

# Avantages et limites des inhibiteurs

Les avantages des inhibiteurs d'uréase doivent être considérés d'un point de vue agronomique, environnemental et économique. Sur le plan de la volatilisation ammoniacale, les inhibiteurs d'uréase apportent une nette amélioration par rapport à l'urée sans additif mais les pertes restent plus élevées et l'efficacité de l'azote, inférieure, comparés aux engrais nitriques. **Quelles sont les différences réelles?**

## Quel est l'avantage économique ?

Des études en Allemagne et en France ont confirmé de moindres pertes par volatilisation au dépens de l'urée lorsque celle-ci est associée au NBPT. Le principal bénéfice des inhibiteurs d'uréase réside dans les économies possibles d'azote. Celles-ci vont dépendre à la fois de la probabilité de pertes d'azote par volatilisation en l'absence d'inhibiteur (15 à 25 % en moyenne) et de la réduction attendue de ces pertes par l'inhibiteur (60 à 80 % en moyenne), deux critères particulièrement imprévisibles. Pour tirer un avantage économique des inhibiteurs d'uréase, il faut que les économies d'azote (en %) dépassent le supplément de prix de l'urée inhibée par rapport à l'urée simple.

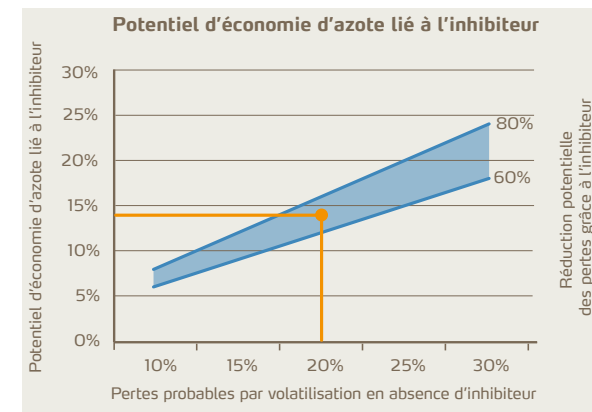


Figure 7 : Le bénéfice lié à l'inhibiteur dépend de deux facteurs : la probabilité de pertes par volatilisation et le niveau de réduction attendu. Les économies indiquées correspondent à une fourchette de réduction du par l'inhibiteur de 60-80%.

Exemple : avec une perte par volatilisation prévue de 20 % sans inhibiteur et une atténuation des pertes par l'inhibiteur d'uréase de 70%, on peut économiser environ 14 % d'urée. L'exploitant ne peut donc espérer un bénéfice que si le surcoût de l'urée avec inhibiteur est inférieur à 14%. Dans le cas de la solution azotée, les économies potentielles sont moindres car les pertes par volatilisation sont en général moins élevées qu'avec l'urée.

## Qu'en est-il de l'efficacité de l'azote ?

Tous les problèmes liés à l'utilisation de l'urée et de la solution azotée ne sont pas résolus pour autant par les inhibiteurs d'uréase, ainsi :

- La moins bonne précision d'épandage des urées liée à leur faible densité (0,7 à 0,75) peut entraîner des pertes supplémentaires de rendement et de qualité. Les urées avec ou sans inhibiteur restent plus sensibles aux conditions météorologiques au moment de l'épandage. C'est pourquoi l'urée n'est pas recommandée en agriculture de précision.
- La qualité et l'origine des urées utilisées avant ajout de l'inhibiteur est très variable avec des caractéristiques physiques hétérogènes qui rendent la régularité d'épandage plus aléatoire.
- En sortie d'hiver, un apport d'urée ne permet pas la fourniture immédiate de la quantité d'azote nitrique nécessaire pour stimuler la croissance racinaire et le tallage ou la ramification.
- Les applications tardives d'azote pour augmenter la teneur en protéines sont plus aléatoires avec de l'urée inhibée surtout lorsque les sols sont secs et que l'azote nitrique n'est pas disponible en quantité suffisante.
- Pour la solution azotée, l'effet des inhibiteurs d'uréase est plus limité car d'autres facteurs que la volatilisation ammoniacale concourent à sa plus faible efficacité agronomique.

## L'enjeu environnemental

Les inhibiteurs d'uréase réduisent la volatilisation de l'ammoniac et par conséquent, améliorent le profil environnemental de l'urée mais les engrais nitriques demeurent la valeur de référence. Cela se vérifie d'autant plus que l'on prend en compte tous les types d'impacts environnementaux regroupés dans l'index EcoX : eutrophisation (nitrate, ammoniac), acidification (ammoniac), réchauffement climatique (gaz à effet de serre, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>), changement d'utilisation du sol (figure 8).

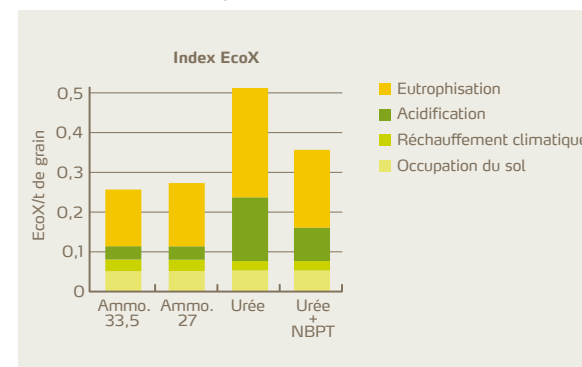


Figure 8 : Index environnemental EcoX, synthèse de 15 essais blé réalisé au Royaume-Uni à la dose de 160 kg N/ha. L'amélioration apportée par le NBPT est calculée à partir de l'hypothèse d'une réduction de la volatilisation ammoniacale de 60 % [7].

# Les engrais nitriques: l'étalon or

Les inhibiteurs d'uréase réduisent la volatilisation des engrais à base d'urée. Dans le cas du choix de l'urée parmi toutes les formes d'azote, l'ajout en dernier recours d'un inhibiteur d'uréase améliore son efficacité agronomique et diminue son impact environnemental. Toutefois, les engrais nitriques demeurent la référence absolue en matière de précision d'application, d'efficacité agronomique et de respect de l'environnement.

	Solution azotée	Urée	Urée + NBPT	Ammonitrate
Efficacité agronomique	●	●	●●	●●●
Précision d'épandage	●●●	●	●	●●●
Gain de rendement	●	●	●●	●●●
Taux de protéines	●	●●	●●	●●●
Convient à toutes les cultures	●	●	●●	●●●
Volatilisation ammoniacale	●	●	●●	●●●
Index environnemental (GES, etc.)	●	●	●●	●●●

## SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Chadwick D. et al. (2005): component report for DEFRA project NT2605/WP1b ammonia emissions and crop N use efficiency.
- [2] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013
- [3] Mark A. Sutton et al. (2011): The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press.
- [4] Chadwick D. et al. (2005): Component report for DEFRA project NT2605/WP1b ammonia emissions and crop N use efficiency
- [5] Watson C. et al. (2005): Component report for DEFRA project NT2605/WP3 optimum use of NBPT urease inhibitor.
- [6] Watson C. et al. (2005): IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers.
- [7] Yara International, Research Centre Hanninghof, Germany.
- [8] Yara International, Research Centre Sluisikil, Netherlands.



Yara France  
Immeuble Opus 12  
77, Esplanade du Général de Gaulle  
CS 90047  
92914 PARIS LA DÉFENSE  
Tél : 01 55 69 96 00  
Fax : 01 55 69 98 74



Pour plus d'informations sur les ammonitrates et plans de nutrition des cultures

BROCHURE  
" Les ammonitrates, optimiser le rendement, préserver l'environnement "

SITE WEB  
[www.yara.fr/fertilisation](http://www.yara.fr/fertilisation)



YOUTUBE CHANNEL   
[www.youtube.com/yarainternationalasa](http://www.youtube.com/yarainternationalasa)  
[www.youtube.com/yaraenfrance](http://www.youtube.com/yaraenfrance)

## Yara en bref

Yara International ASA est une entreprise norvégienne implantée dans le monde entier. 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. Fort d'une longue expérience de la production des engrais et d'une solide connaissance de la nutrition des cultures, Yara fournit des produits de qualité et accompagne les agriculteurs dans de nombreux pays à travers le monde.

Pour tout renseignement complémentaire, n'hésitez pas à nous contacter ([contact-fr@yara.com](mailto:contact-fr@yara.com))



Knowledge grows

# A quoi servent les inhibiteurs ?

PUR NUTRIMENT INFOS N°13 | Les inhibiteurs d'uréase



## Fiction et réalité

Les inhibiteurs d'uréase existent depuis plus de 25 ans mais on observe depuis quelques temps, un intérêt croissant pour ces produits qui pourrait remédier à certains défauts de l'urée et de la solution azotée. Ils sont même parfois considérés comme une vraie alternative à l'ammonitrate. Ces additifs tiennent-ils leurs promesses ? Dans quelles conditions peuvent-ils être utilisés ? Quel est leur intérêt sur le plan économique ? Ce numéro de Pur Nutriment fait la lumière sur l'action des inhibiteurs d'uréase dans des conditions diverses.

Knowledge grows - Le savoir se cultive

# Inhibition de l'activité naturelle de l'uréase

Les inhibiteurs d'uréase sont des substances chimiques qui freinent l'activité de l'uréase naturelle du sol. Ils laissent ainsi plus de temps à l'urée pour s'infiltrer dans le sol, de sorte que le pic de concentration d'ammoniac et le risque de volatilisation à l'épandage sont réduits. **Quelles sont les caractéristiques des inhibiteurs d'uréase ?**

## Qu'est-ce que le NBPT ?

Depuis le début des années 70, de nombreux composés ont été évalués sur leur faculté d'inhibiteur d'uréase mais peu d'entre eux remplissent les conditions requises : efficace à de faibles concentrations, non toxique, stable, bon marché et compatible avec l'urée. Le N-(n-butyl) thiophosphorique triamide, (NBPT, figure 3), utilisé aux États-Unis depuis le début des années 80, a été autorisé par le Règlement européen en 2008. C'est la matière active des engrais commercialisés sous la dénomination « urée avec inhibiteur d'uréase ».

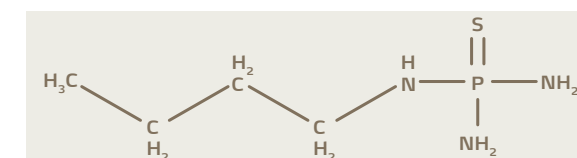


Figure 3: Formule chimique du NBPT.

## Comment agit le NBPT ?

La transformation de l'urée en ammonium dépend de l'humidité et de l'activité des enzymes uréases dans le sol. On trouve les uréases dans de nombreux êtres vivants : bactéries, champignons, algues, plantes et certains invertébrés, ainsi que sous forme d'enzymes libres dans le sol. Les inhibiteurs d'uréase sont des substances chimiques qui empêchent temporairement l'activité naturelle de ces enzymes du sol, freinant ainsi la transformation de l'urée en ammonium. Ralentir l'hydrolyse de l'urée en ammonium réduit la forte augmentation du pH et par conséquent, les pics de dégagement d'ammoniac car les molécules d'urée ont plus de temps pour s'infiltrer dans le sol. Ainsi, la volatilisation ammoniacale est diminuée. Des essais ont montré que les inhibiteurs d'uréase pouvaient réduire d'environ 60 à 70 % les pertes par volatilisation ammoniacale de l'urée et de 40 à 50 % celles de la solution azotée [4].

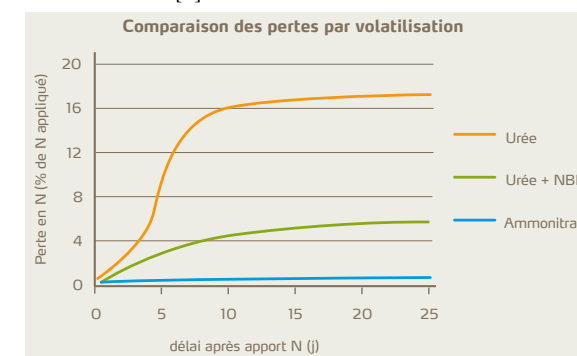


Figure 4 : Pertes par volatilisation cumulées pour différents engrais- essai en sol acide (pH 5, 8) [7].

## Concentration minimum nécessaire

Les inhibiteurs d'uréase doivent atteindre une concentration minimum pour être efficace. Le Règlement européen a fixé la limite inférieure en NBPT à 0,04 % et la limite supérieure à 0,10 %. Ces concentrations assurent un pouvoir d'inhibition d'environ 90 %.

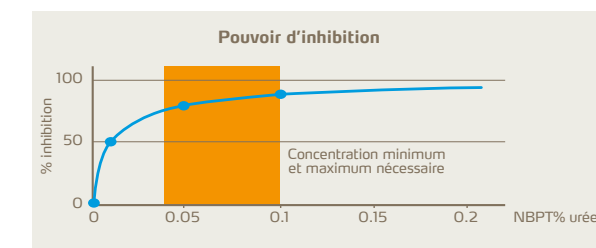


Figure 5 : Pour que l'inhibition de l'uréase soit efficace, une concentration minimale d'au moins 0,04 % est requise. Pour éviter le surdosage d'un produit chimique comme le NBPT, la teneur maximale ne doit pas dépasser 0,10 % [6].

## La stabilité du NBPT est un problème

Les inhibiteurs d'uréase ont une stabilité limitée et se dégradent dans le temps. La décomposition dépend de la température. La demi-vie caractéristique est inférieure à 6 mois. C'est pourquoi les engrais contenant des inhibiteurs doivent être utilisés rapidement après fabrication (figure 6). Le NBPT se décompose très vite quand il entre en contact avec des sulfates. Il est donc incompatible avec des engrais contenant des sulfates.

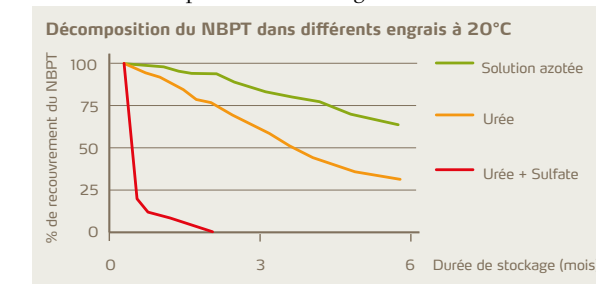


Figure 6: Décomposition du NBPT dans différents engrais à 20°C

## Sûreté et sécurité

**Effets sur l'être humain**  
Le NBPT est provisoirement classé « produit dangereux » par la réglementation européenne. Pur, il est irritant pour les yeux et présente un risque pour la fécondité. Sa manipulation impose le port d'une tenue de protection, de gants et de lunettes. Aucune restriction ne s'applique pour les engrais uréiques contenant du NBPT. À ce jour, la présence de traces de NBPT dans la chaîne alimentaire n'a pu être démontrée.

**Effets sur le sol**  
Le NBPT épandu est rapidement minéralisé dans le sol et transformé en CO<sub>2</sub> avec une demi-vie de une à deux semaines. On ne connaît pas, à ce jour, d'effet néfaste du NBPT sur les organismes et la faune du sol.

**NBPT dans les plantes**  
Présente dans les plantes cultivées, l'uréase est aussi nécessaire à la conversion de l'urée à l'extérieur qu'à l'intérieur. Après apport, les inhibiteurs d'uréase peuvent être absorbés par les racines et transférés vers les feuilles, où ils réduisent l'activité endogène de l'uréase. Il en résulte une baisse de la teneur en acides aminés, indiquant une altération du métabolisme de l'azote. On a pu observer des chloroses et des nécroses en bordure des feuilles de différentes cultures après application d'urée avec NBPT. Ces symptômes sont passagers et semblent surtout dus à l'accumulation d'urée dans les feuilles.

# L'urée : prix bas, pertes élevées

Nombreux sont ceux qui apprécient les engrais à base d'urée pour leur prix réputé bas. Pourtant, l'urée et la solution azotée sont des sources d'azote moins économiques qu'il n'y paraît, comparées aux engrais nitriques. Un des inconvénients majeurs de l'urée et de la solution azotée est la volatilisation d'ammoniac, qui entraîne d'importantes pertes d'azote, la pollution atmosphérique et l'eutrophisation des milieux naturels. **Pourquoi la volatilisation pose-t-elle problème ?**

## Pourquoi l'urée est-elle sujette à la volatilisation ammoniacale ?

Apportée au sol, l'urée doit être transformée en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) puis en nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) avant que les plantes ne puissent l'absorber. Les enzymes uréases du sol sont les vecteurs de ce processus dénommé hydrolyse. La dissolution de l'urée dans le sol entraîne une augmentation temporaire du pH du sol autour des granulés, ce qui modifie l'équilibre chimique entre l'ammonium dissout (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, lié aux particules du sol) et l'ammoniac gazeux (NH<sub>3</sub>) en faveur de l'ammoniac

gazeux qui s'échappe dans l'atmosphère, augmentant les pertes d'azote par volatilisation (figure 1). À l'inverse, les engrais à base de nitrates ne subissent pas d'hydrolyse et sont donc bien moins sujets à la volatilisation (figure 2). La volatilisation se produit généralement dans les deux semaines qui suivent l'application d'urée (figure 4). Les pertes les plus élevées ont lieu quand l'urée n'est pas immédiatement incorporée au sol, par temps chaud et venteux, sur des sols à pH élevé ou à texture légère.

## Pourquoi la volatilisation pose-t-elle problème ?

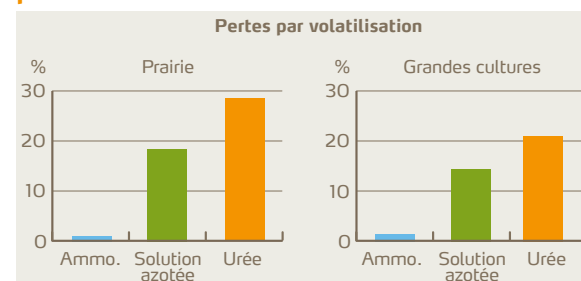


Figure 2 : Les pertes par volatilisation ammoniacale varient fortement selon le type d'engrais azoté [1].

La volatilisation ammoniacale crée un double problème :

- C'est une perte directe d'azote, et donc d'argent. Les pertes à cause de l'urée représentent 6 à 47 % de l'azote apporté contre 4 % pour les engrais à base de nitrates [1]. Les pertes avec la solution azotée se situent à un niveau intermédiaire. L'Agence environnementale européenne a établi les coefficients d'émissions à 19,9 % pour l'urée, 10,8 % pour la solution azotée et 3,0 % pour l'ammonitrate [2]. Les pertes par volatilisation sont largement imprévisibles et donc difficiles à prévenir et à compenser. Elles dépendent de divers paramètres liés au sol et au climat. La forme d'azote est le facteur le plus important intervenant dans la volatilisation.
- L'ammoniac volatilisé représente un fléau environnemental et l'écrasante majorité des émissions d'ammoniac dans l'air provient de l'agriculture (élevage et engrais). Ces émissions ne s'arrêtent pas aux frontières des états et engendrent l'acidification et l'eutrophisation des sols et de l'eau par dépôt d'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). C'est pourquoi l'Union Européenne travaille à réduire ces émissions d'ammoniac et à fixer des plafonds à chaque pays.

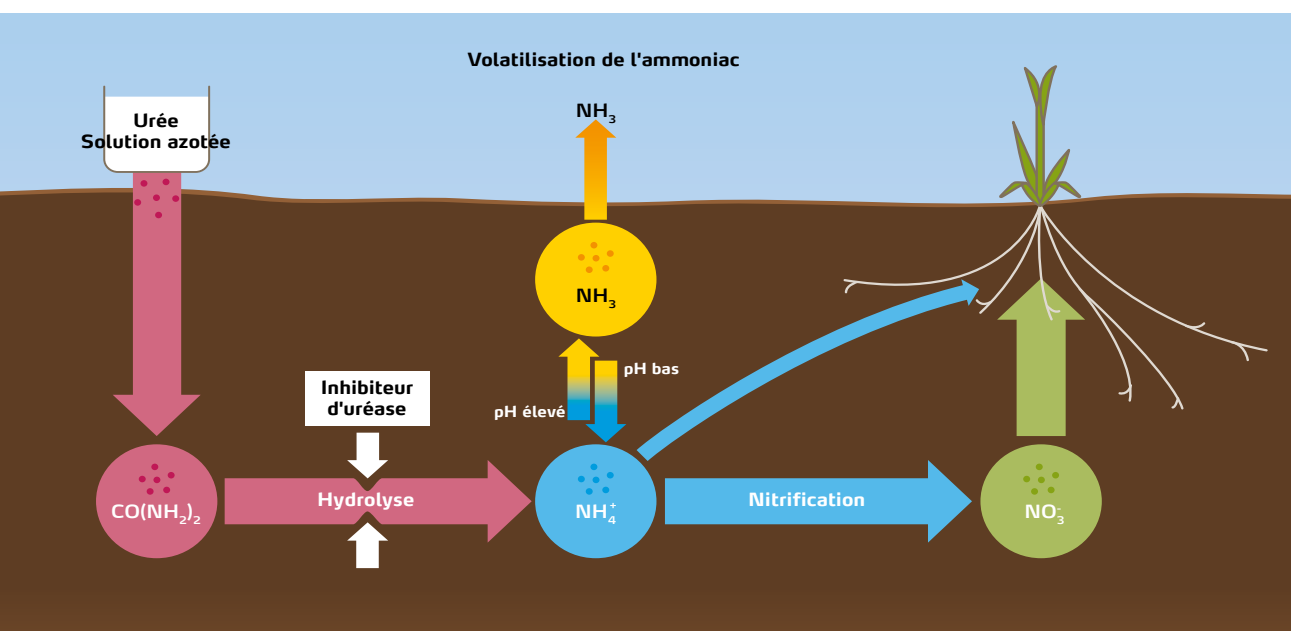


Figure 1 : L'hydrolyse de l'urée en ammoniac crée un milieu alcalin temporaire qui favorise la transformation de l'ammonium dissout en ammoniac gazeux. Les inhibiteurs d'uréase retardent l'hydrolyse, ce qui limite l'augmentation du pH et réduit le pic d'ammoniac et laisse plus de temps à l'urée pour s'infiltrer dans le sol.