

Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage

Jean-François Moal



Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage

Quantification et étude des facteurs d'influence

Jean-François Moal



GROUPEMENT DE RENNES
17, avenue de Cucillé
35044 Rennes Cedex
Tél. : 99 28 15 15 - Fax : 99 33 29 59

Photo de couverture (J.-F. Moal) : Volatilisation de l'azote des lisiers après épandage.

Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage : quantification et étude des facteurs d'influence - Jean-François Moal - © Cemagref 1995, 1^{re} édition, ISBN 2-85362-412-9, ISSN 1258-276X, dépôt légal 2^e trimestre 1995 - Collection *Études* du Cemagref, série *Équipements pour l'eau et l'environnement* n° 20, dirigée par Rémy Pochat, chef du département - Impression et façonnage : Impression et façonnage : Ateliers Cemagref Dicova, 92162 Antony Cedex - Édition et diffusion : Cemagref Dicova, BP 22, 92162 Antony Cedex, tél. (1) 40 96 61 32 et Cemagref Rennes, division Production et économie agricoles, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex, tél. 99 28 15 15. Diffusion aux libraires : TEC et DOC, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, tél. (1) 47 40 67 00 - Prix : 210 F TTC.

THÈSE

Présentée par Jean-François Moal

Pour obtenir le titre de Docteur
de l'Université de Perpignan

Spécialité : agro-chimie

Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage

Quantification et étude des facteurs d'influence

Soutenue le 16 décembre 1994
devant le Jury composé de :

Camille-Michel COSTE	(Université Perpignan)	Président
Geneviève GRUNDMANN	(Université Grenoble)	Rapporteur
Gérard GUIRAUD	(CEA Cadarache)	Rapporteur
Brian PAIN	(AFRC - GB)	Examineur
José MARTINEZ	(Cemagref Rennes)	Examineur
Claude CHEVERRY	(ENSA Rennes)	Examineur
Pierre CELLIER	(INRA Thiverval Grignon)	Examineur

Le Cemagref, institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement, est un établissement public sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche et de l'Agriculture.

Ses équipes conçoivent des méthodes et des outils pour l'action publique en faveur de l'agriculture et de l'environnement. Leur maîtrise des sciences et techniques de l'ingénieur contribue à la mutation des activités liées à l'agriculture, à l'agro-alimentaire et à l'environnement.

La recherche du Cemagref concerne les **eaux continentales**, ainsi que les **milieux terrestres** et **l'agriculture**. Elle a pour objectif d'élaborer des méthodes et des outils d'une part de **gestion intégrée** des milieux, d'autre part de conception et d'exploitation d'**équipements**.

Les équipes, qui rassemblent un millier de personnes réparties sur le territoire national, sont organisées en **quatre départements scientifiques** :

- **Gestion des milieux aquatiques**
- **Équipements pour l'eau et l'environnement**
- **Gestion des territoires**
- **Équipements agricoles et alimentaires**

Les recherches du département *Équipements pour l'eau et l'environnement* s'orientent vers :

- l'ingénierie et la prévention des risques naturels en montagne,
- l'ingénierie et la sécurité des barrages et des ouvrages hydrauliques,
- la maîtrise et la gestion des déchets,
- les techniques et la gestion de l'irrigation et du drainage,
- les techniques et la gestion d'équipements publics pour l'eau et les déchets,
- l'ingénierie des interactions eau-matériaux-ouvrages.

à Morvan et à Véronique

à mes Parents et à mon Frère

aux vrais formateurs, de la petite à la grande école, ...

A la mémoire de Patrice

AVANT - PROPOS

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au sein de la division Production et Economie Agricoles du Centre du Machinisme Agricole, du Génie Rural et des Eaux et Forêts (Cemagref) de Rennes.

J'adresserai mes premiers remerciements à José MARTINEZ, Chargé de Recherche au Cemagref, qui a initié ce projet de thèse. Durant ces trois années, il a su m'encourager et me soutenir pour mener à bien ce projet. Sa rigueur scientifique et sa clairvoyance dans la conduite de ces travaux m'ont été infiniment précieuses.

Ce travail n'aurait pas pu se réaliser sans l'aide de Marcel BERTRAND, alors chef de la division Production et Economie Agricoles. Qu'il soit assuré de ma vive reconnaissance pour m'avoir accueilli dans son équipe et pour la confiance qu'il m'a témoignée.

Que Camille-Michel COSTE, Professeur à l'Université de Perpignan, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour l'intérêt qu'il a porté à la réalisation de cette étude et les encouragements dont il a fait preuve.

Il m'a été donné, au cours de ce travail, de m'initier aux techniques de marquage isotopique. Il est, à ce titre, particulièrement agréable de remercier Gérard GUIRAUD, Docteur et Ingénieur au Centre d'Etudes de Cadarache, pour m'avoir fait part de ses critiques constructives dans ce domaine et pour avoir accepté de juger, plus largement, l'ensemble de ce travail. Que Christine MAROL soit ici associée et remerciée pour sa contribution lors des analyses isotopiques et ses remarques toujours pertinentes.

J'adresse également mes très vifs remerciements à Geneviève GRUNDMANN, Maître de Conférence à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, qui, malgré ses nombreuses occupations, a bien voulu trouver le temps nécessaire pour juger ce travail.

Je remercie Claude CHEVERRY, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes et Pierre CELLIER, Chargé de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique, d'avoir accepté de participer à mon Jury de thèse.

Brian PAIN, Docteur à l'*Institute of Grassland and Environmental Research* (Grande-Bretagne), m'a fait l'honneur de participer également à ce Jury. Je le remercie de l'accueil qu'il

m'a réservé à l'occasion des échanges que nous avons pu avoir à North Wyke. J'associerai à cet égard, David Lockyer et Tony Van Der Weerden.

La réalisation technique des outils nécessaires aux essais réalisés sur le terrain n'aurait pas pu se faire sans l'aide de Fabrice GUIZIOU. Je tiens, pour cela, à lui témoigner toute mon amitié et lui adresser mes remerciements pour les conseils avisés et les nombreux encouragements dont il m'a fait part tout au long de ces trois années.

Je n'aurai garde d'oublier les stagiaires, Marie-Christine CAUDAL et Nathalie DUCLOS, dont le travail accompli a été remarquable.

Je remercie encore toutes les personnes que j'ai eu l'occasion de côtoyer de près ou de loin au Cemagref de Rennes. Un « merci braz » particulier à Marie-Noëlle MAUDET dont le dynamisme et la disponibilité qui la caractérisent ont été utiles à de nombreuses occasions.

Mes remerciements s'adressent également à Dominique MICHEL-COMBE (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche – D.E.R.F.) grâce à qui notre projet d'échange avec nos homologues britanniques a pu se réaliser.

La Région Bretagne avec le Cemagref ont financé cette thèse ; je leur en suis particulièrement reconnaissant.

Enfin, je remercie François ROCHE, Directeur du groupement de Rennes, de m'avoir accueilli au sein de son établissement.

RESUME

La volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers (déjections animales liquides) consécutive à l'épandage sur les terres agricoles, contribue à diminuer leur valeur fertilisante et à augmenter la charge polluante de l'air. Deux études, l'une au champ et l'autre en laboratoire, sont réalisées afin de préciser (i) l'importance des émissions d'ammoniac et (ii) les facteurs qui influencent ce processus.

Sur le terrain, l'utilisation de tunnels de ventilation a permis de mettre en évidence des taux de volatilisation (pour-cent de l'azote ammoniacal apporté par le lisier) s'échelonnant entre 5 et 75%. Les trois quarts des émissions mesurées ont eu lieu, en moyenne, durant les quinze premières heures après l'application du lisier (65 à 880 kg N-NH₄⁺.ha⁻¹). Une étude statistique, réalisée à partir des dix-huit essais répartis entre février et novembre 1993 dans les quatre départements bretons, montre que le processus de volatilisation de l'ammoniac (NH₃) est significativement corrélé à la température (air et sol), au taux initial de matières sèches du lisier épandu et, dans une moindre mesure, à sa concentration en azote ammoniacal. Les quantités de NH₃ volatilisées se sont avérées plus de deux fois plus importantes en période estivale que lors des épandages d'hiver. Au cours d'un essai particulier, l'utilisation du traceur ¹⁵N incorporé au lisier de porc, montre que cinq semaines après l'épandage du lisier, 24, 16 et 42% du ¹⁵N-ammoniacal apporté sont respectivement volatilisés, absorbés par la plante (ray-grass) et présents dans le sol sous la forme organique (56%) et nitrique (37%).

En laboratoire, l'utilisation de cellules de mesure renfermant l'échantillon de sol et de lisier permet de corréler également les émissions de NH₃ avec la teneur initiale du lisier en acides gras volatils. La technique du marquage à l'azote 15 du lisier de porc démontre qu'à court terme (< 48h), la volatilisation de l'ammoniac représente l'unique devenir de l'azote ammoniacal des lisiers. A partir de 72h d'incubation en cellule de mesure, une inhibition de la nitrification et une dégradation des nitrates initialement présents dans le sol ont été observées sous l'effet de doses de N-ammoniacal importantes (> 500 ppm). L'application de doses plus faibles (295 à 465 ppm) n'a pas d'incidence sur l'azote initialement présent dans le sol. Ceci a pu être vérifié grâce au marquage de l'azote du sol (¹⁵N-organique et ¹⁵N-NO₃⁻) préalablement à l'apport de lisier.

Ces travaux soulignent l'importance et la variabilité du processus de volatilisation de NH₃ selon les conditions pédo-climatiques locales et les caractéristiques des lisiers de porc (principalement) et de bovins étudiés. Compte tenu des quantités considérables d'azote mises en jeu dans les régions d'élevages intensifs comme en Bretagne, la volatilisation de NH₃ conduit, localement, à des transferts importants d'azote vers l'atmosphère.

ABSTRACT

Ammonia (NH_3) volatilization following the surface spreading of animal slurries on lands contributes to reduce the value of slurry as a source of nitrogen and can have repercussions on the wider environment. Field and laboratory studies were carried out to specify (i) the magnitude of ammonia emissions and (ii) the factors that influence the process of NH_3 volatilization.

Using a wind tunnel system, percentages of NH_3 volatilization ranging from 5 to 75% of the ammoniacal-N applied in pig (mainly) and cow slurries were measured during field experiments. On average, 75% of the total loss in all experiments (18) occurred within the first 15 hours following slurry application. Ammonia loss, measured during winter and autumn experiments were more than two times lower than loss from spring and summer experiments. Statistical analysis were performed using data from these field experiments, carried out between february and november 1993 in different sites of Brittany (west part of France). Simple correlation and stepwise multiple regression procedures showed that ammonia volatilization was significantly related to temperature (air and soil), initial slurry dry matter content (%) and to a lesser extend, initial slurry ammoniacal-N content (%). During a specific experiment involving the use of N-15 labelled pig slurry, 24, 16 and 42% of the ammoniacal- ^{15}N applied were respectively volatilized, utilised by the grass during its growing and remained into the soil as organic- ^{15}N (56%) and ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)- ^{15}N (37%).

Small volatilization chambers, containing the soil and slurry samples, were used during laboratory experiments. A relation between NH_3 volatilization and the slurry volatil fatty acids content was clearly observed. The application of labelled pig slurry showed that, within 48 hours, the main fate of ammoniacal- ^{15}N applied was through NH_3 volatilization. From 72 hours, an inhibition of the nitrification process and a decrease of the nitrate concentrations initially present into the soil appeared when applying ammoniacal-N rates higher than 500 ppm. Under 500 ppm, the application of pig slurry on soil samples previously labelled (organic- ^{15}N and NO_3^- - ^{15}N) demonstrated that, within 72 hours, no effect of slurry ammoniacal-N applied (295-465 ppm) was noticeable on soil N-transformation processes.

Results from the current work indicate that, in agricultural situations commonly found in Brittany, NH_3 volatilization is an important way of nitrogen loss which affect the efficiency of nitrogen recycling from the spreading of animal slurries.

SOMMAIRE

Introduction générale	13
PARTIE 1 : Étude bibliographique	
Chapitre I : La Volatilisation de l'ammoniac : enjeux de l'étude et description du processus.	21
Chapitre II : Méthodes de mesure des émissions ammoniacales	43
PARTIE 2 : Matériels et méthodes	
Chapitre III : Mise au point d'un outil et d'une méthodologie pour la mise en évidence des émissions de NH ₃ sur le terrain.	71
Chapitre IV : Mise au point d'un outil et d'une méthodologie de laboratoire pour la mesure du processus de volatilisation de NH ₃ .	97
PARTIE 3 : Résultats et discussions	
Chapitre V : Volatilisation de l'ammoniac au champ : 1. Quantification des émissions de NH ₃ .	123
Chapitre VI : Volatilisation de l'ammoniac au champ : 2. Étude des facteurs d'influence.	145
Chapitre VII : Étude en laboratoire de l'influence des caractéristiques du lisier sur les émissions de NH ₃ . Mécanismes physico-chimiques mis en jeu.	163
Chapitre VIII : Devenir de l'azote ammoniacal des lisiers : bilans sol/air à court terme.	191
Conclusion générale	225

INTRODUCTION GENERALE

« Mais il y a une mesure en toutes choses et savoir la saisir est la première des Sciences. »

(Pindare 521–456 av. JC, Treizième république)

Dans tous les systèmes écologiques gérés par l'Homme ou naturels, le transfert d'azote (N), de la surface du sol vers l'atmosphère, contribue avant tout à la continuité du cycle de l'azote. Les émissions gazeuses constituent des mécanismes majeurs responsables de ces transferts azotés vers l'atmosphère.

Les transformations et le devenir de l'azote de la biosphère ont fait l'objet de nombreuses recherches dans les compartiments Sol, Plante et Eau. Dans l'étude des écosystèmes naturels, et surtout, des systèmes de productions agricoles, les défauts de bilan azotés ont souvent été attribués aux fuites gazeuses. Il apparaît ainsi, que pour diverses raisons, notamment méthodologiques, le devenir atmosphérique de l'azote ait été jusqu'à présent quelque peu ignoré.

Selon Asman (1992), plus de 80% des émissions d'ammoniac (NH_3) en Europe seraient d'origine agricole. La Bretagne, première région agricole française, s'est spécialisée au cours des trente dernières années dans l'élevage intensif. Dans le domaine porcin notamment, cette région représente plus de la moitié (53%) de la production nationale (Bertrand 1994). Les quantités de N, mises en jeu localement, sont donc considérables : 200 000 tonnes de N, d'origine animale, sont ainsi rejetées chaque année (Abrassart *et al.* 1993). Le principal devenir des déjections animales, issues de ces élevages, demeure l'épandage sur les terres agricoles. Ce recyclage traditionnel, par le sol et la plante, constitue le premier système de « traitement » naturel des effluents d'élevage. Cependant, le manque d'informations, concernant le devenir des déjections après épandage, conduit à une absence totale de contrôle de ce système. Cela se traduit par l'apparition de pollutions dans le milieu naturel (nitrates, eutrophisation, ...).

Dans les systèmes intensifs de productions animales, les effluents d'élevages renferment une part importante d'azote sous forme ammoniacale ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) susceptible d'être volatilisée aux différents stades de la gestion de ces déjections (bâtiment, stockage et épandage). La volatilisation d'une espèce chimique est, par définition et *sensu stricto*, le passage d'un état liquide à un état gazeux. Au sens large, il convient d'englober sous le terme de volatilisation, la dispersion de la molécule gazeuse dans son environnement atmosphérique immédiat.

Ce transfert d'azote ammoniacal vers l'atmosphère constitue une « perte » d'azote pour le système sol-plante et limite l'utilisation efficiente et raisonnée des déjections animales vers la fertilisation minérale des cultures.

La volatilisation de l'ammoniac conduit potentiellement à un déséquilibre des proportions et des réactions chimiques dans l'atmosphère, y compris l'atmosphère de proximité. A ce titre, le processus de volatilisation constitue également une source de pollution de l'air (acidification de l'environnement).

Compte tenu, à la fois de l'importance de l'azote comme élément majeur de la production végétale et, d'une sensibilisation accrue du public et des politiques pour le maintien de la qualité de l'air (Barnier 1994), une meilleure connaissance des émissions d'ammoniac d'origine agricole s'avère indispensable.

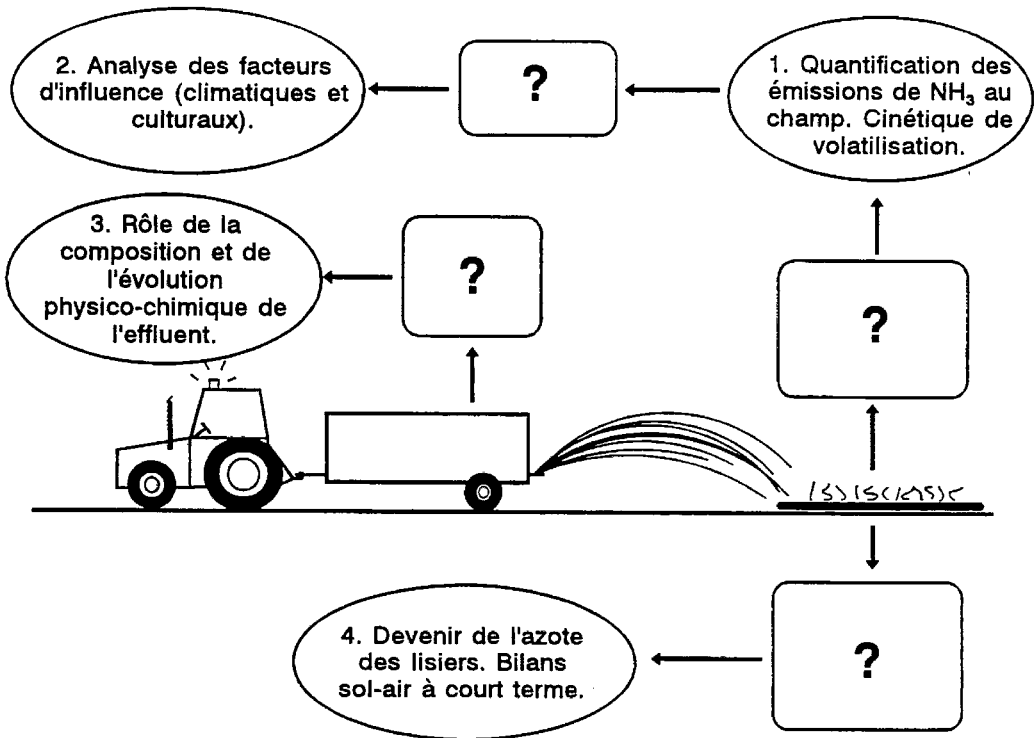
Le travail envisagé vise à *identifier et situer, dans le contexte pédo-climatique local, l'importance du processus de volatilisation de NH_3 , conséquent aux épandages de lisiers (déjections animales liquides)*. Pour ce faire, la mise en place d'une méthodologie adaptée permettant de quantifier, directement dans le compartiment *air*, les émissions d'ammoniac en conditions réelles (champ) et contrôlées (laboratoire) constitue la première étape du travail.

La quantification des émissions d'ammoniac au champ sera complétée *par une étude des principaux facteurs susceptibles d'influencer la volatilisation de NH_3* . L'analyse systématique des paramètres climatiques (température, humidité) et la détermination des principales caractéristiques physico-chimiques des lisiers épandus (teneur en matières sèches, en ammonium,...) seront réalisées conjointement à la quantification du processus de volatilisation de l'ammoniac. Une maîtrise accrue des émissions d'ammoniac sur le terrain justifie, à court terme, l'intérêt de ce type de démarche.

Parallèlement à cette approche expérimentale sur le terrain, des études en laboratoire destinées à *connaître l'influence, sur la volatilisation de NH_3 , de certaines caractéristiques physico-chimiques spécifiques aux lisiers* constitue la troisième étape de ce travail. Est-il envisageable d'estimer le potentiel d'un lisier « à volatiliser » ?

Enfin, le processus de volatilisation de NH_3 doit être replacé dans un contexte global nécessitant l'élaboration de bilans azotés sol/air (laboratoire) ou sol/air/plante (champ). L'objectif de cette dernière étape du travail présenté est de *resituer l'importance de la volatilisation de NH_3 vis à vis des autres devenir potentiels de l'azote ammoniacal apporté (nitrification, réorganisation, ...)*.

La *partie 1* de ce mémoire constitue l'analyse bibliographique et resitue les enjeux du problème qui est posé (chapitres I et II). La *partie 2* présente les démarches méthodologiques mises en place sur le terrain (chapitre III) et au laboratoire (chapitre IV). La présentation et l'analyse des résultats obtenus (chapitres V à VIII) sont rassemblées dans la *troisième partie*.



OBJECTIFS DE L'ETUDE.
Objectives of the study.

Références bibliographiques – Introduction générale

ABRASSART J., BERTRAND M. & HERVE A.-M. (1993). Bilan global de l'azote, du phosphore et du potassium. *Informations techniques du CEMAGREF*, 91, note 1, 8 pages

ASMAN W.A.H. (1992). Ammonia emissions in Europe : updated emission variations. Rapport n° 228471008 du *National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands*, 88 pages

BARNIER M. (1994). La pollution atmosphérique urbaine. *Les Entretiens de Ségur, Paris le 26 Septembre 1994*, 29 pages

BERTRAND M. (1994). De la production à l'épandage : la gestion des lisiers de porcs. *Bulletin Technique d'Information (BTI)*, 14, 53-71