



Knowledge grows



Les ammonitrates

Optimiser le rendement,
Préserver l'environnement

Sommaire

Nourrir le monde, protéger la nature p 4

- Cultiver demain

Les sources d'azote minéral p 5

- L'azote, source de vie
- Les engrais minéraux

Les transformations de l'azote dans le sol p 6

- L'azote sous forme nitrique : le nitrate
- L'azote sous forme ammoniacale : l'ammonium
- L'azote sous forme uréique : l'urée

Assurer le rendement optimal p 8

- Optimiser rendement et qualité
 - France : solution azotée sur blé
 - France : urée sur maïs
 - Royaume-Uni : céréales d'hiver
- Améliorer l'efficacité des engrais
 - Adapter les apports aux besoins de la culture
 - Des capteurs pour réduire les doses épandues
 - Épandre avec précision

Préserver l'environnement p 12

- Optimiser la production des engrais
 - Améliorer l'utilisation des engrais
 - Réduire la volatilisation ammoniacale
 - Lutter contre le réchauffement climatique
 - Contrôler le lessivage des nitrates
 - Évaluer la performance environnementale globale
-
- Yara en bref
 - Sources bibliographiques



Pure performance

Cette brochure synthétise différents aspects agronomiques et environnementaux liés au choix des formes d'engrais azotés.

Selon leur composition chimique ou leur présentation physique, les engrais azotés minéraux n'ont pas les mêmes effets sur les cultures et l'environnement. Depuis de nombreuses années, les agriculteurs européens ont pris conscience que les ammonitrates et leurs dérivés sont les sources d'azote les plus efficaces et les plus fiables.

Par ailleurs, ces produits ont un impact environnemental inférieur à celui des produits à base d'urée (urée, solution azotée) grâce à une volatilisation ammoniacale réduite, une meilleure absorption d'azote et une empreinte carbone plus faible de l'usine à la récolte.

Les engrais à base de nitrate tels que l'ammonitrate 33.5%N ou 27%N, les ammonitrates soufrés et les NPK nitriques sont de purs nutriments apportant la précision, l'efficacité et la fiabilité que requièrent les impératifs agronomiques et environnementaux de l'agriculture moderne.

C'est le choix qui s'impose à tous les agriculteurs soucieux à la fois de leur rendement et de l'environnement.

Critères	Observations
Efficacité	majoration de 7.5% à 18% de la dose d'azote pour un même rendement avec les engrais à base d'urée
Rendement	de 2 à 5% de rendement supplémentaire en moyenne avec l'ammonitrate*
Qualité	de 0.3 à 0.9 pt de protéines supplémentaires sur céréales avec l'ammonitrate*
Fiabilité	Grande fiabilité de l'ammonitrate liée à des pertes par volatilisation ammoniacale inexistantes ou très faibles
Volatilisation	Perte par volatilisation ammoniacale de 1 à 3 % de l'azote apporté avec l'ammonitrate contre jusqu'à 27% avec l'urée *
Lessivage	Risque de lessivage mieux maîtrisé avec l'ammonitrate grâce à une meilleure absorption. Pas de surdosage nécessaire.
Empreinte carbone	Sur le cycle de vie une empreinte carbone inférieure de 12.5% avec l'ammonitrate comparé à l'urée *
Index environnemental	Un index environnemental plus faible de 46.6% de l'ammonitrate comparé à l'urée *

* pour une même dose d'azote appliquée.



Nourrir le monde, protéger la nature

Une population mondiale en expansion et la crise environnementale émergente jettent un nouvel éclairage sur l'agriculture. Comment concilier sécurité alimentaire et protection de l'environnement ? Quel rôle doivent jouer les engrais minéraux ? Quel équilibre entre performances agronomiques et impact environnemental ? Spécialiste reconnu de la nutrition des cultures, Yara répond à ces questions pour effectuer les meilleurs choix d'engrais azotés.

Cultiver demain

En cinquante ans, la «révolution verte» a permis de tripler la production alimentaire mondiale pendant que la population passait rapidement de 3 à 6 milliards d'habitants.

Avec une population probable de 8,5 milliards de personnes en 2030, la production alimentaire devra encore s'accroître de plus de 50% [réf. 1]. Or, le potentiel de conversion en terres agricoles est limité, ce qui nécessite d'optimiser les rendements des surfaces arables existantes.

L'agriculture européenne est l'une des plus efficaces au monde. Néanmoins, l'Union Européenne est devenue le premier importateur mondial de produits agricoles de base. Ses importations nettes dépassent ses exportations de près de 65 millions de tonnes avec une augmentation de 40% durant la dernière décennie. La surface agricole hors d'Europe requise pour

produire ces quantités importées s'élève à près de 35 millions d'hectares (soit approximativement la taille de l'Allemagne !). [réf. 2]

La progression des rendements et de la productivité sera nécessaire pour relever ces défis du 21^e siècle. Les engrais minéraux sont une des clés de l'utilisation efficace des terres agricoles. Ils contribuent à assurer la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale, évitent la conversion en terres labourables des forêts primaires et des prairies permanentes et, par conséquent, contribuent à freiner le changement climatique.

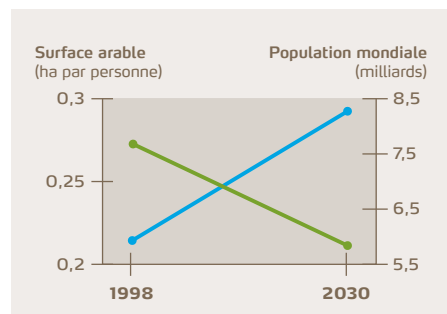


FIGURE 1 : La population mondiale augmente mais la surface agricole est difficilement extensible. L'augmentation de la productivité est une nécessité vitale. [réf. 1]

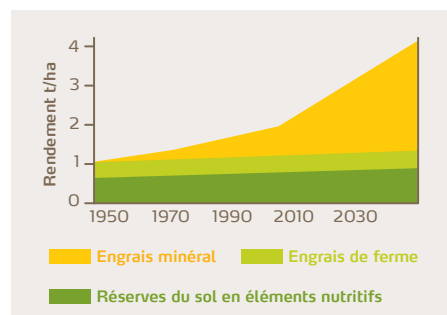


FIGURE 2 : La progression de la production alimentaire mondiale repose de plus en plus sur la fertilisation minérale [réf. 3]



Les sources d'azote minéral

Traditionnellement, les agriculteurs européens considèrent l'ammonitrate comme la source d'azote la plus efficace, sans toutefois négliger d'autres produits tels que l'urée ou la solution azotée. Les différentes formes d'azote minéral n'agissent pas de la même façon dans le sol. Ces différences doivent être prises en compte lors de l'évaluation des performances agronomiques et environnementales des produits.

L'azote, source de vie

L'azote (N) est un élément vital pour la plante. Il stimule la photosynthèse, la croissance aérienne et racinaire ainsi que l'assimilation des autres nutriments. Cependant, 99% de l'azote sur terre est stocké dans l'atmosphère et moins de 1% est disponible dans la croûte terrestre. Le di-azote (N₂) dans l'atmosphère est inerte et ne peut être absorbé directement par la plupart des plantes.

Dans les écosystèmes naturels, la quantité restreinte d'azote réactif présent dans le sol, limite la production de biomasse. L'activité agricole vient puiser dans les réserves d'azote réactif contenues dans le sol.

Au cours de sa croissance, la culture absorbe de l'azote qui sera exporté hors du sol au moment de la récolte. Il doit donc être restitué à l'aide de sources d'azote organique ou minéral. Le recours aux engrais de ferme ou minéraux, est un élément essentiel d'une agriculture durable.

Un manque d'azote se traduit par un affaiblissement de la fertilité du sol, une baisse des rendements et de la qualité des récoltes. Appliqué en excès sur le sol, l'azote peut en revanche s'infiltrer dans les eaux souterraines, causer une eutrophisation des eaux de surface ou s'échapper dans l'atmosphère, contribuant ainsi à la pollution et au réchauffement climatique.

Les engrais minéraux

Les principaux types d'engrais minéraux azotés utilisés en Europe sont :

- l'ammonitrate 33.5% (AN) contient l'azote sous forme d'ion ammonium (NH₄⁺) et d'ions nitrates(NO₂⁻) à part égale. L'ammonitrate 27% (CAN) contient en plus de la dolomie ou du carbonate de calcium.
- l'Urée se compose d'azote sous forme uréique (ou amide) (NH₂)₂.
- La solution azotée (UAN) est un mélange liquide d'urée et de nitrate d'ammoniaque.

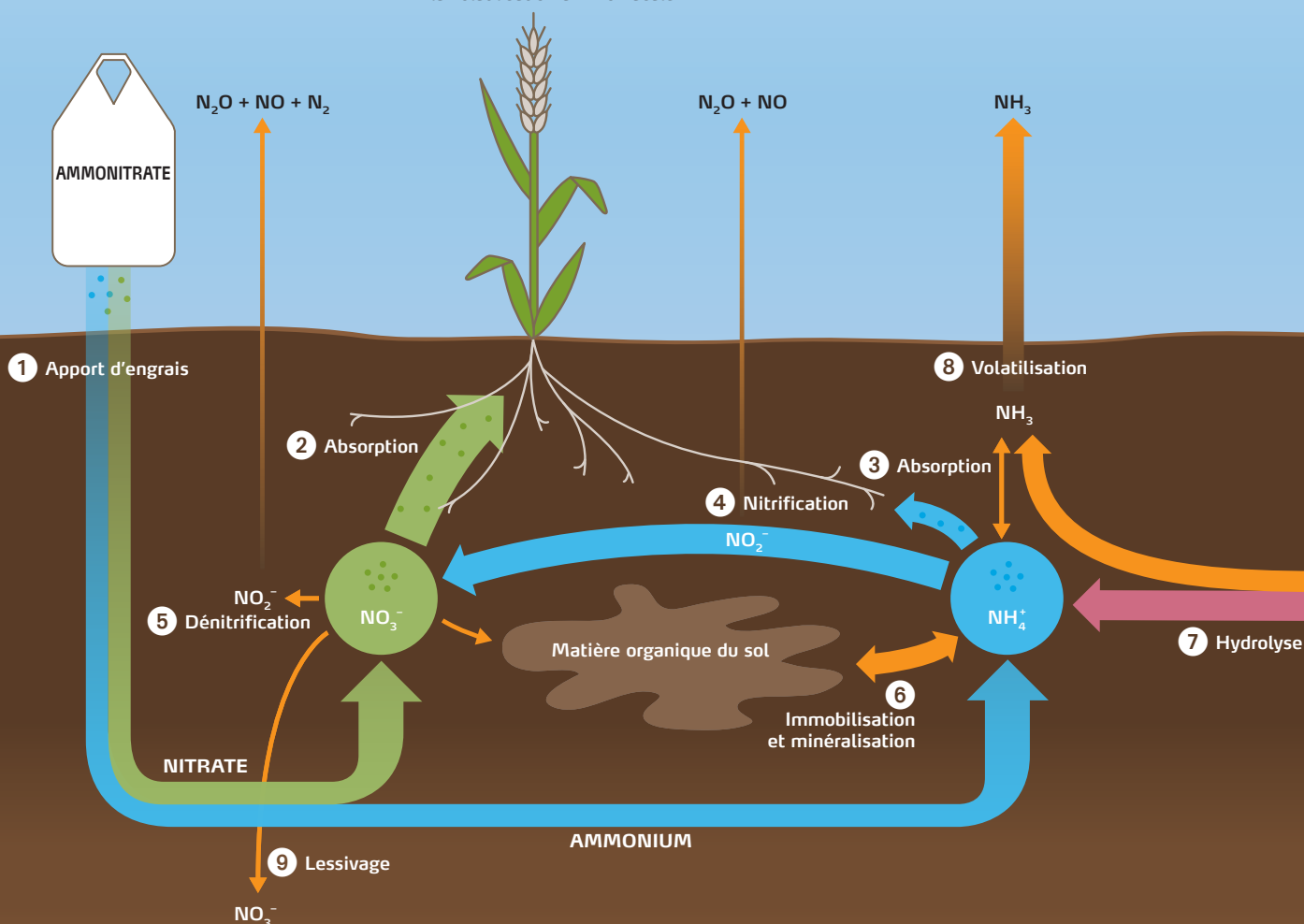
PRODUIT	REPARTITION PAR FORME D'AZOTE		
	nitrate-N (NO ₃ ⁻)	N-ammonium (NH ₄ ⁺)	N-uréique CO (NH ₂) ₂
Ammonitrate 27	50 %	50 %	
Ammonitrate 33,5	50 %	50 %	
Solution azotée 30	25 %	25 %	50 %
Urée 46			100 %

TABLEAU 1 : les principaux engrais azotés minéraux contiennent l'azote sous différentes formes chimiques. Seul le nitrate est facilement absorbé par les plantes. L'urée et l'ammonium sont transformés en nitrate par hydrolyse et nitrification.

Les transformations de l'azote dans le sol

L'azote subit des transformations dans le sol dépendant de la forme d'engrais apportée. Alors que le nitrate est absorbé directement par la plante, ammonium et urée doivent au préalable évoluer vers la forme nitrate. Les pertes au cours de ces transformations sont minimales avec les nitrates et plus élevées avec l'urée.

- 1 Apport d'engrais contenant de l'azote sous forme uréique, ammoniacale, nitrique ou en mélange. Les produits résiduels organiques contiennent principalement des composés azotés organiques et de l'ammonium.
- 2 L'absorption des nitrates est rapide principalement grâce à la grande mobilité de ces ions. Les cultures absorbent préférentiellement des nitrates plutôt que l'ammonium.
- 3 L'absorption d'ammonium est plus lente. L'ammonium est peu mobile et lié aux particules d'argiles du sol. Les racines doivent l'atteindre. La majeure partie de l'ammonium doit être transformée en nitrates avant absorption.
- 4 La nitrification par les bactéries du sol convertit l'ammonium en nitrate dans un délai de quelques jours à plusieurs semaines en fonction de la température. Des pertes sous formes de protoxyde d'azote ou d'oxyde d'azote peuvent survenir durant ce processus.
- 5 La dénitrification est favorisée par des conditions anaérobies dans le sol (manque d'oxygène) souvent liées aux excès d'eau. Les bactéries dénitrifiantes convertissent les nitrates (et nitrites) essentiellement en azote gazeux inerte et plus marginalement en protoxyde d'azote et oxyde d'azote qui rejoignent l'atmosphère.
- 6 La minéralisation de la matière organique du sol (humus) ou des effluents par la microflore du sol produit de l'ammonium. L'organisation ou l'immobilisation transforme l'azote minéral en azote organique. L'organisation est stimulée par la présence d'ammonium dans le sol. L'azote minéral organisé n'est plus immédiatement disponible pour la culture mais doit être reminéralisé.
- 7 L'hydrolyse de l'urée par les enzymes du sol (uréase) convertit l'urée en ammonium et en dioxyde de carbone. En fonction de la température, l'hydrolyse est plus ou moins rapide (une journée à une semaine). Le pH autour du granulé d'urée augmente fortement au cours de ce processus et amplifie de ce fait la volatilisation ammoniacale.
- 8 La volatilisation ammoniacale survient quand l'ion ammonium en solution dans l'eau du sol est transformé en gaz ammoniac et perdu dans l'atmosphère. Un sol à pH élevé, des températures élevées, du vent, l'absence de pluie favorisent ce phénomène. Les apports d'urée ou de solution azotée en surface sans incorporation au sol renforcent également ces pertes.
- 9 Le lessivage ou lixiviation des nitrates a principalement lieu en automne-hiver. Les pluies drainantes font migrer les excédents de fertilisation et les nitrates naturellement issus de la matière organique du sol (minéralisation) hors de portée des racines de la culture. Une fertilisation ajustée contribue à prévenir tout risque de lessivage pendant la période de végétation.



CO_2	Dioxyde de carbone
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Urée
NH_3	Ammoniac (gaz)
NH_4^+	Ammonium (ion)
NO_3^-	Nitrate (ion)
NO_2^-	Nitrite (ion)
NO	Oxyde d'azote, monoxyde d'azote (gaz)
N_2O	Protoxyde d'azote (gaz)
N_2	Diazote, azote (gaz)

L'azote sous forme nitrique : le nitrate

Le nitrate (NO_3^-) est facilement absorbé par les plantes en fortes proportions et directement disponible à la différence de l'urée et de l'ammonium. Le nitrate est très mobile dans le sol et atteint rapidement les racines des cultures. L'apport d'azote sous forme d'ammonitrate constitue ainsi une source instantanée de nutriment. Chargé négativement, l'ion nitrate est souvent accompagné d'autres nutriments tels que le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}) ou le potassium (K^+).

Il est important de noter que l'essentiel de l'azote minéral dans le sol, qu'il soit appliqué sous forme d'urée, d'ammonium ou de nitrate, terminera sous forme de nitrate avant son absorption par la plante. En appliquant directement de l'azote sous forme nitrate, on évite les pertes résultant de la transformation de l'urée en ammonium puis de l'ammonium en nitrate.

L'azote sous forme ammoniacale : l'ammonium

L'ammonium (NH_4^+) n'est absorbé directement par la culture qu'en faible quantité. Chargé positivement, le cation ammonium se fixe sur les minéraux du sol et est moins mobile que l'ion nitrate (NO_3^-).

Par conséquent, les racines doivent être proches de l'ammonium pour l'absorber. La majeure partie de l'ammonium est transformée en nitrate par les bactéries du sol. Le processus de nitrification dépend de la température et nécessite entre une et plusieurs semaines. L'ammonium constitue le nutriment azoté préférentiel des microorganismes du sol. Une fraction de l'ammonium est immobilisé par la microflore du sol sous forme de biomasse microbienne et de matière organique et sera reminéralisé à plus ou moins longue échéance.

La forme uréique : l'urée

Les racines des plantes n'absorbent pas directement l'azote uréique en quantité significative. Avant d'être absorbée, l'urée doit être préalablement hydrolysée en ammonium par les enzymes du sol, ce qui prend entre une journée et une semaine selon la température et nécessite une humidité minimale.

Le devenir de l'ammonium provenant de l'hydrolyse de l'urée est différent de celui de l'ammonium issu d'un apport direct d'ammonitrate. En effet, l'hydrolyse de l'urée induit temporairement une très forte augmentation de pH dans le voisinage immédiat du granulé d'engrais. L'équilibre physico-chimique entre l'ammonium (NH_4^+) en solution dans le sol et l'ammoniac (NH_3) gazeux est déplacé au profit de ce dernier et, par conséquent, aboutit à des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac. Ces pertes qui peuvent être conséquentes sont la raison principale de la plus faible efficacité uréique de l'azote souvent observée. C'est aussi une des raisons pour lesquelles il est recommandé d'incorporer l'urée au moment de l'épandage dans la mesure du possible.

A long terme, l'urée comme les autres sources d'azote ont un effet acidifiant sur le sol.

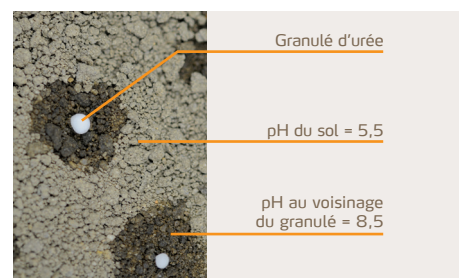
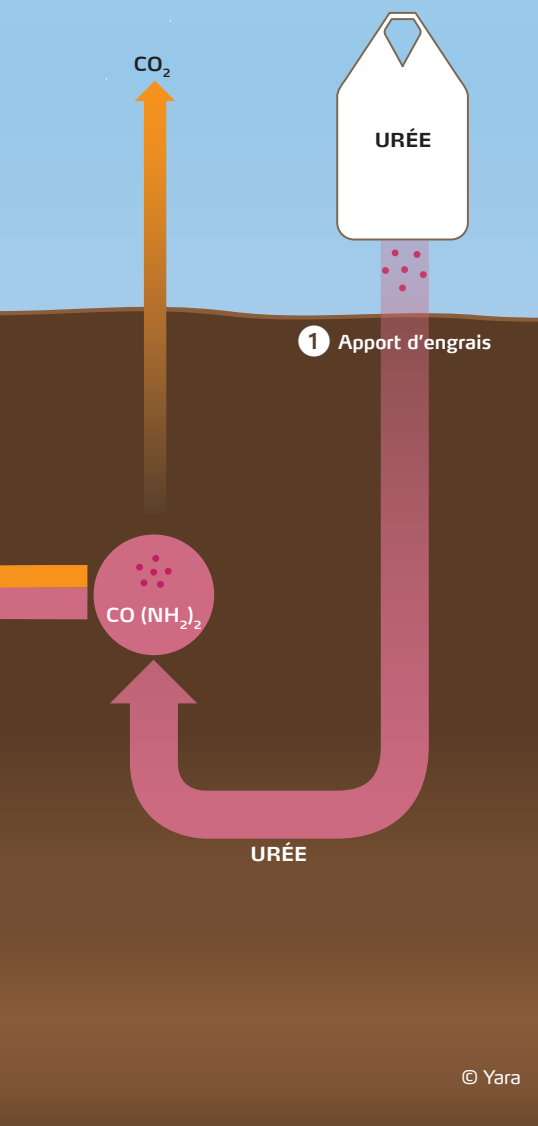


FIGURE 4 : L'hydrolyse de l'urée conduit à une forte augmentation locale de pH qui a pour conséquence de favoriser la formation d'ammoniac aux dépens de l'ammonium et d'accentuer ainsi les pertes par volatilisation.

FIGURE 3 : transformation de l'urée, de l'ammonium et du nitrate dans le sol. L'urée subit les plus fortes pertes d'azote au cours de ces transformations. La solution azotée, mélange à 50-50 de nitrate d'ammonium et d'urée, est soumise aux mêmes pertes aggravées par sa formulation liquide qui augmente la surface d'échange avec l'atmosphère.



Assurer le rendement optimal

L'utilisation des engrais répond à une règle d'or très simple : apporter la bonne dose au bon moment. L'application d'engrais de manière fiable et précise réduit les pertes dans l'environnement et favorisent l'absorption par les cultures.

Dans les essais, les ammonitrates, comparés à l'urée ou à la solution azotée, ont régulièrement démontré leur meilleure efficacité en terme de rendement et de qualité. La fertilisation raisonnée associée aux outils de pilotage et d'agriculture de précision permet d'améliorer encore l'efficacité des engrais.

Optimiser rendement et qualité

Toutes les formes d'azote ne sont pas équivalentes et conduisent à des résultats différents sur le plan du rendement et de la qualité des récoltes. C'est le constat des agriculteurs européens depuis des décennies. Les différences de performances sont principalement dues aux pertes et, plus particulièrement, à la volatilisation

ammoniacale. Certaines de ces pertes sont aggravées par le décalage entre les apports d'azote et l'absorption par la plante. Les brûlures foliaires peuvent également diminuer le rendement. Les moindres performances de l'urée ou de la solution azotée peuvent naturellement être compensées par une majoration de dose mais au prix d'un impact environnemental plus élevé.

France : solution azotée sur blé

Entre 1987 et 2004, Arvalis-Institut du Végétal et Yara ont conduit 122 essais sur différents types de sols, comparant ammonitrate et solution azotée sur blé d'hiver. A la dose bilan moyenne de 183 kg N/ha, l'ammonitrate génère un gain de rendement de 2.6 q/ha (+3 %) et 0.75 point de protéines comparé à la solution azotée. L'optimum économique avec la solution azotée est atteint à une dose supplémentaire de 27kg N/ha (soit +15%). [réf. 4]

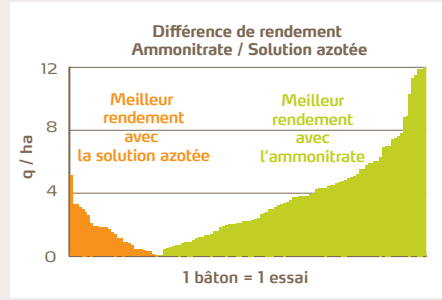


FIGURE 5 : sur 122 essais à la dose du bilan, 75% des situations donnent un avantage de rendement à l'ammonitrate [réf. 4]

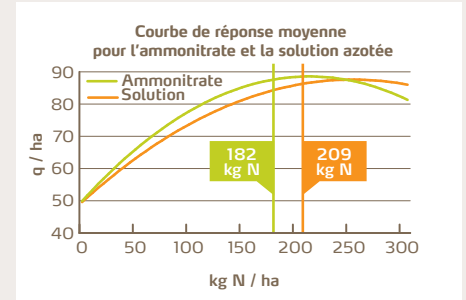


FIGURE 6 : la comparaison des 2 courbes de réponse sur 122 essais montre qu'une dose supplémentaire de 27 kg N/ha est nécessaire avec la solution azotée par rapport à l'ammonitrate [réf. 4]

France : urée sur maïs

Entre 1993 et 2003, AGPM technique et Yara ont réalisés 22 expérimentations comparant urée et ammonitrate sur maïs. A la dose moyenne de 180 kg N/ha, l'ammonitrate permet d'obtenir un rendement mesuré supérieur de plus de 5 q/ha (+4 %). La majoration des doses d'urée ne permet pas de compenser intégralement cette perte de rendement. [réf. 5]

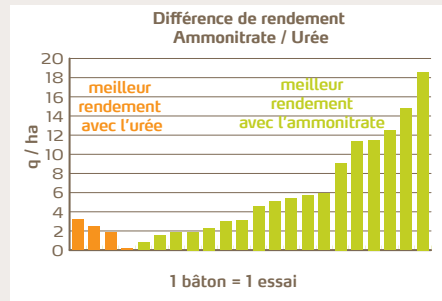


FIGURE 7 : sur 22 essais, dans 8 cas sur 10, à la dose du bilan, l'ammonitrate procure un gain de rendement. [réf. 5]

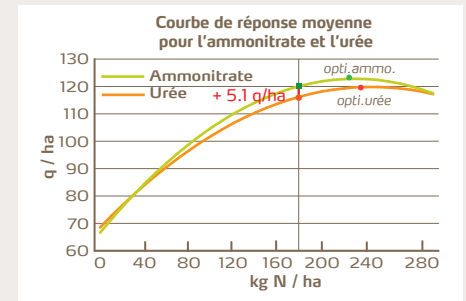


FIGURE 8 : les courbes de réponses parallèles démontrent les moindres performances de l'urée comparée à l'ammonitrate : rendement optimum inférieur (-3.3 q/ha) obtenu à une dose d'azote plus élevée (+ 8 %). [réf. 5]

Pour plus de détails ou d'informations sur d'autres cultures, contactez Yara

Royaume-Uni : céréales d'hiver

L'étude européenne la plus complète et la plus récente comparant les principales formes d'azote a été réalisée entre 2003 et 2005 au Royaume-Uni sous l'égide du gouvernement (Department for Environment, Food and Rural Affairs : DEFRA) [réf 6]. Celle-ci a mis en évidence des différences quantitatives importantes en faveur de l'ammonitrate et une forte variabilité des résultats de l'urée et de la solution azotée. De ce fait, les doses d'azote prévisionnelles ne peuvent être déterminées avec la même fiabilité qu'avec de l'ammonitrate.

Comparé à l'ammonitrate	Urée	Solution azotée
Perte de rendement	3,1 q/ha	3,9 q/ha
Perte de protéines	0,3 point	0,5 point
Surdosage d'azote pour atteindre le même rendement	14 %	18 %

TABLEAU 2 : Urée et solution azotée sont moins performants que l'ammonitrate sur céréales d'hiver. [réf. 6]

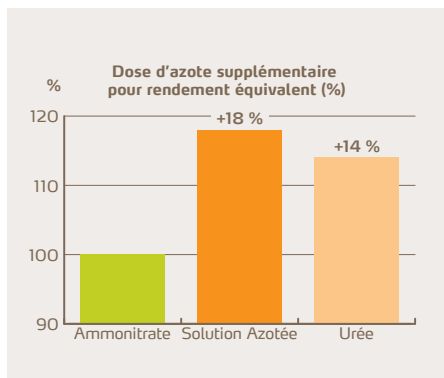


FIGURE 9 : des apports d'azote supplémentaires nécessaires avec l'urée et la solution azotée. [réf. 6].

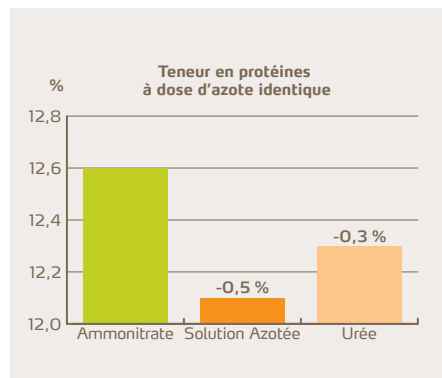


FIGURE 10 : des teneurs en protéines plus faibles qu'avec l'ammonitrate. [réf. 6]

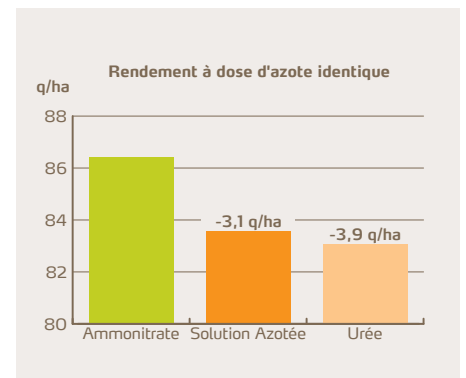


FIGURE 11 : des rendements inférieurs avec l'urée et la solution azotée. [réf. 6]



Améliorer l'efficacité des engrais

Adapter les apports aux besoins de la culture

L'azote doit être disponible en quantité suffisante pour ne pas limiter la croissance et le rendement. Par contre, des apports d'azote supérieurs aux besoins peuvent se perdre dans l'environnement et générer une consommation de luxe. Ajuster l'apport d'azote en fonction des besoins de la plante et de la fourniture du sol permet d'améliorer rendement et rentabilité et de minimiser l'impact environnemental.

Le fractionnement des apports, surtout sous une forme fiable et précise comme l'ammonitrate, constitue la meilleure stratégie dans la plupart des cas. L'hydrolyse de l'urée et les pertes par volatilisation ammoniacale dépendent beaucoup des conditions climatiques après l'épandage et plus particulièrement de la pluie. La prise en compte ou non de la volatilisation, phénomène imprévisible, peut entraîner des situations de sur ou sous-fertilisation. L'étude DEFRA a bien mis en évidence ce manque de fiabilité des engrais uréiques en mesurant des pertes par volatilisation pouvant varier de 2 à 58% de l'azote apporté !

Une bonne gestion de la fertilisation nécessite également une nutrition équilibrée. Des carences en phosphore, potasse ou soufre peuvent diminuer l'efficacité de l'azote.

Des analyses de sols et des mesures de reliquats régulières permettent une meilleure connaissance de la disponibilité des éléments minéraux et des besoins des cultures.

D'autre part, des outils de pilotage tel que le Yara N-Tester™ facilitent l'ajustement des apports tardifs .

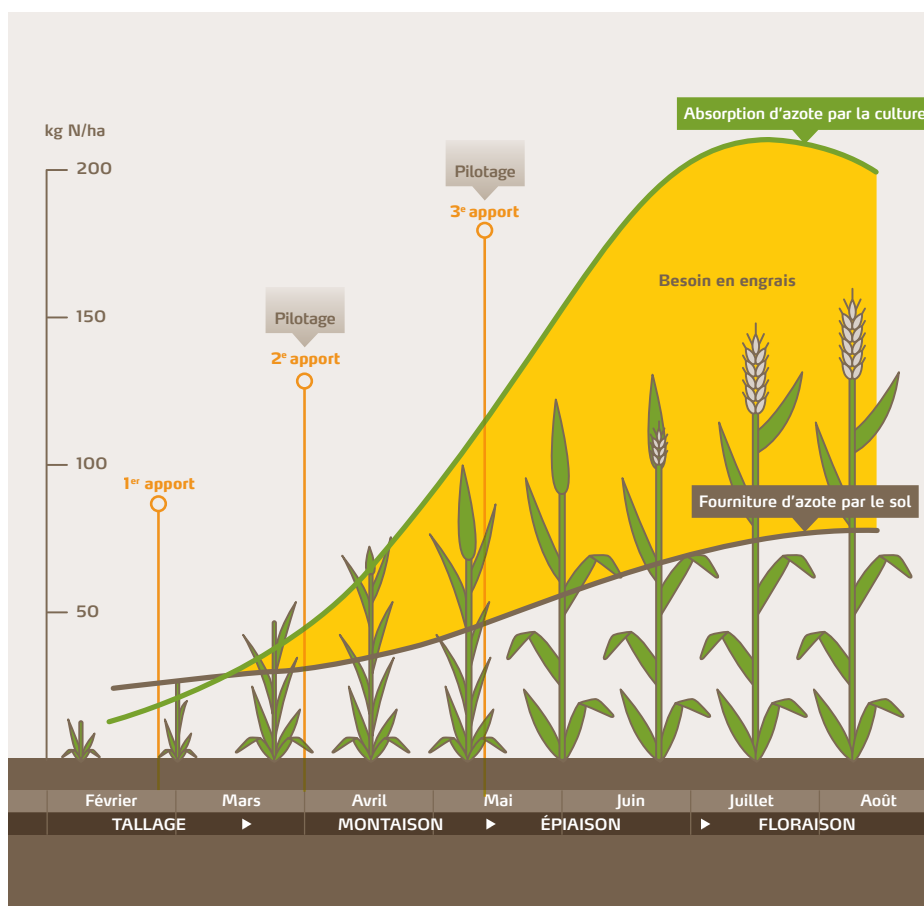


FIGURE 12 : fractionnement sur blé d'hiver. La dose d'engrais dépend à la fois de la fourniture d'azote du sol et des besoins de la culture. Des outils tels que Yara N-Tester™ et Yara N-Sensor™ facilitent le pilotage et l'ajustement des apports. [réf. 5]

Des capteurs pour réduire les doses épandues

Certains outils de l'agriculture de précision permettent d'améliorer l'efficacité et la pertinence des épandages.

Le Yara N-Sensor™ gère et adapte en temps réel la dose d'azote et assure une traçabilité totale grâce au couplage GPS. La mesure en continu du besoin en azote permet d'adapter la dose épandue en chaque point de la parcelle. Combiné avec l'utilisation d'un engrais azoté performant, l'utilisation du Yara N-Sensor™ garantit à la fois les meilleurs rendements et une dose d'azote minimisée.

Plus d'une centaine d'essais en Allemagne comparant l'épandage avec N-Sensor™ à la pratique de l'agriculteur ont mis en évidence un gain de rendement jusqu'à 7% et 0.2 à 1.2 points supplémentaires de protéines, tout en diminuant la dose épandue de 12%. [réf. 8]

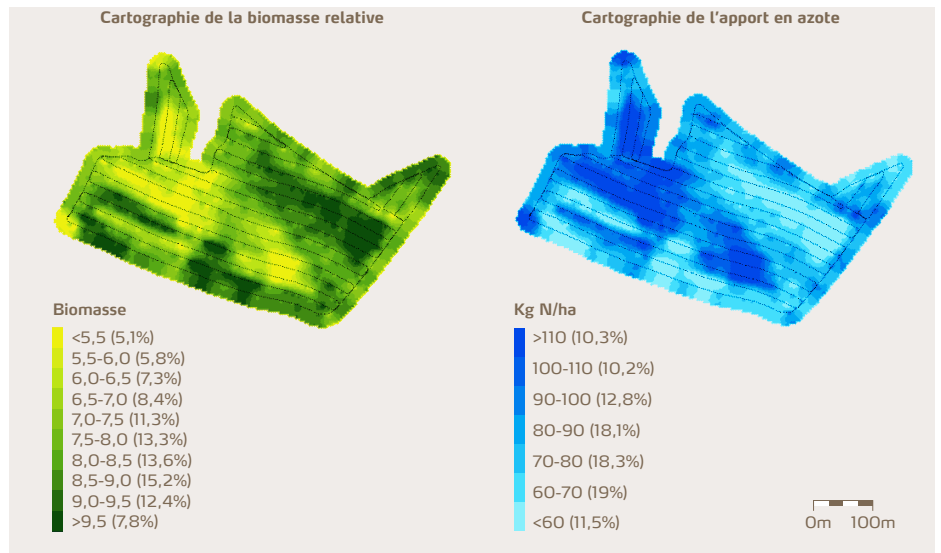


FIGURE 13 : le Yara N-Sensor™ ajuste automatiquement la dose d'azote (carte de droite) en se basant sur l'estimation en temps réel de la biomasse et de la chlorophylle (carte de gauche) limitant ainsi les zones en sous ou sur fertilisation. Blé d'hiver Allemagne. [réf. 5]

Epandre avec précision

Un épandage régulier assure une répartition optimale de l'azote. L'ammonitrate, grâce à une densité plus élevée permet des épandages plus homogènes que l'urée. L'épandage de l'urée, moins dense, peut être perturbé par le vent et entraîner l'alternance de bandes sur et sous-dosées.

Une étude réalisée en Allemagne, dont les résultats sont détaillés dans les graphiques, ci-contre illustre cette sensibilité au vent. Même à une largeur de travail modeste de 21 m, une brise faible de 14 km/h entraîne une irrégularité de la répartition de l'urée (CV= 26%) alors qu'elle a peu de conséquence sur la répartition de l'ammonitrate (CV=6%).

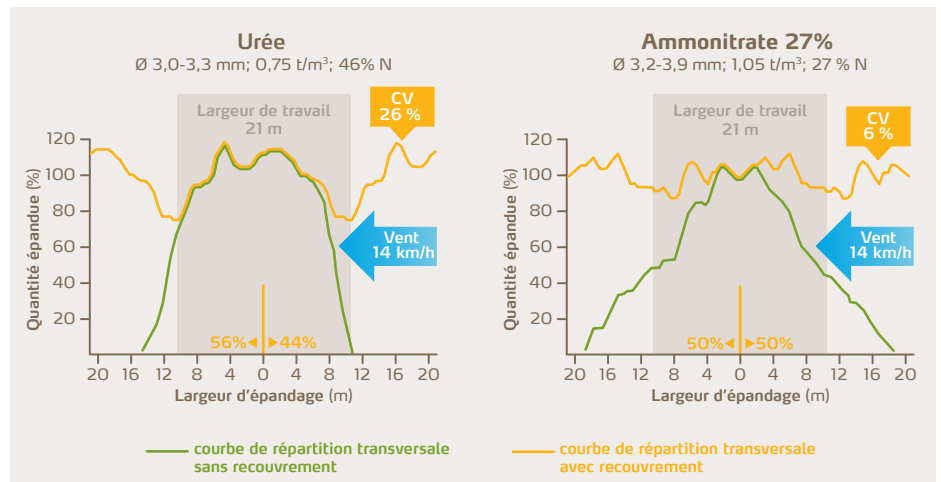


FIGURE 14 : En présence d'une faible brise latérale (14 km/h), le coefficient de variation de l'urée est considérablement dégradé comparé à celui de l'ammonitrate. [réf. 7]

On observe aussi pour l'urée un déport latéral de la nappe d'épandage. Il est admis qu'un coefficient de variation (CV) de 26% est associé à des pertes de rendement de l'ordre de 2% sur céréales d'hiver.

Plus les largeurs de travail sont importantes plus les pertes potentielles sont élevées. Réduire la largeur d'épandage pour améliorer la répartition augmenterait le nombre de passages et les temps de travaux. [réf. 7].



FIGURE 15 : le N-Tester est un outil de pilotage qui permet l'ajustement des apports tardifs d'azote.

Préserver l'environnement

Les ammonitrates 33.5 % N et 27% N sont de purs nutriments qui ont clairement démontré leurs avantages environnementaux comparés à l'urée et à la solution azotée :

- plus faible empreinte carbone de la production de l'engrais à son utilisation par la culture
- plus faibles pertes d'azote par volatilisation ammoniacale
- plus faible index d'impact environnemental

Optimiser la production des engrais

Les engrais azotés sont produits à partir de l'azote (N_2) de l'air par un processus industriel qui consomme de l'énergie. Les émissions de CO_2 qui en résultent contribuent au réchauffement climatique. Grâce à de constantes améliorations, les usines d'engrais européennes frôlent le minimum théorique de consommation d'énergie. Les usines Yara figurent parmi les plus efficaces au monde.

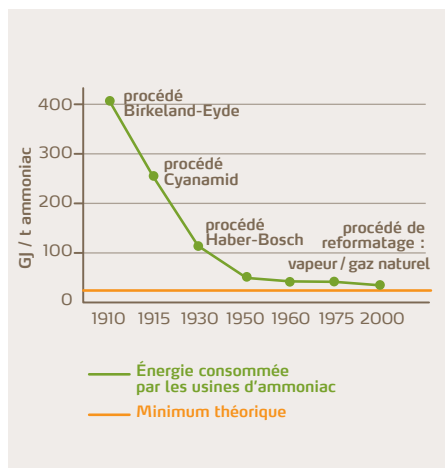


FIGURE 16 : Aujourd'hui, très proche du minimum théorique, la consommation d'énergie par les usines d'azote européennes a nettement diminué. [réf. 10]

La production d'engrais azotés nitriques émet, en plus du CO_2 , du protoxyde d'azote (N_2O) qui un très puissant gaz à effet de serre. Développée par Yara, une technologie brevetée de catalyseur permet un abattement de la majeure partie du N_2O émis à la production.

Pionnier de cette industrie, Yara partage aujourd'hui cette technologie avec d'autres producteurs d'engrais.

L'impact climatique d'un engrais est mesuré par son empreinte carbone, exprimé en kg d'équivalent CO_2 par kg d'azote ou $equiv-CO_2$ par kg N. Une analyse de cycle de vie (ACV), tenant compte de toutes les étapes depuis la production jusqu'à l'utilisation du produit par la culture, permet de mieux comprendre cet impact. Les étapes détaillées de l'analyse de cycle de vie carbone pour différents types d'engrais azotés sont développées page 14.

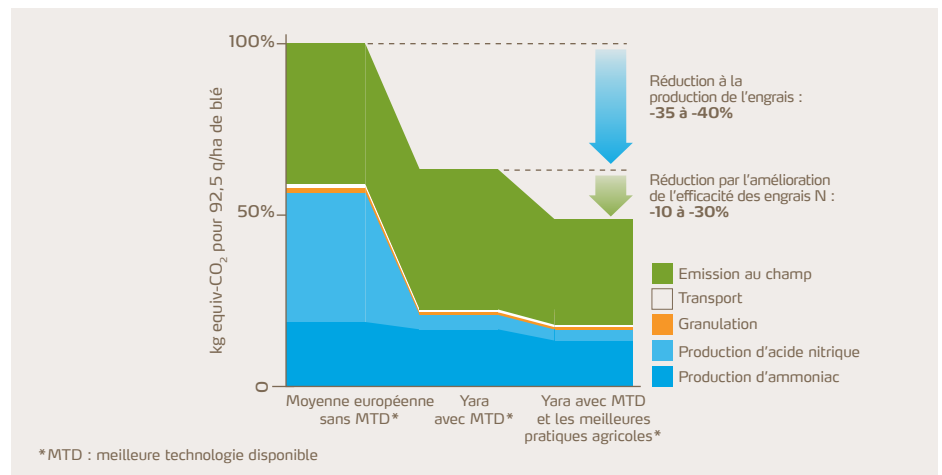


FIGURE 17 : Yara a réduit l'empreinte carbone de la fabrication de ses ammonitrates de 35 à 40%. Un gain supplémentaire de 10 à 30% serait possible par l'amélioration de l'utilisation au champ. [réf. 11] [réf. 12]



Améliorer l'utilisation des engrais

Les effets environnementaux négatifs des engrais minéraux ou organiques ne sont pas liés à leur nature ; ils résultent uniquement des pertes d'azote. Quand celles-ci sont minimisées, les impacts sur l'environnement le sont également.

Réduire la volatilisation ammoniacale

Des pertes d'ammoniac se produisent au cours de l'épandage des engrais. Selon les inventaires européens, l'agriculture est responsable de 94% des pertes totales d'ammoniac. Les effluents d'élevage représentent l'essentiel de ces émissions mais près de 20% proviennent des engrais minéraux.

La volatilisation d'ammoniac est une perte directe d'azote et par conséquent d'argent. La volatilisation ammoniacale est aussi une nuisance environnementale significative. L'ammoniac se déplace dans l'atmosphère par-delà les frontières provoquant acidification et eutrophisation du sol et de l'eau. Le protocole UNECE* de Göteborg et la Directive Européenne NEC** sur les plafonds d'émissions nationaux ont été instaurés pour contrôler les émissions

d'ammoniac de toutes origines.

Il est reconnu de longue date que l'urée et la solution azotée subissent des pertes par volatilisation supérieures à l'ammonitrate. L'enfouissement de l'urée et de la solution azotée pendant ou juste après de l'épandage réduit la volatilisation ammoniacale. Cependant, cette pratique n'est possible que sur les cultures de printemps. Sur prairie, la volatilisation est généralement plus élevée que sur les autres cultures. Les engrais y sont apportés en surface sur un couvert à forte activité enzymatique de l'uréase mais à capacité limitée d'absorption d'azote. La volatilisation ammoniacale dégrade le coefficient d'utilisation de l'engrais.

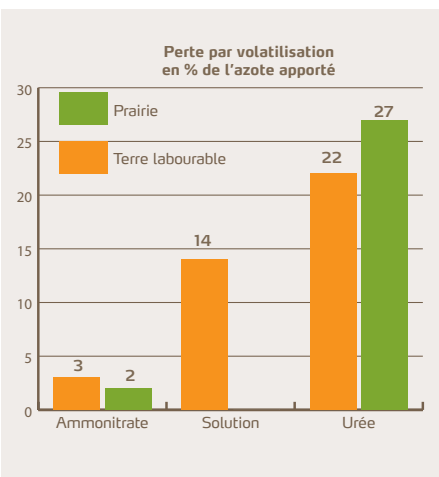


FIGURE 18 : % de perte d'azote par volatilisation ammoniacale selon les formes d'azote. (Etude du ministère de l'agriculture du Royaume-Uni (Defra - 2003-2005))

* United Nations Economic Commission for Europe
** National Emission Ceiling

Pertes par volatilisation [% du N apporté]	Terre labourable		Prairie	
	Defra	EMEP	Defra	EMEP
Ammonitrates	3 % (-3-10%)	0,6 %	2 (-4 -13) %	1,6 %
Solution azotée	14 % (8-17%)	6 %	N.A.	12 %
Urée	22 % (2-43%)	11,5 %	27 (10-58) %	23 %

TABLEAU 3 : Pertes par volatilisation moyenne en % de l'azote apporté pour différents engrais azotés. Le tableau prend en compte des données officielles d'inventaire de la Commission Européenne (EMEP 2007) ainsi que les données du ministère de l'agriculture du Royaume-Uni (DEFRA- 2003-2005). Dans toutes les situations, la volatilisation avec l'urée ou la solution azotée est significativement supérieure à celle de l'ammonitrate. [réf. 13] [réf. 14] [réf. 15]



Lutter contre le réchauffement climatique

La production, le transport et l'utilisation des engrais azotés minéraux contribuent directement ou indirectement à l'émission de gaz à effet de serre (GES) notamment de dioxyde de carbone (CO₂) et de protoxyde d'azote (N₂O). Parallèlement, la fertilisation accroît la production agricole et stimule l'absorption de CO₂ par les cultures.

Les engrais azotés augmentent les rendements et réduisent la nécessité de mettre en culture de nouvelles terres, évitant ainsi des émissions importantes de GES liées à la déforestation (le changement d'utilisation des sols représente à lui seul près de 20% des émissions mondiales de GES).

L'analyse du cycle de vie des engrais quantifie les émissions et absorptions de GES au cours de chacune des étapes de la «vie» d'un engrais : de la production en passant par le transport, le stockage, l'épandage et l'utilisation par les cultures. Elle permet une meilleure identification des améliorations possibles du bilan carbone global.

Pour rendre les différents GES comparables entre eux, ils sont convertis en équivalent CO₂ (Equiv- CO₂). Par exemple, 1 kg de N₂O équivaut à 296 kg Equiv- CO₂ car le N₂O possède un pouvoir réchauffant 296 fois supérieur au CO₂. Les valeurs qui en résultent sont appelées «empreinte carbone».

L'empreinte carbone varie selon le type d'engrais. L'urée émet moins de CO₂ à la production que l'ammonitrate.

Après l'épandage, la différence s'inverse

puisque l'urée réémet le CO₂ contenu dans sa molécule. Les émissions de N₂O au champ sont plus importantes avec l'urée conduisant à une empreinte carbone supérieure à celle de l'ammonitrate. De plus, les pertes par volatilisation et la moindre efficacité agronomique de l'urée ou de la solution azotée sont souvent compensées par des majorations de doses de 10 à 15% qui augmentent d'autant l'empreinte carbone.

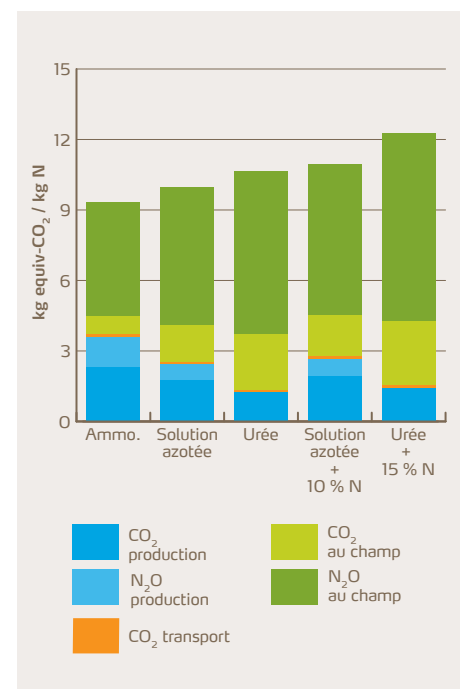


FIGURE 19 : l'empreinte carbone globale de l'ammonitrate est plus faible que celle de l'urée ou de la solution azotée. Les majorations de doses souvent préconisées pour ces engrais accentuent encore la différence. [réf. 16]



Contrôler le lessivage des nitrates

L'augmentation des teneurs en nitrates des nappes et des eaux de surface résulte des pertes d'azote. La Directive Européenne de 1991 a fixé la limite à 50 mg de nitrate par litre.

Le lessivage du nitrate est indépendant de la forme d'azote utilisée. Il peut avoir pour origine les engrais minéraux, les effluents organiques ou la matière organique du sol. Il survient quand le sol est saturé en eau. Les nitrates sont entraînés par les pluies drainantes (ou plus rarement par les excès d'irrigation) hors de portée des racines. L'ion nitrate n'est pas lié aux particules du sol et reste en solution où il se déplace librement. En revanche, l'ion ammonium est lié aux particules argileuses, il est donc moins susceptible d'être lessivé. L'urée est rapidement transformée en ammonium puis en nitrate après hydrolyse et nitrification.

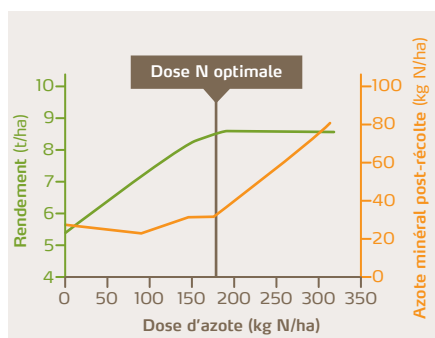


FIGURE 20 : la quantité d'azote minéral post récolte et donc le risque de lessivage des nitrates n'augmente que lorsqu'on dépasse la dose d'azote optimale. [réf. 17]

La molécule d'urée avant hydrolyse est très mobile et peut être lessivée directement dans le sous-sol par des pluies intenses au moment de l'apport.

L'essentiel des pertes de nitrates dans les eaux survient en hiver et donc l'objectif principal est de minimiser la quantité d'azote minéral en fin de culture. Pour les céréales d'hiver par exemple, le risque de lessivage post-récolte n'augmente significativement qu'au-delà de la dose d'azote optimale.

Le lessivage peut être fortement limité par la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles :

- mesure des reliquats
- raisonnement de la dose
- utilisation d'une forme d'azote fiable et efficace telle que l'ammonitrate
- fractionnement adapté pour maximiser l'absorption par la culture
- pilotage en fonction des besoins de la culture
- agriculture de précision pour gérer l'hétérogénéité intra-parcellaire
- bon enracinement de la culture pour améliorer l'efficacité de l'azote
- bonne structure du sol (porosité)
- implantation d'une Culture Intermédiaire Piège à Nitrate
- nutrition minérale (P-K-Mg-S) équilibrée valorisant l'azote apporté

Évaluer la performance environnementale globale

Les différents impacts environnementaux liés à la production et à l'utilisation des engrais (utilisation du territoire, eutrophisation, acidification, réchauffement climatique) peuvent être agrégés au sein d'un index environnemental dénommé Eco-X. Cet index mesure les effets environnementaux en se basant sur une approche d'analyse de cycle de vie. L'ensemble de ces impacts sont alors comparés aux objectifs européens, pondérés et additionnés. Plus l'index est élevé, plus l'impact environnemental est important. L'ammonitrate dispose de l'index environnemental le plus faible.

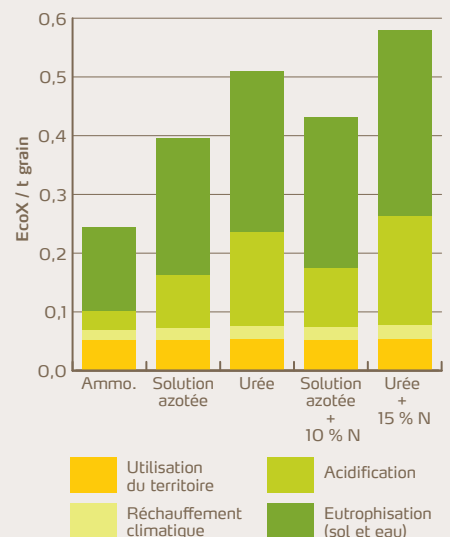


FIGURE 21 : index Environnemental (Eco-X) moyen établi sur 15 essais réalisés au Royaume-Uni à une dose de 160 kg N/ha. L'Eco-X de l'urée est approximativement 2 fois plus élevé que celui de l'ammonitrate. [réf. 18]

À propos de Yara

Yara International ASA est une entreprise norvégienne implantée dans le monde entier. Yara est spécialisée dans la nutrition des cultures, les produits pour l'environnement et les applications industrielles. Premier fournisseur d'engrais minéraux au monde, Yara contribue, depuis plus d'un siècle, à la production alimentaire et à la fourniture d'énergie renouvelable pour une population mondiale en croissance. Forts d'une longue expérience de la production des engrais et d'une solide connaissance de la nutrition des cultures, nous croyons que les engrais minéraux font partie intégrante d'une agriculture durable sur le plan économique et environnemental.

Sources bibliographiques

- [réf. 1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2003): World Agriculture towards 2015/2030.
- [réf. 2] Von Witzke H., Noleppa, S. (2010): EU agricultural production and trade: can more efficiency prevent increasing 'land-grabbing' outside of Europe? Humboldt Universität zu Berlin.
- [réf. 3] Adapted from Kaarstad, O. (1997): Fertilizer's significance for cereal production and cereal yields from 1950 to 1995. In: International symposium on fertilization and the environment (Mortwedt, J. and Shaviv, A.; Eds.). Haifa, Israel, April 1997.
- [réf. 4] Lesouder C., Taureau J. (1997): Fertilisation azotée, formes et modes d'actions. Perspectives Agricoles N° 221.
- [réf. 5] Expérimentation formes d'azote sur maïs, Yara France
- [réf. 6] Dampney P., Dyer C., Goodlass G., Chambers B. (2006): Component report for DEFRA project NT2605/WP1a. Crop Responses.
- [réf. 7] Stamm R. (2006): Streufehler bei Seitenwind. DLZ Agrarmagazin 10:2006
- [réf. 8] Agricon: www.agricon.de/produkte/yara-n-sensor/sensorvergleich
- [réf. 9] Sluijsmans C.M.J. (1970): Influence of fertilizer upon liming status of the soil. J. Plant Nutr. Soil Sci., 126.
- [réf. 10] Adapted from Anundskas, A. (2000): Technical improvements in mineral nitrogen fertilizer production. In: Harvesting energy with fertilizers. European Fertilizer Manufacturers Association.
- [réf. 11] Pachauri R., Reisinger A. (2007): Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [réf. 12] European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), Annual Report 2008, Industry Benchmarks.
- [réf. 13] Dampney P., Chadwick D., Smith K., Bhogal A. (2004): Report for DEFRA project NT2603. The behaviour of some different fertiliser-N materials.
- [réf. 14] Chadwick D., Misselbrook T., Gilhespy S., Williams J., Bhogal A., Sagoo L., Nicholson F., Webb J., Anthony S., Chambers B. (2005): Component report for Defra project NT2605/WP1b. Ammonia Emissions and crop N use efficiency.
- [réf. 15] EMEP/CORINAIR Technical Report No. 16/2007
- [réf. 16] Adapted from Brentrup, F. (2010). Yara International, Research Centre Hanninghof, Germany.
- [réf. 17] Baumgärtel G., Engels T., Kuhlmann H. (1989): Wie kann man die ordnungsgemäße N-Düngung überprüfen? DLG-Mitteilungen 9, 472-474.
- [réf. 18] Adapted from: Brentrup F., Küsters J., Lammel J., Barraclough P., Kuhlmann H. (2004): Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. Europ. J. Agronomy 20, 265-279.



Pour plus d'information, contactez :
Yara France
Immeuble OPUS12
77, Esplanade du Général de Gaulle
CS 90047
92914 PARIS LA DEFENSE