CIRCULATION DE L'AZOTE APPORTÉ DANS LES SYSTÈMES AGRICOLES

L'AZOTE INTÈGRE POUR UN TIERS LES MATIÈRES ORGANIQUES

Malgré beaucoup de corrélations empiriques entre l'azote apporté, la reprise par les cultures et les fuites de nitrates, la circulation et la redistribution dans les différents compartiments du sol de l'azote apporté par les engrais (de synthèse ou de ferme) sont très mal comprises. Cette étude très originale, mise en place en 1982, grâce à de l'azote tracé (N15), lève le rideau sur la boîte noire « sol ». Elle a permis de quantifier non seulement la partie prélevée par les cultures mais aussi celle retenue dans les matières organiques. Elle a aussi apporté une évaluation du niveau de la redistribution dans le temps de cet azote stocké dans les matières organiques pour subvenir aux cultures suivantes ou être entraîné par l'eau de ruissellement sous la forme de nitrates.

Beaucoup d'études ont été menées pour déterminer la fraction de l'azote (de synthèse) apporté qui se retrouvait dans la culture. En général, elles ont montré que cette proportion n'était que de 40 à 60 % maximum, sachant que le reste se retrouve dans le sol et contribue aux fuites de nitrates. C'est ici l'expression de ce fameux CAU (coefficient apparent d'utilisation) qui est certainement plus faible dans les situations ACS, bien que le risque de lessivage soit bien maîtrisé grâce à la pratique des couverts végétaux. Cependant, aucune étude n'avait, jusqu'alors, cherché à évaluer le devenir de cet azote retenu dans le sol et regardé à quelle vitesse il se retrouvait redistribué pour les futures cultures ou lessivé.

Un dispositif expérimental simple

Cette étude a permis de suivre l'évolution de la circulation et le devenir d'azote isotopique (N15) sur des casiers lysimétriques pendant presque trois décades (1982-2012) dans le nord de la France. L'objectif de cette expérimentation était de déterminer le niveau de prélèvement de cet azote par les cultures, d'évaluer le temps de résidence moyen de cet engrais azoté dans la matière organique du sol et enfin de suivre sa contribution à l'azote lessivé sous la forme de nitrates.

Le dispositif expérimental mis en place est assez simple. Sur deux casiers lysimétriques de 2 m x 2 m x 2 m (profondeur de sol de 2 m assez courant de la région), la rotation mise en place a été betterave/blé avec travail du sol et sans couvert. La première année, le blé d'un bloc (Blé 1) a reçu une fertilisation de 120 kg de N tracé et 150 kg pour l'autre bloc conduit en betterave (Bet 1). Ensuite, la fertilisation moyenne pendant toute la durée du suivi a été de 120 kg N/ha/an avec de l'azote conventionnel. Pour chaque année, les quantités de N exportées par la récolte de la betterave et du blé sont mesurées avec une détermination de l'azote tracé comme l'azote qui s'échappe dans l'eau de drainage. Ainsi, et avec une bonne maîtrise des entrées et des sorties, il est facile de suivre dans le temps l'évolution et le devenir de l'azote appliqué au démarrage de l'expérience en 1982.

Après l'application de l'azote tracé, le pic de lessivage a été atteint pour la modalité Blé 1 (culture d'entrée) après 19 mois avec 47,3 % de l'azote apporté dans l'azote lessivé alors que le pic n'a été atteint qu'au bout de 55 mois sur la modalité betterave (Bet 1) avec 53,5 %. Ces chiffres semblent logiques au vu de l'épaisseur du sol des dispositifs expérimentaux (2 m avec une lame drainante annuelle comprise entre 35 et 55 cm en fonction de la pluviométrie et les cultures), mais aussi du fait que l'interculture derrière blé n'était pas couverte (lessivage plus rapide) alors que la betterave, se développant jusqu'à l'automne, est un excellent « Cipan : culture intermédiaire piège à nitrates » qui peut

F. THOMAS

Au-delà de montrer un temps de résidence beaucoup plus long que ce que beaucoup estiment, cette étude doit nous faire prendre conscience que les quantités avec lesquelles nous travaillons afin de déterminer les doses d'azote à apporter (méthode des bilans) sont en fait le reflet du bilan des échanges entre les plantes, le sol et son activité biologique. Les quantités circulant et échangées sont beaucoup plus importantes et certainement plus proches du double de la quantité réellement collectée et stockée dans la partie végétale pendant une saison culturale.

même réduire la disponibilité en azote pour le blé qui suit en fonction de la date d'arrachage. Ensuite, les pourcentages des sorties d'azote isotopique dans le lessivage se sont réduits progressivement pour atteindre 20 % en 1990, 10 % en 1996 pour se résumer à 3,2 et 5,3 % dans chaque casier lysimétrique en 2008. Finalement, et pendant la totalité de la période, c'est entre 8 et 12 % de l'apport d'azote isotopique de départ qui ont été perdus par lessivage. Ces mesures confirment que l'azote isotopique apporté en 1982 continue de sortir par lessivage même en quantités infinitésimales mais atteste d'une rétention assez significative dans le système sol-plante alors que la porosité du sol a été lavée plus de dix fois pendant la période d'observation (pluviométrie vs ETP).

Concernant la partie prélevée par les cultures, la première année, la betterave a exporté 23 % de l'azote tracé contre 34 % pour le blé. Ces chiffres, qui sont tout à fait cohérents par rapport aux besoins de la plante entière, nous ramènent à des CAU de 50,4 et 45,2 % respectivement. La différence entre les deux cultures est également intéressante car elle montre la forte dépendance du blé envers une fertilisation azotée, culture dont les besoins précèdent la minéralisation alors que la betterave, qui est pourtant plus exigeante comme la majorité des cultures d'été, s'appuie beaucoup plus sur la minéralisation pour subvenir à la majorité de ses besoins.

Ensuite cette partie d'azote N15 retrouvée dans la récolte des cultures décroît rapidement. Elle est encore de 6,7 % (Bet 1)

et 11,9 % (Blé 1) en 1987 (après 5 ans tout de même) puis de seulement 2,8 et 3,8 % respectivement en 2009 (27 ans après l'application). Les résultats de cette expérimentation montrent clairement que l'azote apporté au sol est loin d'être entièrement disponible pour les cultures. La grande majorité du solde ne s'échappe pas non plus par lessivage mais se retrouve assez fortement captée et intégrée dans différents compartiments et, entre autres, les matières organiques et l'activité biologique. Il sera en revanche redistribué ensuite lentement dans le temps : une forme d'intérêts. C'est pour cette raison que nous devons apprendre à raisonner en flux plutôt qu'en quantité, même si le volume nécessaire reste identique. Enfin, il est clair qu'en agriculture de conservation, avec un niveau de résidus en surface plus carboné, des niveaux organiques supérieurs et une activité biologique plus dynamique, la part disponible pour la culture se trouve encore réduite vu la compétition des autres compartiments sur l'azote. Nos CAUs sont donc généralement plus réduits et limitent fortement les risques de fuites. Cela peut sembler paradoxal mais il est impossible de garder et de voir circuler plus de carbone dans les sols sans adjoindre de l'azote !

L'azote va continuer de « fuir » durant cinq décennies

Trois années après le lancement des mesures, le pourcentage d'azote isotopique dans l'azote total du sol (essentiellement MO) atteignait un niveau maximum avec 9,8 % (Bet 1) et 10,5 % (Blé 1). Ensuite les valeurs ont chuté de manière exponentielle pour atteindre 4,15 et 5,22 % respectivement en 2009. Vu autrement, cela représente tout de même 32,3 % (Bet 1) et 37,4 % (Blé 1) de l'apport initial d'azote isotopique détecté dans les matières organiques 3 ans après l'application. L'affaire est logique puisque la culture de blé a accroché une bonne partie de cet azote dans des pailles à C/N élevé pour une vitesse de décomposition/minéralisation plus lente que les résidus de betterave. Ensuite la quantité de N tracé retrouvé dans le sol s'est érodée d'environ 0,9 % par an. Cependant à la fin du suivi, en 2009, on retrouvait encore, intimement incorporé dans les matières organiques, 11,8 % de l'azote tracé du départ dans la modalité Bet 1 et 14,9 % dans la modalité Blé 1. Cette éduction progressive de l'azote conservé dans les matières organiques alimente, logiquement, la partie d'azote tracé que l'on retrouve dans les récoltes mais aussi dans le lessivage. À ce titre, les chercheurs estiment que l'azote tracé apporté en 1982 va continuer de « fuir » pendant encore cinq décades.
Ces données renforcent l'idée qu'une bonne partie de l'azote apporté est intégrée dans les matières organiques et se retrouve distribuée encore plus de 25 ans plus tard. Ce raisonnement s'applique évidemment aussi à l'azote organique et, entre autres, celui apporté par les couverts végétaux et les légumineuses. Pour continuer, voire augmenter ces retours et ces flux, il faut donc constamment recharger le système. C'est le seul moyen de faire croître l'autofertilité tout en privilégiant une croissance organique.

Et la volatilisation !

Le suivi de l'azote tracé dans les cultures, les matières organiques du sol et le lessivage fait apparaître un delta assez important la première année de l'expérimentation. Seulement 88 % sont comptabilisés dans la modalité Bet 1 contre 95 % pour la modalité Blé 1. Ce différentiel révèle certainement les pertes gazeuses par volatilisation sous la forme de NH_3 ou de dénitrification (N_2 et N_2O). La différence importante qui

20 ans de savoir faire pour ceux qui entrent en transition vers le semis direct.

CLAYDON
LOVE YOUR SOIL

Quel système de semis apporte autant de sécurité ?

Pionnier du strip-till en bandes, Claydon offre un système à dents qui combine fissuration et semis, double ou simple distribution, en modèle traîné ou semi-porté, ainsi qu'une gamme de herses à paille, de bêches roulantes et de bineuses longuement testées sur la ferme familiale Claydon.

Consultez-nous pour connaitre votre revendeur Claydon !
Victor Havet : tél. 07 70 09 15 50 victor.havet@claydondrill.com

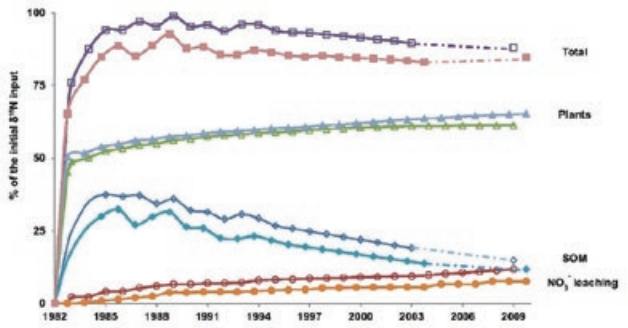
CLAYDON
claydondrill.com

Mesures et résultats

ÉVOLUTION À LONG TERME DES ENGRAIS AZOTÉS DANS LE SOL

Alors qu'il est généralement admis que la grande majorité de l'engrais azoté apporté est consommée par la culture et perdue par lessivage, ce suivi dans le temps montre qu'il en est tout autre. Le devenir de l'azote épandu dans le système sol-plante-activité biologique est beaucoup plus complexe avec beaucoup de transferts et d'inertie. Ce ne sont que 61,3 % (modalité Blé 1) et 65 % (modalité Bet 1) de l'azote N15 apporté en 1982 qui ont été prélevés par la récolte des cultures et exportés pendant la totalité de cette période. Ce suivi révèle qu'un bon tiers de l'apport passe en fait dans l'activité biologique et les matières organiques qui continuent à se minéraliser lentement afin de rétrocéder cet azote d'origine aux végétaux en place ou de contribuer au lessivage. En fin de période, 30 ans plus tard, ce sont 12-15 % de cet azote tracé qui sont encore intégrés aux matières organiques. Ce sont aussi 8-12 % de l'azote qui ont fui sous la forme de nitrates pendant la même période, sachant qu'une grande partie arrive pendant les premières saisons culturales. La mise en place de couverts devrait permettre de fortement limiter cette perte et même d'entrer plus d'azote avec des légumineuses qui viendra logiquement renforcer l'azote du compartiment organique. Enfin le bilan de l'évolution de ces trois compartiments fait apparaître un delta qui correspond certainement à la partie perdue par volatilisation et dénitrification.

Evolution à long terme des engrais azotés dans le sol



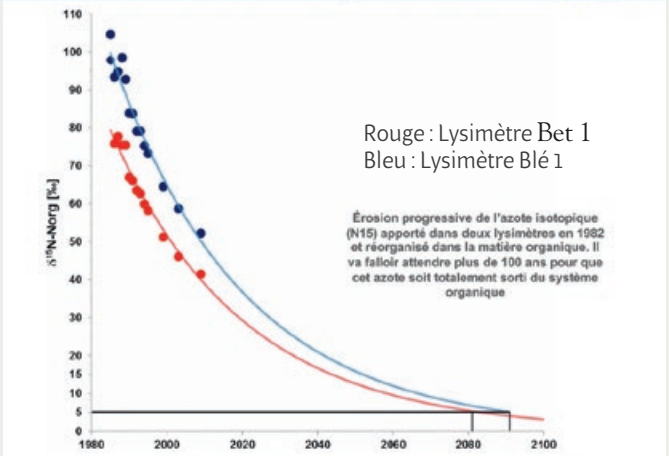
Evolution cumulée d'un engrais azoté tracé (N15) en pourcentage de l'apport initial entre les plantes, les matières organiques du sol et les pertes par lessivage. Modalité Bet 1 symbole pleins et Blé 1 symbole vides.

Mathieu Sebilo, Bernhard Mayer, Bernard Nicolardot et al. 2013

VITESSE DE SORTIE DE L'AZOTE INTÉGRÉ DANS LA MATIÈRE ORGANIQUE

Ce modèle, qui prolonge les mesures de la sortie très progressive de l'azote tracé des matières organiques, suggère qu'il va falloir environ une centaine d'années pour que tout l'azote apporté en 1982 soit ressorti du système : 5 % d'azote isotopique étant le taux de présence naturel qui explique le 105 du départ dans la modalité Blé 1. Même si cette inertie peut sembler surprenante, elle représente certainement assez bien ce qui se passe dans le système sol-plante-activité biologique avec des données qui sont sans doute assez proches pour le carbone. Cette forme d'inertie que l'on a du mal à intégrer avec de l'azote de synthèse, pourtant pressentie comme très rapidement assimilable, est décuplée avec l'azote organique issu des engrais de ferme mais aussi des résidus et des couverts. Il faut accepter que cet azote, déjà en lien avec du carbone, intègre avant tout le compartiment organique et biologique. C'est ensuite au cours d'une masse importante d'échanges qu'une petite partie sera progressivement libérée et disponible pour les cultures et les couverts. Ce que nous avons défini par « autofertilité ». Il convient donc d'être prudent et patient sur les retours, tout en étant agressif sur le niveau de stockage !

Vitesse de sortie de l'azote intégré dans la matière organique



Mathieu Sebilo, Bernhard Mayer, Bernard Nicolardot et al. 2013

apparaît entre les deux modalités fait certainement ressortir l'impact de la période et surtout des conditions d'application de l'engrais azoté au départ : le blé avait été fertilisé début mars contre début avril pour la betterave. Ensuite, et pendant le reste du suivi, ce déficit a continué de s'accroître légèrement pour atteindre tout de même 15, 3 % de l'azote tracé pour la modalité Bet 1 et 12,1 % pour la modalité Blé 1. Le sol n'est évidemment pas un milieu fermé et de l'azote comme de l'oxygène et du carbone y rentrent et en ressortent, sachant que ces chiffres sont relativement conformes à ceux rapportés dans la littérature scientifique.

Ces résultats, qui peuvent être surprenants à plusieurs points de vue, sont cependant extrêmement logiques au vu des observations que beaucoup font dans les réseaux ACS : l'azote se lie très facilement au carbone dans les matières organiques et ressort que très progressivement ! Ils montrent l'importance de la matière organique comme « tampon » pour limiter les risques de pollution diffuse en accompagnement des couverts végétaux. Ils attestent également l'idée qu'en ACS, avec un environnement de surface très carboné et donc chroniquement en sous azote, une part encore plus importante de l'azote apporté est directement intégrée dans les matières organiques et l'activité biologique, réduisant d'autant le CAU des apports. Un constat qui plaide en faveur d'apports plus précoces et plus massifs, notamment sur les céréales au printemps. Paradoxalement, cet azote immobilisé a beaucoup moins de risques de se retrouver dans les eaux de drainage et sera restitué sous forme de flux dans le système à des périodes où la végétation est plus en demande : la minéralisation est très liée à la climatologie comme la croissance végétale d'ailleurs. Charger le système organique des sols en azote, c'est donc le moyen de gagner en autofertilité mais aussi en santé végétale sans risque pour l'environnement.

Frédéric THOMAS, d'après la publication de Mathieu SEBILO, Bernhard MAYER, Bernard NICOLARDOT, Gilles PINAY et André MARIOTTI (2013)[1]

(1) Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils, publié dans Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) le 21 octobre 2013

Les résultats et cet article ne doivent pas remettre en cause les besoins des cultures et les chiffres que nous utilisons dans nos bilans de fertilisation. Ils sont assez justes mais il va falloir admettre qu'une grande partie de l'azote apporté passe inévitablement par le compartiment « matières organiques » et cela d'autant plus que l'on ne travaille pas ou peu le sol avec en plus des couverts végétaux. Il convient donc de raisonner plus comme un train où il faut charger les derniers wagons pour que les premiers deviennent disponibles. Sachant que la croissance de l'autofertilité passe par une immobilisation organique temporaire.

agriculture-de-conservation.com
est heureux de mettre à votre disposition cet article issu de la **revue TCS**.

La vocation du site est d'encourager le partage d'informations dans l'objectif d'assurer la promotion d'une agriculture vertueuse, productive et soucieuse de préserver les sols.

Dans cette optique, vous pouvez faire libre usage du contenu de cet article, le diffuser, l'utiliser à la condition d'indiquer son origine.

Merci de jouer le jeu !

Pour vous abonner à TCS :
S'abonner en ligne

TCS
Techniques Culturales Simplifiées