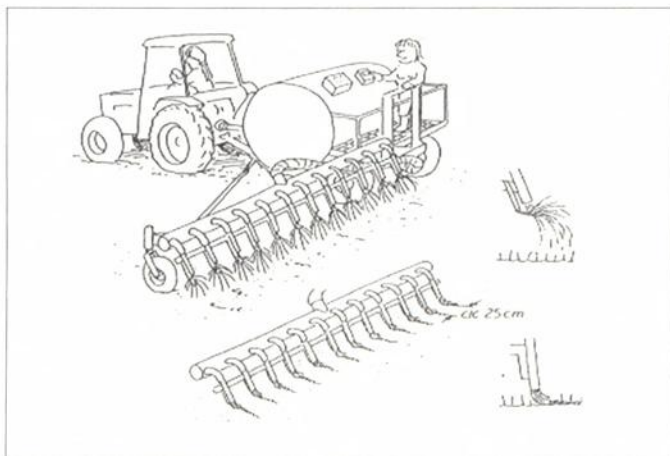


# Équipements pour l'eau et l'environnement

27

## Éléments pour une politique de réduction des émissions d'ammoniac d'origine agricole en France

Claire OUDOT, Brian PAIN, José MARTINEZ





# **Éléments pour une politique de réduction des émissions d'ammoniac d'origine agricole en France**

**Claire OUDOT<sup>1</sup>, Brian PAIN<sup>2</sup>, José MARTINEZ<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Cemagref - Groupement de Rennes  
Unité de Recherche « Gestion des effluents d'élevage  
et des déchets municipaux »  
17, avenue de Cucillé. CS 64427  
35044 - RENNES Cedex  
Tél : 02 23 48 21 21. Fax : 02 23 48 21 15  
Email : jose.martinez@cemagref.fr**

**<sup>2</sup>Lamorna, The Square, Sandford, Crediton,  
Devon. EX 17 4 LN, UK  
Email : brian.pain@ukgateway.net**



9 782853 626170

ISBN 2-85362-617-2

Prix : 29,50 €

**Eléments pour une politique de réduction des émissions d'ammoniac d'origine agricole en France.** *Claire Oudot, Brian Pain, José Martinez.*— ©Cemagref Éditions 2003, tous droits réservés – 1<sup>ère</sup> édition. ISBN 2-85362-617-2 ; ISSN 1258-276X. Dépôt légal 2<sup>ème</sup> trimestre 2003. Collection *Études du Cemagref*, série *Équipements pour l'eau et l'environnement*, n° 26, dirigée par François Lacroix, chef du département. Impression et façonnage : ateliers Cemagref, BP 44, 92163 Antony cedex – Vente par correspondance : PUBLI-TRANS ZI Marinière 2, rue Désir Prévost, 91080 Bondoufle; tél.: 01 69 10 85 85. Diffusion aux libraires TEC et DOC, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan, cedex; tél.: 01 47 40 67 00.

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 plus particulièrement leur occupation par **l'agriculture** et la **forêt**. 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
- Equipements pour l'eau et l'environnement
- Gestion des territoires
- Equipements agricoles et alimentaires

---

Les recherches du département Equipements 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.



## Résumé

Ce rapport aborde tout d'abord brièvement les sources d'émissions d'ammoniac et leur impact sur l'environnement, sur le cycle et l'utilisation de l'azote dans les sols ainsi que sur la santé humaine et animale. Il synthétise les travaux de recherche réalisés pour développer et évaluer des techniques de réduction des émissions d'ammoniac, afin d'identifier celles ayant un rapport efficacité/coût le plus élevé possible tout en étant largement applicables. Les Etats Membres de l'Union Européenne sont signataires d'accords internationaux visant à limiter les émissions d'ammoniac. Le rapport met en avant les politiques actuelles pour résoudre ce problème, menées par cinq pays (les Pays-Bas, le Danemark, le Royaume-Uni, la Suède et l'Allemagne). Jusqu'à présent, il n'y a pas de politique formalisée visant spécifiquement une réduction des émissions d'ammoniac en France ; des options sont donc considérées dans ce rapport en utilisant notamment le modèle MARACCAS (Model for the Assessment of Regional Ammonia Cost Curves for Abatement Strategies).

La majorité de l'ammoniac émis dans l'atmosphère provient de l'urée excrétée par les animaux d'élevage. Il est clairement reconnu que les déjections produites par les animaux dans les bâtiments d'élevage sont la principale source d'émission d'ammoniac, mais des émissions moins importantes peuvent aussi être issues des pâturages, de l'utilisation d'engrais et de diverses sources non-agricoles telles que les animaux sauvages, les eaux usées, etc... Une fois émis, le gaz ammoniac peut se déposer aux alentours de la source d'émission ou, après réaction avec des composés acides présents dans l'atmosphère, être transporté sur de longues distances au-delà des frontières nationales avant de se déposer sur la terre ou sur les eaux de surface sous forme d'ammonium. Les dépôts peuvent avoir des impacts néfastes sur les écosystèmes naturels et semi-naturels par phytotoxicité directe, enrichissement en azote (eutrophisation) ou acidification des sols. Ces processus peuvent, non seulement affecter la croissance d'espèces de plantes désirables, mais aussi altérer la biodiversité des écosystèmes sensibles qui nécessitent d'être conservés. Pour toutes ces raisons, les pays ont accepté les limites (ou plafonds) nationales d'émissions d'ammoniac à atteindre d'ici 2010, imposées par la signature du Protocole UN/ECE de Göteborg et de la Directive Européenne sur les Plafonds d'Emissions Nationaux. La

réduction des émissions issues d'exploitations porcines et avicoles importantes pourra aussi être nécessaire au titre de la Directive Européenne sur la Réduction et la Prévention Intégrées de la Pollution (IPPC).

Les émissions d'ammoniac peuvent être réduites en introduisant des mesures techniques au sein des exploitations d'élevage. Bien que la plupart de ces techniques fonctionnent expérimentalement, peu d'entre elles se sont avérées d'un rapport efficacité/coût élevé, pratiques et largement applicables à l'échelle de la ferme. Ces techniques comprennent des stratégies alimentaires pour réduire l'azote contenu dans les déjections animales (et donc le potentiel d'émission d'ammoniac), de nouvelles configurations des bâtiments d'élevage, et, élément le plus important, des méthodes pour réduire les émissions issues du stockage et de l'épandage des déjections. Limiter l'utilisation d'engrais à base d'urée est une autre option possible. Les politiques nationales sur la réduction des émissions d'ammoniac varient d'un pays à l'autre, dépendant de l'ampleur de la réduction fixée par les accords internationaux et des risques de dommages sur des écosystèmes nationaux fragiles. Aux Pays-Bas, par exemple, la loi impose aux éleveurs de couvrir les fosses de stockage des déjections et d'utiliser des techniques "faiblement émettrices" lors de l'épandage du lisier. Il existe aussi des règles sur la configuration des bâtiments d'élevages et sur la gestion de l'azote sur les exploitations. Au Danemark et en Suède, des mesures ont été mises en place dans certaines régions. La politique de réduction des émissions en Allemagne n'en est encore qu'à ses prémices bien que la réduction imposée par les accords internationaux soit considérable. Même si une prise de conscience du problème ammoniac existe au Royaume-Uni, la législation actuelle est purement volontaire et est appuyée par les Codes de Bonne Pratique Agricole. Les objectifs de réduction fixés pourront peut-être être atteints sans avoir recours à une action supplémentaire.

Il est estimé que l'objectif de réduction fixé pour la France (4% de réduction par rapport au niveau d'émission de 1990 à atteindre d'ici 2010) pourra être atteint sans avoir à mettre en place des mesures spécifiques de réduction (il n'est cependant pas exclu que des objectifs plus ambitieux soient fixés à l'occasion de nouvelles négociations). Le modèle MARACCAS évalue les émissions françaises actuelles d'ammoniac d'origine agricole à 548,5 kt  $\text{NH}_3\text{-N}$ , comparativement au niveau calculé par le CITEPA en 2000 s'élevant à 584,9 kt. Des



émissions calculées par le modèle, 31% proviendraient des vaches laitières, 27% des autres bovins, 10% des porcs, 15% des volailles, 2% des caprins et ovins et 15% de l'utilisation d'engrais azotés. Le modèle a été utilisé pour évaluer les réductions des émissions d'ammoniac et les coûts associés, qui pourraient être atteints en employant des techniques de réduction dans les bâtiments d'élevage, au stockage et à l'épandage pour chaque catégorie d'animaux. Ceci montre, par exemple, que la couverture des fosses de stockage des déjections et l'utilisation de techniques d'épandage faiblement émettrices pourraient réduire les émissions issues de porcs à l'engraissement de 37 kt NH<sub>3</sub>-N par an à 29 kt pour un coût de 3,1 Euros par kilogramme d'ammoniac réduit. Les mêmes mesures appliquées aux élevages de vaches laitières donneraient une réduction de 167 kt NH<sub>3</sub>-N à 140 kt NH<sub>3</sub>-N pour un coût de 4,1 Euros/kg. Les mesures de réduction applicables aux élevages avicoles sont très onéreuses. Le modèle a aussi été utilisé pour déterminer les effets et les coûts de différentes stratégies de réduction pour la France. Employer les techniques ayant le rapport efficacité/coût le plus élevé pour toutes les catégories d'animaux et pour les engrais réduirait ainsi le total des émissions nationales de 15,5% pour un coût d'environ 433,8 millions d'Euros. Utiliser les techniques "faiblement émettrices" pour les élevages bovins et porcins seulement et remplacer les engrais à base d'urée pourrait être une alternative, réduisant le total des émissions nationales de 13,8% pour un coût d'environ 139 millions d'Euros.

Bien qu'il ne soit peut-être pas nécessaire de prendre immédiatement des mesures pour réduire les émissions nationales d'ammoniac en France, il est important de mieux connaître les risques encourus par les écosystèmes sensibles à une échelle nationale et régionale. Les émissions d'ammoniac rendent aussi l'utilisation d'azote dans les exploitations moins efficace. Par ailleurs, une meilleure gestion de l'azote provenant des élevages, pourrait conduire à une réduction de la pollution par un accroissement du recyclage agricole raisonné (sol/plante) de cet élément.



## Remerciements

Cette étude a été initiée à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF : Direction de l'Espace Rural et de la Forêt). Nous tenons à remercier particulièrement Guy LANDMANN, Chef du Département de la Santé des Forêts, pour nous l'avoir proposée.

Que soient également remerciés différents collègues du Ministère de l'Agriculture qui ont accompagné et soutenu cette étude : Roger Jumel, Marie-Joseph Guillou (DERF), Gaëlle Régnard (DPEI), ainsi que toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce rapport.



# Sommaire

<b>Introduction générale</b>	13
<b>Chapitre I : Les émissions d'ammoniac en France</b>	15
I.1. Les sources d'ammoniac	15
I.2. Impacts sur l'environnement	16
I.3. Impacts sur le cycle de l'azote et sur son utilisation	17
I.4. Impacts sur la santé humaine et animale	17
I.5. Accords internationaux	18
I.6. Situation actuelle en France	20
<b>Chapitre II : Techniques de réduction des émissions d'ammoniac</b>	23
II.1. Synthèse bibliographique sur les techniques de réduction des émissions d'ammoniac	23
II.2. Recommandations générales et inventaire critique de préconisations techniques	36
<b>Chapitre III : Politique environnementale sur l'ammoniac dans d'autres pays d'Europe</b>	45
III.1. Les Pays-Bas	45
III.2. Le Danemark	57
III.3. Le Royaume-Uni	68
III.4. La Suède	77
III.5. L'Allemagne	79
<b>Chapitre IV : Options de réduction pour la France</b>	83
IV.1. Le modèle MARACCAS	83
IV.1.1. Développement du modèle MARACCAS	83
IV.1.2. Calculs des émissions	84
IV.1.3. Réduction des émissions	86
IV.2. Modélisation MARACCAS pour la France	89
IV.2.1. Estimation des émissions d'ammoniac en France	89
IV.2.2. Techniques de réduction des émissions d'ammoniac envisageables pour la France	91

<b>Conclusions et recommandations</b>	99
<u>Annexe 1</u> : Eléments bibliographiques détaillés sur les techniques de réduction des émissions d'ammoniac	105
<u>Annexe 2</u> : Résumés <i>in extenso</i> d'articles et de documents sur les méthodes de réduction des émissions d'ammoniac issues de la production animale	129
<u>Annexe 3</u> : Résultats détaillés des simulations obtenues à l'aide du modèle MARACCAS pour les différentes catégories d'animaux	151
<b>Bibliographie</b>	157

## Introduction générale

Un intérêt croissant a été porté sur les émissions gazeuses d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) en Europe ces 10 dernières années car l'ammoniac, après s'être déposé sur les sols ou les eaux de surface, peut causer des dommages à long terme à des écosystèmes naturels et semi-naturels sensibles (Portejoie *et al.*, 2002)<sup>b</sup>. Ce gaz pouvant être transporté sur de longues distances, il est un problème à l'échelle nationale et internationale. L'agriculture contribue également à l'émission d'autres gaz polluants tels que le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ). L'état des connaissances sur ces derniers étant moins avancé, nous nous sommes limités dans ce rapport à fournir des éléments liés à la maîtrise des émissions d'ammoniac d'origine agricole.

Les Etats Membres de l'UE sont signataires d'accords internationaux fixant des limites d'émission. De plus, quelques pays ont mis en place d'autres mesures afin de mieux protéger les écosystèmes nationaux. Comme il est clairement admis que la majorité des émissions d'ammoniac en Europe provient des activités d'élevage, les politiques nationales et internationales se concentrent sur ce secteur de l'industrie.

L'ammoniac étant un composé azoté, sa volatilisation contribue aussi à une perte d'azote qui pourrait répondre aux besoins en matière fertilisante des prairies ou des cultures arables. L'étendue et la nature des politiques visant à limiter les émissions d'ammoniac varient selon les Etats Membres, dépendant essentiellement des impacts environnementaux provoqués. Par exemple, des mesures sont obligatoires aux Pays-Bas alors qu'au Royaume Uni, où les effets sur l'environnement sont moins sévères ou ne sont pas clairement démontrés, une réduction des émissions d'ammoniac issues des exploitations agricoles est volontaire. Jusqu'à présent, il n'y a pas de politique formelle sur la réduction des émissions d'ammoniac en France. Le but de ce rapport est donc de fournir des éléments :

- i) de connaissance de la problématique ammoniac – agriculture (chapitre I);
- ii) de bibliographie concernant les techniques de réduction des émissions (chapitre II);
- iii) de comparaison de la situation de différents pays européens (chapitre III);
- iv) de simulation et de prospective concernant l'agriculture française (chapitre IV);



# Chapitre I : Les émissions d'ammoniac en France

## I.1. Les sources d'ammoniac

L'agriculture est de loin la plus importante source d'émission d'ammoniac en Europe, ce gaz provenant des urines et des déjections animales, de quelques engrais azotés et des cultures. L'excès d'azote (sous forme de protéines) dans le régime alimentaire des bovins, moutons, cochons et autres mammifères est excrété dans les urines sous forme d'urée. L'urée est rapidement transformée par l'enzyme uréase présente dans les fèces, le sol, etc. en ammonium à partir duquel le gaz ammoniac est émis par phénomène de volatilisation. Les volailles excrètent de l'acide urique mais celui-ci est rapidement transformé en urée sous conditions humides. Ainsi, les déjections animales, qu'elles soient accumulées sur le sol des bâtiments d'élevage, stockées ou épandues sur les terres, sont les principales sources d'émission d'ammoniac. Les émissions proviennent aussi de l'urine déposée sur les pâturages par les animaux à l'herbage. La volatilisation d'ammoniac se produit à la surface de solutions aqueuses, lorsque le gaz diffuse des concentrations élevées (c'est-à-dire dans les urines ou les déjections) vers des concentrations plus faibles (c'est-à-dire dans l'atmosphère). Ainsi, des surfaces importantes de contact entre les déjections et l'air (dans les bâtiments d'élevage ou suite à l'épandage de déjections par exemple) sont associées à des taux d'émission élevés. Les taux d'émissions associés à l'urine déposée lors du pâturage tendent à être plus faibles. L'urine s'infiltrant dans le sol plus rapidement qu'un lisier visqueux, la volatilisation cesse. Les déjections présentes dans les bâtiments d'élevage, épandues et dans une moindre mesure stockées sont donc les principales sources agricoles d'émission d'ammoniac. Il n'y a pas de différence significative sur le total des émissions issues de systèmes de gestion de déjections à base de lisier ou de fumier. Parmi tous les animaux d'élevage, les bovins sont les premiers émetteurs d'ammoniac. La plupart des engrais azotés peuvent aussi être une source d'ammoniac, mais le potentiel d'émission est bien plus élevé pour les engrais à base d'urée. Les cultures peuvent aussi émettre de l'ammoniac sous des conditions particulières.

Dans la plupart des pays, l'agriculture est responsable de plus de 80% du total national des émissions d'ammoniac, le reste provenant de nombreuses sources non agricoles telles que les eaux usées, les oiseaux et animaux sauvages, les véhicules, la sueur humaine, les cigarettes etc.

## **I.2. Impacts sur l'environnement**

Une fois émis, le gaz ammoniac peut se déposer aux alentours de la source d'émission (dépôt sec) ou réagir avec des composés acides présents dans la haute atmosphère pour former des aérosols contenant des sels d'ammonium. Ainsi, l'ammonium peut être transporté sur de longues distances dans l'atmosphère avant d'être déposé sur la terre lors de pluies (dépôt humide). Des dommages peuvent être provoqués aux végétations et écosystèmes sensibles selon trois voies :

1. Toxicité directe de l'ammoniac sur la végétation située près d'une importante source d'émission comme les bâtiments d'élevage par exemple.

2. Enrichissement d'azote ou eutrophisation. Les dépôts d'ammoniac peuvent apporter de l'azote aux communautés de plantes qui ont évolué sur des sols pauvres en nutriments telles que les landes, et quelques forêts qui nécessitent souvent d'être conservées. Les espèces natives peuvent alors être "envahies" et remplacées par des plantes d'intérêt moindre telles que de l'herbe, qui poussent beaucoup mieux sur des sols riches en azote.

3. Acidification. Après avoir été déposé sur le sol, l'ammoniac s'oxyde en nitrates par un mécanisme qui libère des protons et augmente l'acidité du sol. Les sols ont une certaine capacité de neutralisation, mais une fois les charges critiques dépassées, l'acidité augmente. La disponibilité d'éléments toxiques pour les plantes (comme l'aluminium par exemple) est alors plus importante, tandis qu'à l'inverse la disponibilité d'éléments essentiels à la croissance des plantes diminue.

Les émissions d'ammoniac se sont produites dès que les animaux ont été domestiqués dans les fermes. Les problèmes environnementaux sont devenus plus importants notamment car les quantités d'azote utilisées sur les exploitations, et donc les émissions d'ammoniac, ont considérablement augmenté ces 50-60 dernières années. De plus, les

dommages causés par les dépôts d'ammoniac n'apparaissent et ne sont détectables que longtemps après. Les initiatives internationales pour diminuer les émissions d'autres polluants atmosphériques contribuant à l'acidification, tels que le dioxyde de soufre issu de l'industrie, ayant été une réussite, les effets de l'ammoniac sont désormais prépondérants.

### **I.3. Impacts sur le cycle de l'azote et son utilisation.**

Seulement près de 20 à 40% de l'azote contenu dans le régime alimentaire sont retenus par les animaux d'élevage ou transformés en produits animaux. Le reste est principalement excrété sous forme d'urée (d'acide urique pour les volailles) aisément transformable en ammonium puis en nitrates dans le sol et facilement assimilable par les cultures en croissance. Les émissions d'ammoniac, se produisant dans les bâtiments d'élevage, lors du stockage ou de l'épandage des déjections, constituent donc des pertes d'azote ammoniacal qui diminuent la valeur fertilisante des déjections. Minimiser les émissions d'ammoniac pour conserver l'azote contenu dans les déjections risque d'augmenter les pertes azotées via d'autres processus du cycle de l'azote. A moins que l'azote conservé ne soit rapidement assimilé par les plantes en croissance, les pertes peuvent avoir lieu au sein du système plante/sol par lessivage de nitrates ou par dénitrification, conduisant à la formation du gaz diazote ( $N_2$ ) ou de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) qui est un gaz à effet de serre. Les émissions d'ammoniac et leur réduction doivent donc être considérées dans le contexte global du cycle de l'azote et de l'utilisation des déjections dans les exploitations.

### **I.4. Impacts sur la santé humaine et animale**

Le seuil de perception olfactive de l'ammoniac est très variable – de quelques dixièmes de ppm à plus de 100 ppm – selon la sensibilité olfactive des individus. En France, la valeur limite d'exposition (ou VLE) et la valeur moyenne d'exposition (ou VME) sont respectivement fixées à 50 ppm ou 36  $mg/m^3$  et 25 ppm ou 18  $mg/m^3$ . L'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance ; l'odeur et les effets irritants du gaz ne sont alors perçus qu'à des concentrations plus élevées qu'initialement. Il est admis que ce gaz, du fait de sa grande

solubilité dans l'eau, est piégé par les sécrétions nasales où sa toxicité se manifeste rapidement. Les effets directs de l'ammoniac sur le tractus respiratoire ne se manifestent la plupart du temps que chez des sujets soumis à des teneurs atmosphériques élevées ; les lésions pulmonaires n'apparaissent qu'au cours de séjours prolongés dans une ambiance riche en ammoniac alors que les irritations nasale et oculaire sont les premiers symptômes observés. Au total, les poumons semblent relativement protégés du fait de l'efficacité des voies aériennes supérieures à piéger une grande partie du toxique inhalé. Néanmoins, ce captage n'est pas absolu. En outre, les poussières ainsi que les particules d'eau peuvent servir de vecteurs pour atteindre la profondeur des voies respiratoires, d'où le danger encouru par les animaux et le personnel dans les bâtiments d'élevage lorsque la concentration du gaz est proche de la VME. Les bronchites chroniques, l'asthme, la fibrose pulmonaire, les affections des voies aériennes supérieures constituent la majorité des maladies respiratoires professionnelles des éleveurs.

L'ammoniac est également incriminé dans la diminution des performances zootechniques des animaux, observée dans certains cas lors d'exposition à des teneurs en  $\text{NH}_3$  de 50 ppm et plus. Chez des porcelets, une réduction du gain moyen quotidien a été observée et, même à faible concentration, l'ammoniac semble influencer les performances de reproduction des truies et plus particulièrement l'apparition de la puberté chez les cochettes. L'ammoniac réduirait aussi la résistance des animaux à certaines bactéries en diminuant l'activité antibactérienne des macrophages dans les poumons, ainsi que la résistance à certains parasites.

## **I.5. Accords internationaux**

En commun avec d'autres Etats Membres de l'UE, la France est signataire de trois accords internationaux visant à réduire les émissions d'ammoniac issues de l'agriculture :

*Le Protocole UN/ECE relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique.*

Ce protocole de la convention UN/ECE sur le transport de la pollution atmosphérique à longue distance a été signé en 1999 à