney et al., 2015*), mais peu sur le long terme et avec des apports répétés de PRO
- Décomposition des PRO dans la version standard simulée de la même façon que les résidus de culture (*Nicolardot et al., 2001*) : impossible de simuler proprement la décomposition des PRO les + stables (composts, fumiers...)

→ développement d'une nouvelle version du modèle avec un module + complexe pour la décomposition des PRO (*Levavasseur et al., subm. b*)

Model v10.1: standard version of STICS

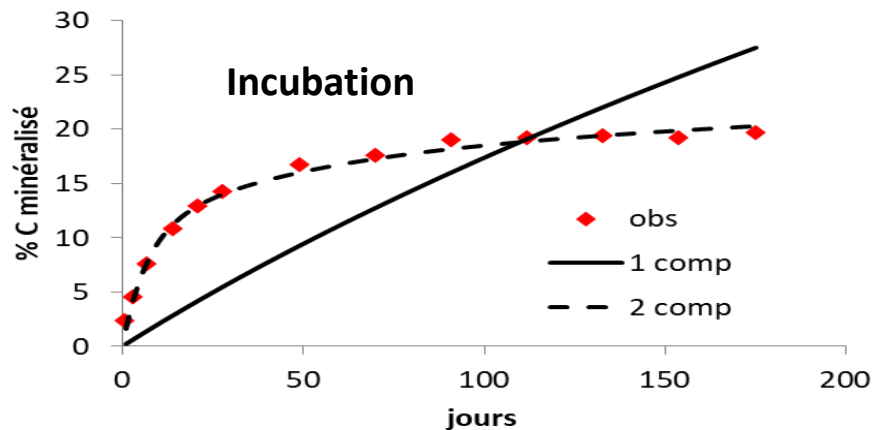


Model v10.2



# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

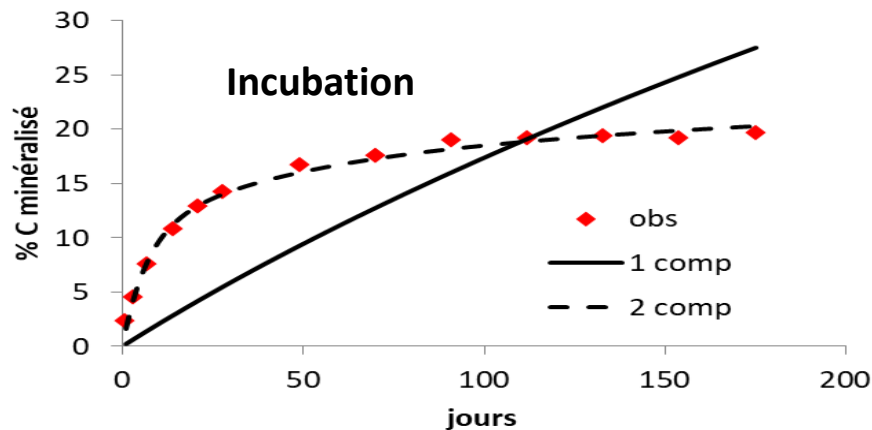
- Bonne simulation des dynamiques C et N des incubations avec le modèle à 2 compartiments



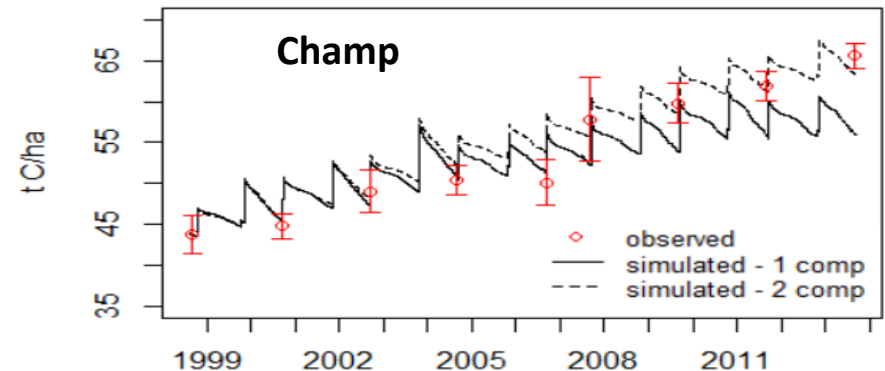
*Simulation minéralisation C du PRO en conditions contrôlées*

# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

- Bonne simulation des dynamiques C et N des incubations avec le modèle à 2 compartiments
- Bonne simulation des dynamiques C et N au champ en utilisant les paramètres de décomposition optimisés sur les incubations labo avec le modèle à 2 compartiments



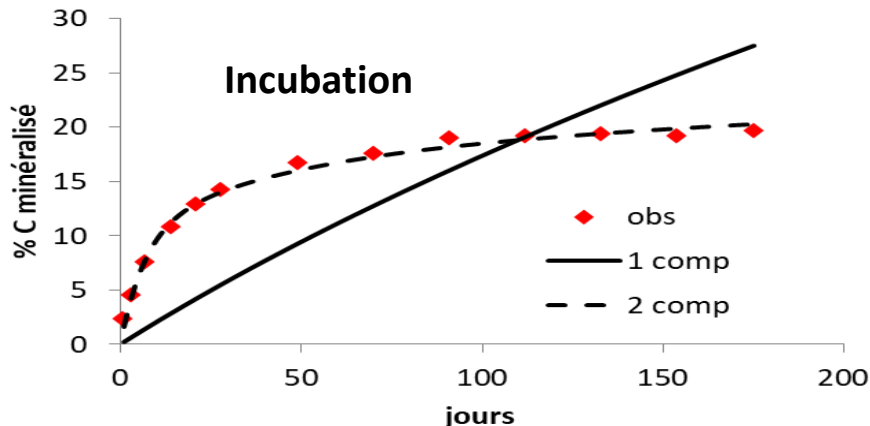
*Simulation minéralisation C du PRO en conditions contrôlées*



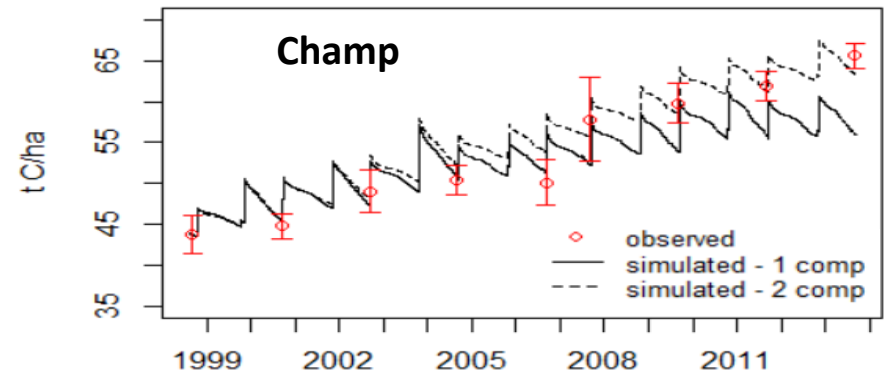
*Simulation stock C au champ en utilisant les incubations labo pour calibrer STICS*

# Simulation des dynamiques C et N avec STICS

- Bonne simulation des dynamiques C et N des incubations avec le modèle à 2 compartiments
- Bonne simulation des dynamiques C et N au champ en utilisant les paramètres de décomposition optimisés sur les incubations labo avec le modèle à 2 compartiments
- Paramètres de décomposition des PRO prédictibles avec ISMO et C/N
- Vitesse minéralisation compartiment stable du PRO  $\ll$  vitesse minéralisation MO sol  $\rightarrow$  stabilité + forte de la MO des PRO ?

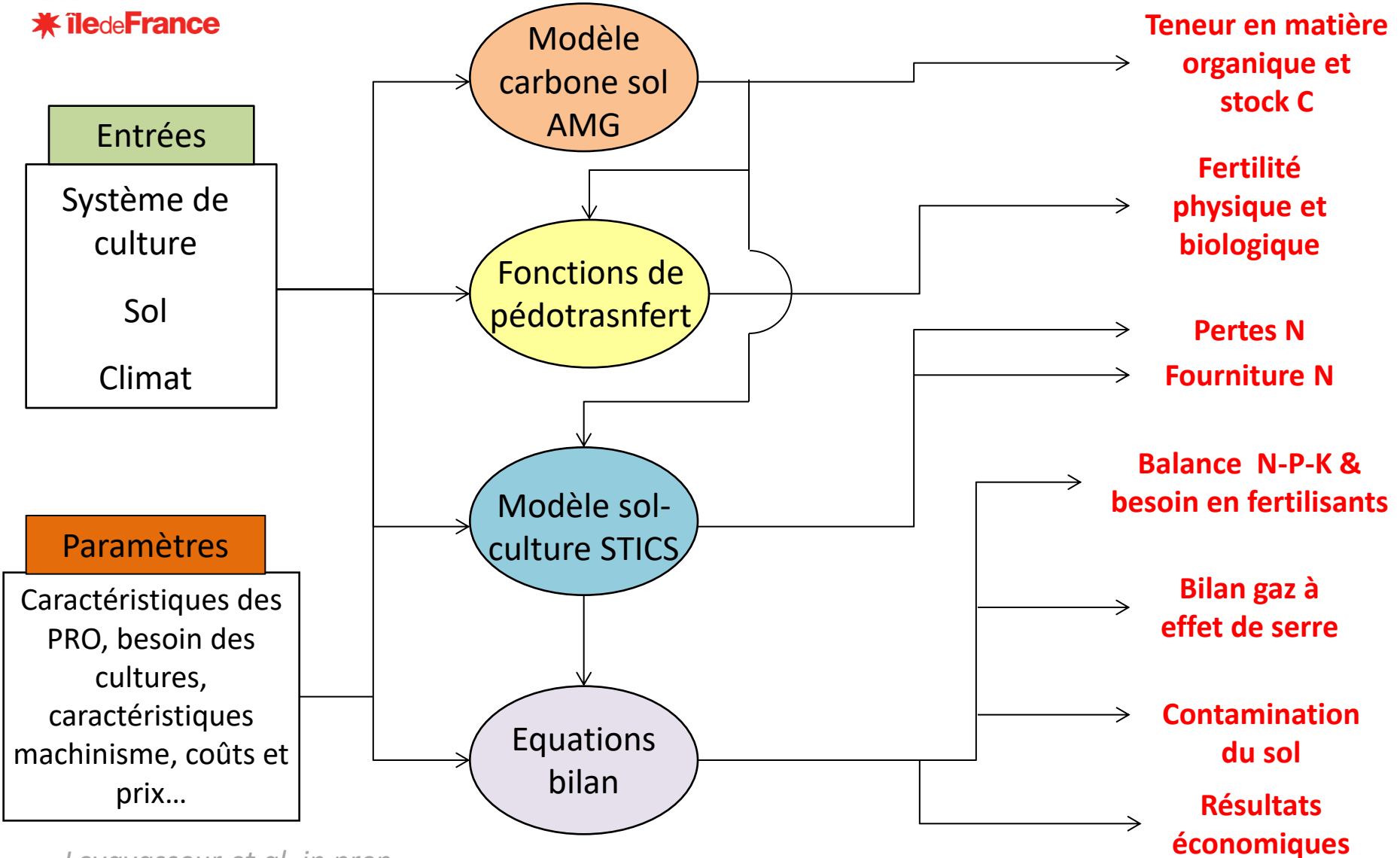


*Simulation minéralisation C du PRO en conditions contrôlées*



*Simulation stock C au champ en utilisant les incubations labo pour calibrer STICS*

# Evaluation multicritère



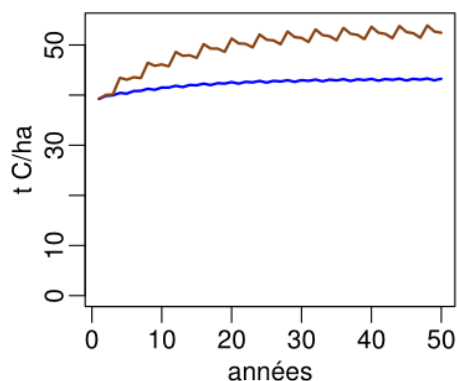
Levavasseur et al. in prep



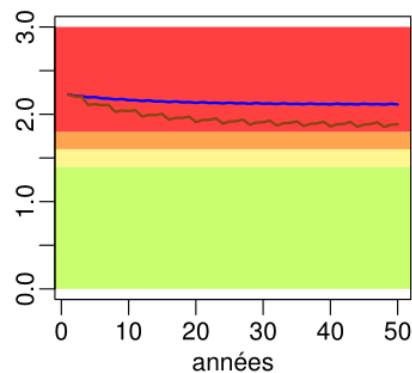
# Evaluation multicritère - exemple

- Exemples d'application (**avec** ou **sans** PRO)
- Simulation teneurs et stocks de C et MO avec AMG
- Simulation d'indicateurs de fertilité du sol en lien avec C :
  - Indice de battance (*Rémy et Laflèche, 1971*)
  - Biomasse microbienne (*Horrigue et al., 2016*)
  - Réserve utile (*Rawls et al., 2003*)

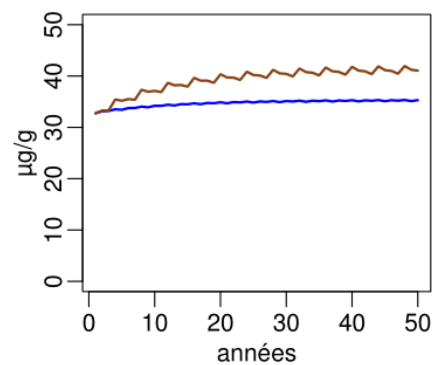
### Stocks de carbone



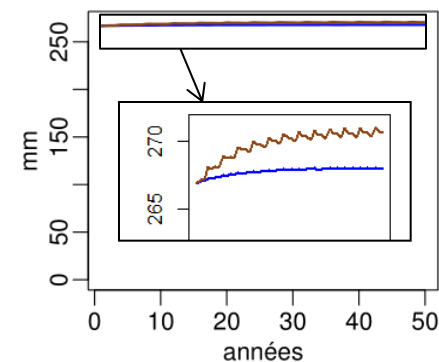
### Indice de battance



### Biomasse microbienne

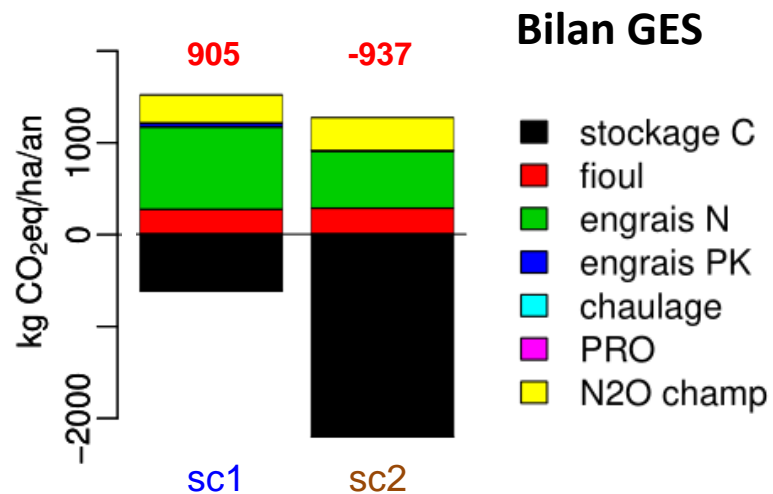
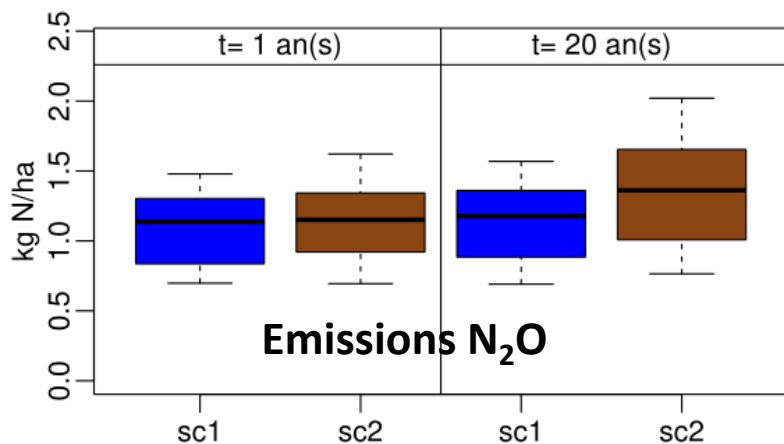
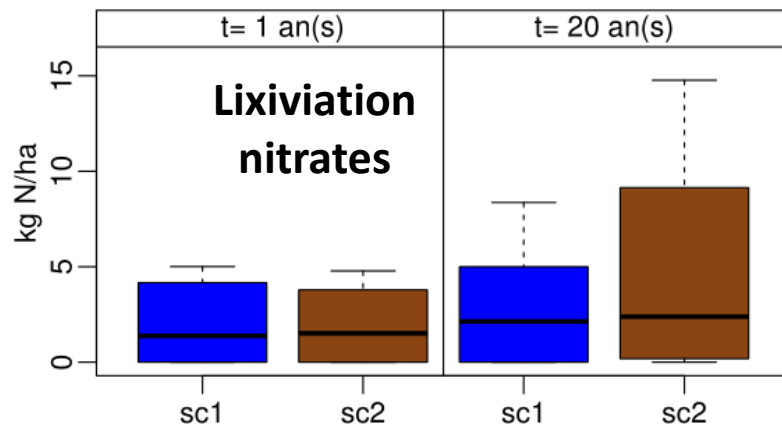
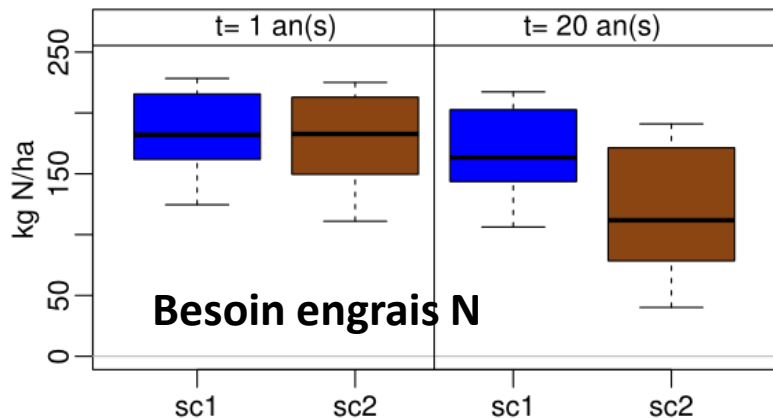


### Réserve utile



# Evaluation multicritère - exemple

- Exemples d'application (**avec** ou **sans** PRO)



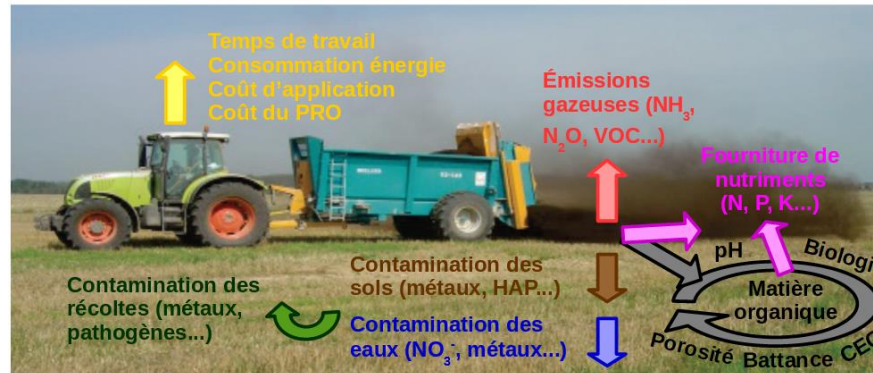
# Conclusion

- Modèle de carbone du sol et modèle sol-culture « simples » sont des outils utiles pour aider à la reconception de systèmes de culture
- Nécessité de valider leurs performances et de proposer des paramétrages pour les systèmes avec PRO
- Performances de AMG et STICS acceptables, mais des questions en suspens :
  - Facteurs explicatifs de la variabilité du stockage entre site
  - impact de la transformation des PRO sur la stabilité de leur MO, sur les voies d'incorporation dans la MO du sol ? Voies de stabilisation de ces MO ?
  - Quelle conséquences sur la dynamique du C stocké et sur les interactions entre C et N et la dynamique de minéralisation du N.

→ Un poste de CR à ECOSYS ouvert au concours sur ces sujets en 2020

- Modèles utilisables dans des outils multicritères pour évaluer l'ensemble des effets liés à l'évolution de la MO des sols
- Des nouveaux indicateurs à intégrer dans l'évaluation (biologie du sol, pH, compaction...)

# Merci pour votre attention



- 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
- Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., 2008. Conceptual Basis, Formalisations and Parameterization of the STICS Crop Model, Editions Quae. ed.
- Clivot, H., Mouny, JC, Duparque, A., Dinh,, JL, Denoroy, P., Houot, S., Vertes, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S., Mary, B., 2019. Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model.. *Environmental Modelling & Software* 118: 98-113
- Coucheney, E., Buis, S., Launay, M., Constantin, J., Mary, B., García de Cortázar-Atauri, I., Ripoche, D., Beaudoin, N., Ruget, F., Andrianarisoa, K.S., Le Bas, C., Justes, E., Léonard, J., 2015. Accuracy, robustness and behavior of the STICS soil–crop model for plant, water and nitrogen outputs: Evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. *Environ. Model. Softw.* 64, 177–190
- Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S., Keating, B.A., Munoz-Carpena, R., Porter, C.H., Rosenzweig, C., Wheeler, T.R., 2017. Brief history of agricultural systems modeling. *Agric. Syst.* 155, 240–254
- Horrigue, W., Dequiedt, S., Chemidlin Prévost-Bouré N., Jolivet, C., Saby, N., Arrouays, D., Bispo, A., Maron, P.A., Ranjard, L., 2016. Predictive Model of Soil Molecular Microbial Biomass. *Ecological Indicators* 64: 203–11.
- Lashermes, G., Nicolardot, B., Parnaudeau, V., Thuriès, L., Chaussod, R., Guillotin, M.L., Linères, M., Mary, B., Metzger, L., Morvan, T., Tricaud, A., Villette, C., Houot, S., 2009. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 297–310.
- Levavasseur, F., Mary, B., Christensen, BT, Duparque, A., Ferchaud, F., Kätterer, T., Lagrange, H., Montenach, D., Resseguier, C., Houot, S., subm a. The simple AMG model accurately simulates organic carbon storage in soils after repeated application of exogenous organic matter. Submitted in *Nutrient cycling in Agroecosystems*.
- Levavasseur, F., Mary, B., Houot, S., subm b. Simulation of the C and N dynamics in a long-term experiment with organic amendments amendment application using the STICS model. Submitted in *Computers and Electronics in Agriculture*..
- Levavasseur, F., Houot, S., in prep. A multicriteria assessment tool to predict the long-term effects of repeated applications of organic waste products in agriculture.
- Nicolardot, B., 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 Soil* 228, 83–103.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., Bloodworth, H., 2003. Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. *Geoderma* 116: 61–76.
- Rémy J.C., Marin-Lafèche A., 1974- L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Ann. Agron*, 25 : 607-632.