

# ADAPTATION ET UTILISATION DU MODELE AMG POUR SIMULER L'EVOLUTION DU STOCK DE CARBONE DU SOL SOUS UNE CULTURE ENERGETIQUE PERENNE : CAS DU MISCANTHUS

MOUNY JEAN-CHRISTOPHE, FERCHAUD FABIEN, DUPARQUE ANNIE



## Le modèle AMG : rappels et principes

AMG (Andriulo, Mary, Guérif) est un modèle simple de bilan humique annuel à la parcelle, à trois compartiments de C (Fig.1) : le carbone (C) des résidus organiques (tiges, feuilles, racines, produits résiduaux organiques), le pool de C organique actif qui se minéralise et le pool de C organique stable à l'échelle du siècle. L'évolution de stock de carbone d'une année sur l'autre peut se résumer à l'équation :

$$\frac{dC_{actif}}{dt} = \sum h.m - K.C_{actif}$$

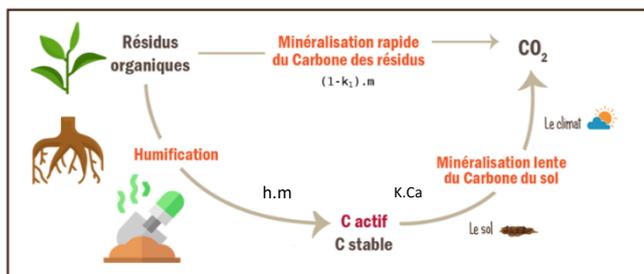


Figure 1 : Schéma général du modèle AMG (Andriulo et al., 1999 ; Saffi Hdadi & Mary, 2008 ; Clivot et al., 2019)

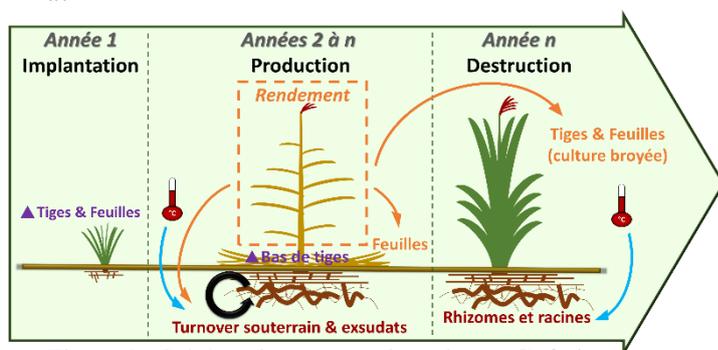


Figure 2 : Schéma des sources de carbone (C) frais d'une culture de miscanthus

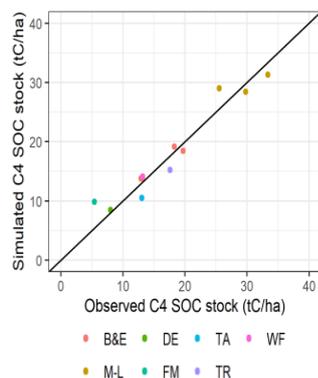


Figure 3 : Stocks de carbone C4 observés et simulés avec AMG dans 11 traitements expérimentaux (B&E : dispositif B&E ; DE : Delfzijl ; FM : Friemar ; M-L : plateforme GIE GAO ; TA : Tånikon ; TR : Trier ; WF : Weinfeldén).

## Adaptation du modèle AMG au Miscanthus x giganteus en coupe tardive à la fin de l'hiver

L'adaptation du modèle à une culture consiste notamment à bien estimer les sources d'entrées de C organique liées à la culture (Fig.2) ainsi que leurs rendements en humus respectifs. Le projet GRAINE CE-CARB (Cultures Energétiques et stockage de CARBOne dans les sols) [2] a permis d'acquérir de nouvelles données fiables concernant

l'impact du miscanthus sur les évolutions de stocks de C du sol, de paramétrer un outil de simulation de l'évolution des stocks de C du sol pour cette culture et d'utiliser cet outil pour évaluer des scénarios de production de biomasse. Les entrées de C aériennes du miscanthus à différentes phases de sa culture ont été estimées à partir des mesures expérimentales et des rendements. Les entrées de C souterraines moyennes annuelles obtenues par modélisation inverse à partir des stocks C4 du sol sont fortement corrélées à la température moyenne annuelle. Cela rejoint une observation déjà faite par Poeplau & Don [3] et laisse penser que la température influence la durée de vie des organes souterrains (rhizomes et racines) et donc leur turnover. Le meilleur modèle linéaire à plusieurs variables (régression multiple) pouvant permettre de prédire les entrées de C souterraines intègre la température moyenne annuelle et le rendement. A la destruction de la culture, la totalité de la biomasse aérienne, des rhizomes et racines est restituée. Dans ce contexte, le modèle AMG [1] a été appliqué sur le dispositif Biomasse & Environnement (B&E) d'INRAE, dans la Somme, sur la plateforme du GIE GAO en Haute-Garonne, ainsi que sur 5 autres sites de la littérature [3] avec du miscanthus récolté en fin d'hiver (Fig.3). L'évaluation avec AMG des situations préalablement étudiées, en calculant cette fois les entrées souterraines chaque année avec le modèle linéaire à deux variables, montre des performances du modèle satisfaisantes sur les cinq sites concernant la simulation des stocks C4, avec une RMSE globale de 2,1 t C ha<sup>-1</sup> et une MD de 0,2 t C ha<sup>-1</sup>.



## Application du paramétrage du miscanthus à une gamme de cas-types

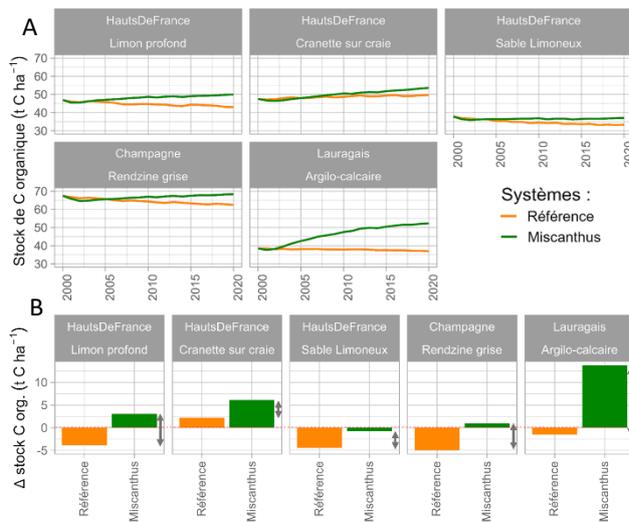


Figure 4 : Dynamique (A) des stocks de carbone organique du sol (en  $t C ha^{-1}$ ) sur 20 ans et comparaison des variations de stocks (B) à 20 ans ( $\Delta$ stock en  $t C ha^{-1}$ ) selon 2 scénarios pour les 5 cas-types (Référence = système de culture de référence fréquent dans ce pédoclimat ; Miscanthus = culture de miscanthus de l'implantation à la fin de la période de production)

Afin de quantifier les évolutions de stocks de C sous miscanthus dans différents contextes pédoclimatiques et de les comparer à celles obtenues pour des systèmes de grandes cultures représentatifs de chaque contexte étudié, **5 cas types** sont étudiés : **3 cas types** représentant trois types de sol des **Hauts-de-France (limon profond, cranette sur craie, sable limoneux)** issus du projet CONSYST (GENESYS PIVERT, 2016-2018) ; **1 cas type en sol de craie en Champagne** ; **1 cas type en sol argilo-calcaire dans le Lauragais** issu de la plateforme Syppre, déjà évalué dans le projet SoléBiom (GENESYS PIVERT, 2015-2018). Pour chaque cas type, deux scénarios ont été simulés : le système de culture de référence, et un scénario avec miscanthus implanté en première année puis en continu sur 20 ans. Les simulations ont été réalisées avec **AMGv2** [1], en utilisant les valeurs standard des paramètres du modèle. Les entrées de C des grandes cultures classiques ont été calculées avec les coefficients allométriques standards d'AMG.

Les scénarios simulés avec AMG (Fig.4) montrent que la culture de **miscanthus** permet de **stocker dans les sols environ  $5 t C ha^{-1}$  de plus** qu'un système de grande culture de référence **au bout de 20 ans** dans les **Hauts de France** et en **Champagne**, soit  **$0,25 t C ha^{-1} an^{-1}$** . Ce stockage additionnel simulé pour les cas types du nord de la France est **comparable** à celui permis par les **pratiques les plus stockantes** identifiées dans l'**étude 4 pour 1000** de l'INRA (2019). Le stockage additionnel est environ trois fois plus élevé dans le cas type du Lauragais malgré un rendement du miscanthus plus faible à cause du stress hydrique. Cette différence semble être principalement liée à la température moyenne annuelle plus élevée dans ce dernier, et donc favorable aux entrées de C souterraines sous miscanthus, ainsi qu'aux faibles entrées de C dans le système de référence.

Le **projet CE-CARB** [2] a donc permis de **quantifier les évolutions de stocks de C du sol** pour différentes cultures énergétiques dont le **miscanthus** et de proposer un **mode de calcul des entrées de C** pour une culture de **miscanthus en coupe tardive, adapté au modèle AMG**. Ce mode de calcul peut donc d'ores et déjà être intégré dans les outils de simulation basés sur le modèle AMG, comme SIMEOS-AMG, afin de pouvoir simuler l'évolution des stocks de C sous une culture de miscanthus. **A notre connaissance, il s'agit du premier paramétrage générique du miscanthus pour un modèle de carbone du sol**. Le calcul des restitutions souterraines de carbone dépendant de la température moyenne annuelle est un concept qui se retrouve dans les équations utilisées pour d'autres cultures pérennes comme la vigne, ce qui est de bon augure pour l'étude et l'implémentation future d'autres cultures pluriannuelles ou pérennes dans les outils d'aide à la décision utilisant le modèle AMG [1].

### Références bibliographiques :

- [1] CLIVOT, Hugues, MOUNY, Jean-Christophe, DUPARQUE, Annie, et al., 2019 **Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model**. *Environmental modelling & software*, vol. 118, p. 99-113. (DOI : 10.1016/j.envsoft.2019.04.004)
- [2] FERCHAUD Fabien, BOISSY Joachim, MOUNY Jean-Christophe, DUPARQUE Annie, MARSAC Sylvain, CHENU Claire, 2022. **Projet CE-CARB : cultures énergétiques et stockage de carbone dans les sols. Rapport final**. 124 pages.
- [3] POEPLAU, Christopher et DON, Axel., 2014 **Soil carbon changes under Miscanthus driven by C4 accumulation and C3 decomposition—toward a default sequestration function**. *Gcb Bioenergy*, vol. 6, no 4, p. 327-338. (DOI: 10.1111/gcbb.12043)