

# Fertilisants azotés et agents stabilisateurs courants en production de maïs

Un fertilisant azoté (N) est essentiel à la production de maïs, mais il peut causer des pertes dans les champs fortement humides. Les pertes peuvent être modérées ou sévères selon le type de fertilisant azoté utilisé et les conditions météorologiques suivant l'application. Des agents stabilisateurs du taux d'azote (aussi appelés « additifs ») peuvent aider à réduire les pertes d'azote du sol. Pour être efficaces, ces produits doivent être compatibles aux préparations d'azote employées. Les principaux types de fertilisants azotés sont présentés dans le tableau 1.

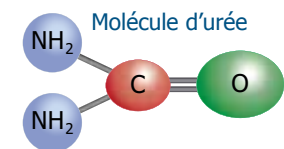
**Tableau 1.** Fertilisants à base d'azote les plus couramment utilisés pour la production agricole en Amérique du Nord<sup>1</sup>.

| Fertilisant                                      | État   | N (%)   |
|--|--|---------|
| Ammoniac anhydre                                 | Gaz appliqué sous forme liquide au moyen d'un réservoir pressurisé | 82      |
| Urée   | Solide   | 46      |
| Solutions à base d'urée et de nitrate d'ammonium | Liquide  | 28 à 32 |

<sup>1</sup> Ces agents constituent plus de 80 % de l'azote appliqué en production de maïs.

**L'ammoniac anhydre ou NH<sub>3</sub>** est la forme la plus élémentaire de fertilisant azoté. L'ammoniac est gazeux à la pression atmosphérique normale. Il doit être comprimé jusqu'à ce qu'il devienne liquide afin d'être transporté, emmagasiné et appliqué. En conséquence, il est appliqué depuis un réservoir sous pression et doit être injecté dans le sol pour ne pas s'échapper dans l'air. Après l'application, l'ammoniac réagit avec l'eau du sol et se transforme en ammonium ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La plupart des autres fertilisants azotés sont des dérivés de l'ammoniac transformés au moyen de traitements, ce qui augmente leur coût. En raison de son faible coût de production, de sa teneur élevée en azote qui réduit au minimum les coûts de transport ainsi que de sa bonne stabilité dans le sol, l'ammoniac anhydre est le fertilisant azoté le plus couramment utilisé par les producteurs de maïs en Amérique du Nord.

Malheureusement, au Canada, l'augmentation des coûts d'assurance liés à des risques pour la sécurité a considérablement réduit la disponibilité du produit. Les fertilisants à l'azote anhydre demeurent cependant les plus efficaces, car leur transformation en molécules de nitrates se produit sur une longue période, ce qui diminue les pertes en azote au début de la saison causées par la volatilisation ou la dénitrification. La nécessité d'épandre en bandes, en profondeur, les fertilisants anhydres présente également un avantage sur le plan de la position de l'azote au-dessous de la zone du carbone, en situation de rotations de maïs sur maïs ou de blé sur maïs.



**L'urée** est un fertilisant solide à teneur relativement élevée en azote (46 %) qui peut facilement être appliqué à plusieurs types de cultures et de sols. Sa facilité de manipulation, d'entreposage, et de

transport, sa simplicité d'application à l'aide de divers équipements et la possibilité de la mélanger à d'autres fertilisants solides en font le fertilisant azoté le plus répandu au monde.

**Les solutions à base de nitrate d'ammonium et d'urée** sont également des engrais azotés couramment utilisés. Ces solutions sont créées en dissolvant l'urée et le nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) dans l'eau afin d'obtenir des solutions présentant une concentration d'azote de 28, 30 ou 32 %.

Parmi les autres engrais azotés, on compte le sulfate d'ammonium, le nitrate de calcium, le nitrate d'ammonium et le phosphate diammonique.

## Fertilisants azotés et réactions du sol

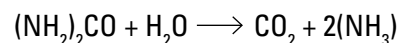
**L'ammoniac anhydre** est injecté de 15 à 20 cm sous la surface du sol afin de minimiser l'échappement de NH<sub>3</sub> gazeux dans l'air. Le NH<sub>3</sub> est un composé chimique très hygroscopique. Donc, une fois injecté dans le sol, il réagit très rapidement au contact de l'eau et se transforme en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). L'ion présentant une charge positive s'associe aux constituants du sol dotés d'une charge négative tels que l'argile et la matière organique. Il est ainsi lié aux processus d'échange du sol et n'est pas touché par le mouvement de l'eau.

**Réactions dans le sol** – au fil du temps, à des températures de sol permettant l'activité biologique, les ions de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sont transformés en nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) par les bactéries du sol durant la **nitrification**. La nitrification se produit généralement à des températures du sol supérieures à 10 °C et elle s'intensifie à mesure que la température augmente. Toutefois, une activité limitée se produit également à une température inférieure à 10 °C. L'ammonium est d'abord transformé en nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) par la bactérie *Nitrosomonas*, puis en nitrate par les bactéries *Nitrobacter* et *Nitrosolobus*.

Une fois que le processus de nitrification a transformé les ions d'ammonium en ions chargés négativement repoussés par l'argile et la matière organique présentes dans le sol, le nitrate d'ammonium peut alors être expulsé du sol par lessivage ou dénitrification. Les plants peuvent absorber l'azote sous forme d'ammonium ou de nitrate. Ainsi, si l'azote peut être conservé sous forme d'ammonium jusqu'à son absorption par le plant, le risque de perte est moindre (sauf dans les sols sablonneux qui ne se lient pas beaucoup à l'ammonium).

**L'urée** se dissout facilement dans l'eau, y compris dans l'eau du sol. Une irrigation ou des précipitations suffisantes lui permettent donc d'être « incorporée » au sol (profondeur de 1,3 cm recommandée). Sinon, elle doit être incorporée lors du labour afin de réduire les pertes.

**Réactions dans le sol** – si elle n'est pas incorporée au sol au moyen d'une dissolution dans l'eau ou par le labour, l'urée appliquée risque de se volatiliser et de causer des pertes d'azote, car l'urée se transforme en dioxyde de carbone et en ammoniac par hydrolyse :



L'hydrolyse de l'urée est catalysée par l'uréase, une enzyme produite par de nombreuses bactéries et par certaines plantes et qui est donc omniprésente dans le sol. La dégradation biologique de l'urée engendrée par l'uréase qui permet au plant d'utiliser l'azote libéré expose également l'urée à la volatilisation (sous forme de NH<sub>3</sub> à l'état gazeux), selon la profondeur du sol où se produit la réaction. Si la réaction se produit dans le sol, l'ammoniac réagit rapidement au contact de l'eau du sol et se transforme en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, qui est ensuite lié au sol. Si la réaction a lieu à la surface du sol, l'ammoniac gazeux peut facilement s'échapper dans l'air. Si beaucoup de débris végétaux couvrent le sol, cela accoît la population bactérienne, la concentration en uréase et les pertes d'urée causées par la volatilisation.

**Les solutions à base de nitrate d'ammonium et d'urée** sont des mélanges d'urée, de nitrate d'ammonium et d'eau dans diverses proportions. Les solutions à base de nitrate d'ammonium et d'urée les plus répandues (28, 30 et 32 %) sont préparées pour contenir 50 % d'azote réel sous forme d'amide (provenant de l'urée), 25 % d'ammonium (provenant du nitrate d'ammonium) et 25 % de nitrate (provenant du nitrate d'ammonium).

**Réactions dans le sol** – l'urée contenue dans les solutions à base de nitrate d'ammonium et d'urée réagit de la même façon que l'urée pure (voir la section précédente sur l'urée). Si la solution est appliquée à la surface, l'amide d'azote qu'elle contient peut subir des pertes par volatilisation, mais si elle est incorporée au moyen d'un labour ou d'un approvisionnement suffisant en eau, le NH<sub>3</sub> réagit rapidement au contact de l'eau dans le sol et se transforme en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ce NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ainsi que le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> provenant du nitrate d'ammonium dans la solution adhèrent aux composants du sol là où la solution est appliquée et n'occasionne pas de pertes. Comme l'azote appliqué sous forme d'ammoniac anhydre, cet azote sera absorbé par les plantes sous forme de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou transformé en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par les bactéries du sol.

Les 25 % d'azote restant dans les solutions à base de nitrate d'ammonium et d'urée prennent la forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Comme ces ions sont dotés d'une charge négative, ils n'adhéreront pas aux particules d'argile et de matière organique (qui possèdent également une charge négative), mais formeront plutôt un anion dans le mélange du sol. Ils seront facilement absorbés par les racines des plants, car ils se déplacent avec l'eau. Cependant, ces ions sont également exposés à des pertes en raison du lessivage et de la dénitrification. Le lessivage consiste en un déplacement au-dessous de la zone de portée des racines du plant, tandis que la dénitrification est la perte de nitrate dans l'air sous forme de diazote gazeux dans des conditions anaérobies (sol inondé ou saturé).

## Stabilisateurs et additifs d'azote

**Les agents inhibiteurs de nitrification** sont des composés chimiques qui ralentissent la transformation de l'ammonium en nitrate. Cela prolonge la période pendant laquelle l'azote est « protégé », de façon à réduire les pertes. À cette fin, plusieurs composés chimiques ont montré leur efficacité, mais seuls la nitrapyrine et le dicyandiamide sont actuellement répandus dans le secteur agricole nord-américain.

**La nitrapyrine**, 2-chloro-6-(trichlorométhyl) pyridine, empêche l'action de la bactérie *Nitrosomonas*. La nitrapyrine a un effet bactéricide. En effet, elle tue une partie de la population de *Nitrosomonas* présente dans le sol. Elle est donc efficace jusqu'à ce que la population bactérienne se rétablisse dans la zone d'application et de diffusion. Elle n'est efficace que contre la bactérie *Nitrosomonas*. Les produits à base de nitrapyrine servant à retarder la nitrification des fertilisants à l'ammoniac et à l'urée comprennent N-Serve® 24 (lancé en 1976) et Instinct® (lancé en 2009).

**Dicyandiamide** – les produits contenant uniquement du dicyandiamide sont généralement employés avec des solutions à base d'azote et du purin. Les produits vendus aux États-Unis qui contiennent du dicyandiamide comprennent Guardian®-DF, Guardian®-LD 31-0-0, Guardian®-LP 15-0-0 et Agrotain® Plus.

**Quand utiliser un inhibiteur de nitrification** – le meilleur moment pour utiliser un inhibiteur de nitrification est lorsque l'on s'attend à un niveau élevé de pertes en  $\text{NO}_3^-$  en raison du lessivage ou de la dénitrification, notamment dans les conditions suivantes : les sols drainés par des tuyaux lorsque le potentiel de lessivage est élevé, les sols humides ou à faible drainage et les champs où des produits à base d'azote sont appliqués avant la plantation. En revanche, les inhibiteurs de nitrification ont généralement une moins grande valeur lorsque les pertes en  $\text{NO}_3^-$  sont peu probables, par exemple, lorsque l'azote est appliqué en bandes latérales, car le besoin des cultures est alors élevé (Ruark, 2012).

**Les inhibiteurs d'uréase** sont des composés chimiques qui empêchent l'action de l'enzyme uréase, ce qui retarde l'hydrolyse de l'urée. L'urée a donc plus de temps pour être incorporée au sol (p. ex. par l'action des précipitations) dans les conditions où les pertes liées à la volatilisation sont peu probables au moment de l'hydrolyse. Dans le secteur agricole, un seul produit est couramment utilisé comme inhibiteur d'uréase. Ce produit, le triamide N-butylthiophosphorique (NBPT), possède la même structure que l'urée et, en conséquence, agit comme inhibiteur d'uréase en bloquant l'accès aux zones d'activité de l'enzyme. Le NBPT est l'ingrédient actif de la famille de produits inhibiteurs d'uréase Agrotain.

**Agrotain®** contient l'ingrédient actif NBPT. Il s'agit d'un additif utilisé principalement avec l'urée (ajouté à l'urée par le détaillant), mais aussi avec des solutions à base d'urée et de nitrate d'ammonium. **Agrotain® Ultra** est une préparation d'Agrotain plus concentrée. (La plupart des points de vente de l'Ontario distribuent Agrotain Plus.)

Ces produits finissent par se dégrader, ce qui permet l'hydrolyse naturelle de l'urée. Une fois transformé en  $\text{NH}_4^+$ , l'azote contenu dans l'urée se dénitrifie pour prendre la forme de  $\text{NO}_3^-$ , qui risque d'être perdu dans le sol. Agrotain et Agrotain Ultra n'offrent aucune protection contre les bactéries causant la nitrification.

**Agrotain® Plus** est un additif spécialement conçu pour les solutions à base d'urée et de nitrate d'ammonium, d'après l'étiquette du produit. Agrotain Plus contient l'inhibiteur d'uréase NBPT et l'inhibiteur de nitrification dicyandiamide. Il permet donc de prévenir la volatilisation et

la nitrification qui causent les pertes d'azote en provenance des solutions à base d'urée et de nitrate d'ammonium. Toutefois, il ne protège pas le nitrate se trouvant initialement dans la solution (c.-à-d. les 25 % d'azote que contient la solution, provenant du nitrate sous forme de nitrate d'ammonium).

**Quand utiliser un inhibiteur d'uréase ?** – les inhibiteurs d'uréase peuvent être utilisés lorsque l'épandage en nappes d'un fertilisant à base d'urée ne peut pas être effectué en deux à trois jours d'application, ou si moins de 6 mm de précipitations sont prévus. Des recherches ont démontré que les pertes d'azote de l'urée appliquée à la surface peuvent être considérables. Ces pertes sont encore plus importantes dans des conditions chaudes et venteuses, et lorsque la surface du sol est humide. Plus la température augmente, plus le degré d'activité de l'uréase augmente. Ainsi, l'hydrolyse se termine normalement dans un délai de 10 jours à une température de 4,4 °C, mais dans un délai de 2 jours à une température de 29 °C. De plus, l'hydrolyse est étroitement liée à la quantité de matière organique, à la quantité d'azote et au pouvoir d'échange cationique du sol ; elle s'intensifiera si l'un de ces facteurs augmente. Les inhibiteurs d'uréase aident à prévenir la volatilisation pour une période pouvant atteindre deux semaines ou plus. Cela augmente les chances que les précipitations entraînent l'incorporation de l'urée avant que des pertes ne surviennent.

## Rendement des stabilisateurs du taux d'azote

Les agents stabilisateurs du taux d'azote ou additifs ont souvent été mis à l'essai au fil des ans. Les résultats des recherches varient énormément. Certaines ne présentent aucune amélioration, tandis que d'autres ont montré une augmentation du rendement de plus de 20 %. Ces résultats n'ont rien d'étonnant. Lorsqu'un agent stabilisateur du taux d'azote est utilisé (et n'a pas commencé à se dégrader) dans des conditions favorisant les pertes d'azote, on peut facilement prévoir une amélioration. En revanche, si le risque de perte d'azote est moindre, l'amélioration sera moins importante. Les agents stabilisateurs du taux d'azote peuvent donc être considérés comme une « garantie » contre les pertes d'azote dans l'éventualité où des conditions favorables aux pertes se présenteraient.

On s'attend à des différences régionales sur le plan du rendement lors de l'utilisation d'agents stabilisateurs du taux d'azote, car le type de sol et le climat varient beaucoup d'une région à l'autre en Amérique du Nord. Les sols varient sur les plans de la texture, du drainage, de la présence de matière organique, du pH, de l'inclinaison et d'autres facteurs. Le climat varie sur les plans des extrêmes et des durées de température, de la quantité et de la fréquence des précipitations ainsi que d'autres facteurs. En raison de ces différences géographiques, il est difficile de prendre une décision quant à la valeur d'un agent stabilisateur du taux d'azote dans une ferme. Afin de prendre une décision éclairée, examinez des résultats de recherches effectuées dans des conditions de sol et climatiques qui correspondent à celles de votre champ et consultez les prix des fertilisants à base d'azote et des stabilisateurs du taux d'azote dans votre région.

Prenez votre décision en tenant compte de tous les éléments qui influencent le risque de pertes d'azote dans un champ donné. Considérez notamment l'emplacement géographique, la topographie, le type de sol, le niveau de résidus, le type de fertilisant à base d'azote appliqué, le moment de l'application par rapport à la croissance des cultures, la quantité de précipitations attendue, le niveau d'humidité du sol et d'autres facteurs. Même en tenant compte de tous ces facteurs, les agents stabilisateurs du taux d'azote ne sont pas rentables chaque année, surtout si les conditions n'exposent pas les cultures à un risque élevé de pertes. Toutefois, les agents stabilisateurs du taux d'azote peuvent assurer une protection contre le risque de pertes d'azote dans de nombreux champs où ce risque est fortement présent. Il peut être plus avantageux de se concentrer sur les pertes d'azote beaucoup plus importantes associées aux produits liquides ou secs à base d'urée et d'azote appliqués avant la plantation. De plus, l'application en bandes latérales présente un risque beaucoup moins élevé de perte d'azote dans un environnement très sec ou très humide.