



Azote  
directement  
assimilable

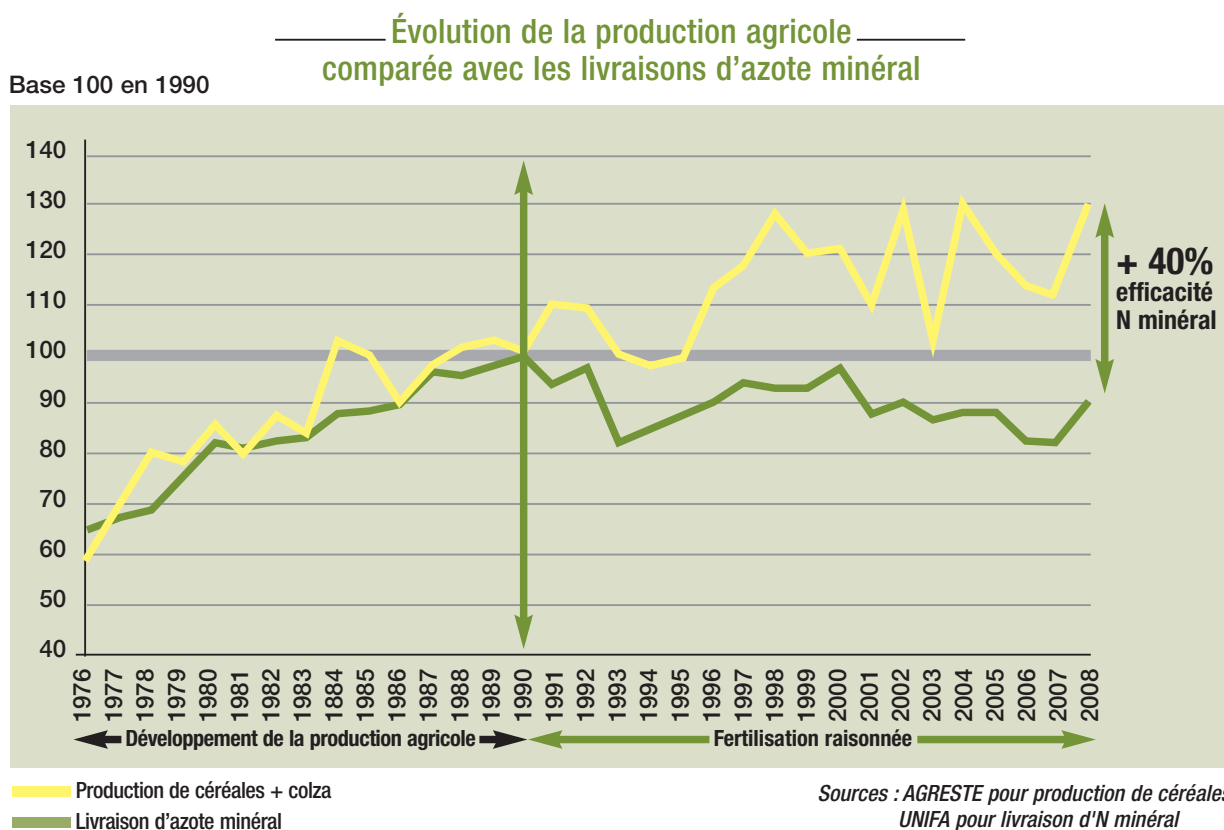
## Augmenter l'efficacité de l'azote

Une nécessité environnementale et économique

À lui seul, le gaz naturel, dont le prix est lié à celui de l'énergie, explique plus de 50% du coût de production des engrais azotés. Et on s'attend à voir ce prix augmenter sur le long terme. Dans le même temps, pour faire face à la faiblesse des stocks mondiaux de céréales et d'oléagineux, il faudra produire plus, afin d'assurer la sécurité alimentaire de la planète. Pour cela, il faudra de l'azote et son utilisation devra être encore plus efficace.

## Les progrès du raisonnement depuis 1990

Les agriculteurs ont intérêt à améliorer l'efficacité des apports d'azote. Des progrès considérables ont déjà été accomplis : en 2008, en France, avec des quantités d'azote 10% inférieures à ce qu'elles étaient en 1990, on a produit 30% de céréales et d'oléagineux en plus. Le fractionnement, l'ajustement de la dose, la meilleure prise en compte de l'azote fourni par le sol et les apports organiques expliquent ces progrès.



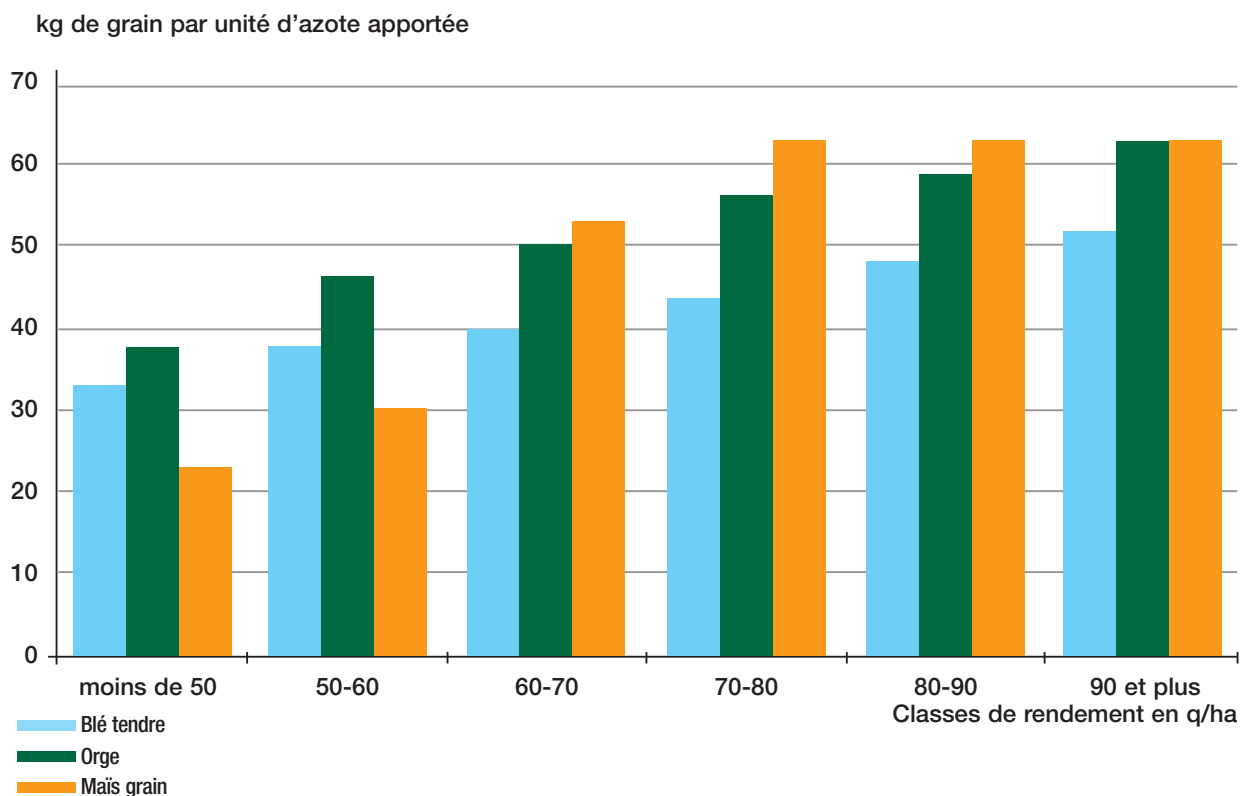
Améliorer l'efficacité de l'azote c'est à la fois

- une nécessité économique, car pour maintenir ou améliorer sa marge, l'agriculteur doit rechercher les économies possibles en engrais
- un engagement de développement durable, car l'augmentation de l'efficacité de l'azote s'accompagne d'une diminution des risques de fuite d'azote dans l'environnement.

# La productivité à l'origine d'une meilleure valorisation de l'azote

L'indicateur d'efficacité de l'azote le plus simple peut se calculer en divisant le rendement en grains par la dose totale d'azote apportée. Contrairement à une idée reçue, **c'est avec les meilleurs rendements que l'on valorise le mieux l'unité d'azote**. C'est ce que montrent les résultats de l'enquête Pratiques Culturelles du Ministère de l'Agriculture, conduite fin 2006 sur plusieurs milliers de parcelles.

Une unité d'azote N produit plus de grains  
quand le rendement augmente  
Agreste-enquête 2006 sur les pratiques culturales

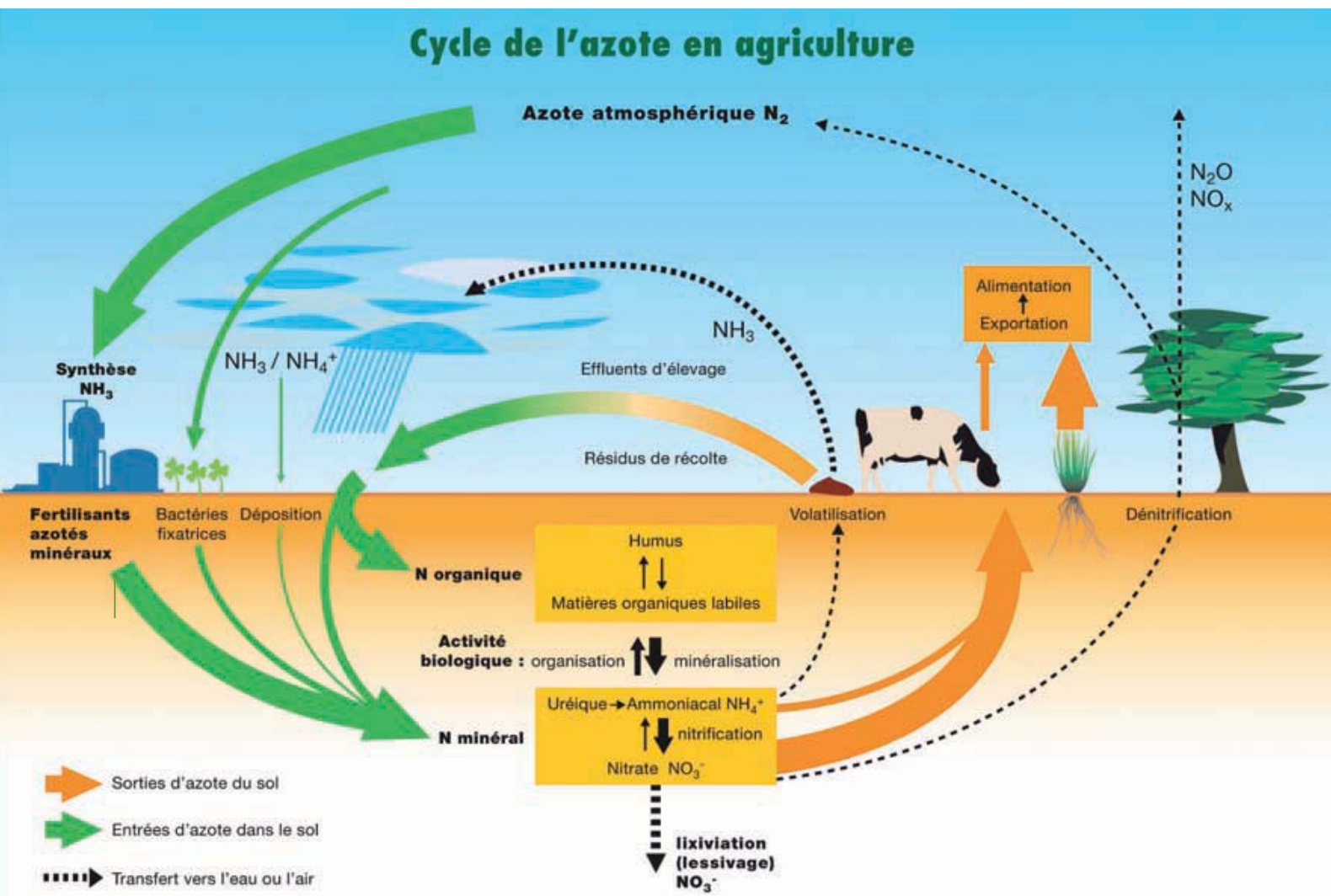


L'eau et l'azote sont les deux moteurs principaux de la croissance végétale, les autres éléments nutritifs constituant en quelque sorte les moteurs auxiliaires indispensables au fonctionnement du métabolisme de la plante.

L'azote stimule la synthèse de la chlorophylle et des protéines, accélère l'extension du couvert et permet d'installer une plus grande surface foliaire. Plus la photosynthèse est active, plus la plante fabrique de la biomasse et augmente son rendement.

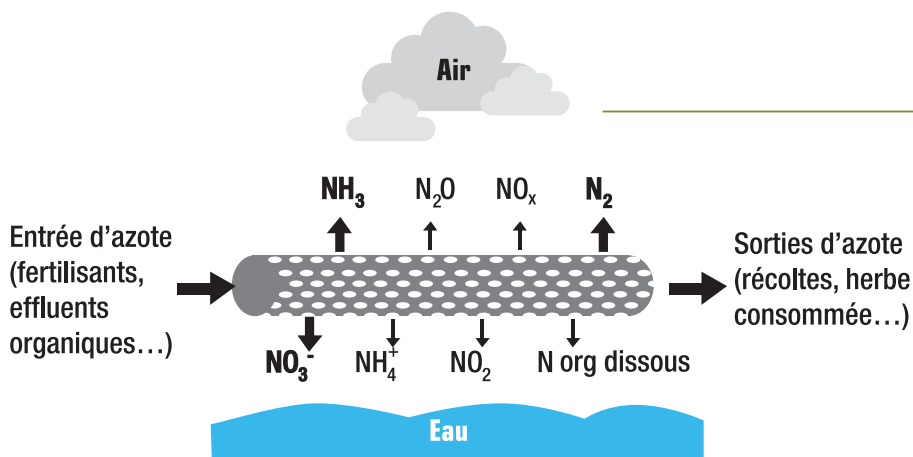
# L'azote fuit en changeant facilement de forme chimique

De l'épandage jusqu'à son absorption par les plantes, l'azote suit un cycle au cours duquel son état chimique subit de nombreuses transformations.



## Représentation simplifiée du flux d'azote dans les sols

(d'après M. A. Sutton 2007)



*Ici la parcelle est représentée par un tuyau dans lequel entre l'azote des engrais et des apports organiques et d'où sort l'azote contenu dans les récoltes. Ce tuyau est percé. Les fuites sont représentées par des composés azotés solubles dans l'eau et d'autres qui s'échappent vers l'atmosphère.*

## L'entraînement du nitrate dans l'eau

---

Quelle que soit la forme de l'apport (engrais minéral ou apport organique) l'azote se transforme progressivement en nitrate sous l'action des bactéries du sol. La forme nitrate est celle que les plantes préfèrent et qu'elles absorbent le plus rapidement lorsqu'elles sont en croissance active.

Mais le nitrate a aussi la particularité de ne pas être retenu par le sol ; il circule avec l'eau. C'est pourquoi, s'il n'est pas absorbé par les racines des plantes, il peut être entraîné en profondeur par l'excès d'eau qui percole, et atteindre la nappe. Le lessivage du nitrate a lieu généralement en hiver, en période de drainage avec une végétation au repos. Le risque de lessivage est en partie lié à la dose d'engrais apporté mais pas à sa forme. Il dépend aussi d'autres conditions comme la gestion des résidus après récolte, la minéralisation du sol à l'automne et l'implantation ou non d'un couvert végétal pour piéger le nitrate avant l'hiver.

Alors que les pertes de nitrate se chiffrent en dizaines de kg d'azote par hiver, les autres composés azotés entraînés par l'eau sont en quantité faible, n'excédant pas le kg.

## Les pertes gazeuses d'azote, multiples et mal connues

---

La perte d'azote sous forme gazeuse résulte principalement de la volatilisation de l'ammoniac. Elle peut atteindre quelques dizaines de kg d'azote, équivalente à la fuite de nitrate. La volatilisation se produit à la suite de l'épandage d'un engrais azoté ou d'un apport organique. Cette perte est extrêmement variable selon les formes d'azote apportées, les modes d'apport et les conditions météorologiques au moment et après l'épandage.

Les mécanismes de la volatilisation, les pratiques permettant de l'éviter et des résultats expérimentaux sont présentés dans les pages 8 à 11 de cette brochure. L'ammoniac ne reste pas dans l'air, il se redépose sur des terres agricoles ou sur des espaces naturels qu'il peut contribuer à eutrophiser en leur apportant un excès d'azote (lacs, tourbières, milieux humides).

## Les autres pertes gazeuses

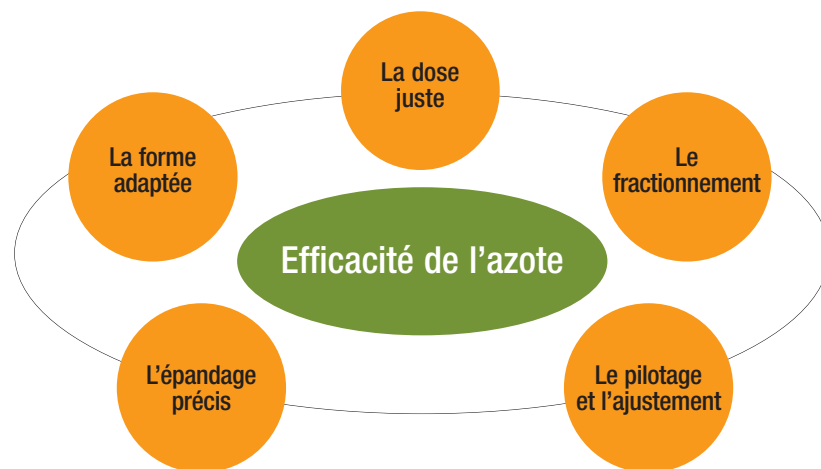
---

L'activité des microorganismes du sol est à l'origine d'émissions d'autres gaz azotés (protoxyde d'azote  $N_2O$ , oxydes d'azote  $NO_x$ , diazote  $N_2$ ). Ces pertes se produisent tout au long de l'année et sont liées aux processus biologiques de nitrification et de dénitrification (transformation de l'ammonium en nitrate puis en diazote).

À l'exception du diazote  $N_2$  gaz inerte, les autres gaz azotés sont des composés réactifs qui continuent de se transformer dans l'air. Leur dispersion entraîne des risques pour la santé (les oxydes d'azote provoquent l'apparition de pics d'ozone en été). Le protoxyde d'azote fait partie des gaz à effet de serre dont l'augmentation de la concentration a été constatée dans l'atmosphère au cours du siècle dernier.

# Gagner en efficacité en ajustant les apports d'azote

Calculer au plus juste la dose d'azote n'a d'intérêt que si on peut l'épandre avec précision. De même, le fractionnement visant à cibler les apports au plus près des besoins du végétal, implique de minimiser les pertes en choisissant bien la forme d'azote. C'est en travaillant simultanément sur ces différents axes que l'on pourra encore faire progresser les pratiques et ainsi augmenter l'efficacité de l'azote apporté tout en limitant son utilisation.



## Comment calculer la juste dose d'azote ?

- Se baser sur un objectif réaliste de rendement (moyenne des trois années sur cinq ans en éliminant les extrêmes).
- Tenir compte de l'analyse du reliquat d'azote minéral dans le sol à la sortie de l'hiver ou de son estimation, grâce aux réseaux locaux de mesure.
- Estimer l'azote fourni par la minéralisation de la matière organique du sol et par les apports organiques.

## Comment choisir la forme d'azote la plus apte à réduire les pertes ?

- En cas d'incorporation de l'azote avant semis ou avec des localisateurs d'engrais sur le semoir ou sur une bineuse, toutes les formes d'azote sont utilisables. L'incorporation peut se faire entre les rangs de maïs avec un équipement de dents ou de coutres.
- En cas d'apport sur végétation (cultures, prairies) : la forme nitrique est préférable aux formes uréique et ammoniacale sensibles à la volatilisation en particulier si l'apport est tardif et en période de temps chaud et sec.

## Comment fractionner pour augmenter l'efficacité ? \_\_\_\_\_

- \_ Fractionner davantage, jusqu'à 4 apports d'azote possible sur blé.
- \_ Limiter la dose au premier apport à la reprise de végétation car les besoins sont faibles à cette période sur céréales.
- \_ Le dernier apport est très bien valorisé pour la teneur en protéines du blé en l'absence de maladies au stade de la dernière feuille avant l'épiaison.

## Comment ajuster au besoin exact ? \_\_\_\_\_

- \_ Pour les derniers apports, piloter les doses à l'aide d'un outil qui évalue le besoin nutritionnel de la culture.
- \_ Moduler la dose apportée à l'intérieur du champ selon les hétérogénéités constatées par l'outil de pilotage.

*Pince N Tester*®



*GPN Pilot*®



## Comment économiser de l'engrais par la précision de l'épandage ?

- \_ Contrôle de rampe pour la solution azotée.
- \_ Pesée embarquée sur l'épandeur porté permettant un réglage en continu du débit et une très bonne précision de la dose d'engrais granulé épandue.
- \_ Contrôle de la largeur d'épandage pour s'assurer d'un recouvrement optimal des passages derrière l'épandeur.

L'épandage d'engrais granulé en grande largeur à plus de 28 mètres est plus sensible à des facteurs comme la pente du terrain, le vent, l'hygrométrie... Il est nécessaire de disposer d'un appareil capable d'éjecter les engrais sur plus de 36 mètres et d'utiliser un engrais sphérique suffisamment lourd (densité >0.8) et gros (diamètre moyen >3mm) qui sera projeté plus loin.

Le dossier technique de l'UNIFA « Gagner en efficacité avec l'azote minéral » est téléchargeable sur le site [www.unifa.fr](http://www.unifa.fr) avec plus d'information sur les cinq clés de succès de la fertilisation azotée.

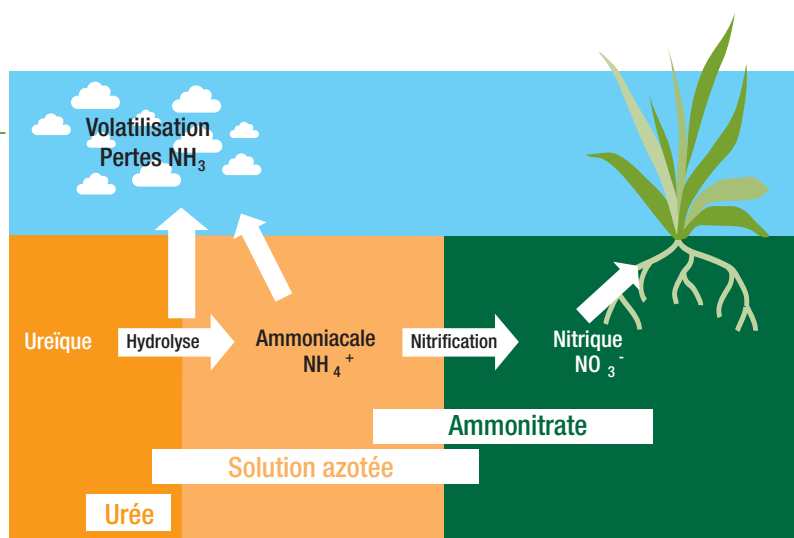
### Les zones vulnérables et la protection des captages d'eau

- Les zones vulnérables classées au titre de la Directive nitrates disposeront fin 2009 d'un 4ème plan d'action signé du préfet du département.
- La conditionnalité des aides PAC comporte plusieurs obligations concernant la fertilisation azotée d'origine minérale et organique en zone vulnérable.
- Les SDAGE (Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux), consultables sur les sites des six agences de l'eau, prévoient des mesures pour protéger les aires d'alimentation de captage d'eau potable.
- Les SDAGE devront permettre à la France de restaurer le « bon état écologique » des eaux en conformité avec l'objectif européen de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau).

# Comment prévenir le risque de la volatilisation d'azote ?

De nombreux mécanismes biologiques et physico-chimiques sont à l'origine des pertes gazeuses des sols en azote. Mais il faut savoir que la quantité en jeu est bien plus importante dans le cas de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et que les pertes se produisent dans les heures et les jours qui suivent l'épandage, lorsque l'engrais commence à se dissoudre et se trouve en contact avec l'atmosphère.

La volatilisation de l'ammoniac augmente sous l'effet de facteurs physico-chimiques bien connus (pH supérieur à 7 autour du granulé d'engrais, air sec et chaud, vent...). Elle concerne tous les fertilisants contenant une fraction importante d'azote uréique et ammoniacale (lisier, fumier, fientes ainsi que certains engrais minéraux).



Les formes uréique et ammoniacale de l'azote doivent d'abord subir des transformations dans le sol (hydrolyse puis nitrification) avant que l'azote ne devienne facilement disponible pour les cultures. La forme nitrique de l'azote  $\text{NO}_3^-$  n'est pas exposée au risque de la volatilisation d'ammoniac. L'urée qui élève localement le pH du sol autour des granulés, la solution azotée et la fraction ammoniacale des ammonitrates sont soumis à des degrés divers au risque de volatilisation. En revanche, les nitrates (de potassium, de calcium...) s'y soustraient totalement.

Température du sol	Hydrolyse de l'urée en ammonium	Température du sol	Nitrification de l'ammonium en nitrate
2°	4 jours	5°	6 semaines
10°	2 jours	10°	2 semaines
20°	1 jour	20°	1 semaine

Source : Vilsmeier and Amberger (1980-1984)



Les techniques pour prévenir le risque de volatilisation sont bien connues : enfouissement immédiat des fertilisants azotés, choix de la forme nitrique de l'engrais azoté. Cependant lorsque l'azote est apporté sur des cultures en place (céréales d'hiver, colza, prairies...), l'enfouissement n'est pas possible. L'importance des émissions va alors dépendre de la pluie survenant dans les heures ou les jours qui suivent l'épandage car c'est elle qui permettra la dissolution et l'infiltration des formes uréiques et ammoniacales dans le sol pour les soustraire du contact avec l'atmosphère.

Type d'engrais azotés	% de l'azote sous forme		
	Uréique	Ammoniacale	Nitrique
<b>SOLIDE</b>			
Urée	100 %		
Sulfate d'ammoniaque		100 %	
Sulfonitrate d'ammoniaque		73 %	27 %
Ammonitrate		50 %	50 %
Nitrate de calcium		7 %	93%
Nitrate de potassium			100 %
<b>GAZ (avec enfouissement obligatoire)</b>			
Ammoniac anhydre NH3		100 %	
<b>LIQUIDE</b>			
Solution azotée	50 %	25 %	25 %

Mais comment peut-on prévoir la pluie ? Combien d'azote risque-t-on de perdre ?

La zone d'incertitude est grande, elle amène souvent les agriculteurs à surdoser pour prendre une assurance sur ces pertes probables. Les recommandations sont, par exemple de majorer l'apport d'azote de 10 à 15% avec la solution azotée sur céréales d'hiver, de 15% avec l'urée épandue à la surface du sol sans incorporation sur maïs. Cette pratique n'est satisfaisante ni pour le portefeuille, ni pour l'environnement. En effet, le surdosage peut laisser un excès d'azote dans le sol après récolte ce qui accroît le risque de lessivage l'hiver suivant.

### Recommandations pour limiter les émissions d'ammoniac lors de l'épandage des engrais azotés minéraux (CORPEN\* 2006)

<b>Choix de la forme</b>	Préférer la forme nitrique aux formes uréique ou ammoniacale
<b>Positionnement</b>	Avant semis : enfouir ou localiser En couverture : apporter en période de forte croissance
<b>Conditions d'apport</b>	Eviter les fortes températures et le vent Épandre pendant ou avant un épisode pluvieux

# Eviter les pertes, l'agriculteur y gagne, l'environnement aussi !

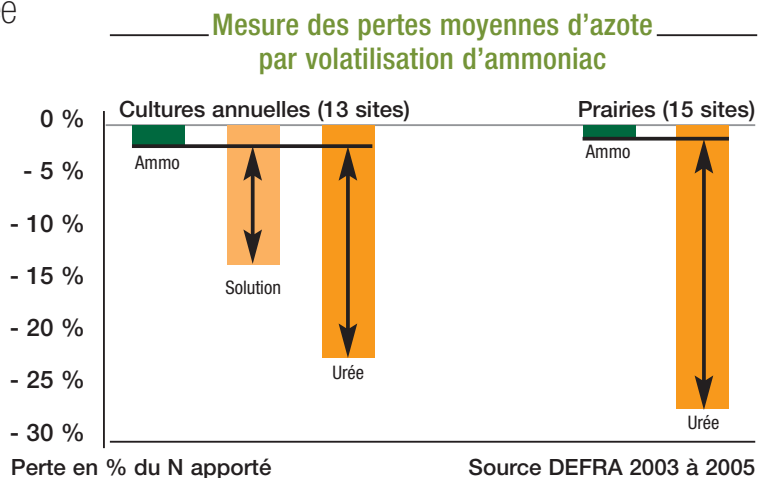
Des dispositifs coûteux permettent de mesurer la quantité d'ammoniac perdu à la suite d'apport d'engrais azotés sur des céréales ou des prairies. En Grande Bretagne, ce travail financé par le Ministère (DEFRA) montre la grande variabilité des pertes et l'effet très significatif du type d'engrais choisi.



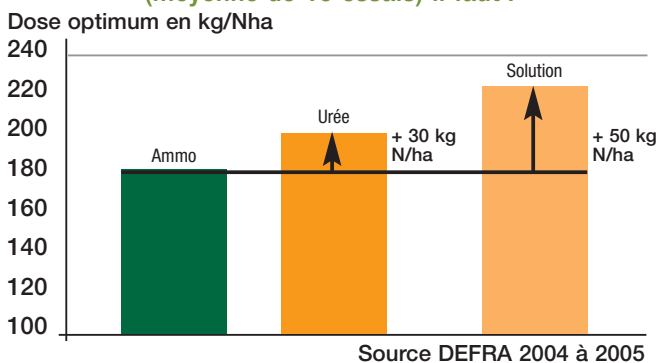
Sur les 28 sites expérimentaux équipés en tunnels de ventilation pour la mesure d'ammoniac, la perte a été en moyenne de 22% de l'azote apporté sur céréales d'hiver et de 27% sur prairies avec l'urée. Les résultats sont exprimés en % de l'azote apporté. Cette perte n'était que de 2% avec les ammonitrates et de

14% en moyenne avec la solution azotée sur céréales d'hiver. Les pertes sont très variables après chaque apport allant de 2% à 43% de l'urée apportée sur céréales d'hiver. Elles ne sont pas prévisibles.

*Pertes moyennes d'azote par volatilisation en % du N apporté - Source DEFRA 2005*



**Avec les ammonitrates, économie de 30 à 50 kg N/ha**  
**Pour obtenir 88 q/ha de blé tendre**  
**(moyenne de 10 essais) il faut :**



Sur dix essais de blé tendre, la dose d'azote optimum permettant d'obtenir le meilleur rendement a été déterminée.

En moyenne il a fallu respectivement 30 kg et 50 kg d'azote supplémentaire avec l'urée et la solution azotée pour arriver au même rendement qu'avec l'utilisation d'ammonitrate.

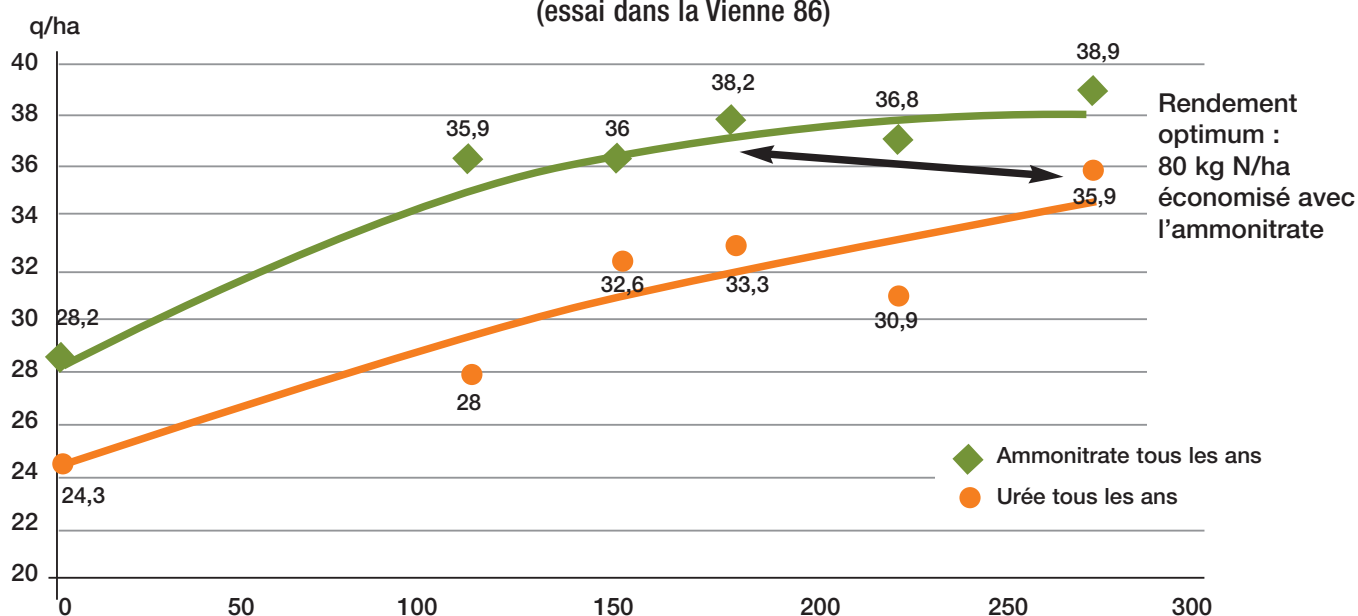
## Economiser en utilisant de l'azote plus efficace

En France, 8 essais comparant l'utilisation répétée d'ammonitrate et d'urée à l'échelle de la succession de cultures ont donné leur premiers résultats en 2008 (après une année de différenciation en 2007). Sur certains sites, des différences très marquées ont été observées selon les formes d'azote utilisées depuis 2 ans :

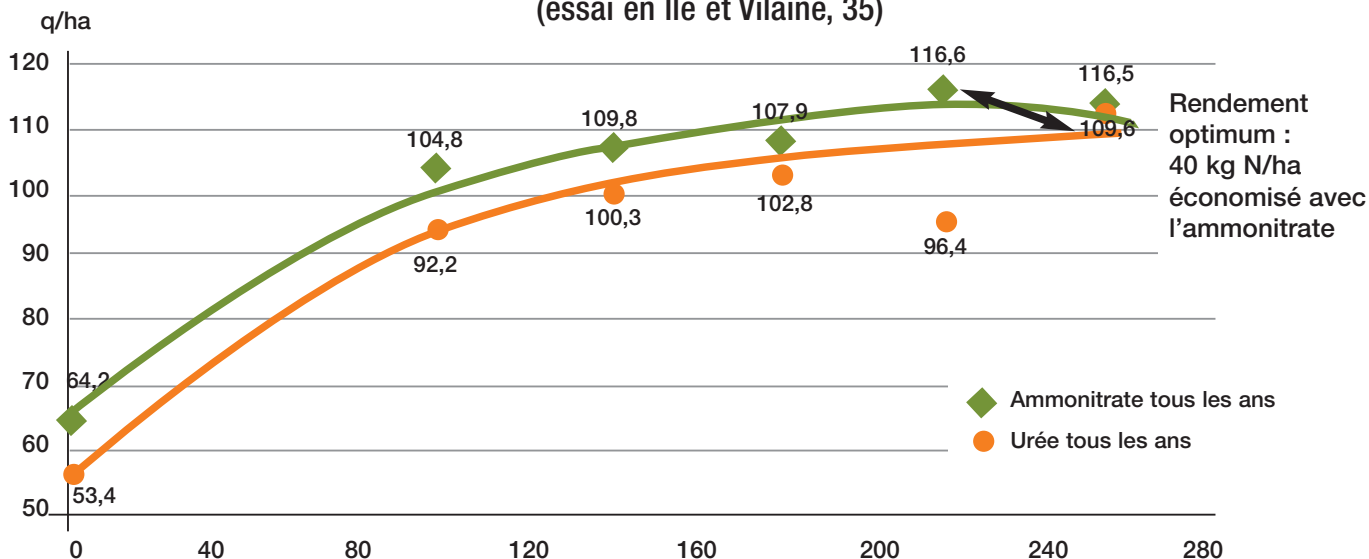
- Il faut une dose d'azote plus élevée avec l'urée apporté tous les ans pour atteindre l'optimum de rendement soit +40 kg de N sur l'essai blé et +80kg sur l'essai colza.
- À la dose calculée par le bilan prévisionnel (dose objectif) l'utilisation de l'ammonitrate procure un gain de rendement de +5 q/ha respectivement en blé et en colza.

L'objectif de ces essais est de mesurer sur plusieurs années l'efficacité de la fertilisation azotée avec ces deux engrais.

Rendement du colza pour différentes doses d'azote  
(essai dans la Vienne 86)



Rendement du blé d'hiver pour différentes doses d'azote  
(essai en Ile et Vilaine, 35)



L'efficacité de la fertilisation azotée a progressé grâce à la précision du calcul des doses, au fractionnement et à l'ajustement des apports. La réduction de la volatilisation de l'ammoniac à la suite de l'épandage des engrais azotés est un levier important pour obtenir de nouveaux gains d'efficacité.

Limiter les pertes d'azote devient un engagement fort du développement durable pour à la fois préserver la rentabilité économique, remplir la mission de nourrir les hommes et protéger l'environnement.

*Cette édition ADA élaborée conjointement par les agronomes de cinq producteurs industriels d'azote fournit des conseils pratiques pour gagner encore en efficacité et permettre aux agriculteurs d'améliorer encore leur résultat économique et leur compétitivité.*

## Pour en savoir plus :

- [www.azote.info](http://www.azote.info)
- [www.comifer-asso.fr](http://www.comifer-asso.fr)
- [www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr) entrer CORPEN
- [www.unifa.fr](http://www.unifa.fr)

Recevez gratuitement les prochaines  
Lettre ADA en vous inscrivant sur  
[www.azote.info](http://www.azote.info) ou en envoyant un mail à  
[inscription@azote.info](mailto:inscription@azote.info)

