



Paramétrage du modèle AMG à l'aide de données au champ et de laboratoire pour simuler l'évolution de la matière organique des sols dans un contexte d'apports réguliers de divers produits résiduaux organiques

Florent Levavasseur¹, Bruno Mary², Annie Duparque³, Sabine Houot¹

¹UMR ECOSYS, INRA AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon

²UR INRA AgroImpact, 02000 Barenton-Bugny

³Agro-Transfert Ressources et Territoires, 80200 Estrées-Mons



Travaux financés dans le cadre du projet SOLEBIOM



Contexte

- Bénéfices des apports de Produits Résiduaires Organiques (PRO) (fourniture de nutriments, augmentation de la matière organique...)
- Contribution à la matière organique du sol variable selon les PRO, sous contrôle de divers facteurs (Derrien et al., 2016)
- Pratique déjà fréquente (effluents d'élevage...), et nouveaux PRO (digestats...)
- **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 ?

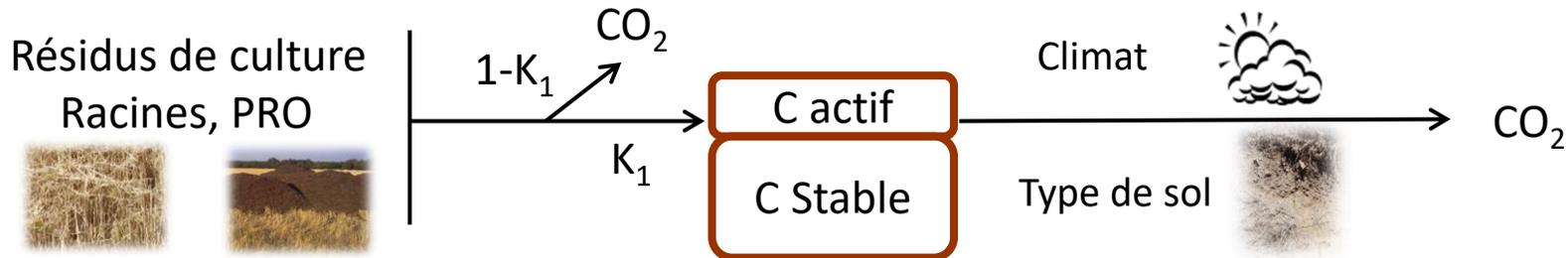


→ **Potentiel des modèles de carbone, dont AMG, pour répondre à ces questions**



Les PRO dans AMG

- AMG (Clivot et al., 2019) : modèle de dynamique du carbone du sol
- Intégré dans un outil en ligne simple d'utilisation et ouvert à tous :
<http://www.simeos-amg.org/>
- Stockage du carbone (C) des PRO dans le sol fonction du climat, du sol, des pratiques d'apport (dose, fréquence) et de la valeur amendante des PRO
- Valeur amendante du PRO : teneur en C et coefficient isohumique K_1
- K_1 = fraction du C du PRO qui intègre le carbone actif du sol au bout d'un an, puis se dégrade à la même vitesse que le carbone actif du sol





Objectif

- Forte diversité et variabilité des PRO (origine et traitement)
- Assez bonne connaissance des teneurs en carbone, mais faible connaissance des coefficients isohumiques K_1
- Travaux préliminaires encourageants avec AMG (Bouthier et al., 2014), mais 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., 2019)
- 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 labo
- **Objectifs :**
 - Définir une méthode pour paramétrer les PRO dans AMG
 - Appliquer cette méthode pour paramétrer une large gamme de PRO dans AMG



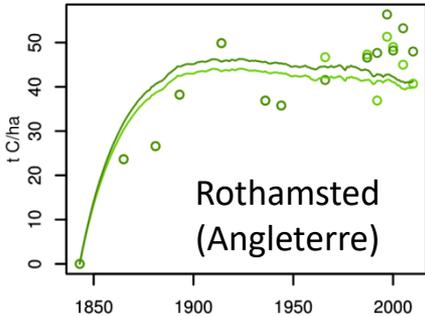
Démarche

- 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'indicateur 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 (+ 600 PRO) : teneurs C et N, incubations, fractionnement biochimique

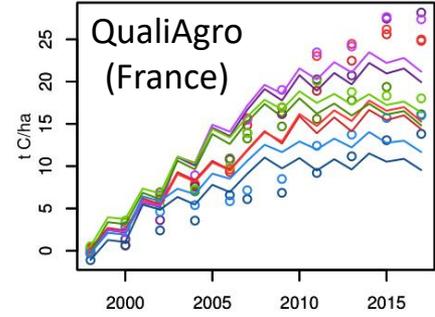


Validation du modèle AMG avec les données au champ

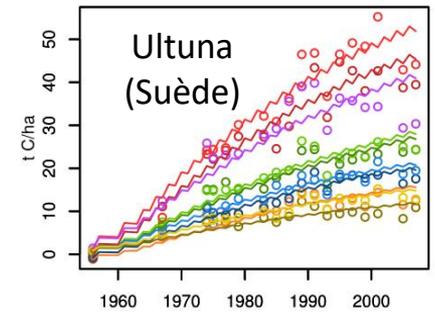
- Simulation du stockage de C avec K_1 optimisés pour minimiser les erreurs de simulation
- Stockage additionnel C par rapport au témoin bien simulé : erreur RMSE = 3,1 t C/ha
- Qualité comparable à des essais sans PRO avec AMG (Clivot et al., 2019) ou à d'autres modèles (Kahru et al., 2012, Peltre et al., 2012)



- Fumier bovin
- Fumier bovin



- Compost DV et biodéchets + N
- Compost DV et biodéchets
- Compost DV et boue + N
- Compost DV et boue
- Fumier bovin et N
- Fumier bovin
- Compost OM + N
- Compost OM



- Fumier bovin
- Fumier bovin + P
- Engrais vert
- Tourbe
- Tourbe + N
- Sciure
- Sciure + N
- Boue STEP
- Paille
- Paille + N

○ Observations
— Simulations



K_1 des PRO obtenus au champ

- Cohérences de la hiérarchie des K_1 obtenus au champ au sein de chaque essai

*Exemple de K_1
obtenu sur
Ultuna*

PRO	K_1 (%)
Engrais vert	28
Fumier bovin	45
Tourbe	82

*Exemple de K_1
obtenu sur la
Sérail*

PRO	K_1 (%)
Fumier bovin	54
Compost DV	100



K_1 des PRO obtenus au champ

- Cohérences de la hiérarchie des K_1 obtenus au champ au sein de chaque essai

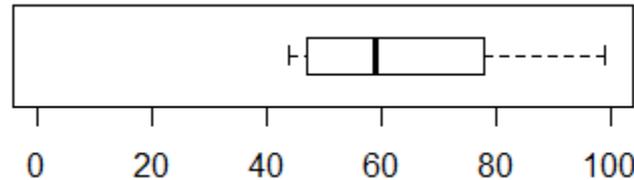
*Exemple de K_1
obtenu sur
Ultuna*

PRO	K_1 (%)
Engrais vert	28
Fumier bovin	45
Tourbe	82

*Exemple de K_1
obtenu sur la
Sérail*

PRO	K_1 (%)
Fumier bovin	54
Compost DV	100

- Variabilité du K_1 d'un même PRO entre différents essais :



*Variabilité des valeurs
de K_1 du fumier bovin
($n=10$)*

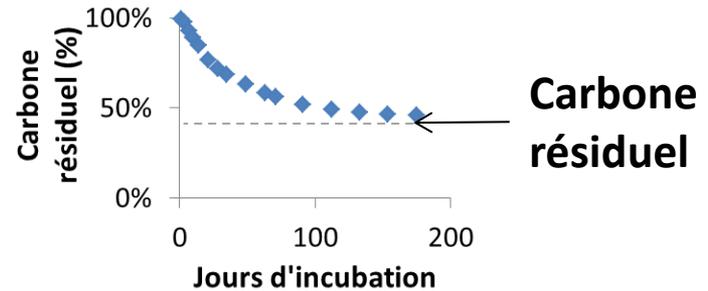
→ Variabilité des PRO ? Non prise en compte par le modèle de facteurs affectant la minéralisation des PRO ?



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
mésocosme pour
incubation*



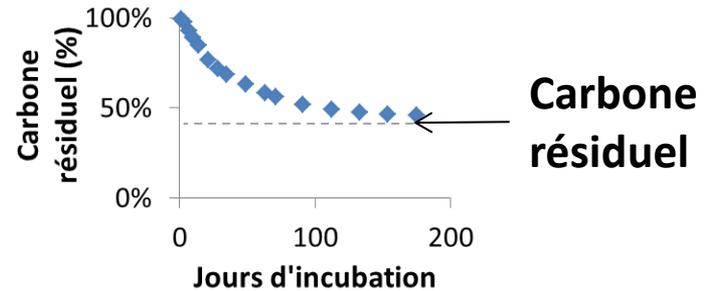
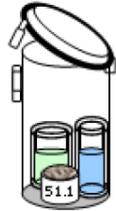
- Hypothèse : carbone résiduel du PRO pourrait être un prédicteur du K_1



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 mésocosme pour incubation

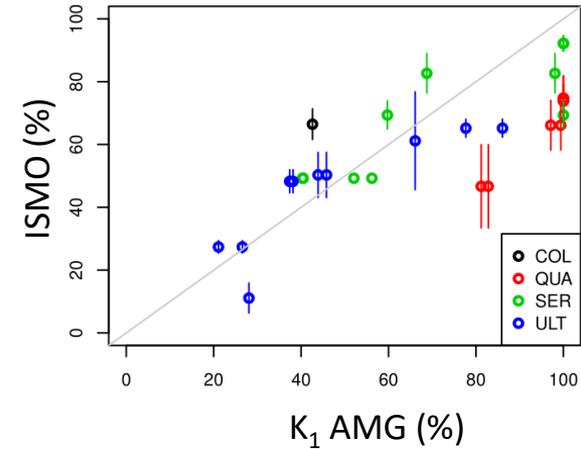


- Hypothèse : carbone résiduel du PRO pourrait être un prédicteur du K_1
- Incubations lourdes à mettre en œuvre → ISMO développé pour prédire C résiduel
- Facilité de mise en œuvre de l'ISMO : fractionnement biochimique de la matière organique et minéralisation du PRO à 3 jours
- Proposé en routine par de nombreux labos commerciaux
→ Quel potentiel de prédiction du K_1 d'AMG par l'ISMO ?



Prédiction des K_1 par l'ISMO

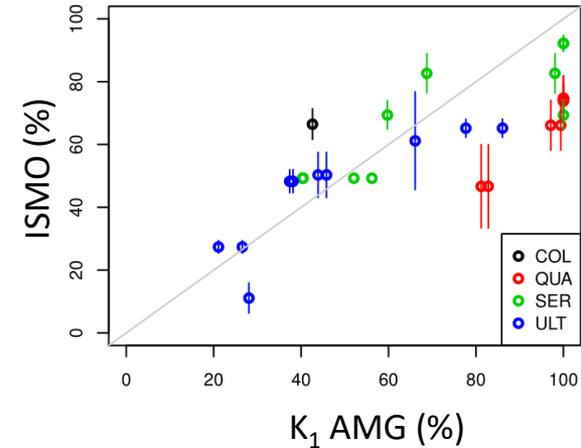
- Bonne relation entre K_1 et ISMO ($R^2=0.6$), biais faible (-9)
→ proposition d'utiliser l'ISMO directement comme valeur de K_1



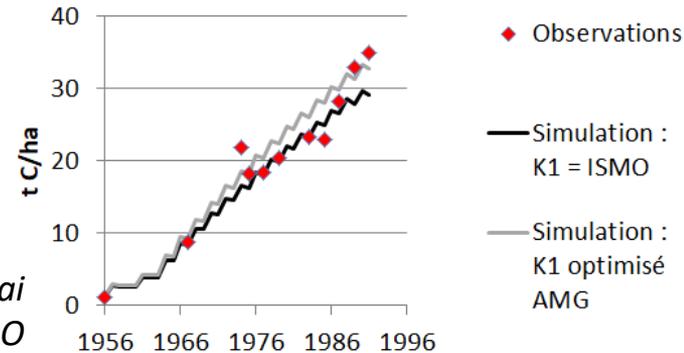


Prédiction des K_1 par l'ISMO

- Bonne relation entre K_1 et ISMO ($R^2=0.6$), biais faible (-9)
→ 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 (+1,9 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)



Simulation du traitement boue de l'essai d'Ultuna avec l'ISMO

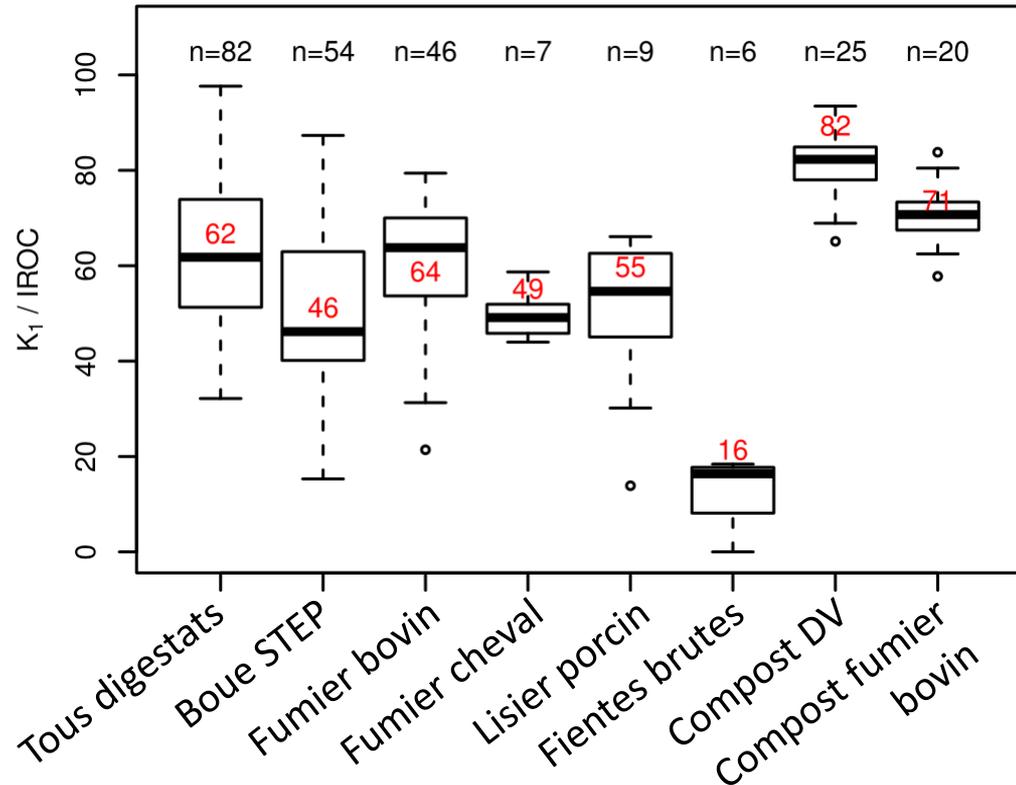




Utilisation des bases de données d'ISMO pour prédire le K_1

- Base de données de plus de 600 valeurs d'ISMO
- Différences marquées entre types de PRO mais forte variabilité par type de PRO
- Peu de données pour certains PRO (digestats, lisier bovin...)

*Exemple de K_1
prédits au labo pour
différents PRO*





Exemples

- Exemple pour des doses agronomiques usuelles

PRO	Dose (t MB/ha)	Teneur en C (kg/t)	K₁ (%)	Apport C humifié (t C/ha)
Fientes volailles séchées	3	240	45	0,3
Boue STEP	12	55	46	0,3
Lisier bovin	30	30	45	0,4
Fumier bovin	30	83	71	1,8
Compost DV	20	120	82	2,0

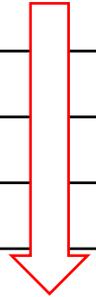




Exemples

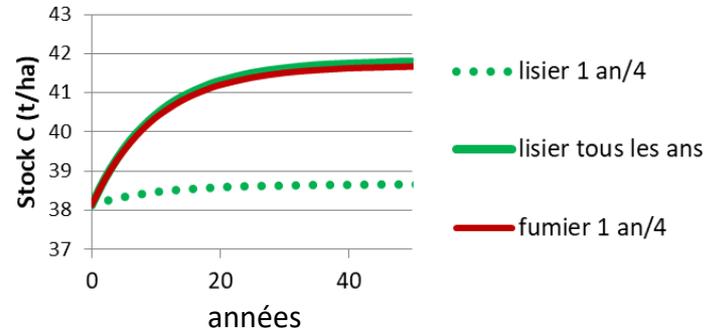
- Exemple pour des doses agronomiques usuelles

PRO	Dose (t MB/ha)	Teneur en C (kg/t)	K ₁ (%)	Apport C humifié (t C/ha)
Fientes volailles séchées	3	240	45	0,3
Boue STEP	12	55	46	0,3
Lisier bovin	30	30	45	0,4
Fumier bovin	30	83	71	1,8
Compost DV	20	120	82	2,0



- La fréquence d'apport compte aussi :

Lisier tous les ans = fumier tous les 4 ans

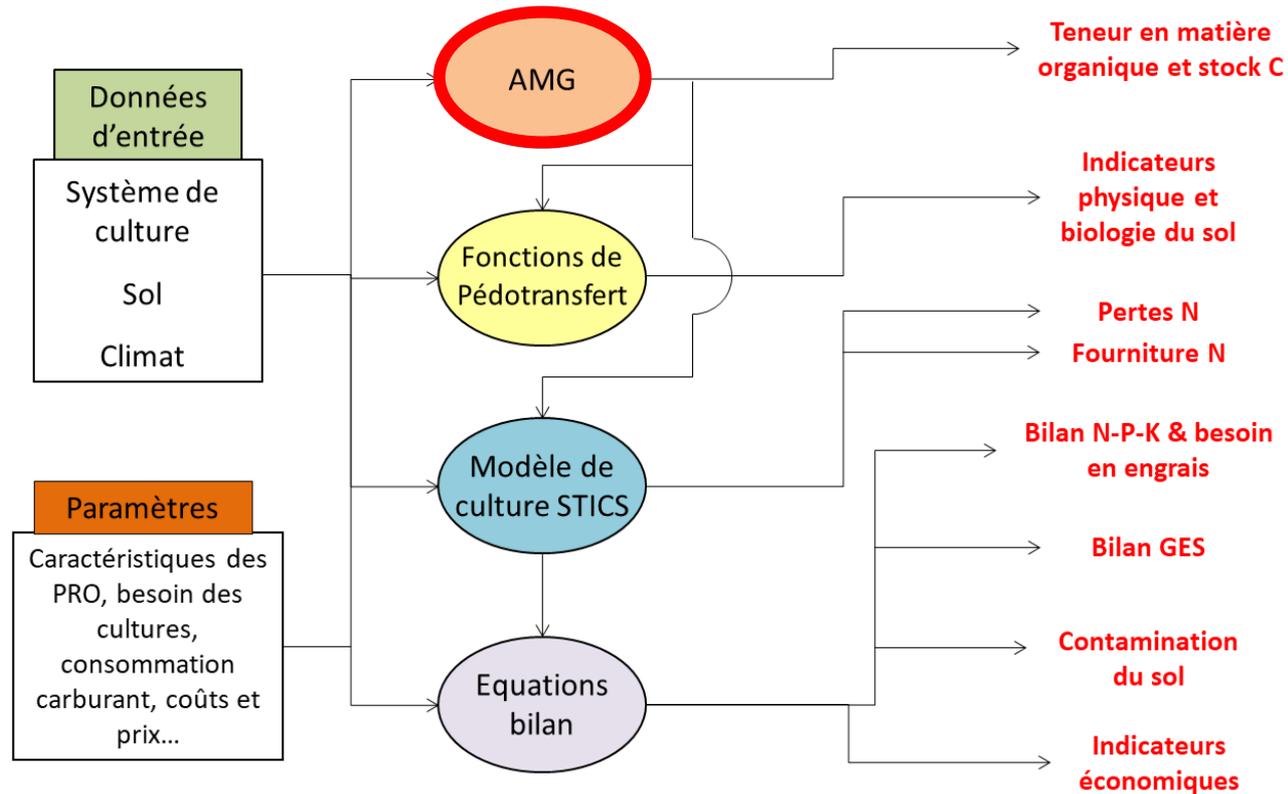




Perspectives

Outil multicritère PROLEG :
combinaison d'AMG avec
d'autres modèles /
indicateurs pour prédire de
nombreux effets des PRO
en lien avec teneur en
matière organique des sols

Projet
PSDR
PROLEG

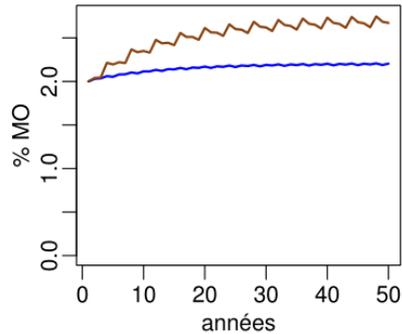




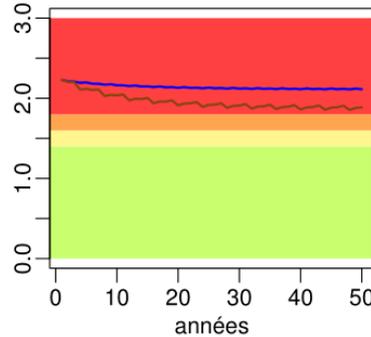
Perspectives

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

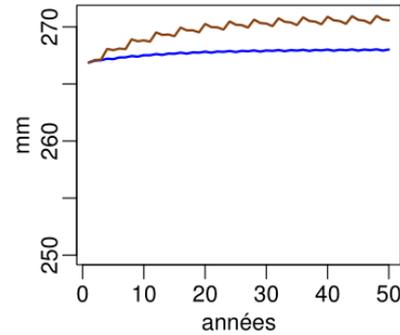
Teneur en matière organique sur l'horizon travaillé



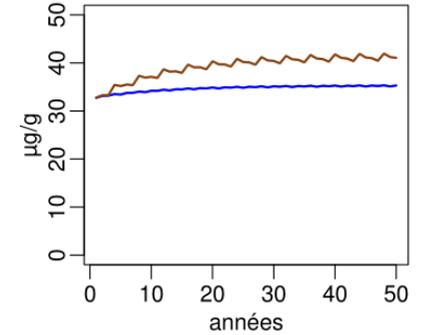
Indice de battance sur l'horizon travaillé



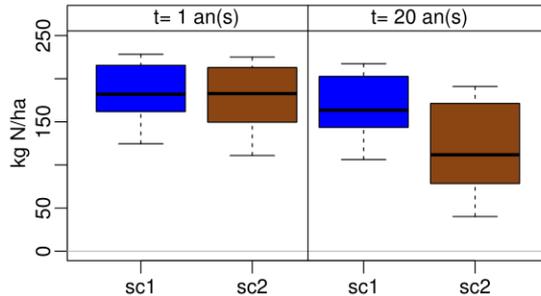
Réserve utile tous horizons



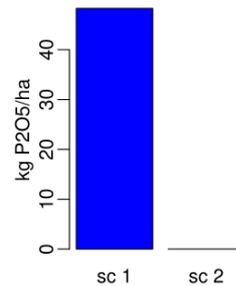
Biomasse microbienne



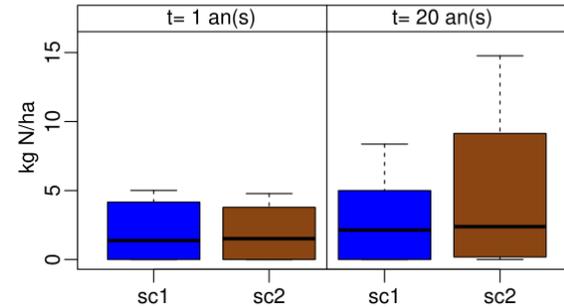
Besoin moyen en N minéral par culture principale



Besoin moyen annuel en P sur la rotation



N lixivié par an





Conclusion

- Coefficient isohumique K_1 des PRO = 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 et 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 couple 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
- Possibilité de combiner AMG avec d'autres modèles / indicateurs pour évaluer plus globalement les effets des PRO



Merci de votre attention



- 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. *Innov. Agron.* 34, 125–139.
- 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
- 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, octobre 2014.
- 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, BT, 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.