

Présentation et mise en œuvre d'AzoFert®, nouvel outil d'aide à la décision pour le raisonnement de la fertilisation azotée des cultures

J. M. Machet¹, P Dubrulle¹, N Damay², R Duval³, S. Recous¹, B. Mary¹, B. Nicolardot¹

¹INRA, Unité d'Agronomie de Laon-Reims-Mons, Rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex; unite.lrm@laon.inra.fr; auteur correspondant J. M. Machet

²Laboratoire Départemental d'Analyse et de Recherche, Rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex; ldar@cg02.fr

³Institut Technique de la Betterave, 45 Rue de Naples, 75008 Paris; itb@itbfr.org

La demande croissante en matière de productions de qualité et de protection de l'environnement d'une part, l'évolution des pratiques agricoles avec l'augmentation et la diversification des produits organiques d'autre part, exigent une adaptation du raisonnement et une gestion rigoureuse de la fertilisation azotée. Jusqu'à présent, un bilan prévisionnel statique pour calculer les doses d'engrais azotés appliqués aux cultures annuelles (Meynard *et al.*, 1997) constituait la base du modèle Azobil (Machet *et al.*, 1990), utilisé à grande échelle en France par les laboratoires d'analyses de sols et les conseillers agricoles. Les connaissances acquises au cours des dernières années sur la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols et sur le devenir de l'azote des engrais permettent de développer une approche dynamique de la méthode du bilan. AzoFert® est un nouveau logiciel d'aide à la décision pour la prévision de la fertilisation azotée des principales cultures annuelles de plein champ, à l'échelle de la parcelle.

Les aspects agronomiques nouveaux

AzoFert® est basé sur un bilan d'azote minéral complet, constitué de 19 postes comptabilisant l'ensemble des entrées et sorties d'azote. Il intègre une simulation dynamique des fournitures d'azote du sol. A l'ouverture du bilan (fin d'hiver pour les cultures d'automne, semis pour les cultures de printemps), le pool d'azote minéral du sol est mesuré sur la profondeur d'exploitation racinaire. Pour prendre en compte les contributions des résidus de culture, des cultures intermédiaires et des produits organiques apportés au stock d'azote minéral résiduel, la décomposition des différentes sources organiques est simulé (en utilisant les données climatiques réelles de l'année) de la récolte de la culture précédente jusqu'à l'ouverture du bilan. Le concept de « temps normalisé » est utilisé pour intégrer, par décade, les variations de température et d'humidité. De l'ouverture du bilan jusqu'à la récolte de la culture, les contributions nettes ultérieures des différentes sources organiques et la minéralisation nette de la matière organique humifiée sont simulées avec un temps normalisé calculé à partir des données climatiques moyennes (Figure 1).

Approche dynamique de la fourniture en azote

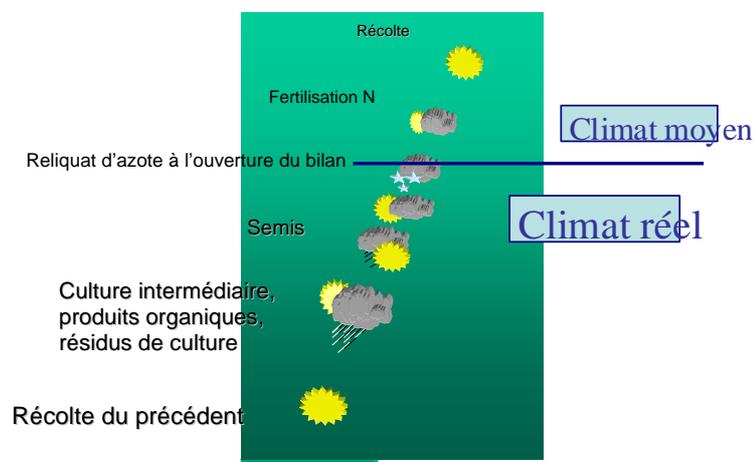


Figure n°1 : Prise en compte des dates et des techniques culturales pour l'approche dynamique

AzoFert® comprend un nouveau module pour évaluer la minéralisation de l'azote du sol et des matières organiques apportées. La minéralisation nette de l'azote est la somme de la minéralisation de la matière organique humifiée et de la contribution des différentes sources organiques. La matière organique humifiée est minéralisée dans les couches supérieures du sol. Le taux de minéralisation de ces couches est fonction d'un taux potentiel dépendant du pool d'azote organique humifié et de la texture du sol (taux d'argile et de calcaire) et de la température et de l'humidité du sol (Mary *et al.*, 1999). Le taux de minéralisation intègre également les effets des techniques culturales (apports et types de produits organiques, fréquence et espèces de cultures intermédiaires, non travail du sol). La décomposition des résidus de culture et des produits organiques entraîne de la minéralisation nette ou de l'organisation nette de l'azote dans le sol (Figures 2 et 3). Chaque résidu de culture et produit organique est caractérisé par une cinétique de décomposition spécifique, relative au carbone et à l'azote. La décomposition de ces produits est fonction de la nature des résidus organiques (caractéristiques chimiques et rapport C/N) et de la température et de l'humidité du sol (Nicolardot *et al.*, 2001).

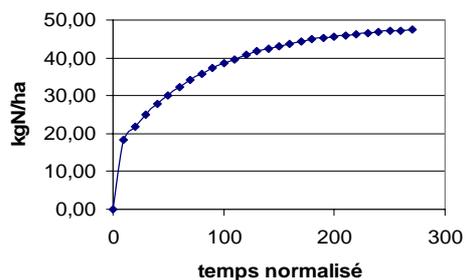


Figure n°2 : Cinétique de minéralisation de l'azote d'une vinasse de sucrerie

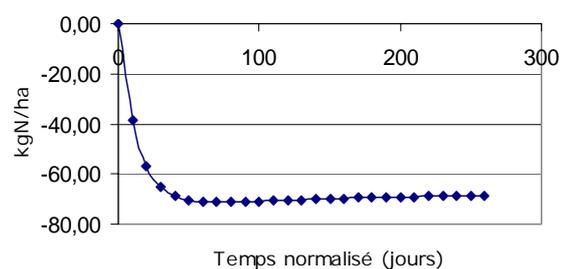


Figure n°3 : Evolution de l'azote lors de la décomposition d'une paille de blé

AzoFert® prend en compte les processus affectant la disponibilité de l'azote de l'engrais. Le modèle estime la volatilisation d'ammoniac et l'organisation microbienne aux dépens de l'engrais. Les expérimentations de fertilisation, utilisant l'isotope ^{15}N , sur différentes cultures dans le climat tempéré du Nord-Ouest de l'Europe ont montré que l'organisation de l'azote par la microflore hétérotrophe du sol et les pertes gazeuses sont en compétition avec l'absorption par la plante pour l'azote de l'engrais (Recous *et al.*, 1997). La volatilisation d'ammoniac est estimée par un modèle simple prenant en compte des caractéristiques du sol (pH, capacité d'échange cationique), la forme de l'engrais (physique et chimique), le mode d'apport (en surface du sol ou dans le sol) et le développement de la culture à la date d'apport de l'engrais. La quantité d'azote organisé de l'engrais est déterminée à partir de la disponibilité en carbone (carbone venant de la rhizodéposition, des résidus de culture et des produits organiques) et d'un rapport d'organisation (N organisé / C décomposé) qui varie avec la disponibilité en azote (Mary *et al.*, 1996).

La version actuelle du logiciel fournit une prévision de la fertilisation azotée pour 40 cultures annuelles : céréales (céréales d'hiver et de printemps, maïs), cultures industrielles (colza, betterave à sucre, lin) et cultures légumières de plein champ (pommes de terre, carottes, oignons, haricots, endives, épinards,...), pour lesquelles les besoins en azote et le cycle de développement sont connus. Pour certaines espèces comme les pommes de terre, les données intégrant la longueur du cycle de la culture et l'objectif de production permettent d'évaluer les besoins en azote autrement que par des valeurs forfaitaires (Chambenoit *et al.*, 2002).

Conception informatique et fonctionnement

Le logiciel AzoFert® est développé en Visual Basic et fonctionne sous les environnements Windows 9X et XP (Dubrulle *et al.*, 2003). Les utilisateurs peuvent modifier facilement les paramètres pour les adapter à des situations culturales et des contextes pédoclimatiques variés en utilisant une interface de paramétrage qui gère différents catalogues (sols, cultures, produits organiques, résidus de culture,...) et des tableaux. Le logiciel est conçu pour être intégré facilement dans le système de gestion de données d'un laboratoire d'analyses de sols en utilisant des fichiers d'entrées / sorties. Le système élabore un fichier d'entrée pour AzoFert et lit un fichier de sortie à partir d'AzoFert dans le but de créer un bulletin de résultats comprenant l'interprétation et les recommandations de fertilisation azotée.

Données d'entrée

Les données d'entrée permettant l'élaboration du fichier d'entrée sont constituées des résultats du laboratoire et de renseignements à partir d'un questionnaire rempli par l'agriculteur.

Les données relatives au sol sont les teneurs en argile vraie, sables, calcaire total, carbone organique, azote total, le pH de l'horizon de surface, le pourcentage de cailloux, la profondeur de labour et la profondeur de sol exploitable par les racines des plantes. Il est demandé à l'agriculteur des informations sur le travail du sol (labour permanent ou occasionnel, pas de labour), la gestion de ses résidus de culture, sa politique de restitutions organiques (apports de produits organiques, type de produits, fréquence d'apports), l'implantation de cultures intermédiaires (espèces, fréquence d'implantation).

Pour le précédent cultural sont indiqués la nature de la culture, son rendement, la fertilisation azotée apportée, la date de récolte, la gestion des résidus (incorporation, exportation ou laissé en surface) et la date d'incorporation de ces résidus le cas échéant. Dans le cas d'une fertilisation organique, la nature du produit organique, la quantité apportée et la date d'apport sont nécessaires. Si une analyse du produit existe, les teneurs en carbone, azote total et azote minéral sont aussi indiquées. En présence d'une culture intermédiaire, la nature de la culture, son rendement, la date d'implantation et la date de destruction sont demandés.

Pour la culture à fertiliser, les renseignements suivants sont exigés : la nature de la culture, la date d'implantation et la date de récolte, le type d'engrais apporté et le mode d'apport, l'information sur l'irrigation, les rendements escomptés pour les cultures à besoins en azote proportionnels au rendement, le stade de développement pour les céréales et le colza d'hiver

Données de sortie

Le bulletin comprend 4 pages. Sur la première page sont indiqués les renseignements administratifs concernant l'agriculteur, les résultats d'analyse du laboratoire, ainsi que la dose totale d'azote à apporter à la culture. Sur la seconde page, les informations données par l'agriculteur et des commentaires sur celles-ci sont édités. La troisième page comporte les recommandations de doses pour différents objectifs de rendement, le fractionnement des apports le cas échéant et des commentaires relatifs à l'interprétation faite par AzoFert®. Sur la dernière page est indiqué le plan de fumure prévisionnel, qui reprend l'ensemble des postes du bilan utilisé pour le calcul de la dose d'azote.

Validation d'AzoFert® pour la culture de betterave à sucre

Un travail de validation a été effectué par l'Institut Technique de la Betterave (ITB) pour tester les recommandations de fumure azotée. Plus de 60% des parcelles de betteraves sont échantillonnées à la fin de l'hiver pour mesurer la quantité d'azote minéral dans le sol avant le calcul de la dose d'azote par la méthode du bilan prévisionnel. Par ailleurs, les situations dans lesquelles la betterave est cultivée présentent une large gamme de variation (différents types de sols, apports de produits organiques variés, implantation de cultures intermédiaires, présence ou absence d'irrigation). La base de données utilisée pour l'étude porte sur 9 années d'essais azote, conduits par l'ITB de 1990 à 1998, dans les différentes régions betteravières. Chaque essai comporte une courbe de réponse avec 4 à 6 doses d'azote (comportant toujours un traitement témoin sans azote). La dose calculée par AzoFert® est située sur la courbe de réponse et comparée à l'optimum, qui correspond à la dose d'azote permettant d'atteindre le rendement maximal de sucre. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation d'AzoFert® conduit à une amélioration de la précision des conseils de fumure azotée et que le nombre de cas de surfertilisation diminue significativement.

Bibliographie

- Chambenoit, C., Laurent, F., Machet, J.M., & Scheurer, O. 2002. Fertilisation azotée de la pomme de terre. Guide pratique (Eds Agro-Transfert, Inra, Itcf/Itpt), 128 p.
- Dubrulle, P., Machet, J.M., N. & Damay, N. 2003. Azofert : a new decision support tool for fertiliser N recommendations. Abstracts for the 12th Nitrogen Workshop, 21st – 24th September, Exeter, Devon, UK.
- Machet, J.M., Dubrulle, P., & Louis, P. 1990. Azobil : a computer program for fertiliser N recommendations based on a predictive balance sheet method. Proc. of 1st Congress of the European Society of Agronomy, S2 P21.
- Mary, B., Recous, S., Darwis, D., & Robin, D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil*, **181**, 71-82.
- Mary, B., Beaudoin, N., Justes, E., & Machet, J.M. 1999. Calculation of nitrogen mineralisation and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. *European Journal of Soil Science*, **50**, 549-566.
- Meynard, J.M., Justes, E., Machet, J.M., & Recous, S. 1997. Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes* (eds. G. Lemaire and B. Nicolardot). Les colloques de l'INRA, **83**, 183-200.
- Nicolardot, B., 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.
- Recous, S., Loiseau, P., Machet, J.M., & Mary, B. 1997. Transformations et devenir de l'azote de l'engrais sous cultures annuelles et sous prairies. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes* (eds. G. Lemaire and B. Nicolardot). Les colloques de l'INRA, **83**, 105-120.