

# DYNAMIQUE DE MINÉRALISATION DE L'AZOTE A LONG TERME EN PRESENCE DE CULTURES INTERMÉDIAIRES : OBSERVATIONS ET SIMULATIONS AVEC STICS.

Constantin J., Beaudoin N.\*, Mary B.

INRA – Agro-Impact – rue Fernand Christ 02007 Laon Cedex; \* correspondant

\*Auteur correspondant t : [Julie.Constantin@laon.inra.fr](mailto:Julie.Constantin@laon.inra.fr)

## Introduction

La Directive Européenne "Nitrate" obligera dès 2012 à la couverture totale des sols en automne notamment via les cultures intermédiaires (CI). L'impact de CI répétées sur les postes du bilan d'azote à long terme (plusieurs décennies) n'est pas bien connu (Bernsten et al, 2006). Les CI répétées pendant 15 ans permettent de réduire le lessivage du nitrate et de stocker du carbone et de l'azote organique (Constantin, 2010). Cela pose 3 questions : la répétition des CI modifie-t-elle le potentiel de minéralisation du sol ? quand le sol atteint-il un nouvel état d'équilibre? quelles en sont les conséquences sur les pertes N du système ? La thèse de J. Constantin (2010) vise à répondre à ces questions en associant expérimentation et modélisation. La minéralisation nette d'azote par le sol ( $M_N$ ) est mesurée puis simulée par deux méthodes : 1) calcul basé sur les données expérimentales et ensuite modélisation avec le sous modèle de minéralisation de STICS ; 2) simulation de  $M_N$  par le modèle STICS complet et évaluation de scénarios à long terme (60 ans).

## Matériels et Méthodes

L'expérimentation se base sur 3 dispositifs de moyenne durée (13 à 17 ans) incluant des CI: radis chaque année à Thibie (51), moutarde chaque année à Boigneville (91), raygrass tous les 2 ans à Kerlavec (29). Ces sites sont équipés de bougies poreuses et de lysimètres pour le calcul du lessivage. Les données sont gérées sous système POSTGRE-SQL, qui outre son rôle de conduite de requêtes, a été interfacé pour fabriquer automatiquement les entrées de STICS (Duval et al, ce séminaire). La minéralisation nette d'azote est calculée par bilan d'azote minéral du sol, établi à partir de mesures régulières d'absorption d'azote des cultures et des stocks d'azote minéral du sol, selon l'équation :

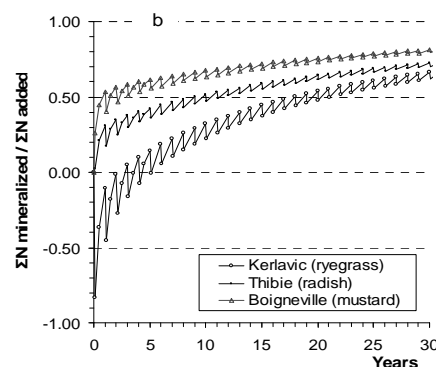
$$M_N = N_f - N_i + U + L - S - A - \varepsilon_r F$$

où  $N_i$  et  $N_f$  sont les stocks d'azote minéral initial et final,  $U$  = azote absorbé par les cultures (principales ou CI),  $L$  = lessivage,  $S$  = fixation symbiotique;  $A$  = déposition atmosphérique,  $F$  = fertilisation et  $\varepsilon_r$  est le coefficient réel d'utilisation de l'engrais. L'extra-minéralisation nette d'azote des CI ( $\Delta M_{CI}$ ) est la différence de  $M_N$  entre traitements CI et témoin. Dans la méthode 1, la cinétique de  $\Delta M_{CI}$  est simulée par le sous-module de STICS en fonction des valeurs moyennes de quantités de C et N apportées par les résidus de CI et d'environnement (température, humidité, N minéral non limitant). Dans la méthode 2, la cinétique de  $\Delta M_{CI}$  est simulée par le modèle STICS complet (version 6.9), en intégrant toute la variabilité spatio-temporelle des données d'entrée. Les fichiers plante de STICS sont préalablement calibrés sur la base de données SMS-STICS (Launay et al, ce séminaire). Les prédictions sont confrontées aux données observées puis le modèle est utilisé pour simuler l'effet de plusieurs scénarios pendant 60 ans : absence de CI, utilisation continue des CI avec ou sans modification de la fertilisation; abandon des CI après expérimentation.

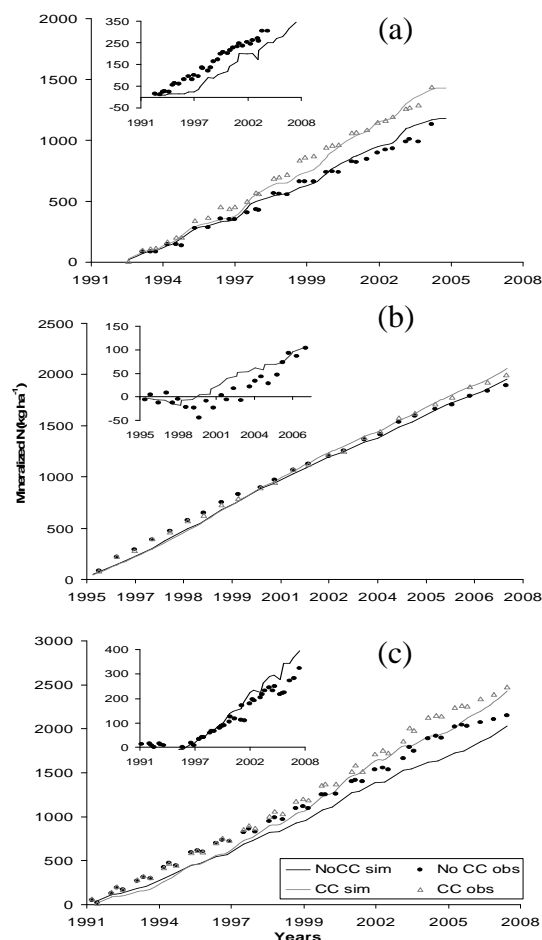
## Résultats et Discussion

**Méthode 1.** Pendant les 13-17 ans d'expérimentation, les CI augmentent  $M_N$  sur tous les sites, dès la première année ou quelques années après le début des CI. « L'extra minéralisation » due aux CI ( $\Delta M_{CI}$ ) est en moyenne de 27, 9 et 18 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Elle augmente au cours du temps sur deux des trois sites étudiés, indiquant l'existence d'effets cumulatifs. La variabilité des cinétiques de  $\Delta M_{CI}$  dépend du site (sol et climat) et du type de résidus. Elle est principalement attribuée au rapport C/N des CI.

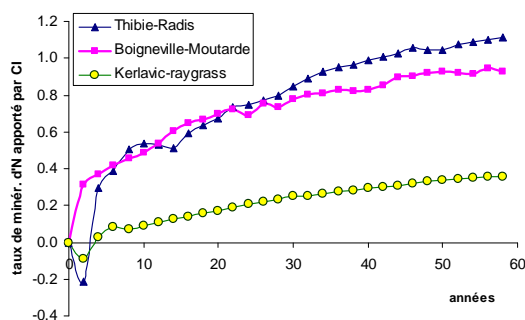
Le module est capable de reproduire les différences de cinétique mais avec une amplitude moindre que celle observée. On peut obtenir une prédiction sans biais en augmentant la quantité de résidus ou en modifiant leur rapport C/N. Ceci suggère que les quantités de C (et N) fournies par les CI pourraient être sous-estimées du fait de la rhizodéposition. Après une quinzaine d'années, la proportion d'azote minéralisée issue des CI est variable : de 26% à 77% selon la situation (Figure 1).



**Fig. 1:** Cinétique cumulée de minéralisation de l'azote apporté par les CI, simulée par le sous-modèle de minéralisation de STICS après optimisation des entrées.



**Fig. 2:** Cinétiques cumulées de  $M_N$  et de  $\Delta M_{CI}$  (encart) observée et simulée par STICS pour : a) Boigneville-moutarde, b) Kerlavec-raygrass, c) Thibie-radis.



**Fig. 3 :** Cinétique cumulée de  $\Delta M_{CI}$  simulée par le modèle STICS 6.9 complet (exprimée en % apport N par les CI).

**Méthode 2.** Le test de STICS 6.9, sans modification, donne une surestimation de la biomasse et une sous estimation du lessivage d'azote par rapport aux données observées (non présenté). Les paramètres *durvief* (blé), *longsperac* (raygrass & moutarde), *obstarac* et *finert* ont été calibrés sur les traitements «sans CI» de façon à pouvoir bien prédire la biomasse, la minéralisation nette et le lessivage à long terme.

Le modèle ainsi calibré est ensuite évalué sur le reste des données. Il reproduit bien les différences entre situations, notamment pour les cinétiques de minéralisation :  $M_N$  et  $\Delta M_{CI}$  (Figure 2). Les pentes négatives ou nulles de  $\Delta M_{CI}$  en début d'expérimentation indiquent que l'organisation d'azote domine à cette période. Cela explique la compétition « par préemption » pour l'azote avec la culture suivante (Thorup-Kristensen and Nielsen, 1998), s'inversant progressivement. L'accélération de  $\Delta M_{CI}$  au cours du temps est due à l'augmentation du pool d'azote organique actif, qui se manifeste rapidement car les CI ont un coefficient d'humification élevé (Justes et al, 2009).

Le taux annuel de minéralisation des CI sur 60 ans dépasse légèrement les 100% à Boigneville et Thibie et atteint 73% à Kerlavec (Figure 3). L'extra-minéralisation annuelle liée aux CI atteint, dans la plupart des cas, un plateau après environ 25 ans. Ce temps correspond à l'atteinte d'un nouvel équilibre du stock d'azote organique lié aux CI successives. Le supplément de stockage d'azote se stabilise entre 415 et 581 kg N ha<sup>-1</sup>.

Les méthodes 1 et 2 (figures 1 et 3) donnent des résultats différents en terme d'évolution du système en fonction des entrées de carbone issu des CI. Les résultats de la méthode 2 sont beaucoup moins sensibles au rapport C/N des CI, à cause de la prise en compte des conditions de milieu, en particulier la disponibilité en azote minéral qui rétro-agit sur la décomposition.

## Conclusion

A long terme, la répétition des CI génère un nouvel état d'équilibre du système. L'accroissement de la minéralisation permet de réduire la fertilisation azotée de 20 à 24 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> à sur les sites en maintenant des rendements égaux à ceux du témoin sans CI. La simulation d'un changement du climat ne modifie pas ces conclusions. La prévision de l'intensité de ces processus reste cependant tributaire de la qualité de la modélisation. Celle-ci peut être améliorée, en particulier vis-à-vis du lessivage d'azote sous CI, par une meilleure quantification des quantités de racines et de rhizodépôts et de la fraction active de la MOS en fonction des caractéristiques du sol.

## Références bibliographiques

- Berntsen J., Olesen J.E., Petersen B.M., Hansen E.M., 2006. Long-term fate nitrogen uptake in catch crops. Eur. J. Agr. 25: 383-390.
- Constantin J., 2010. Quantification et modélisation du bilan d'azote à long terme: impacts des cultures intermédiaires, du semis direct et de la fertilisation réduite. Thèse de doctorat, AgroParisTech, 213 p.
- Justes E., Mary B., Nicolardot B., 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. Plant Soil doi:10.1007/s11104-009-9966-4.
- Thorup-Kristensen K., Nielsen N.E., 1998. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. Plant and Soil 203: 79-89.