

## **Résumé pour poster pour les 13èmes Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse, 8-9 novembre 2017**

### **Simulation des dynamiques des éléments C, N, P et K sur le long terme dans un contexte français d'épandage de Produits Résiduaire Organiques - Calibration du modèle Century**

P. Yebli, G. Naves-Maschietto, A. B. Bisinella de Faria, A. Revallier, M. Orvain, S. Houot, A. Michaud, D. Montenach, T. Morvan, F. Watteau, S. Guillouais

Au cours du 20ème siècle l'agriculture française a largement utilisé les engrais minéraux (azote (N), phosphore (P) et potassium (K)) afin de maîtriser au mieux les apports de ces trois éléments fertilisants de base, ainsi que les rendements des cultures. Aujourd'hui le contexte français a changé et de nouvelles préoccupations renforcent l'intérêt de la valorisation en agriculture de la fraction organique de nos déchets : volonté de réduction du volume de déchets, augmentation des coûts de l'énergie nécessaire à la fabrication des engrais azotés de synthèse, raréfaction des ressources minières notamment de phosphore et enfin, dégradation des taux de matière organique (MO) des sols. L'utilisation de produits résiduaire organiques (PRO) tels que les composts répond à ces enjeux, enrichissant le sol en MO tout en contribuant à la fertilisation des cultures. Il est important cependant de bien maîtriser la dynamique d'évolution de ces PRO dans le sol afin de prédire l'évolution de la MO sur le long terme d'une part, et, d'autre part, la disponibilité en éléments fertilisants tels que l'azote tout au long du développement des cultures.

Le modèle de simulation Century [Parton et al, 1987] permet de prédire les dynamiques du carbone (C), de l'azote (N), du phosphore (P) et du soufre (S) dans le sol selon différents scénarii agricoles impliquant notamment l'apport récurrent de matière organique. Une version récente de Century développée spécifiquement pour simuler l'apport de différents types de composts intègre l'Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO) [Lashermes et al. 2009] et simule la dynamique du potassium (K) dans le système sol-plante à la place du soufre.

Afin de valider les prédictions pour le contexte français d'épandage de composts en grandes cultures, ce modèle de simulation - utilisé préalablement dans le contexte américain - doit être calibré et validé, à l'aide de jeux de données expérimentales issus de 7 essais au champ (SOERE-PRO, Réseau-PRO et essai phosphore Arvalis-Terena-VERI) répartis dans 7 régions et correspondant en tout à 61 modalités d'apports de Produits Résiduaire Organiques (PRO) dans lesquels les paramètres C, N, P et K sont suivis dans les PRO et le sol.

Considérant la complexité du modèle Century et le grand nombre de paramètres qu'il nécessite, une calibration sur la totalité de ces paramètres n'est pas rapidement réalisable. Il est proposé, par conséquent, d'utiliser au préalable, une analyse de sensibilité des résultats de simulation afin d'orienter le choix des paramètres pertinents pour la calibration par la méthode de dépistage Morris [Morris, 1991] suivie par une méthode basée sur la variance [Sobol, 1993]. Les résultats de cette analyse permettent, en plus d'augmenter la performance de l'algorithme de calibration, i.) de mieux connaître l'influence des paramètres (et leurs interactions) sur les résultats ; ii.) de réduire le nombre des paramètres à calibrer ; iii.) d'éviter le sur-apprentissage dans la calibration.

A la fin de l'étape de dépistage, 62 paramètres ont été sélectionnés sur 384 présents initialement dans le modèle. Cette sélection a pris en compte la méthode de dépistage de Morris en utilisant, en entrée de la simulation, un scénario donné d'apport d'engrais minéral azoté et de composts de déchets verts et boues de station d'épuration, ainsi que l'approche métier sur l'importance agronomique des paramètres. Ensuite, la méthode basée sur la variance (Sobol) a réduit ce nombre à 25 paramètres qui correspondent au moins 95% de la sensibilité totale des sorties du modèle. Ils représentent les paramètres des cultures et ceux nécessaires principalement au fonctionnement du processus de décomposition dans le sol.

La méthode de calibration choisie pour cette étude consiste en une optimisation dite inverse, c'est-à-dire qu'un paramètre est inféré à partir de l'effet (résultat en sortie du simulateur). L'optimisation inverse, bien qu'une approche couramment utilisée, n'a jamais été proposée pour la calibration de Century. Les précédentes versions de Century ont été calibrées par des experts en se basant sur leurs connaissances agronomiques sans prendre en compte les aspects mathématiques de la simulation versus l'expérimentation.

De cette façon, les paramètres identifiés comme sensibles par l'analyse de sensibilité sont considérés comme des paramètres à calibrer, en respectant les contraintes imposées à leurs bornes ainsi qu'à l'interdépendance entre ces paramètres. Dès lors, l'optimiseur cherche à minimiser l'écart existant entre les valeurs en sortie du simulateur et les valeurs des observations au champ.

La calibration du modèle a considéré 19 scénarii d'observation (issus de 3 essais au champ) avec différents apports de composts et d'engrais minéraux. La validation des résultats de cette calibration permet, par comparaison avec 10 observations au champ (non préalablement utilisées pour la calibration), de confirmer la représentation correcte du jeu de données pour le système étudié. Suite à l'étape de calibration et de validation, l'erreur moyenne de la simulation pour le carbone et l'azote dans le sol est de, respectivement, 12,2% et 9,9%. Ces erreurs sont, respectivement, comparables aux erreurs moyennes de validation (13,5% et 10,7%).

Par conséquent, le modèle calibré permet de simuler convenablement le comportement dynamique des éléments C, N, P et K du sol dans un contexte agricole français d'apport récurrent de composts.

- Lashermes, G., Nicolardot, B., Parnaudeau, V., Thuriès, L., Chaussod, R., Guillotin, M. L., ... & Tricaud, A. (2009). Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science*, 60(2), 297-310.
- Morris, M. D. (1991). Factorial sampling plans for preliminary computational experiments. *Technometrics*, 33(2), 161-174.
- Parton, W. J., Schimel, D. S., Cole, C. V., & Ojima, D. S. (1987). Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 51(5), 1173-1179.
- Sobol, I. M. (1993). Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models. *Mathematical Modelling and Computational Experiments*, 1(4), 407-414.