

Minéralisation de l'azote des sols (Ouest) : résultats du projet «Mh»

T. Morvan, Y. Lambert, L. Beff,

N. Beaudoin, B. Mary, M.Valé, R. Chaussod, B. Louis, J. Grall, D. Hanocq, P. Germain, J.P. Cohan

La qualité de prévision du flux de minéralisation de la matière organique (MO) du sol représente un enjeu agronomique, économique et environnemental important. Le flux de minéralisation de la MO humifiée du sol (Mh) est la composante la plus importante de la fourniture en N par le sol, comparativement aux autres composantes (résidus de culture...), et elle est paradoxalement celle qui est la moins bien estimée dans les outils de prévision de la fertilisation azotée. Dans ce contexte, la Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne (CRAB) et l'UMR INRA Agrocampus SAS ont mis en place depuis 2010 un réseau nommé réseau Mh, ayant pour objectifs i) de constituer un référentiel sur la minéralisation de l'azote (N) des matières organiques humifiées du sol et ii) d'expliquer la variabilité observée sur ce réseau par les grandeurs physiques, chimiques et biologiques identifiées comme pertinentes par l'analyse bibliographique.

Le réseau Mh est constitué de 130 parcelles réparties sur l'ensemble de la Bretagne, et a été suivi pendant 5 ans, de 2010 à fin 2014. La minéralisation a été quantifiée par la mesure des composantes du bilan azoté d'une culture non fertilisée de maïs fourrage : N absorbé par la culture, quantités de N minéral du sol au printemps (mars) et au début de l'automne (octobre), lixiviation du nitrate estimée par approche modèle (STICS). L'effet du climat a été modélisé par le modèle STICS pour convertir les jours calendaires en jours normalisés (Jn), afin de calculer la vitesse potentielle de minéralisation V_p égale au rapport entre le flux de minéralisation et les jours normalisés. L'analyse de données a été réalisée sur les résultats des 3 dernières années de l'expérimentation, permettant de considérer que la minéralisation M estimée par le bilan N correspond principalement au flux Mh, avec $Mh = V_p \cdot Jn$.

Les caractéristiques physico-chimiques (texture, pH, CEC, éléments totaux et échangeables...) et de la MO (teneurs en C et N, fractionnement granulométrique) ont été mesurées sur les sols du réseau ; 8 indicateurs de minéralisation issus de mesures biologiques ou de fractionnements chimiques ont été également sélectionnés à partir de l'analyse bibliographique. Un indicateur de l'histoire culturale (I_{Sys}) a été élaboré à partir de l'histoire culturale (successions culturales et apports de produits organiques) des 15 dernières années.

L'analyse des données a été réalisée sur un effectif de 65 parcelles pour lesquelles le suivi agronomique sur les 3 dernières années et les mesures de laboratoire ont été de très grande qualité. La représentativité de la diversité régionale, tant au niveau de la répartition géographique, du matériau parental que de l'histoire culturale, est conservée avec cet effectif.

La comparaison des bilans normalisés, définis par le rapport entre le bilan d'azote et le temps normalisé, pour les 3 dernières années de l'expérimentation (2012, 2013, 2014) nous a conduit à conclure que certains bilans ne peuvent s'expliquer qu'en modifiant le formalisme. On considère alors que la minéralisation est bien déterminée pour sa composante principale par un terme égal au produit $V_p \cdot Jn$, que l'on peut appeler la composante 'basale', mais qu'il faut dans certaines situations, pour certaines années, introduire un terme supplémentaire, nommé 'Extra minéralisation' (E_m), et dont les déterminants et la dynamique sont différents de ceux de la 1ère composante (flush de minéralisation). La minéralisation M mesurée par le bilan est alors donnée par la relation : $M = V_p \cdot Jn + E_m$. La composante E_m a été estimée à partir de l'analyse statistique des bilans normalisés des 3 années, et identifiée sur 28 parcelles en 2012, 29 parcelles en 2013 et 8 parcelles en 2014.



L'application de ce formalisme a permis d'estimer les valeurs de V_p pour les 65 parcelles. La gamme de V_p observée se situe entre 0.34 et 1.61 kgN.ha-1.Jn-1 et la valeur moyenne est de 0.83 kgN.ha-1.Jn-1. V_p est significativement corrélée à l'histoire culturale renseignée par l'indicateur F_{sys} (p-value = 0.02) et au stock de N organique du sol (p-value = 0.03), qui sont 2 variables importantes du modèle Comifer. Malgré ces corrélations significatives, nous observons une très mauvaise corrélation entre V_p et la prédiction obtenue par le modèle Comifer ($R^2 = 0.16$, RMSE = 0.29). Le remplacement du coefficient F_{Sys} de ce modèle par l'indicateur I_{Sys} , et une démarche d'optimisation du paramétrage du modèle ne conduisent pas à une amélioration significative de sa qualité prédictive.

Nous avons alors cherché à identifier et hiérarchiser les variables permettant d'expliquer la variabilité de V_p et à construire un modèle prédictif. Nous avons choisi d'appliquer la méthode GAM (Generalized Additive Model), qui permet d'explorer la non linéarité de la relation entre la variable explicative et la variable à prédire. La sélection des variables et le choix du meilleur modèle a été fondée sur la recherche de la plus petite valeur de l'erreur quadratique moyenne de prédiction du modèle (MSEP), calculée par la mise en œuvre d'une démarche 'leave one out' de validation croisée. L'utilisation de ce critère permet d'estimer la qualité prédictive du modèle et de limiter les risques de surajustement du modèle.

Les variables du modèle présentant la plus faible valeur de MSEP sont (i) 2 indicateurs de minéralisation (la biomasse microbienne du sol par fumigation-extraction et le N minéralisable obtenu par extraction avec un tampon phosphate borate : APM), (ii) l'indicateur de l'histoire culturale (I_{Sys}), (iii) des propriétés du sol (texture et CEC) et (iv) la fraction particulaire de la MO. Ce modèle prédit correctement V_p (part de variance expliquée par le modèle (R^2) égale à 67 %, MSEP = 0.038) et la différence entre V_p mesurée et sa prédiction est inférieure à 0.2 kgN.ha-1.Jn-1 pour 75% des parcelles.

Cette approche confirme que la vitesse potentielle de minéralisation de l'azote organique du sol est bien déterminée par l'histoire culturale et par des caractéristiques du sol et de la MO. Elle montre également que des indicateurs du statut biologique du sol (biomasse microbienne) et de la minéralisation (fractionnement chimique) apportent une information complémentaire et non redondante. Nous avons de fait constaté que la qualité prédictive d'un modèle établi uniquement avec les caractéristiques physico chimiques du sol et l'indicateur Système est médiocre ($R^2 = 0.34$).

Nous pouvons douter à juste titre de l'opérationnalité d'un modèle requérant la mesure de 2 indicateurs et la détermination de la fraction particulaire de la MO. Nous montrons qu'un modèle renseigné par un seul des 2 indicateurs du modèle précédent, par l'indicateur Système et par des caractéristiques physico chimiques facilement accessibles (teneur en N, texture et CEC) constitue un bon compromis.

Thierry MORVAN



Ingénieur agronome ENSAIA Nancy (1985), titulaire du DEA Agronomie INPL (1985)

Thèse de Doctorat Université Paris 6, intitulée : 'Quantification et modélisation des flux d'azote résultant de l'épandage des lisiers', soutenue en novembre 1999

Ingénieur de Recherches à l'UMR INRA Agrocampus SAS de Rennes

Thématique principale : étude des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote dans les agrosystèmes