

Prise en compte de la volatilisation des engrais minéraux

Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote ne doit pas tenir compte *a priori* de la volatilisation ammoniacale des engrais minéraux et se place dans la configuration « potentielle » d'efficacité maximale de l'engrais azoté. La prise en compte de cette perte potentiellement très variable ne doit pas intervenir *a priori* dans le calcul prévisionnel de l'apport total mais doit faire l'objet d'une analyse de risque à chaque apport pour :

1. Eviter ou réduire la perte ammoniacale par des pratiques adaptées
2. Utiliser une grille d'évaluation du risque avant chaque apport d'azote.

Il n'existe aujourd'hui aucune méthode simple et opérationnelle de prévision du poste Gx, pertes gazeuses aux dépens de l'engrais azoté et plus spécifiquement des pertes par volatilisation ammoniacale. Le poste Gx figure explicitement dans l'écriture complète du bilan prévisionnel mais il est omis dans la plupart des écritures opérationnelles (bilan de masse additif ou écriture CAU). Seuls certains outils dynamiques disposent d'une estimation *a priori* de la volatilisation.

La volatilisation de l'azote ammoniacal

La volatilisation d'ammoniac est le processus physico-chimique de passage du NH_4^+ adsorbé sur le complexe argilo-humique ou dissous dans la solution du sol vers sa forme gazeuse NH_3 libérée dans l'atmosphère. Elle s'opère à la surface du sol à partir d'une source d'azote ammoniacal : engrais minéral ou produit résiduaire organique. Ce phénomène se produit rapidement après l'apport (quelques heures à quelques jours). Les pertes par volatilisation peuvent dépasser 20 % pour les apports d'engrais minéral selon les formes et les conditions d'apport et 70% pour la fraction ammoniacale des lisiers. L'intensité du phénomène dépend des propriétés du sol (pH, pouvoir tampon, humidité de surface) et des conditions climatiques (température, vent, pluviométrie) dans les heures et les jours qui suivent l'épandage.

1. Eviter ou réduire la perte ammoniacale par des pratiques adaptées

D'une manière générale, toutes les pratiques culturales qui tendent à maximiser l'efficacité de l'azote apporté (maximisation du coefficient d'utilisation de l'azote) doivent être privilégiées avant de recourir à une majoration de dose.

- 1) **Sur culture de printemps en pré-semis ou au semis/plantation** : incorporer les engrais à base uréique et ammoniacale et ne pas anticiper l'apport d'azote de plus de 15 jours avant l'implantation (afin de limiter également l'organisation microbienne).
- 2) **Sur culture de printemps type Maïs, Sorgho, Tournesol (fort écartement inter-rang) avec apport en végétation** : incorporer l'azote en profondeur (10-15 cm fertiliseur à coutre type « Magendie ») ou à défaut par un binage/désherbinage superficiel (moindre efficacité).
- 3) **Sur cultures d'hiver ou céréales de printemps avec apport en végétation**, épandre peu avant un épisode pluvieux prévu ou déclencher une irrigation de 10 à 15mm après épandage quand c'est

possible. Dans les limites du réalisable (organisation de chantier, stade de passage), différer un apport plutôt que de risquer de perdre jusqu'à 20-30% de l'azote apporté.

Avec la solution azotée, épandre de préférence en soirée afin d'éviter les conditions très favorables à la volatilisation de la journée et de limiter les brûlures du feuillage.

- 4) **En sol à pH élevé (pH>7.5)**, quand c'est possible, éviter le recours aux engrais les plus sensibles à la volatilisation risquant une pénalisation du rendement et de la qualité.
- 5) **Eviter les apports en conditions ventées et par températures élevées** (le vent nuit également à la précision de l'épandage).

2. Utiliser une grille d'évaluation du risque avant chaque apport d'azote

Lorsqu'un engrais à base uréique et/ou ammoniacale, tels qu'urée et solution azotée, est apporté en plein en cours de culture sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration, une grille d'évaluation du risque de perte d'efficacité permet d'ajuster l'apport prévu en appliquant une majoration de 0 à 15% à cet apport.

Cette grille est utilisable avant chaque apport.

Grille d'évaluation du risque de volatilisation ammoniacale pour chaque apport

(cas d'apport en plein sur végétation)

Date d'apport :					
Parcelle					
Culture					
			Note	Votre situation	
SOL	pH	pH < 7	0		
		7 < pH < 7.5	2		
		pH > 7.5	3		
CEC		< 12 meq/100g terre	2		
		> 12 meq/100g terre	0		
CLIMAT	Pluviométrie prévue à 3 jours	< 10 mm/3 jours	4		
		> 10 mm/3 jours	0		
	Vitesse du vent	≤ 3 Beaufort (0-19km/h)	0		
		> 3 Beaufort (> 19km/h)	2		
	Température jour de l'apport		< 6°C	0	
			[6-13]°C	3	
> 13°C			6		
			NOTE globale		
			* =	0	

* somme de la colonne

Majoration de l'apport d'après l'évaluation du risque de volatilisation

NOTE globale	< 4	[4-8]	[9-13]	> 13
Solution azotée & urée, toutes cultures sauf urée sur céréales à paille d'hiver	0%	5%	10%	15%
Urée solide sur céréales à paille d'hiver	En attente			

Plusieurs éléments techniques issus de travaux en cours de finalisation et dont la publication est prévue à l'automne 2013 pourraient amener à préciser la prise en compte du risque de volatilisation de l'urée solide sur céréales à pailles en mettant en regard les références françaises publiées avec de nouveaux résultats en cours de traitement et des références étrangères. La grille d'évaluation du risque pourra donc évoluer dans les prochains mois pour tenir compte de ces nouvelles références.

En dernier ressort, le pilotage précédant les derniers apports sur les céréales à paille, offre la possibilité de corriger la nutrition azotée pour compenser, entre autres, une moindre efficacité de l'azote des apports précédents. Le pilotage représente donc aussi un moyen objectif de compenser a posteriori les pertes par volatilisation lors des précédents apports.

ANNEXES

1. La perte ammoniacale des engrais minéraux

Les pertes annuelles d'ammoniac dans l'atmosphère représentent aujourd'hui l'équivalent de 558 kt de N/an (CitepaSecten 2012 - 678 kt NH₃). L'agriculture est le principal contributeur avec 97% des émissions qui se répartissent de la façon suivante : déjections animales pour 78% et engrais minéraux pour 19%.

Limiter la volatilisation ammoniacale des produits résiduels organiques et des engrais minéraux constitue donc un levier majeur pour économiser de l'azote en maximisant l'efficacité des apports et pour préserver la qualité de l'air (The European Nitrogen Assessment 2011, Our Nutrient World- INI 2013). D'une manière indirecte, la volatilisation ammoniacale peut contribuer aux transferts d'azote réactifs dans les eaux à travers son implication dans la cascade de l'azote. Aussi, une approche globale du cycle de l'azote et de ses impacts est nécessaire même dans le cadre d'une réglementation ciblant en premier lieu le transfert d'azote nitrique. Abordé ici sous l'angle de la Directive Nitrates (91/676/CE) et des référentiels régionaux de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée, l'ammoniac émis dans l'atmosphère n'en est pas moins soumis également à une directive européenne spécifique, la directive NEC (2001/81/CE), régissant les plafonds d'émissions de divers polluants atmosphériques. L'ammoniac a des impacts multiples sur l'acidification des sols, l'eutrophisation et la biodiversité d'espaces naturels sensibles, la qualité de l'air et la santé humaine. Sur la base des facteurs d'émission conventionnels, les pertes d'ammoniac aux dépens des engrais minéraux s'élèvent à 106 kt N/an soit plus de 5% de l'azote minéral apporté (d'après les statistiques UNIFA 2014 kt N minéral en 2011-2012).

Il apparaît évident que ces pertes par volatilisation d'ammoniac sont à la fois susceptibles de générer des impacts environnementaux négatifs et représentent également une perte économique privant l'agriculture d'une ressource en azote minéral. Dès lors, la recherche de la maximisation de l'efficacité de l'azote des engrais s'inscrit dans une double logique convergente environnementale et économique.

Concernant les engrais minéraux, les publications scientifiques majoritairement anglo-saxonnes sont nombreuses et relativement convergentes. La sensibilité des engrais azotés à la volatilisation ammoniacale varie selon leur type :

FORME N	ammonitrate	solution azotée	urée	source
% de volatilisation du N apporté en surface	3 [-3 à 10]	14 [8 à 17]	22 [2 à 43]	DEFRA 2005
	1.5	9	17	EEA 2004 [6-13°C]
	2	8	15	ECETOC 1994

Pour les engrais ammoniacaux de type sulfate d'ammoniaque ou phosphate d'ammoniaque (DAP, MAP), le facteur pH du sol semble déterminant, les valeurs pour ces produits seraient proches des ammonitrates en sol à pH < 7 et comparable à l'urée en sol alcalin (EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009 - derived from Van der Weerden and Jarvis (1997) - NARSES National Ammonia Reduction Strategy Evaluation System - Webb & Misselbrook, 2004)). Depuis de nombreuses années en France, les pratiques, initiées dans les années 1970-1980 pour compenser la volatilisation ammoniacale et la moindre efficacité agronomique des formes solution azotée et urée, ont été de majorer les doses de 0 à 15% selon les sols, les engrais et les cultures (Le Souder C., Taureau J.C., Richard H., Berhaut F., 1997. Formes d'engrais ammonitrate et solution azotée : quelle incidence sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver. Perspectives Agricoles, 221 (février), 67-74 ; Gérer la fertilisation azotée du maïs dans le sud-ouest - Arvalis., ARVALIS 2008). Justifiées et expérimentalement démontrées du point de vue du rendement et de la teneur en

protéines des céréales, ces majorations de doses n'intègrent pas la gestion du risque d'émissions d'ammoniac dans l'atmosphère.

Onze Arrêtés Préfectoraux régionaux publiés durant l'été 2012 sur l'équilibre de la fertilisation ont, de fait, étendu à l'ensemble des grandes cultures, des majorations de doses validées par l'expérimentation uniquement sur blé d'hiver (*Réseau d'essais Yara- Arvalis/Le Souder et al. 1997 pour la solution azotée; Le Souder C., Taureau J.C., Richard H., Berhaut F., 1997*) puis plus récemment sur colza pour l'urée et la solution azotée (*Yara - réunion Comifer N, février 2013*).

Selon ARVALIS - Institut du végétal, la nécessité de majorations de doses d'urée sur céréales à paille d'hiver n'est pas prouvée expérimentalement pour des références françaises (*Cohan J.P., Le Souder C., 2013. Formes d'azote - Ammonitrate, solution azotée ou urée : les bons critères de choix. Perspectives Agricoles, 396 (janvier 2013)*). Néanmoins, ces majorations sont effectivement compatibles avec les ordres de grandeurs des pertes par volatilisation mesurées directement et recensées dans la bibliographie.

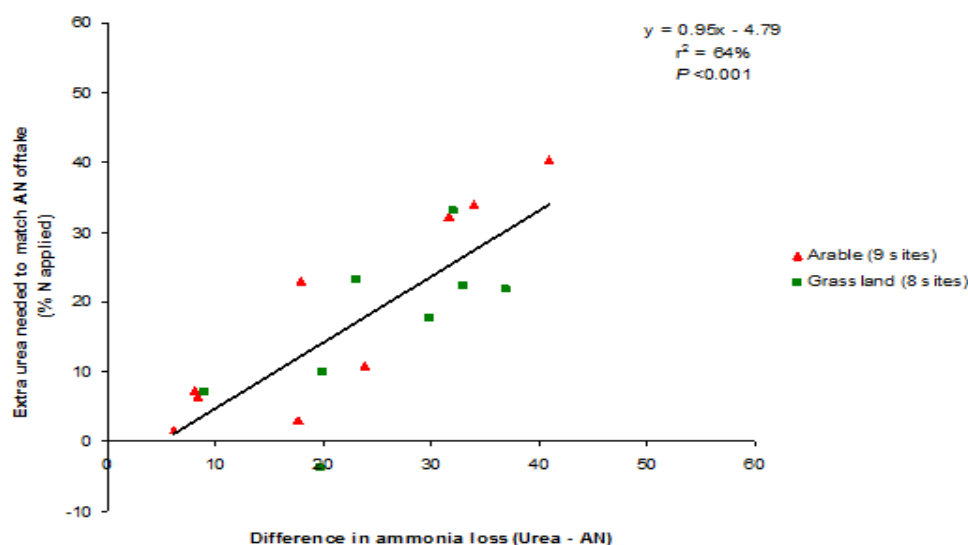


Figure 2. Relationship between ammonia loss differences and the extra urea N required to match AN crop N offtake.

Les travaux du DEFRA [2003 - 2005], dans le cadre du projet NT26 en Angleterre, ont bien établi la liaison entre l'intensité de la volatilisation ammoniacale et le supplément de fertilisation requis avec l'urée pour obtenir une absorption d'azote équivalente à l'ammonitrate (cf. figure ci-dessus).

De même, la relation Azote Absorbé - Rendement est indépendante de la forme d'azote apportée dans les essais comparant ammonitrate et solution azotée sur blé, ce qui traduit uniquement une différence de coefficient d'utilisation réel ou apparent et non une différence d'efficacité de conversion de l'azote absorbé.

L'expérimentation a également démontré que ce sont bien les pertes gazeuses d'azote (essentiellement la volatilisation) qui sont à l'origine des diminutions de Coefficient Apparent d'Utilisation des engrais azotés. Il est donc possible de conclure que la volatilisation ammoniacale est bien une source de perte d'azote significative qui diffère selon les engrais minéraux. Il convient prioritairement :

1. d'éviter la volatilisation quand c'est possible (ex : incorporation au sol),
2. de la réduire par le choix de l'engrais et les pratiques d'apport et en dernier,

3. de la compenser par une majoration de dose appropriée afin de minimiser le risque de perte de production agricole.

2. LES PRINCIPAUX DETERMINANTS DE LA VOLATILISATION AMMONIACALE DES ENGRAIS MINERAUX

La volatilisation ammoniacale est d'abord un processus physico-chimique dont l'intensité est sous la dépendance des facteurs du milieu. La bibliographie scientifique et les nombreux écrits de vulgarisation ont identifié ces principaux facteurs :

		Effet majorant	Effet minorant
SOL	pH	pH alcalin	ph acide
	CEC	Faible CEC	Forte CEC
	Humidité du sol	Faible	Normale
CLIMAT au moment de l'apport	Température	Elevée	Faible
	Pluviométrie	< 5-10 mm	> 5-10 mm
	Vent	Présence	Absence
	Flux évapotranspiration	Elevée	Faible
CULTURE	Couvert végétal	Sol nu ou faible couvert	Couvert développé
	Vitesse de croissance	Faible	Elevée
PRATIQUES CULTURALES	Modalités d'apport	Apport en couverture	Incorporation Pré-semis ou localisation
	Irrigation après apport	Absence	Présence
CHOIX DU FERTILISANT	Surface d'échange engrais –sol – atmosphère	Solution azotée & urée	Ammonitrates Nitrate de calcium, de sodium de potasse
	Auto augmentation du pH autour du granulé d'urée		

1. LES LEVIERS D'ACTION POUR REDUIRE LA VOLATILISATION AMMONIACALE DES ENGRAIS MINERAUX

Différents documents et revues bibliographiques citent et quantifient des mesures pratiques pouvant diminuer ces pertes :

Technique de réduction	% de réduction	Commentaires	Mise en œuvre
Epandage en plein en surface	Technique de référence		
Irrigation	40-70%	Immédiatement après apport	Culture irriguée
		Quantité : env. 10mm	Disponibilité matériel
Incorporation profonde	80-90%	Profondeur de travail	Culture de printemps (maïs, sorgho, tournesol, betterave)
Localisation au semis et/ou en végétation		Fermeture du sillon	Ecartement de semis
Incorporation en présemis	50-80%	Immédiatement après apport	Culture de printemps
		Profondeur d'incorporation	Façon culturale supplémentaire Compatibilité travail du sol simplifié
Inhibiteur d'uréase	70%	Pour urée	
	40%	Pour solution azotée	
Engrais enrobé à libération progressive et contrôlée	30%	Engrais solide	
Substitution de forme N	90%	Dans les situations les plus exposées aux pertes	

Source UNECE 2012, Corpen 2006

Des mesures pratiques existent donc pour limiter ces pertes mais du point de vue économique, ces leviers d'action présentent tous un coût supplémentaire pour l'agriculteur : coût direct (engrais) ou coût indirect (équipement spécifique, charge de carburant, temps/ha).