

Emission d'ammoniac dans les bâtiments vaches laitières à ventilation naturelle

J.-B. DOLLÉ (1), J. CAPDEVILLE (2)

(1) Institut de l'Élevage 56, Avenue R. Salengro - 62051 SAINT-LAURENT-BLANGY CEDEX.

(2) Institut de l'Élevage 5, Rue Hermann Frenkel - 69364 Lyon CEDEX 07.

RÉSUMÉ – Les émissions d'ammoniac dans l'atmosphère sont mises en cause dans la dégradation des écosystèmes : acidification des sols, appauvrissement des sols forestiers en magnésium et potassium, dépérissement des forêts... (Landmann - 1991).

Une large part des émissions d'ammoniac est liée à l'agriculture et plus particulièrement à l'activité d'élevage (CITEPA - 1987). L'étude présentée ici est centrée sur l'appréciation des émissions d'ammoniac dans les bâtiments vaches laitières à ventilation naturelle. L'objectif est de mieux cerner les émissions émanant de l'élevage bovin et de déterminer les relations entre les pertes d'ammoniac et les conditions d'élevage, en particulier les modes de logement (Mannebeck - 1990).

Les mesures d'émission d'ammoniac requièrent la détermination du débit de ventilation et de la concentration en ammoniac de l'air ambiant. Les mesures de débit de ventilation ont été basées sur l'utilisation d'un gaz traceur, l'hélium, parallèlement à l'élaboration d'un modèle de prédiction de la ventilation à partir de paramètres météorologiques et de condition d'élevage. L'ammoniac a été mesuré en continu par barbotage et par analyse avec un spectromètre photoacoustique infrarouge. Dans le même temps, un capteur électrochimique a été testé, et des mesures ponctuelles avec des tubes réactifs ont été effectuées.

Les expérimentations réalisées dans différents bâtiments à ventilation statique ont montré la difficulté d'appréciation du débit de ventilation compris entre 600 et 2500 m³ par vache et par heure. Les concentrations d'ammoniac varient tout au long de la journée et sont comprises entre 0,5 et 7 ppm. Elles sont sous l'influence de plusieurs paramètres : conditions météorologiques, activités des animaux et de l'éleveur. Compte tenu de ces concentrations et du débit d'air des bâtiments, les émissions varient entre 3 et 8 kg NH₃ par vache et pour 7 mois de stabulation.

Ammonia emission from naturally ventilated building for dairy cows

SUMMARY – Ammonia emissions to the atmosphere are suspected to have ecological effects : soil acidification, toxic effects on the aerial parts of plants, deficiencies in potassium and magnesium.

A large part of these emissions is due to agricultural activities, especially breeding activities.

The current work concerns ammonia volatilisation in French naturally ventilated housing systems for dairy cows. The aims are to produce an ammonia losses inventory from cattle production and to determine the correlation between ammonia losses and circumstances on the farm.

Measurements of ammonia emissions require the determination of ventilation rate and concentration of air pollutant leaving the building.

For measuring the ventilation rate, we have used a technique based on tracer gas, helium and developed a new model to predict ventilation with meteorologicals and animals parameters. The ammonia measurements were continuously made by a bubbling method and an infrared photoacoustic spectrometer. In the same time, we have tested an electrochemical sensor and made selective measures with indicator tubes.

The experiments realised on different buildings have showed the difficulties to appreciate the ventilation rate contained between 1000 and 2 500 m³/cow/hour in naturally ventilated buildings.

The ammonia concentration vary the whole day because it is under the influence of meteorological conditions, animal activities, stockbreeder practices... The means ammonia concentrations are included in 0.5 to 7 ppm and the emissions are contained between 3 to 8 kg/cow/seven months housing.

INTRODUCTION

La formation d'ammoniac résulte de la conversion rapide de l'urée par une enzyme faecale, l'uréase. Le processus prend place rapidement après l'excrétion quand l'urine entre en contact avec les fèces. Ce mécanisme, à la base de la volatilisation, dépend donc de plusieurs facteurs d'élevage tels le bâtiment, la gestion des déjections, les ouvrages de stockage, ... L'élevage bovin contribue pour une large part aux émissions d'ammoniac dans l'atmosphère. Selon certains auteurs, la quantité d'ammoniac volatilisée se situe entre 21 et 35 kg/vache laitière/an (Rom - 1993) ou autour de 29 kg/vache laitière/an (Pain - 1998). Cette volatilisation intervient à différents niveaux : dans le bâtiment, pendant le stockage des déjections, à l'épandage et au pâturage. La contribution respective des différents postes est la suivante : 35 %, 20 %, 40 %, 5 %.

La présente étude concerne les bâtiments vaches laitières à ventilation naturelle. Les objectifs sont de mesurer les concentrations d'ammoniac, de quantifier les émissions et de montrer l'incidence des différents paramètres de logement et de gestion du bâtiment.

Les mesures menées dans différents bâtiments avec de gros équipements (spectromètre) et de lourdes méthodes (gaz traceur) ont aussi pour but de comparer les différentes méthodes pour développer à terme un modèle d'estimation de la ventilation, un moyen de mesure rapide des concentrations et donc une estimation aisée des émissions.

MATERIEL ET METHODE

1. LES BÂTIMENTS

Les mesures ont été menées dans quatre modes de logement pour vaches laitières :

- stabulation logettes raclées,
- stabulation logettes caillebotis,
- stabulation paillée avec couloir raclé,
- stabulation paillée avec couloir caillebotis.

Ces bâtiments sont équipés de bardage en bois ajouré et d'une faîtière ouverte.

2. EQUIPEMENTS ET VARIABLES MESURÉES

Les mesures d'émission nécessitent la détermination de la concentration en ammoniac et du flux d'air dans le bâtiment. S'il est aisé de mesurer la concentration, l'estimation de la ventilation est très difficile pour ce type de bâtiment. En réalité, les flux entrant et sortant sont mélangés et ces derniers résultent de l'effet vent et de l'effet cheminée (Capdeville - Tillie - 1995).

- Mesure du flux de ventilation

Deux techniques ont été développées pour estimer le flux de ventilation :

- utilisation d'un gaz traceur : l'hélium,
- modèle de prédiction mis au point par Jacques Capdeville.

La méthode avec utilisation de gaz traceur consiste à suivre, après la dispersion d'un gaz à l'aide de "Jetflows", la concentration de ce gaz durant une période de temps donnée et à estimer le débit d'air. Les prélèvements d'air sont effectués en continu au travers de huit flexibles disposés dans le bâtiment et un échantillon d'air moyen est analysé instantanément à l'aide d'un spectromètre.

Concernant le modèle de prédiction, nous avons considéré que tous les paramètres nécessaires aux calculs de débit ne pouvaient être connus avec suffisamment de précision. Il semble facile de mesurer des surfaces d'entrées et de sorties d'air mais la part active de ces surfaces est impossible à déterminer. Seule une part de cette surface totale est active et celle-ci ne dépend pas seulement de leur forme mais également de la direction du vent à l'extérieur du bâtiment et de sa vitesse. De même, la chaleur totale à prendre en considération n'est pas seulement celle produite par les animaux mais également celle produite par la litière et par le soleil. Ainsi, pour appliquer ce modèle dans des situations concrètes, nous avons cherché à expliquer comment les conditions d'ambiance à l'intérieur du

bâtiment étaient obtenues selon les conditions extérieures et les principes de ventilation naturelle.

Le meilleur indicateur du débit d'air est la différence de poids d'eau entre l'air intérieur et l'air extérieur. Cette différence peut être aisément calculée avec la mesure de la température et de l'humidité relative. Si le modèle donne avec suffisamment d'exactitude les quantités de vapeur d'eau produites dans le bâtiment, il est possible d'évaluer le débit d'air nécessaire à l'obtention de la température et de l'humidité à l'intérieur du bâtiment.

Le principe est basé sur un calcul itératif (augmentation progressive des surfaces d'ouverture et des sources additionnelles de chaleur) jusqu'à ce que la différence entre la valeur prédite et la valeur mesurée soit négligeable. Les informations comme le débit d'air puis la part de l'effet cheminée et de l'effet vent sont déterminées en parallèle.

L'utilisation du modèle nécessite la présence de capteurs à enregistrement continu à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. A l'intérieur, sont mesurées la température et l'humidité, et à l'extérieur une station météorologique collecte les données sur la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent. Sur l'ensemble des données de la campagne de mesure, le modèle de prédiction a donné des résultats avec une précision de 10 à 20 % comparativement à la méthode avec utilisation de gaz traceur.

- Mesure des concentrations en ammoniac

Quatre techniques ont été utilisées pour mesurer les concentrations en ammoniac :

- barbotage,
- spectromètre photoacoustique à infrarouge,
- capteur électrochimique,
- tubes réactifs (DRAGER, GASTEC).

Les mesures par barbotage et par spectrométrie ont été réalisées sur des échantillons d'air prélevés au travers des tubes souples utilisés pour le suivi de l'hélium.

Le capteur électrochimique était connecté à une centrale d'acquisition pour des mesures en continu. Les tubes réactifs étaient utilisés quotidiennement pour une comparaison avec la méthode précédente en vue d'une éventuelle correction.

Considérant le barbotage comme la méthode de référence, la précision des autres techniques était de l'ordre de 10 %.

RESULTATS

Les expérimentations ont été menées en 1997 et 1998 durant la période hivernale sur des durées de 1 à 4 jours. Sept bâtiments ont fait l'objet d'un suivi complet. Les premiers constats concernent l'incidence de la température, du brassage et du débit de ventilation.

1. AMMONIAC ET TEMPÉRATURE

Les concentrations en ammoniac représentées sur la figure 1, varient de façon importante au cours de la journée. Sur une période de 4 jours en hiver, le niveau d'ammoniac est compris entre 1 et 8 ppm. Les conditions météorologiques rencontrées sur cette période (fortes variations de température et absence de vent), permettent la mise en évidence d'un effet de la température sur les concentrations en ammoniac.

Monteny (1996) et Mannebeck (1990) qui démontrent l'augmentation des concentrations en ammoniac parallèlement à l'accroissement de la température du bâtiment, associent ce phénomène à une augmentation de la pression partielle de l'ammoniaque.

Un bâtiment identique sur une autre période est représenté en figure 2. La variation journalière de la température entre 8 et 16°C a peu d'incidence sur les concentrations en ammoniac comprises entre 0,4 et 1,20 ppm. Ceci est dû à la météorologie, le vent d'une vitesse moyenne de 5 m/s renouvelle de façon importante l'air du bâtiment et cache ainsi l'effet température.

2. AMMONIAC ET BRASSAGE DE LA FOSSE SOUS CAILLEBOTIS

Des observations de trois jours dans un bâtiment avec logettes caillebotis sont représentées en figure 3. Comme sur les précé-

dentes expérimentations, nous pouvons mettre en évidence un effet de la température sur la concentration en ammoniac.

Après un mois sans homogénéisation du lisier, l'éleveur débute un brassage au tracteur le 18 mars 1998 à 11 heures durant 6 heures ainsi que le 19 mars à 10 h 30 durant 7 heures en prévision d'un épandage le 20. Comparativement au 17 mars, jour sans brassage, nous mettons en évidence l'effet du brassage sur le niveau d'ammoniac pour des conditions météorologiques sensiblement identiques. Dans un premier temps, nous notons une augmentation de la concentration après le début du brassage. Trois heures plus tard, le niveau d'ammoniac diminue rapidement, se stabilise jusqu'à la fin du brassage. Deux heures après la fin de l'homogénéisation, la concentration reprend son niveau normal.

Ce phénomène suscite quelques observations. En effet, le brassage semble contribuer à une libération rapide de l'azote ammoniacal disponible. Puis la volatilisation se stabilise à un niveau semblant correspondre à la fourniture d'azote ammoniacal liée à la minéralisation. Deux heures après l'arrêt du brassage, le pool ammoniacal est reconstitué et la volatilisation de l'ammoniac reprend le cycle normal.

Svensson (1991) met en évidence cet effet du brassage sur la volatilisation et lie ce phénomène à la destruction de la croute supérieure et au mélange des différentes strates formées par le lisier.

3. DÉBIT DE VENTILATION

L'utilisation de l'hélium comme gaz traceur dans différents bâtiments, sur plusieurs périodes a permis de mesurer des débits d'air situés entre 600 et 2500 m³/vache laitière/heure. En l'absence de vent, ce débit dépend de la largeur du bâtiment et de sa structure. Dans d'autres conditions, il est fonction de la vitesse du vent et de son orientation.

Dans le tableau 1, on peut remarquer que les concentrations faibles en ammoniac correspondent à des débits d'air importants. Ceci s'explique par la dilution forte de l'air ambiant avec de l'air frais venant de l'extérieur.

Inversement pour les faibles débits d'air, les niveaux d'ammoniac ne sont pas toujours les plus élevés. Dans ce cas, la concentration est également dépendante du mode de logement et de la température intérieure.

4. EMISSIONS D'AMMONIAC

La ventilation ayant un effet important sur la concentration en ammoniac, l'estimation des émissions doit être faite scrupuleusement en respectant les conditions lors de l'expérimentation. Ainsi, dans les conditions d'élevage rencontrées, les niveaux d'émission se situent entre 3 et 8 kg/VL/7 mois de stabulation (tableau 1).

Sans que ces données puissent être comparables à d'autres résultats de recherche étant donné la diversité des conditions de logement des animaux, les émissions calculées sont du même ordre de grandeur que celles annoncées par Monteny (1986) et Verboon (1995).

DISCUSSION

Depuis plusieurs années, un grand nombre de chercheurs des Pays de l'Europe du Nord se sont investis dans l'étude de la volatilisation de l'ammoniac. La plupart des travaux ont concerné des bâtiments fermés à ventilation dynamique en stabulation entravée ou sur caillebotis. Peu représentatives du parc français des bâtiments d'élevage, ces références méritaient d'être complétées. Nous avons donc entrepris des mesures dans des conditions plus conformes aux bâtiments d'élevage rencontrés en France, à savoir des bâtiments à ventilation statique sujets à de fortes variations de la ventilation, fonction des conditions météorologiques, de l'orientation, ...

Cette étude, dont les premiers résultats ont été présentés, a été menée dans des bâtiments vaches laitières regroupant plusieurs modes de logement. Si différents facteurs conditionnant la volatilisation ont pu être mis en évidence (température, débit d'air, brassage), les 7 séries de mesure n'ont pas permis de démontrer une relation entre le mode de logement et les émis-

sions d'ammoniac du fait du facteur prédominant qu'est la météo.

C'est pourquoi, d'autres investigations doivent être menées pour confirmer ces résultats. Le complément portera, dans un premier temps, sur des observations estivales d'élevages suivis antérieurement dans des conditions hivernales. Enfin, d'autres mesures menées durant la prochaine période hivernale, permettront de constituer un échantillon plus important et plus représentatif des modes de logement les plus fréquents.

Anderson M., Jeppsson K.-H., von Wachenfelt E. - 1994 - Ammonia emission from different surfaces in livestock buildings - AGENG - Milan - 8 p.

Asteraki E. J., Matthews R.A., Pain B.F., 1995, Ammonia emission from beef cattle bedded on straw. In Ammonia and odour control from animal production facilities. Voermans Jan A.M., Monteny G.J. (eds). Proceeding of international symposium Vinkeloord, the Netherlands 6 - 10 October 1997. p343-348.

Bleijenberg R., Kroodsma W. and Ogink N.W.M. - 1995. Flushing with formaldehyde in a cubicle house to reduce ammonia emissions. Wageningen, IMAG-DLO report 94-33, 41 p.

Bleijenberg R., Kroodsma W. and Ogink N.W.M. - 1995. Techniques for the reduction of ammonia emissions from a cubicle house with slatted floor. Wageningen, IMAG-DLO report 94-35, 34 p.

Capdeville J., Tillie M., 1995, L'ambiance dans les bâtiments d'élevage bovin, ovin, caprin et équin, Paris, Institut de l'Élevage, 64 p.

CITEPA - 1987 - Les émissions d'ammoniac par les activités agricoles - Paris - 12 p.

Demmers Burgess, Phillips R., Wathes C. - 1996. Ammonia emissions from house livestock. Measurement method for ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Proceeding of the International Conference on air pollution from agriculture operations, Kansas City, Missouri, USA - 7 - 9 February. Publication MWPS-C3 of Midwest Pan Services, Ames, IOWA, USA.

Hans Benny Rom - 1993 - Ammonia emission from livestock building in Denmark - Fourth International Symposium University of Warwick Coventry, England - pp. 1161-1168.

Landmann G., Ulrich E., Kaennel M. - 1991 - Les émissions d'ammoniac : leurs origines et leurs effets sur les écosystèmes forestiers - Analyse sommaire des données récentes de la littérature - INRA Champenoux - 47 p.

Mannebeck H. and Oldenburg J. - 1990. Comparison of the effects of different systems on ammonia emission. In : V.C. Nielsen, J.H. Voorburg and P. L'Hermite (eds). Odour and ammonia emissions from livestock farming. Proceeding of a seminar held in Silsoe, UK, 26-28 March 1990. Elseviers Applied Science, London, New-York, pp. 42-49.

Martinez J., Marec L., Guiziou F. - 1997. Emissions d'ammoniac au cours du stockage des déjections agricoles bovines et porcines. CEMAGREF, pp. 34-44.

Monteny - 1996. Ammonia emission from dairy cow houses and possibilities for its reduction. Institute of Agricultural and Environmental Engineering, 19 p.

Menzi H., Katz P.E. - 1997. A differentiated approach to calculate ammonia emissions from animal husbandry. SWISS Federal Research Station of Agroecology and Agriculture (FAL), Institute of Environmental Protection and Agriculture (IUL).

Pain B.F.,(UK) 1998. Gaseous pollutants from organic waste use in agriculture. Measurements, modelling and control of gaseous emissions. RAMIRAN'98, management strategies for organics waste use in agriculture. p 46.

Verboon M.C. 1995. Reduction of ammonia emissions from cubicle house and slurry storage. Applied Research for Sustainable Dairy Farming. Research Station for Cattle, Sheep and Horses husbandry, pp. 32-35.

Voorburg J.H. - 1985 - Odour research and ammonia volatilisation - Government Agricultural Waste Service (R.A.A.D.) Arnhem, The Netherlands - 6 p.

Figure 1 : Influence de la température sur la concentration en ammoniac en l'absence de vent.

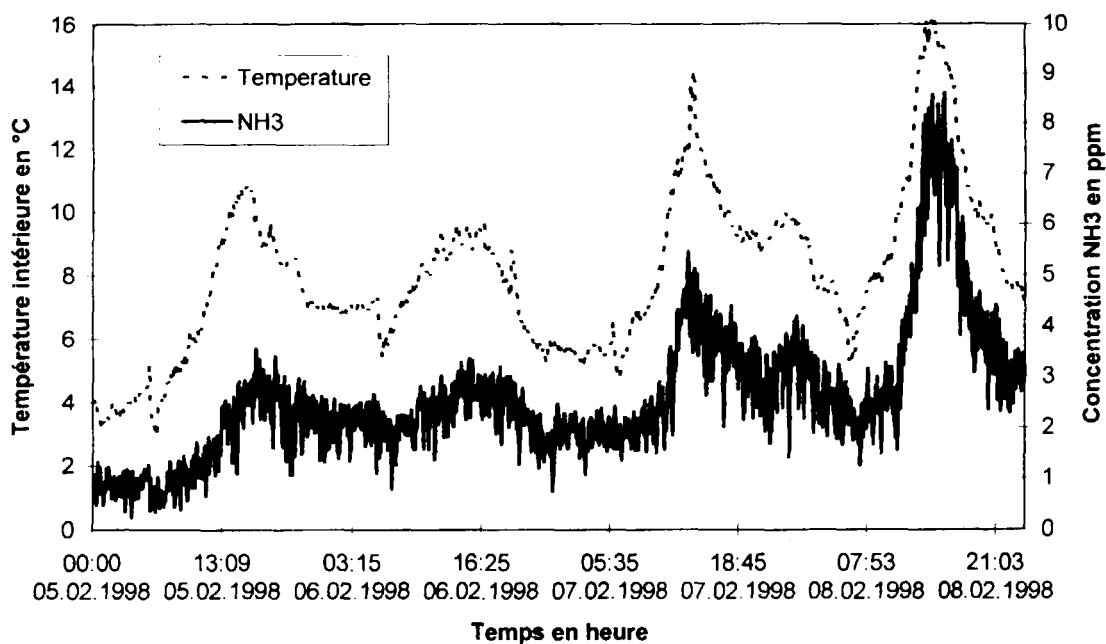


Figure 2 : Influence de la température sur la concentration en ammoniac en présence de vent.

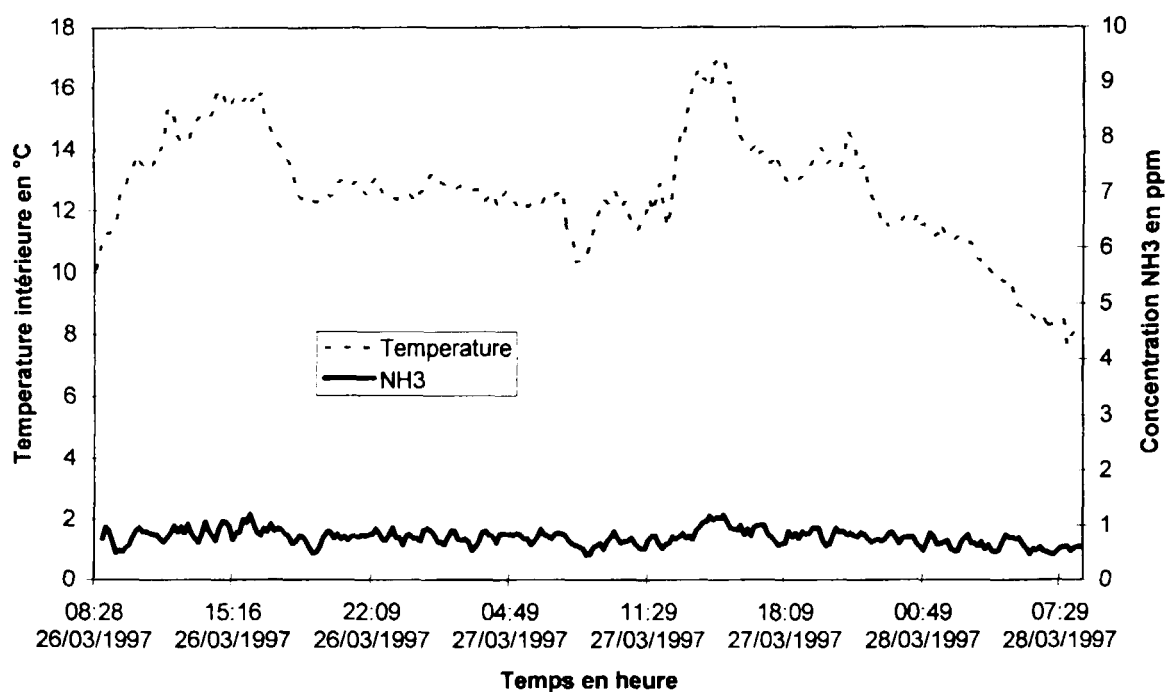


Figure 3 : Influence du brassage sur les concentrations en ammoniac.

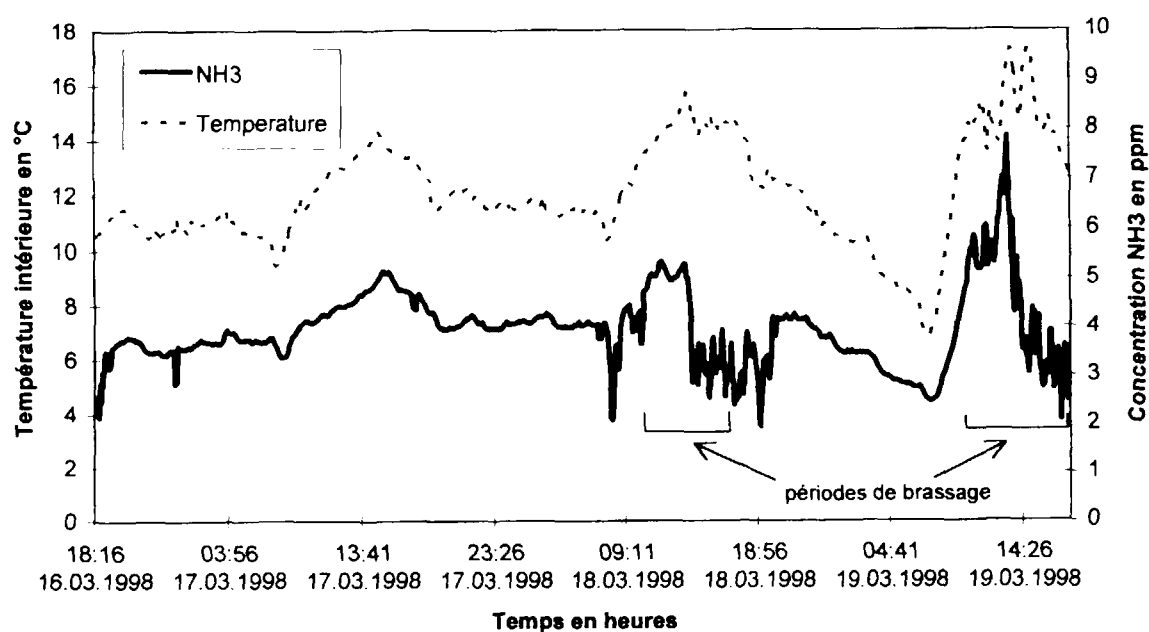


Tableau 1 : Emission d'ammoniac hors période de brassage.

	Débit d'air m ³ /VL/h	Concentration en ammoniac ppm (mesure en continu)	Emission d'ammoniac kg/VL/7 mois de stabulation
Débit d'air élevé	1000 - 2500	0.50 - 1.20	6 - 8
Débit d'air faible	600 - 1000	1.00 - 4.00	3 - 6