

EFFICACITÉ D'UTILISATION DES ENGRAIS AZOTÉS



L'Introduction

L'azote (N) est à la fois abondant et rare : Il constitue environ 78% de notre atmosphère, mais cet azote est sous une forme qui n'est pas utilisable par les plantes ou les animaux. Ce n'est qu'après avoir été converti de la forme très stable N_2 en ammonium (NH_4^+) ou en nitrate (NO_3^-), qu'il peut être absorbé par les plantes. Ce n'est qu'au cours du dernier siècle que la fixation industrielle à grande échelle d'azote par le procédé Haber-Bosch a été disponible, mais elle s'est développée au point que la moitié de la production alimentaire mondiale est attribuée aux engrais azotés créés par le procédé Haber-Bosch (Ladha et al., 2005).

Cette augmentation d'azote disponible s'accompagne d'une augmentation des pertes d'azote dans l'environnement. De l'azote au mauvais endroit peut être nocif pour les eaux souterraines (contamination de l'eau potable par les nitrates), les eaux de surface (prolifération d'algues nuisibles et hypoxie dans les milieux marins), les forêts (changement d'espèces dû à l'augmentation de l'apport d'azote par les dépôts atmosphériques), l'air (smog et « brume blanche » dus à la combinaison de l'ammoniac avec les gaz d'échappements des voitures) et le climat (l'oxyde nitreux est l'un des « trois grands » gaz à effet de serre, avec le dioxyde de carbone et le méthane).

Les formes d'azote disponibles pour les plantes sont principalement le nitrate (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+). Cela signifie que l'azote doit être sous ces formes pour que la plante puisse l'utiliser. La plupart des engrais chimiques se présentent sous ces formes (nitrate de calcium, sulfate d'ammonium, etc.) ou sont rapidement convertis en une forme assimilable par les plantes. En revanche, la plupart des engrais organiques (fumiers, composts, digestats, etc.) doivent être convertis par les microbes du sol doivent d'abord être convertis par les microbes du sol en une forme assimilable par les plantes. Le NH_4^+ et le NO_3^- des engrais chimiques et organiques sont identiques aux plantes ou aux pertes dans l'environnement (figure 1). Les engrais organiques sont souvent appelés engrais « à libération lente », car la conversion d'azote organique en azote assimilable par les plantes s'effectue au fil du temps (jours, semaines, mois, parfois années).

Il arrive que la fertilité de l'azote appliqué soit perdue - cela peut être dû à un épandage dépassant les besoins de la culture, aux conditions du sol (c'est-à-dire trop froid et humide, ou trop chaud et sec), ou à un certain nombre d'autres conditions environnementales et biologiques. Ces pertes peuvent se faire vers le bas dans le profil du sol, pour finir par être lessivées dans les eaux souterraines, ou vers le haut dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac ou de gaz hilarant dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac ou d'oxyde nitreux (un gaz à effet de serre).

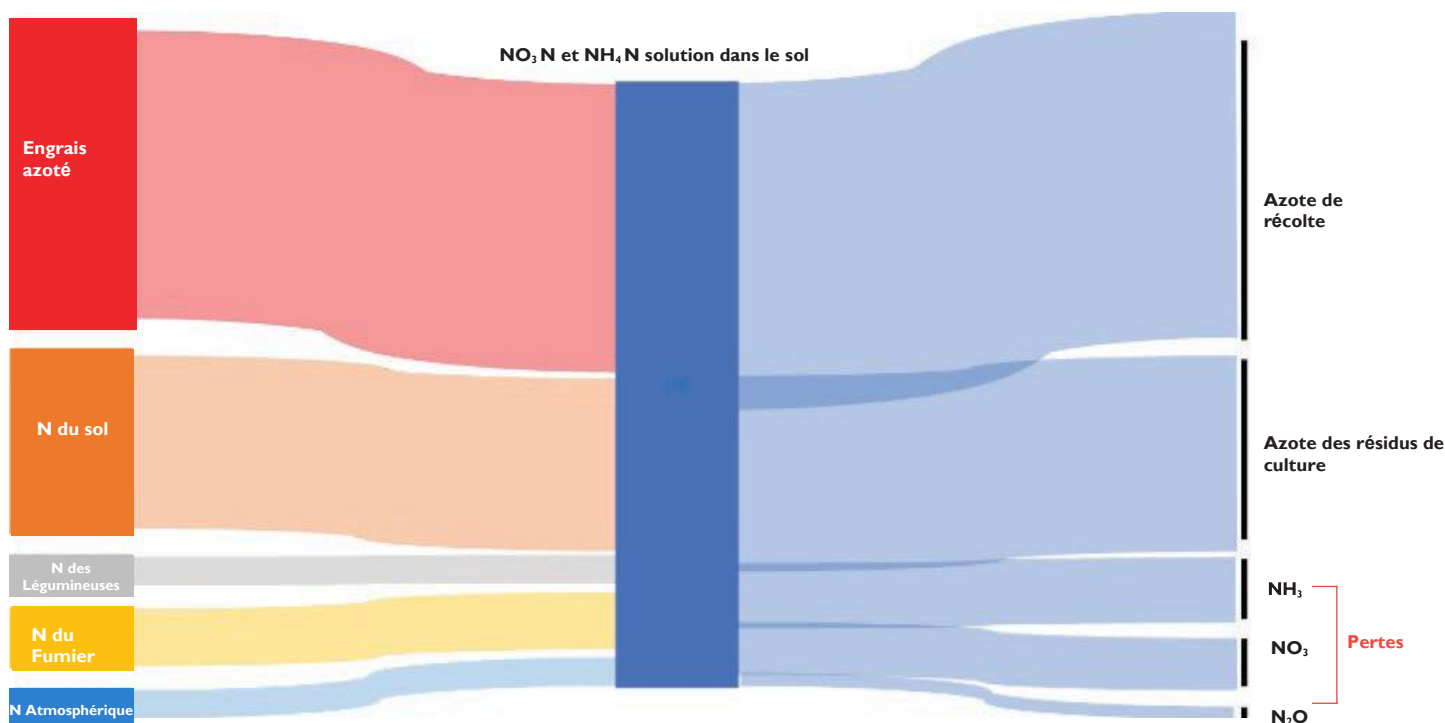


Figure 1. Flux d'azote dans un système de culture typique. Quelle que soit la source ou la forme de l'azote ajouté au sol, il est converti en $\text{NH}_4\text{-N}$ ou $\text{NO}_3\text{-N}$ avant d'être absorbé par les plantes ou perdu dans l'environnement.

L'objectif de la gestion des engrais azotés devrait être de maximiser la quantité d'engrais que nous appliquons et qui pénètre dans les cultures. Cela aura un impact sur le bénéfice de la production agricole en maximisant le rendement économique des dépenses en engrais et en minimisant le risque d'impact sur l'environnement. L'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs dans les cultures ($\text{NUE}_{\text{culture}}$) est un outil qui permet de mesurer ces deux aspects. Elle est calculée comme le rapport entre la quantité d'azote récupérée dans le rendement et la quantité d'azote appliquée en tant qu'engrais.

$$\text{NUE}_{\text{culture}} = \frac{\text{Rendement de la culture} \times (\% \text{N dans la culture})}{(\text{N appliqué comme (engrais, fumier, légumineuses)})} \times 100$$

Cela peut indiquer dans quelle mesure les applications d'engrais sont utilisées par la culture. Ce calcul est simple pour les cultures où toute la biomasse de la plante est récoltée dans le champ (par exemple, le maïs d'ensilage), mais il est plus complexe lorsque les cultures récoltées laissent des résidus importants. Par exemple, après la récolte des choux, environ 80 livres N/acre est retiré avec la culture, et 100-120 N/acre est laissé dans le champ sous forme de feuilles, de tiges et de racines. Ce calcul ne prend pas non plus en compte les taux de minéralisation du sol. Il convient également de noter que ces calculs ne s'appliquent pas aux cultures de légumineuses, qui fixent l'azote de l'air dans les nodules de leurs racines.

NUE peut être mesurée de différentes manières. La plus simple consiste à diviser l'azote retiré dans la partie récoltée de la culture par la quantité d'engrais azoté qui a été appliquée ($\text{NUE}_{\text{culture}}$). Cette mesure est facile à déterminer, mais elle ne tient pas compte de l'azote que le sol aurait pu fournir, et peut donc surestimer l'efficacité du système. Les essais de recherche utilisent souvent l'augmentation du rendement plutôt que le rendement total dans ce calcul ($\text{NUE}_{\text{réponse}}$), mais cela nécessite une bande de contrôle sans azote. Les chiffres calculés pour $\text{NUE}_{\text{réponse}}$ (réponse à l'engrais azoté) seront inférieurs à ceux de $\text{NUE}_{\text{culture}}$.

Un rapport $\text{NUE}_{\text{culture}}$ de 1 indiquerait que l'engrais azoté appliqué correspond exactement à l'azote dans la récolte de la culture, et un chiffre inférieur à 1 indique que tout l'azote n'a pas été récupéré et qu'il y a une perte d'azote. Un objectif de $\text{NUE}_{\text{culture}}$ de 1 n'est pas réaliste car certaines pertes et inefficacités sont inévitables, et même une valeur supérieure à 0,9 indique que l'azote est extrait de la matière organique du sol (Groupe d'experts de l'Union Européenne (UE) sur l'azote (2015)). Un excédent d'azote supérieur à 80 kg/ha, ou un $\text{NUE}_{\text{culture}}$ inférieure à 0,5, indique des applications d'azote excessives et un risque élevé de pertes d'azote. Globalement, l'efficacité de l'utilisation de l'azote pour la production céréalière (blé, maïs, riz, orge, sorgho, millet, avoine et seigle), exprimée en $\text{NUE}_{\text{culture}}$, est d'environ 66 % (Raun & Johnson, 1999). Les facteurs qui réduisent la quantité d'azote disponible pour l'absorption par les plantes, tels qu'un résidu présentant



un rapport carbone/azote élevé ou des sols saturés, réduisent le $NUE_{culture}$.

Interprétation des valeurs NUE pour votre champ:

Les valeurs de $NUE_{culture}$ varieront davantage d'un champ à l'autre ou d'une année à l'autre que les moyennes régionales à long terme. Le suivi de $NUE_{culture}$ de votre exploitation est un bon indicateur de l'efficacité de votre programme de fertilisation, tant sur le plan économique que sur le plan environnemental.

NUE supérieur à 0,9

À première vue, cette situation semble positive : vous récoltez plus d'azote qu'il n'en a été épandu, ce qui est un pur bénéfice pour vous. En réalité, les quantités d'azote que vous récoltez doivent provenir de quelque part.

Une seule année où NUE est élevé n'est pas nécessairement inquiétante. Il peut s'agir d'azote organique provenant d'épandages antérieurs de fumier ou d'un labour de légumineuses qui a été minéralisé cette année-là, ou encore de conditions de croissance idéales qui ont permis à des cultures vigoureuses d'absorber plus d'azote du sol que d'habitude.

Les valeurs élevées et continues de NUE indiquent une sous-fertilisation chronique, de sorte que l'azote contenu dans la matière organique du sol est exploité pour soutenir la croissance des cultures. Cela n'apparaîtra pas immédiatement car les réserves d'azote organique dans la matière organique du sol sont importantes (un sol contenant 4 % de matière organique contient environ 4 000 lb/acre d'azote organique), et nous savons qu'une certaine proportion de cette matière se minéralise chaque année et est absorbée par les plantes. Une valeur comptable approximative est que pour chaque 1 % de matière organique, on peut s'attendre à ce que 15 à 20 livres de N/acre soient minéralisées à partir de ce pool d'azote minéralisé chaque cycle. Il arrive que notre gestion du sol conduise à une décomposition nette de la matière organique et que la libération d'azote minéralisé soit l'effet secondaire de cette décomposition. L'application d'engrais azoté n'inversera pas ce processus, mais augmentera l'excès d'azote dans le sol. Un NUE élevé, supérieur à 0,9, peut être un signal d'alarme pour la gestion du sol.

NUE entre 0,5 et 0,9

Dans cette fourchette, les cultures utilisent généralement les engrais azotés de manière efficace, de sorte que les pertes pour l'environnement sont modérées. D'un point de vue économique, le fait de maintenir NUE aussi près que possible du haut de cette fourchette fera une énorme différence pour le résultat final. Si vous appliquez 200 lb. N/acre d'engrais à votre culture de pommes de terre et que vous avez un NUE de 0,5, cela signifie que 100 livres d'azote appliqué ne sont pas utilisées par la culture et sont perdues dans l'environnement n'est pas utilisé par la culture, ce qui revient en quelque sorte à brûler de l'argent. Si vous appliquez 200 livres de N/acre d'engrais

à votre culture de pommes de terre et que vous avez un NUE de 0,9, cela signifie que vous ne perdez que 20 lb. N/acre. Dans une année où vous payez 1400 \$/tonne d'urée, cette augmentation de l'efficacité équivaut à une économie de plus de 110 \$/acre. C'est dans cette fourchette que les outils de la gestion des éléments nutritifs 4R sont susceptibles d'apporter des avantages en termes d'amélioration de NUE et de la rentabilité.

NUE moins de 0,5

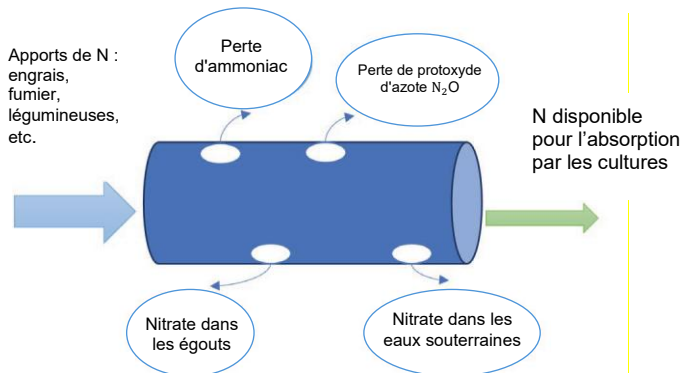
Dans cette fourchette, plus de deux livres d'azote ont été appliquées pour chaque livre d'azote dans le rendement de la récolte. Des chiffres de cet ordre peuvent apparaître occasionnellement, même dans les meilleures exploitations, mais uniquement en cas de mauvaises récoltes dues à la sécheresse, au gel ou à d'autres catastrophes naturelles. Dans ce cas, le mieux que nous puissions faire est de reconnaître qu'il restera plus d'azote que d'habitude dans le sol et d'essayer de le gérer en plantant des cultures de couverture pour l'absorber.

Des chiffres constants dans cette fourchette indiquent que les applications d'engrais sont beaucoup plus élevées que nécessaire. Il peut s'agir d'attentes irréalistes en matière de rendement ou d'applications à des moments où les pertes d'azote sont élevées, de sorte que l'azote appliqué n'arrive pas jusqu'à la culture. Un faible NUE peut se produire dans les exploitations d'élevage où l'azote provenant des applications de fumier n'est pas correctement crédité ou lorsque les applications de fumier ne sont pas gérées de manière à optimiser l'apport d'azote à la culture.

Une gestion fine d'azote n'aura que peu d'effet si NUE est aussi faible. Il est temps d'examiner sérieusement les taux d'application d'azote.

Absorption d'azote par les cultures

Il est important de comprendre comment l'azote arrive dans la culture et comment il peut être perdu pour que les producteurs puissent optimiser l'utilisation des engrais (figure 2). Les technologies modernes de fertilisation ont été développées pour cibler des réductions dans des voies spécifiques de perte d'azote et pour augmenter la quantité d'azote qui reste disponible pour la culture.





FICHE D'INFORMATION

DÉCEMBRE 2022 | ©Perennia 2022

Figure 2. Le modèle du « tuyau percé » de l'efficacité de l'utilisation d'azote (N). Certaines fuites sont inévitables, mais l'objectif est de les minimiser.

L'azote est transporté jusqu'aux racines des plantes par l'eau du sol ; la plante peut utiliser soit l'ammonium (NH_4^+), soit le nitrate (NO_3^-), mais comme le NO_3^- se déplace plus facilement avec l'eau, c'est la forme dominante qui est absorbée. Les plantes peuvent également absorber de l'azote par les feuilles, mais il n'est pas pratique d'appliquer de grandes quantités d'azote de cette manière, car cela pourrait provoquer des brûlures sur les feuilles. Dans un système de culture de maïs ou de céréales, les plantes absorbent volontiers autant d'azote que le sol en fournit, mais ce qui n'est pas nécessaire pour les céréales s'accumule dans les parties végétatives de la plante. Cet excès sera restitué au sol dans les résidus de culture, mais il peut créer des problèmes de qualité de l'alimentation pour l'ensilage de maïs ou les céréales.

L'absorption maximale d'azote par les cultures coïncide avec la période de croissance végétative maximale. Des niveaux élevés d'azote dans le sol en dehors de cette période n'apportent aucun bénéfice à la culture et risquent d'être perdus.

L'azote est utilisé dans la plante pour produire des protéines et des enzymes, y compris la chlorophylle, de

sorte qu'une quantité adéquate d'azote est nécessaire pour soutenir un potentiel de rendement élevé. Environ la moitié de l'azote absorbée par la plante sert à soutenir la structure de la plante (racines, tiges, feuilles), l'autre moitié se retrouvant dans le grain. Dans la plupart des cas, l'azote contenu dans le fourrage provient du sol et sera recyclé dans le sol à la fin de la saison de croissance.

Transformations et voies d'accès à l'azote

L'azote dans le sol est constamment en mouvement entre différents réservoirs (Figure 3) - chacun d'entre eux se comportant différemment. Cela crée de nombreux défis pour la gestion d'azote, mais aussi des opportunités. Le plus grand réservoir d'azote du sol se trouve dans la matière organique du sol, où il est lié à des molécules stables et à la vie microbienne qui ne peuvent pas être utilisées directement par les plantes. Une partie de cet azote organique est minéralisée chaque année par l'activité microbienne, où les molécules stables sont décomposées pour libérer des ions ammonium (NH_4^+) et des ions nitrate (NO_3^-), qui sont disponibles pour les plantes.



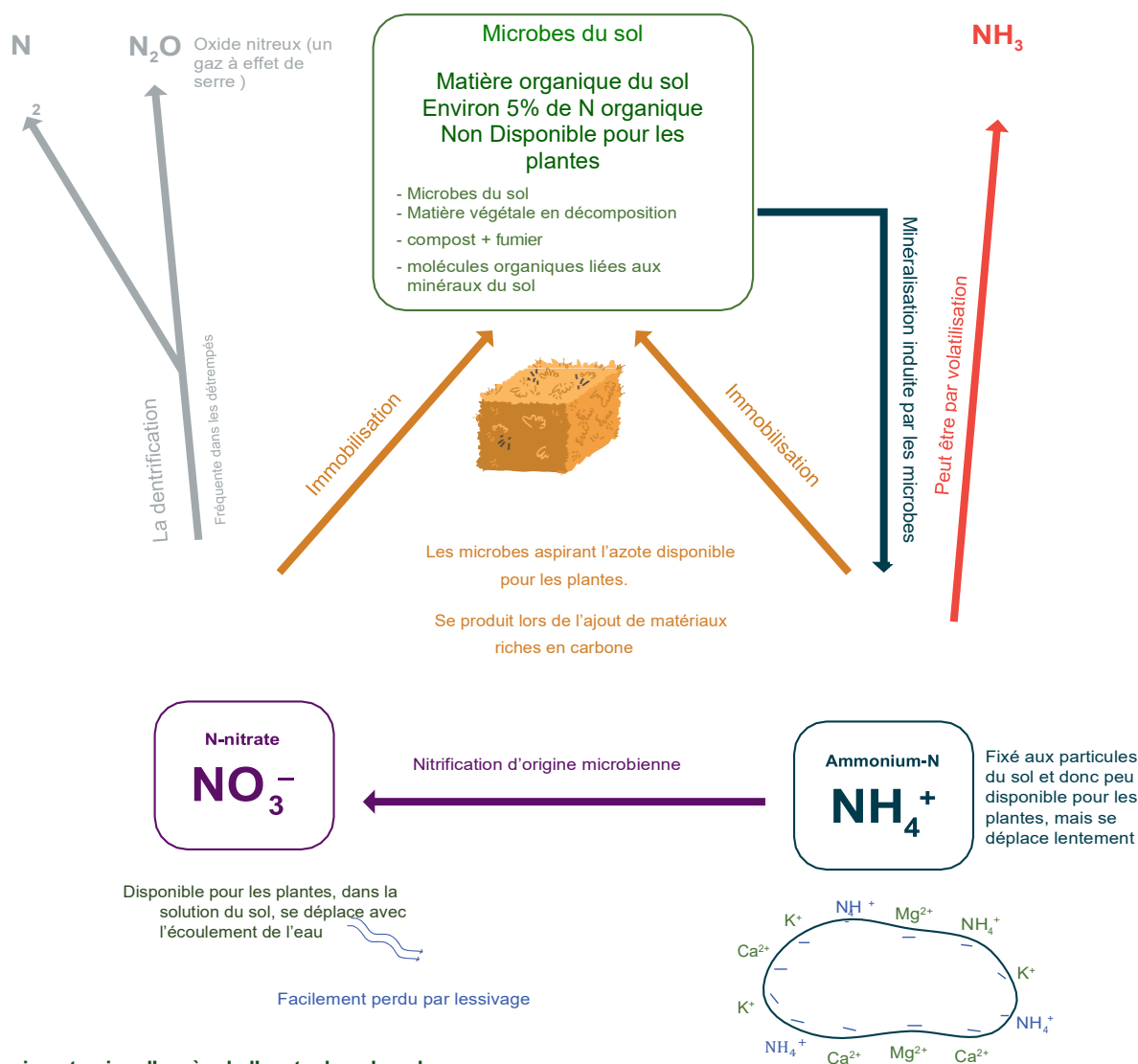


Figure 3. Bassins et voies d'accès de l'azote dans le sol

Les microbes du sol peuvent également immobiliser le N disponible pour les plantes (NO_3^- , and NH_4^+) en azote organique, ce qui le rend indisponible pour les plantes. Cela se produit lorsque les microbes du sol aspirent l'azote disponible pour les plantes dans leur corps et se produit souvent lorsque des matières riches en carbone avec un rapport C:N élevé sont ajoutées au sol, telles que la paille ou les bio solides de papeterie. Les microbes du sol sont suffisamment abondants pour utiliser l'azote disponible pour les plantes plus rapidement que les racines des cultures ne peuvent l'atteindre. Cet azote ne reste pas éternellement dans le bassin organique ; il est libéré lorsque les microbes l'excrètent ou meurent, mais cela peut se produire à un moment qui n'est pas idéal pour l'absorption par les cultures.

L'ammonium-N

L'ammonium présent dans la solution du sol peut avoir été minéralisé à partir de la matière organique ou ajouté directement sous forme d'engrais (par exemple, ammoniac anhydre, sulfate d'ammonium ou urée). L'ion ammonium (NH_4^+) étant chargé positivement, il adhère à l'argile et à la matière organique chargées négativement dans le sol, comme d'autres cations tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et le potassium (K^+). Cela le protège du lessivage, car il ne peut pas se déplacer facilement avec l'eau du sol. À la surface du sol, cependant, une partie de l'ammonium peut être transformée en eau, à la surface du sol, une partie de l'ammonium peut être transformée en gaz ammoniac, qui peut s'évaporer dans l'atmosphère. Dans des conditions de pH acide ou neutre, la plus grande partie restera sous forme d'ammonium, mais il y aura une plus grande proportion d'ammoniac (et un plus grand risque de perte dans un sol



au pH alcalin. L'incorporation ou l'application en bandes sous la surface de tout engrais contenant de l'ammonium éliminera pratiquement les pertes volatiles, quel que soit le type de sol.

Le cas unique de l'urée:

L'engrais uréique ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) se dissout dans l'eau du sol, puis est hydrolysé par l'enzyme uréase pour libérer de l'ammonium. Ce processus rend la zone autour du granule d'engrais extrêmement alcaline, ce qui pousse l'ammonium vers la phase ammoniacale volatile (il reste sous forme d'ammonium si les conditions sont acides). L'urée appliquée en surface peut perdre une quantité considérable d'azote dans l'air sous forme d'ammoniac, même si le sol se trouve immédiatement à l'intérieur de la zone d'épandage.

L'ammonium est facilement absorbé par les racines des plantes et utilisé par celles-ci. Cependant, le mouvement de l'ammonium vers les racines est ralenti parce qu'il se lie au sol, de sorte que la quantité absorbée par la plante est limitée.

La plupart des engrais minéraux sont des composés d'ammonium avec un anion comme le sulfate ou le nitrate, ou dans la molécule d'urée. Les solutions d'urée et de nitrate d'ammonium sont un mélange égal d'azote provenant de l'urée et du nitrate d'ammonium, de sorte que 75 % d'azote est présent sous forme d'ammonium. La partie minérale d'azote des effluents d'élevage est également constituée principalement d'ammonium ; dans les effluents liquides, elle peut représenter plus de 90% de l'azote total.

Le N ammonium peut être utilisé par certains microbes du sol pour produire de l'énergie (oxydantes d'ammonium), en convertissant l'ammonium en nitrate dans le cadre du processus appelé nitrification. Ce processus est suffisamment rapide pour que la majeure partie de l'ammonium soit nitrifiée et que la majorité d'azote minéral présent dans le sol soit sous forme de nitrate.

Nitrate-N

Contrairement à l'ammonium, l'ion nitrate (NO_3^-) est chargé négativement et n'est donc pas attiré par les particules du sol. Cela signifie qu'il reste dans la solution du sol et qu'il est libre de se déplacer là où l'eau du sol s'écoule. En période de croissance active des plantes, c'est un avantage, car l'eau qui pénètre dans les racines entraîne le nitrate avec elle. Malheureusement, les nitrates sont également susceptibles d'être lessivés dans les régions géographiques comme le Canada atlantique qui reçoivent des précipitations importantes. Le nitrate peut alors s'infiltrer dans les couches inférieures du sol, inaccessibles aux racines, ou dans les eaux souterraines, ce qui entraîne une pollution de l'eau. Les drains de tuiles peuvent également déplacer l'excès de nitrate directement dans les ruisseaux et les rivières. La plus grande partie de ce lessivage se produira en dehors de la saison de croissance, de sorte que la gestion visant à minimiser les restes d'azote dans le sol après la récolte réduit le risque de lessivage.

Les Nitrates-N peuvent également être perdus dans l'atmosphère au cours d'un processus appelé dénitrification. Lorsque l'approvisionnement en oxygène est limité dans le sol, généralement parce que le sol est gorgé d'eau, certaines bactéries se tournent vers la prochaine source d'oxygène la plus facile pour soutenir leur respiration, à savoir le nitrate (NO_3^-). La dénitrification est un processus en plusieurs étapes au cours duquel de multiples formes gazeuses d'azote sont produites, qui contribuent toutes aux pertes atmosphériques. La dénitrification complète convertit le nitrate en azote gazeux (N_2), mais une partie peut également être perdue sous forme de gaz hilarant, sous forme d'oxyde nitreux (N_2O), un puissant gaz à effet de serre. **Au Canada, l'oxyde nitreux représente environ la moitié des émissions de gaz à effet de serre provenant de l'agriculture.**

La dénitrification n'est pas un processus qui se déroule uniformément dans le temps ou dans l'espace. Au contraire, il y a des pics soudains d'émissions de N_2O lorsque la bonne combinaison d'approvisionnement en nitrates, de faible teneur en oxygène du sol et d'activité microbienne élevée coïncide. Dans le pire des cas, de fortes pluies satureraient complètement le sol une semaine après l'épandage d'engrais et la plantation au printemps ; une grande partie d'engrais azoté qui s'est nitrifié serait perdue dans l'air sous forme de N_2 ou de N_2O . Un processus plus lent, mais avec des résultats des niveaux élevés de nitrates laissés dans le sol après la récolte des cultures à l'automne ; l'activité microbienne serait plus lente à mesure que le sol se refroidit, ce qui aurait pour effet de réduire la quantité de nitrates présents dans le sol. L'activité microbienne serait plus lente à mesure que le sol se refroidit, mais en l'absence de toute absorption par les cultures, le nitrate resterait disponible à chaque fois que l'oxygène du sol serait faible au cours de l'hiver. Nous savons que nous ne pouvons pas contrôler la météo, mais nous pouvons contrôler le moment et la quantité d'azote appliquée. En réduisant le délai entre l'application de l'azote et l'absorption de la culture et en minimisant la quantité appliquée par rapport au retrait de la culture, de sorte qu'il y ait peu d'azote résiduel après la récolte, on réduit les risques de pertes d'azote par dénitrification.

Certains engrais minéraux ajoutent du nitrate directement au sol. Le nitrate d'ammonium est composé à parts égales de $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ et de $\text{NO}_3^- - \text{N}$.



Le nitrate de potassium ou le nitrate de calcium sont utilisés pour certains engrais spécialisés. Les composts finis ne contiennent pas immédiatement disponible pour la perte. Les engrais contenant de l'azote sous forme de nitrate seront plus bénéfiques s'ils sont appliqués à un moment où la culture peut utiliser l'azote immédiatement. Pour en savoir plus sur la disponibilité des nutriments dans les composts, consultez notre fiche d'information **Comment interpréter un rapport d'analyse de compost**.

Pratiques de gestion d'azote pour augmenter NUE

Il existe des technologies permettant de protéger les engrais azotés contre les pertes, mais elles auront le plus grand impact si elles sont combinées aux principes de la gestion des nutriments 4R. Cela signifie qu'il faut veiller à appliquer la bonne source d'azote à la bonne dose, au bon endroit et au bon moment.

Ces concepts seront développés dans les fiches d'information sur **Les engrais azotés à efficacité améliorée et sur les pratiques de gestion de l'azote visant à accroître l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs**.

Sommaire

La gestion des apports en azote pour la production végétale a une grande influence sur les performances économiques et environnementales de votre exploitation. Il s'agit d'un défi car l'azote ne cesse de passer d'une forme à l'autre, de sorte qu'une certaine perte est inévitable, mais peut être minimisée. L'indice *NUE_{culture}* est un bon indicateur de la qualité de votre gestion de l'azote et peut mettre en évidence les points à améliorer.

Références

Groupe d'experts de NUE sur le nitrate (2015). Efficacité de l'utilisation du nitrate (NUE) : un indicateur de l'utilisation du nitrate dans l'agriculture et les systèmes alimentaires. <http://www.eunep.com/>

Ladha, J. K., Pathak, H., J. Krupnik, T., Six, J., & van Kessel, C. (2005). Efficacité de l'engrais azoté dans la production céréalière : Retrospects and Prospects. Dans *Advances in Agronomy* (Vol. 87, pp. 85-156). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)87003-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)87003-8)

Raun, W. R. et Johnson, G. V. (1999). Amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'azote pour la production de céréales. *Agronomy Journal*, 91(3), 357-363. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030001x>