

# Emissions d'ammoniac dans les stabulations libres de vaches laitières avec aire d'exercice extérieure: moins de pertes en hiver

Mai 2011



Les émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ont été déterminées pour les stabulations libres de vaches laitières avec ventilation naturelle, surfaces de circulation en dur et aire d'exercice extérieure typiques de la Suisse. (Photo: ART)

## Autrices et auteurs

Sabine Schrade, Margret Keck, ART  
Kerstin Zeyer, Lukas Emmenegger,  
Empa.  
sabine.schrade@art.admin.ch

## Impressum

Edition:  
Station de recherche Agroscope  
Reckenholz-Tänikon ART,  
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,  
Traduction: ART

Les Rapports ART paraissent  
environ 20 fois par an.  
Abonnement annuel: Fr. 60.–.  
Commandes d'abonnements  
et de numéros particuliers: ART,  
Bibliothèque, 8356 Ettenhausen  
T +41 (0)52 368 31 31  
F +41 (0)52 365 11 90  
doku@art.admin.ch  
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7576

Les stabulations libres représentent d'importantes sources d'émissions d'ammoniac. Jusqu'à présent aucune donnée n'était disponible sur les émissions des stabulations libres à logettes avec aire d'exercice extérieure, qui sont fréquemment répandues en Suisse. La station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART et l'Empa ont calculé les émissions d'ammoniac du système de détention stabulation libre à logettes avec surfaces de circulation en dur et aire d'exercice extérieure attenante pour vaches laitières. Les mesures ont été effectuées dans six exploitations et réparties sur toute l'année. Elles ont ainsi permis de couvrir les différences liées aux saisons et aux exploitations. Afin de décrire chaque situation de mesure, plusieurs données ont été relevées: des données relatives à l'exploitation, au climat, à la saleté des surfaces de circulation, au lieu de séjour des animaux ainsi que des données sur l'input, les émissions et la valorisation de l'azote. Les moyennes journalières des émissions d'azote variaient

en été de 31 à 67 g par unité gros bétail (1 UGB = 500 kg masse vive) et jour (d). Pendant la période de transition, elles variaient de 16 à 44 g/UGB·d et en hiver de 6 à 23 g/UGB·d. L'émission d'ammoniac est liée à la température extérieure, à la vitesse du vent et à la teneur en urée du lait conservé dans le tank: lorsque les températures et les vitesses du vent sont élevées, les émissions d'ammoniac sont nettement plus importantes. La quantité d'azote contenue dans les excréments est également décisive. La teneur du lait en urée donne des informations à ce propos. Ces paramètres sont à l'origine des objectifs de réduction qui prônent une alimentation équilibrée et conforme aux besoins des animaux et qui concernent aussi les aspects du climat d'étable. Avec un avant-toit, une protection contre le vent et le soleil, il est possible de réduire la température et la vitesse du vent et par conséquent, les émissions d'ammoniac. D'autres mesures portent sur la taille des surfaces de circulation souillée, la fréquence et la qualité du nettoyage.



## Problématique

Les systèmes de détention pour vaches laitières ont considérablement évolué au cours des vingt dernières années: en 1990 en Suisse, 97 % des vaches laitières étaient encore détenues en stabulation entravée et seulement 3 % en stabulation libre. En 2010, le rapport entre stabulation entravée et stabulation libre est passé à 60 et 40 % (OFAG 2003). Les programmes de détention animale SST et SRPA (Ordonnance sur les programmes éthologiques 2008) ont renforcé la tendance qui va vers les stabulations libres et les aires d'exercice extérieures. Ces dernières augmentent toutefois la superficie des surfaces souillées, ce qui, par voie de conséquence, entraîne des émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) plus élevées.

Du point de vue de l'agriculture aussi bien que du point de vue de la politique environnementale, il est indispensable de disposer de données actuelles sur les émissions de  $\text{NH}_3$  provenant de la détention de vaches laitières. Les données disponibles dans la littérature internationale relatives aux émissions de  $\text{NH}_3$  des vaches laitières ne peuvent être appliquées aux systèmes de stabulation libre à aération naturelle avec aire d'exercice extérieure, typiques de la Suisse, car les mesures ont principalement été effectuées dans des étables en grande partie fermées ou avec ventilation mécanique qui ne comportaient pas d'aire d'exercice extérieure. De plus, ces données d'émission ne couvraient pas systématiquement toutes les saisons.

## Emissions de $\text{NH}_3$ en Suisse

Selon les simulations, en 2007, les émissions de  $\text{NH}_3$  en Suisse provenaient à environ 94 % de l'agriculture, dont près de 34 % de la stabulation des animaux de rente. Les bovins généraient la majeure partie des émissions de  $\text{NH}_3$  avec environ 79 % (Achermann et al. 2009).

Chez les vaches à haute productivité, près de 20 % de l'azote apporté gagnent le lait, près de 30 % sont éliminés dans les excréments et environ 50 % dans les urines (Tamminga 1992).  $\text{NH}_3$  se forme essentiellement à partir de l'urée contenue dans l'urine à l'aide de l'enzyme uréase. La formation de  $\text{NH}_3$  a lieu lorsque l'urée entre en contact avec des surfaces souillées par des excréments ou un mélange d'urine et d'excréments, et qui contiennent donc des micro-organismes réactifs à l'uréase. La formation de  $\text{NH}_3$  est influencée par la température, mais aussi par la disponibilité du substrat et de l'uréase et le pH. La libération de  $\text{NH}_3$  dans l'atmosphère dépend essentiellement de la température et de la vitesse de l'air (Arogo et al. 1999, Cortus et al. 2008, Hartung 1995, Monteny 2000). Les surfaces de circulation souillées avec des excréments et de l'urine sont les principales sources d'émissions de  $\text{NH}_3$  (fig. 1). L'agriculture perd de précieux engrais azotés sous forme de  $\text{NH}_3$ . Une fois dans l'atmosphère, le  $\text{NH}_3$  retombe finalement sous forme de pluies acides qui se transforment en engrais azotés perturbant les écosystèmes sensibles.

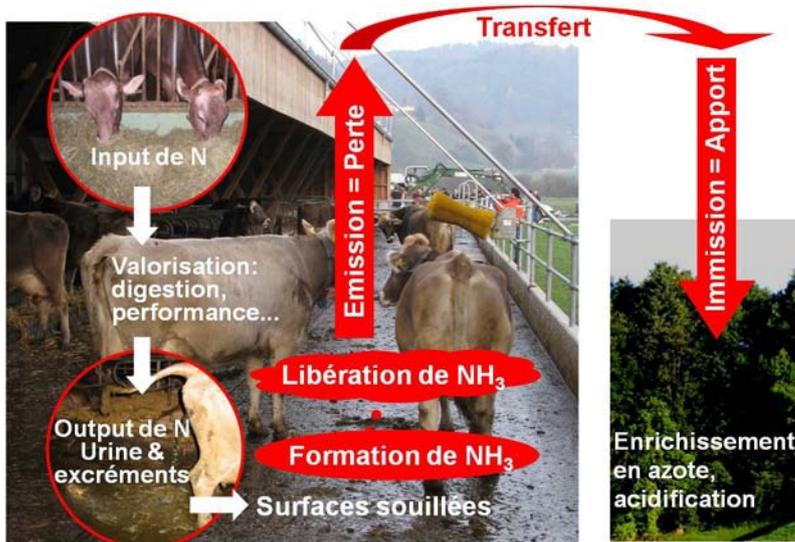


Fig. 1: L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) se forme sur les surfaces de circulation souillées par les excréments et par l'urine et est libéré dans l'atmosphère. Sous forme d'engrais azoté, il perturbe les écosystèmes sensibles.

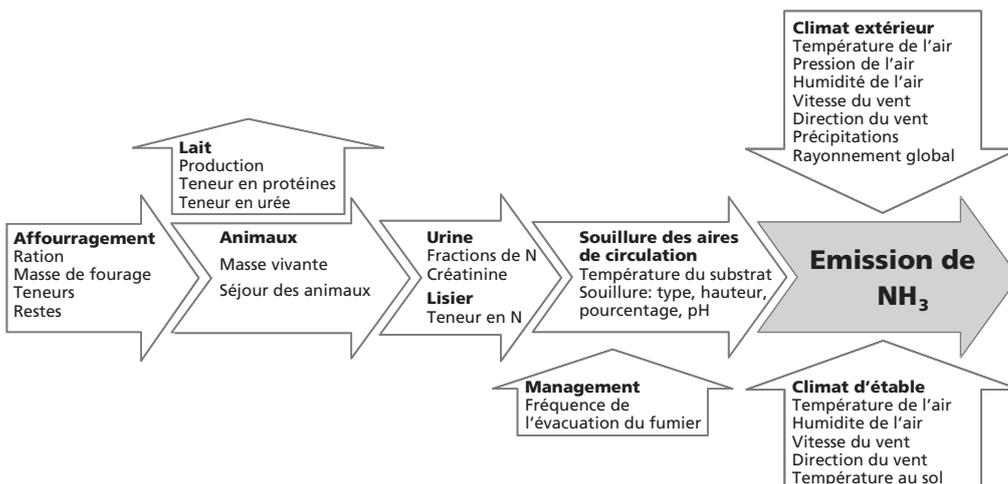


Fig. 2: Il est important de relever les principaux paramètres qui influencent le processus d'émission de  $\text{NH}_3$ , afin de couvrir tous les facteurs qui interviennent dans la formation et la libération de  $\text{NH}_3$  dans la détention de vaches laitières en stabulation libre.

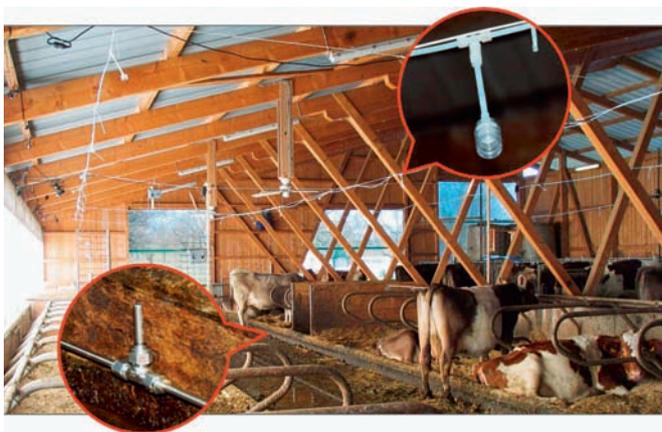


Fig. 3: Le dispositif de mesure dans l'étable se composait d'un système de dosage des gaz traces à l'aide de tubes capillaires placés sur les aires d'exercice émettrices et d'un système de captage d'air avec des tubes capillaires placés à plusieurs endroits à trois mètres de hauteur.

## Mesures dans six exploitations

### Objectif

Cette étude avait pour but de déterminer les émissions de  $\text{NH}_3$  dans la détention de vaches laitières en stabulation libre avec aire d'exercice extérieure attenante et de contribuer ainsi à l'inventaire des émissions. La prochaine étape consistera à trouver une approche pour obtenir une réduction des émissions.

### Concept de mesure et méthodes

Pour ce faire, les émissions ont été mesurées dans un système de détention de vaches laitières dans six exploitations différentes et pendant douze périodes de mesure. Ces dernières étaient réparties systématiquement sur toute l'année et couvraient ainsi l'été, une période de transition et l'hiver. Chaque période de mesure durait au moins trois jours. Afin de caractériser chaque situation de mesure comme paramètre de référence et afin de déduire les principaux facteurs d'influence sur les émissions, voici quels sont les paramètres qui ont été relevés outre les données relevant de la description de l'exploitation: climat extérieur, climat à l'intérieur de l'étable et dans l'aire d'exercice extérieure, lieu de séjour des animaux, souillure des surfaces de circulation ainsi qu'input, output et valorisation de l'azote (fig. 2).

ART et l'Empa ont appliqué la méthode Tracer-Ratio développée antérieurement (Schrade 2009) pour déterminer les émissions dans les stabulations libres avec ventilation naturelle et aires d'exercice extérieures. Pour ce faire, deux gaz-traces ont été dosés continuellement en faibles concentrations via un système de tubes capillaires directement sur les surfaces de circulation souillées. Les gaz-traces (aussi appelés gaz indicateurs) ne réagissent pas avec d'autres substances dans l'atmosphère, ils se répandent de manière pratiquement homogène comme l'air ambiant et sont donc représentatifs de la source des émissions de  $\text{NH}_3$  dans l'étable ou l'aire d'exercice extérieure. Dans les étables et les aires d'exercice extérieures plus vastes, un système de captage de l'air avec des tubes capillaires placés à plusieurs endroits a permis de prélever des échantillons représenta-

tifs (fig. 3). Le flux de masse des gaz-traces et le rapport de concentration du gaz-trace et de  $\text{NH}_3$  permettent de calculer l'émission de  $\text{NH}_3$ . Les gaz-traces utilisés pour le dosage et les appareils d'analyse des gaz étaient placés dans une remorque de mesure climatisée.

### Exploitations

Pour les mesures, on a choisi le système de détention de vaches laitières en stabulation libre avec aire d'exercice extérieure, très répandu en Suisse. Il s'agissait de stabulations libres aménagées dans un seul bâtiment avec ventilation naturelle, logettes, surfaces de circulation en dur et aire d'exercice extérieure le long de l'étable. Deux concepts d'aire d'exercice ont été pris en compte: dans trois exploitations, l'aire d'exercice était séparée du bâtiment d'étable, dans les trois autres, elle était combinée avec un couloir de repos (tab. 1). Le couloir d'affouragement, le couloir de repos ou l'aire d'exercice combinée au couloir de repos étaient nettoyés trois à quatre fois par jour à l'aide de racleurs d'évacuation fixes. L'aire d'exercice extérieure était nettoyée tous les trois jours mécaniquement ou manuellement. Les six exploitations se distinguaient par le type d'affouragement, le management, le mode d'exploitation, le rendement du troupeau, la taille ainsi que par les constructions et les procédés. Ces exploitations ont permis de couvrir les diverses formes que prend ce système de détention dans la pratique. La taille du troupeau variait entre 20 et 74 animaux. Pendant les mesures et les périodes d'acclimatation de trois jours, les animaux n'avaient pas accès au pâturage. Dans trois exploitations, la ration de fourrage comprenait essentiellement de l'ensilage, du foin et des concentrés. Deux exploitations distribuaient aux bêtes une ration complète mélangée. L'exploitation 4 produisait du lait sans ensilage. La traite avait lieu deux fois par jour.

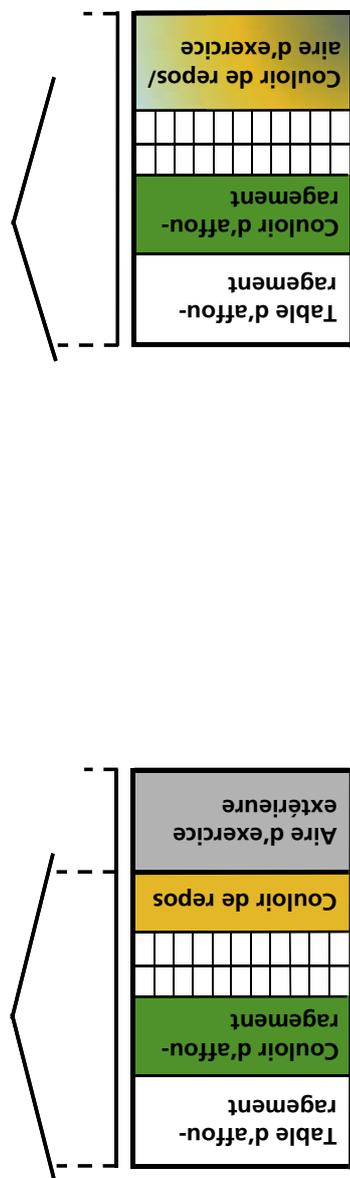
## Résultats et discussion

### Emissions d'ammoniac

Les émissions de  $\text{NH}_3$  ont permis de constater des effets liés aux saisons et aux exploitations (fig. 4). Les différences saisonnières étaient particulièrement marquées dans les exploitations 2 et 5 avec les mesures en été et en hiver. Les trois jours de mesures consécutifs programmés à chaque période de mesure ne se distinguaient généralement pas beaucoup par le niveau de  $\text{NH}_3$ . Des cycles diurnes n'ont pu être identifiés que pendant la saison chaude. Les événements comme les heures de repas et les phases d'évacuation du fumier se reflétaient partiellement dans les émissions de  $\text{NH}_3$ .

Quelles que soient les exploitations, les moyennes journalières des émissions de  $\text{NH}_3$  ont varié en été de 31 à 67 g par unité gros bétail (1 UGB = 500 kg masse vive) et par jour (d) et se situaient donc légèrement au-dessus des valeurs figurant dans la littérature et mesurées dans des stabulations libres à logettes avec surfaces de circulation en dur, qui oscillaient entre 15 et 57 g/UGB·d (Rom et al. 2004, Zhang et al. 2005). Pendant la période de transition, les moyennes journalières sont comprises entre 16 et 44 g/UGB·d. Les mesures de Rom et al. (2004) et de Zhang et al. (2005) durant la période de transition étaient nettement plus basses et allaient de 9 à 20 g de  $\text{NH}_3$  par UGB et par jour. En hiver, les

Tab 1: Vue d'ensemble des exploitations avec indications relatives à l'effectif, l'affouragement, le système de détention et la technique d'évacuation.



Concept d'étable	Aire d'exercice séparée dans l'espace				Couloir de repos et aire d'exercice combinés				
	Exploitation 1		Exploitation 2		Exploitation 3		Exploitation 5		Exploitation 6
Période de mesure	Été	Transition	Été	Hiver	Transition	Hiver	Été	Hiver	Été
Effectif animal	Vaches laitières		Vaches laitières, 2 taureaux		Vaches laitières, jeune bétail		Vaches laitières		Vaches laitières
Race	Holstein		Race brune		Race brune, tachetée		Holstein, tachetée		Holstein, tachetées
Nombre d'animaux (nombre d'UGB) [n]	20 (28)	20 (28)	40 (58)	40 (70)	27/28 (39/40)	28 (41)	74 (94)	71 (97)	50/53 (85/90)
Poids vif moyen des vaches [kg]	693	690	724	871	713	730	669	709	824
Production laitière moyenne [kg/vache-d]	26	26	22	19	29	26	20	19	31
Affouragement	Ensilage d'herbe, foin, concentrés		Ensilage de maïs, ensilage d'herbe, foin, concentrés, fourrage vert (été)		Foin, concentrés		Ensilage de maïs, ensilage d'herbe, foin, concentrés		RCM
Façade vers l'aire d'exercice extérieure	Mur et fenêtre ouvertes		Paroi en bois, ouverte en haut		Mur, ouvert en haut		Ouverte		Ouverte
Aires de circulation									
Couloir d'affouragement	Caoutchouc		Asphalte coulé		Caoutchouc		Caoutchouc		Béton
Couloir de repos	Béton		Asphalte coulé		Béton		-		-
Aire d'exercice extérieure, couloir de repos/aire d'exercice	Béton		Béton		Béton		Béton		Béton, Merostep
Surface [m²] total	289		575	412	858	412	858	624	529
dont aire de circulation	215		440	295	624	295	624	377	377
dont aire d'exercice extérieure, couloir de repos/aire d'exercice	82		197	99	360	99	360	168	168
Procédé d'évacuation du fumier (fréquence)									
Couloir d'affouragement, couloir de repos	fixe (4 x jour)		fixe (4 x jour)		fixe (4 x jour)		fixe (3 x jour)		fixe (4 x jour)
Couloir de repos/aire d'exercice, aire d'exercice séparée dans l'espace	manuel (tous les 3 jours)		mobile (début des mesures)		manuel (tous les 3 jours)		-		-
Litière (logettes profondes)	Paille, sciure		Paille, longs brins		Paille hachée		Paille, longs brins		Paille, longs brins

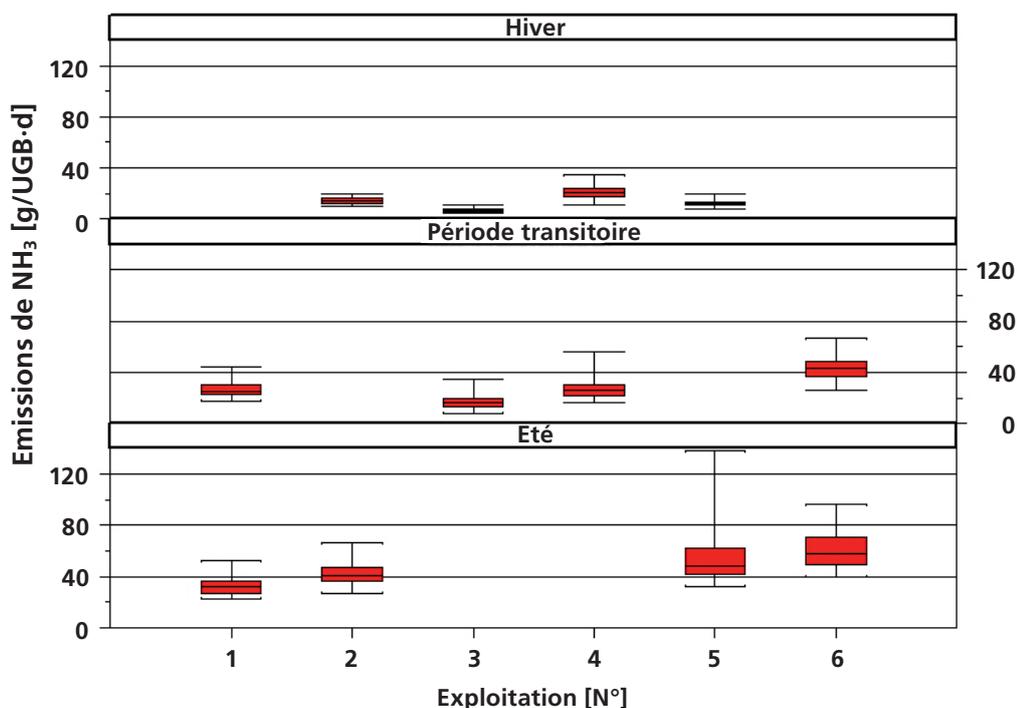


Fig. 4: En été, les émissions de  $\text{NH}_3$  étaient plus de trois fois supérieures à l'hiver.

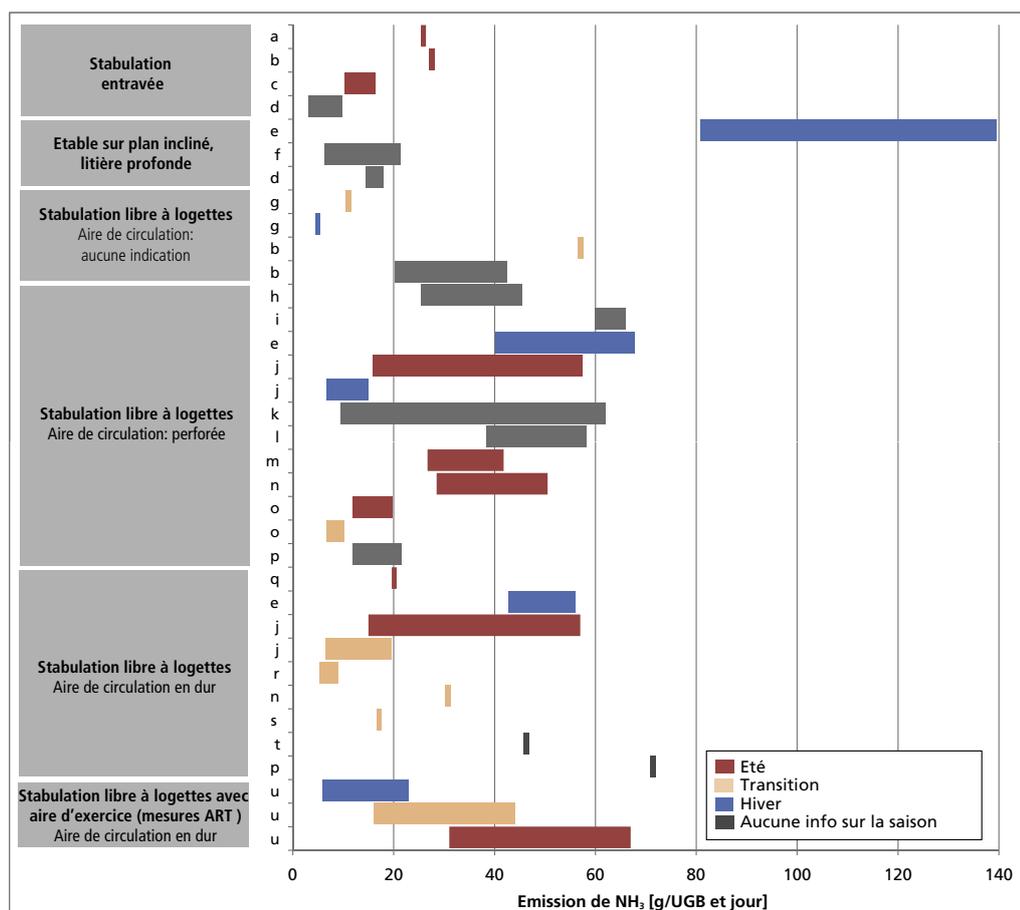


Fig. 5: Valeurs d'émissions de  $\text{NH}_3$  tirées des essais ART en stabulation libre à logettes avec surfaces de circulation en dur et aire d'exercice extérieure comparées aux données d'émissions pour stabulation entravée, étable avec litière profonde ou sur plan incliné, stabulation libre à logettes référencées dans la littérature (a Gustafsson et al. 2001; b Groot Koerkamp et Uenk 1997; c Groenestein 1993; d Amon et al. 1998; e Seipelt 1999; f Groot Koerkamp et al. 1998; g Schmidt et al. 2002; h V an't Ooster et al. 1994; i Swierstra et al. 2001; j Rom et al. 2004, Zhang et al. 2005; k Pollet et al. 1998; l Oosthoek et al. 1990; m Kroodsma et al. 1998; n Huis in't Veld et al. 2003; o Brose 2000; p Brehme 2001; q Smits et al. 1997; r Phillips et al. 1998; s Dore et al. 2004; t Demmers et al. 2001; u Schrade 2009).

moyennes journalières des mesures effectuées par ART étaient comprises entre 6 et 23 g/UGB·d, soit nettement en dessous des émissions de  $\text{NH}_3$  relevées par Seipelt (1999) en hiver avec 40,3 g/UGB·d dans une stabulation libre à logettes avec surfaces de circulation en dur (fig. 5). Les données provenant de différentes études ne peuvent être comparées qu'avec réserve car les conditions de mesure et les approches ne sont pas les mêmes. Il s'agit de mesures de courte durée

de 32 secondes jusqu'à des campagnes de mesures de plusieurs mois. Tandis que certains essais n'ont eu lieu que sur une plage de température très limitée, d'autres ont couvert plusieurs saisons. Une description insuffisante de la situation de mesure atténue en partie la qualité des données. Les mesures répertoriées dans la littérature ont été effectuées exclusivement dans des stabulations libres sans aire d'exercice extérieure. Dans les six exploitations qui ont participé à

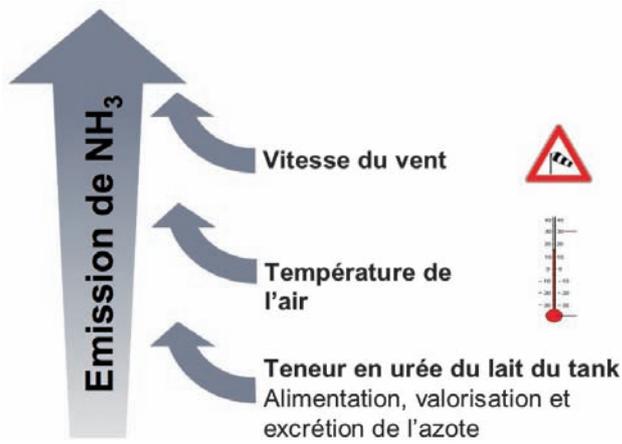


Fig. 6: L'émission de  $\text{NH}_3$  augmente avec la température extérieure et la vitesse du vent dans l'étable ainsi qu'avec la teneur en urée du lait conservé dans le tank.

la présente étude, l'aire de circulation était nettement supérieure à ce qui est requis dans le programme SRPA et par conséquent, était au moins deux fois plus vaste que les aires de circulation ayant servi aux mesures référencées dans la littérature. Grâce à la diversité des paramètres, l'émission de  $\text{NH}_3$  a pu être expliquée par la température extérieure, la vitesse du vent dans l'étable et la teneur en urée du lait conservé dans le tank (fig. 6).

### Température

Sur toutes les périodes de mesure, la plage de température était comprise entre  $-5$  et  $37$  °C. Entre la zone extérieure et l'étable, les différences de température étaient minimales. En hiver seulement, la température moyenne de l'air dans l'étable était environ  $2$  °C supérieure par rapport à l'extérieur. Ce point correspond aux études de Müller et Sanftleben (2008), selon lesquelles dans les étables non isolées, les

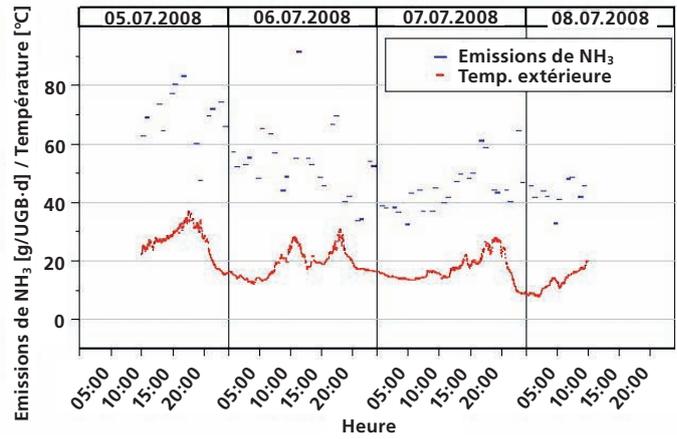


Fig. 7: Dans les mesures effectuées en été, le niveau des émissions de  $\text{NH}_3$  suivait l'évolution quotidienne de la température.

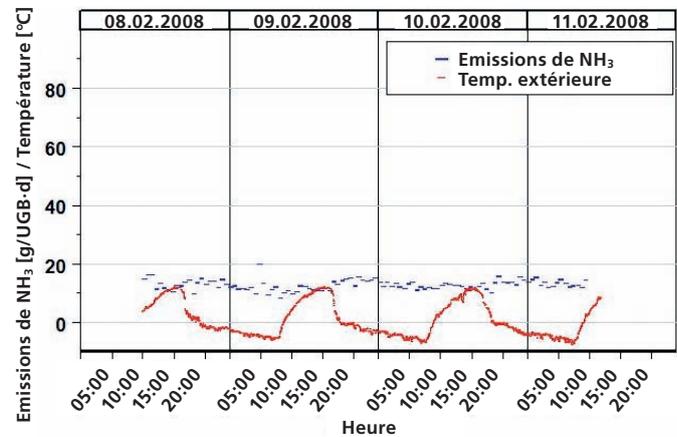


Fig. 8: Dans les mesures effectuées en hiver, l'émission de  $\text{NH}_3$  est restée au même niveau en dépit des différences de températures.

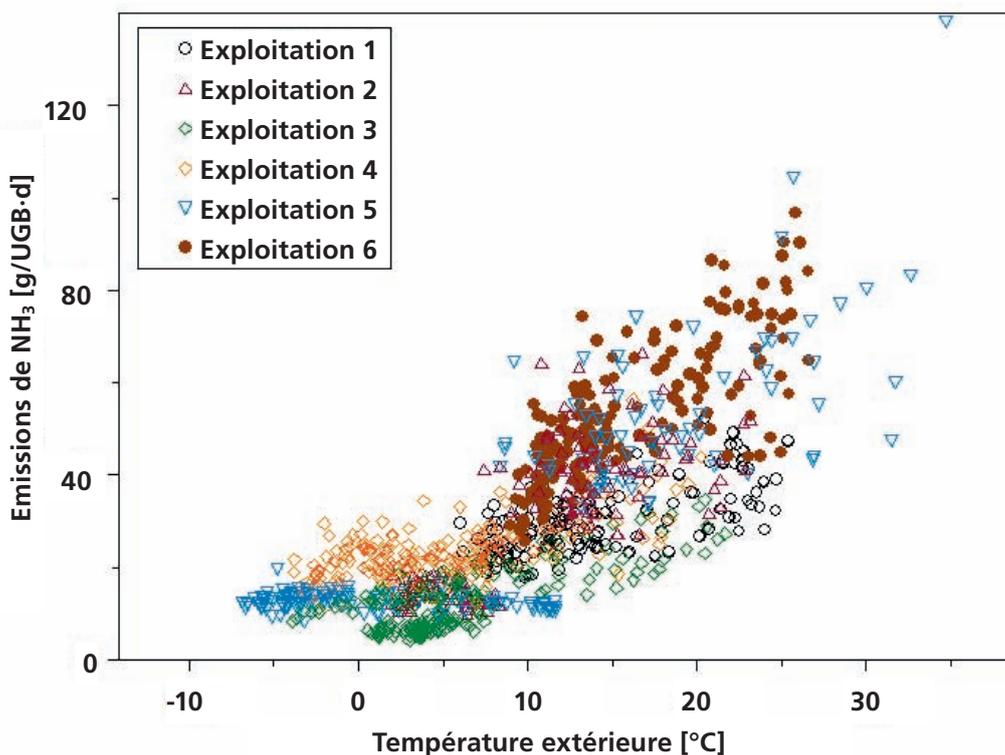


Fig. 9: Dans toutes les exploitations, lorsque la température atteignait un niveau plus élevé ( $> 7$  °C), les émissions de  $\text{NH}_3$  augmentaient considérablement avec la température.

températures en différents points de l'étable correspondent aux températures extérieures, car l'air circule davantage du fait des surfaces d'échanges plus importantes.

La température influence la formation et la libération de  $\text{NH}_3$ . Les mesures réalisées en été dans l'exploitation 5 ont montré qu'au cours de la journée, les émissions de  $\text{NH}_3$  augmentent parallèlement aux températures (fig. 7). En revanche, en hiver, les émissions de  $\text{NH}_3$  sont restées au même niveau en dépit d'une hausse de la température pendant la journée (fig. 8). On peut en conclure que lorsque les températures sont basses, même si elles augmentent pendant la journée, cela n'entraîne pas d'augmentation notable des émissions de  $\text{NH}_3$  (fig. 8 et 9). Dans toutes les exploitations, lorsque la température ne dépassait pas 7 °C environ, le niveau de  $\text{NH}_3$  ne variait pas ou à peine (fig. 9). Par contre,

lorsque le niveau des températures était plus élevé, les émissions de  $\text{NH}_3$  augmentaient considérablement dès que la température était en hausse. Par conséquent, les mesures de réduction qui agissent sur la température devraient se concentrer sur les situations où la température est supérieure à 7 °C. Dans les étables non isolées, les pertes de  $\text{NH}_3$  pendant la saison froide sont réduites car les températures sont basses. Pendant la saison chaude, il est recommandé de prévoir une protection contre le soleil, des surfaces couvertes si possible et des avant-toits suffisamment grands. Suivant le concept de l'étable (p. ex. faible hauteur du toit, ventilation transversale insuffisante), une toiture isolée thermiquement peut également permettre d'éviter un fort rayonnement thermique et donc des températures élevées. Par ailleurs, les températures basses en été répondent aux besoins des animaux.

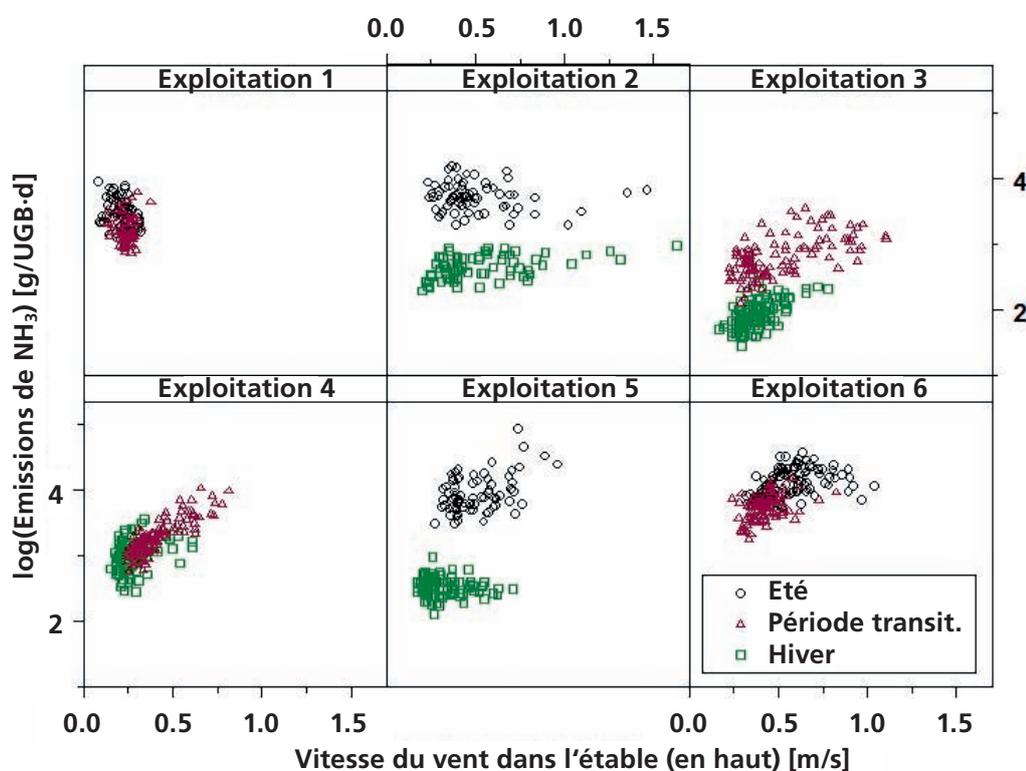


Fig. 10: Dans les exploitations 3, 4 et 6, l'influence de la vitesse du vent sur les émissions de  $\text{NH}_3$  est visible, représentée sous forme de logarithme des émissions de  $\text{NH}_3$ .

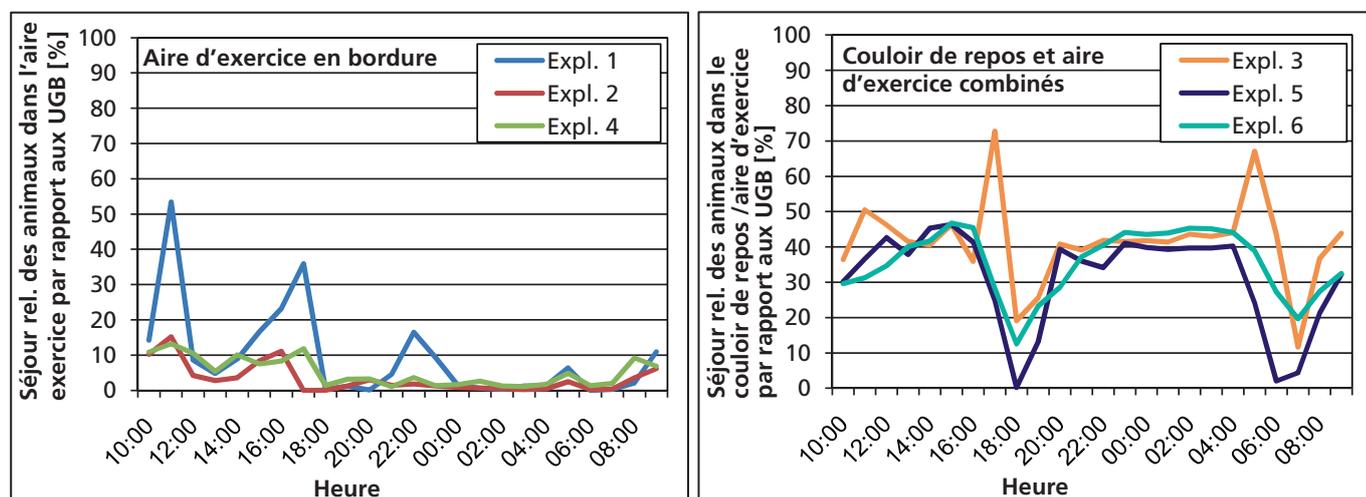


Fig. 11: Les animaux séjournent nettement moins dans l'aire d'exercice séparée du bâtiment (à gauche) que dans l'aire d'exercice combinée au couloir de repos (à droite). Le séjour dans les logettes était compté en plus (UGB = unité gros bétail).

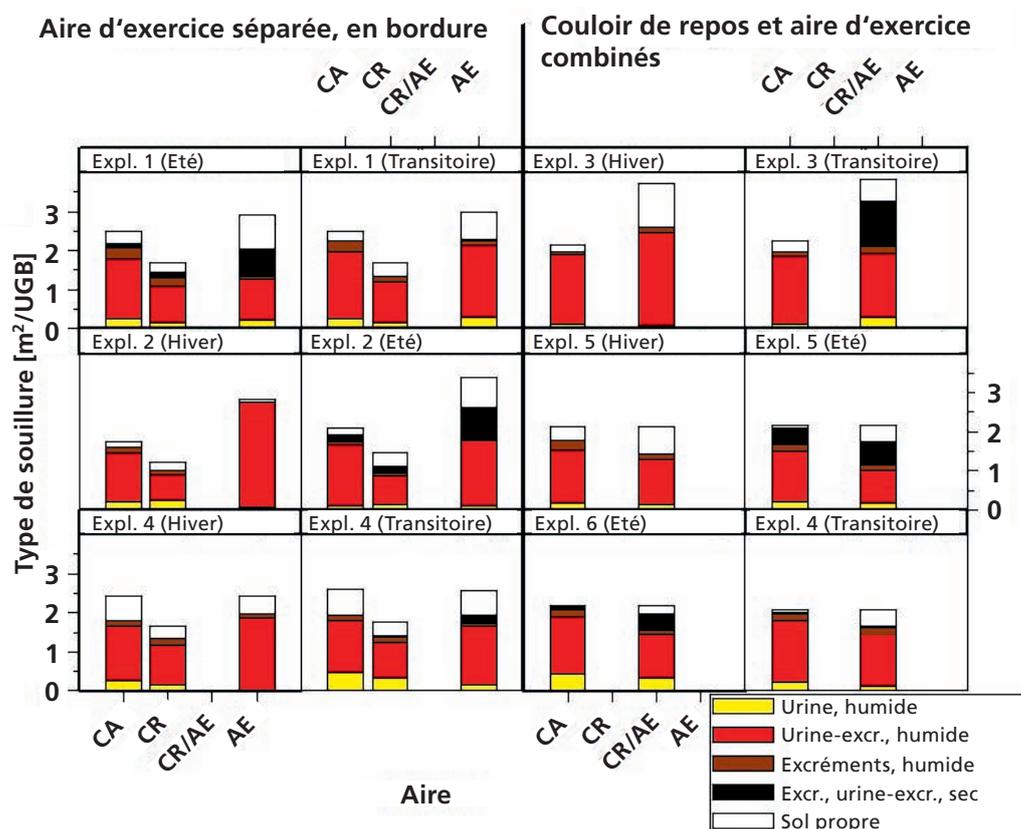


Fig. 12: Le mélange humide d'urine et d'excréments représente le plus gros pourcentage des souillures dans toutes les aires de circulation (CA = couloir d'affouragement, CR = couloir de repos, CRI/AE = couloir de repos et aire d'exercice combinés, AE = aire d'exercice). Les pourcentages de catégories de souillure se rapportent à la surface de circulation  $[m^2]$  par unité gros bétail.



Fig. 13: Les couloirs de circulation dans l'aire d'affouragement sont généralement uniformément souillés par un mélange humide d'urine et d'excréments (à gauche). Dans les aires d'exercice qui sont placées en bordure de l'étable, le degré de saleté est plus hétérogène. En été, les souillures sèchent généralement (à droite).

### Vitesse du vent

Dans les étables étudiées, la vitesse moyenne du vent à 50 cm du sol dans l'aire d'exercice et dans le couloir de repos/aire d'exercice était de 0,6 m/s à l'extérieur, soit deux fois plus que dans la zone couverte de l'étable (0,3 m/s). Ces résultats correspondent aux études de Macuhová et al. (2008), qui ont constaté des différences nettes entre la vitesse du vent à l'intérieur et à l'extérieur dans les étables non isolées. La vitesse du vent a notamment augmenté pendant la journée à des périodes où la température était en hausse. Il est arrivé parfois que la vitesse du vent augmente également pendant les heures froides de la nuit.

La libération de  $NH_3$  dépend non seulement de la température, mais aussi de la vitesse de l'air sur la surface d'où sont issues les émissions, comme l'ont prouvé plusieurs auteurs au cours d'essais en laboratoires (Arogo et al. 1999, Cortus et al. 2008, Hartung 1995). Les mesures effectuées permettent de bien visualiser l'effet de la vitesse du vent sur les émissions de  $NH_3$  dans les exploitations 3, 4 et 6 (fig. 10). Par contre, les mesures effectuées en hiver dans l'exploitation 5 et, hiver comme été, dans l'exploitation 2

ne permettent pas d'identifier une relation entre les émissions et la vitesse du vent. Dans ces exploitations, on a constaté une nette différenciation du niveau de  $NH_3$  suivant les saisons. Dans l'exploitation 1, les émissions de  $NH_3$  tout comme la vitesse du vent fluctuaient sur une plage très étroite, ce qui rendait impossible d'identifier un effet quelconque. Près des surfaces responsables des émissions et au-dessus d'elles, la vitesse de l'air doit être la plus réduite possible. Une protection appropriée contre le vent peut permettre d'obtenir le résultat souhaité.

### Teneur du lait en urée

La teneur du lait en urée est un indicateur fiable de la valorisation de l'azote et de son élimination dans les déjections. Cette valeur est largement disponible grâce au contrôle laitier. Toutes les exploitations et périodes de mesures confondues, la teneur en urée du lait conservée dans le tank était comprise entre 13 et 31 mg/dl. On peut donc en conclure qu'il n'y avait pas d'excédent en matière azotée par rapport à l'ensemble de l'effectif. La moitié des périodes de mesure a plutôt eu tendance à laisser paraître un déficit en matière azotée. Bien que la teneur du lait en

urée dans les exploitations étudiées ait une amplitude de variation étroite, on observe une influence significative sur les émissions de  $\text{NH}_3$ . Van Duinkerken et al. (2005) déduisent une réduction des émissions de  $\text{NH}_3$  de 2,5 % dans l'étable d'une réduction de la teneur du lait en urée de 1 mg/dl de lait. Par conséquent, dans la perspective des émissions de  $\text{NH}_3$ , il est important que l'affouragement soit équilibré et adapté aux besoins des animaux avec des rations, que le choix des composants soit ciblé et que des compléments soient éventuellement apportés. Dans l'affouragement au pâturage notamment, il peut arriver que les teneurs du lait en urée soient trop élevées. Des évaluations effectuées par le cercle de contrôle du lait (Milchprüfung) et le Landeskontrollverband de Bavière montrent qu'il peut y avoir de grosses différences entre les exploitations pour la teneur du lait en urée (Spiekers et Obermaier 2007). Par conséquent, les exploitations individuelles disposent d'une grande marge de manœuvre.

### Séjour des animaux dans l'aire d'exercice extérieure ou dans le couloir de repos/aire d'exercice

La quantité d'excréments et d'urine dans les différentes aires de l'étable dépend essentiellement du temps que les animaux passent dans chaque aire. L'aire d'exercice séparée est une surface supplémentaire dans laquelle les animaux séjournent peu, puisqu'ils y passaient en moyenne 4 à 10 % de leur temps. La durée moyenne de séjour des animaux dans le couloir de repos combiné à l'aire d'exercice était nettement supérieure avec un pourcentage d'environ 32 à 35 %. Le séjour des animaux dans les logettes voisines était également comptabilisé comme séjour dans le couloir de repos combiné à l'aire d'exercice. Par ailleurs, le couloir de repos combiné à l'aire d'exercice dessert également les logettes voisines. Dans les exploitations 1, 3, 5 et 6, on a observé des cycles diurnes très nets dans le lieu de séjour des animaux (fig. 11). Pendant les périodes d'affouragement ou immédiatement après la traite, presque aucun animal ne séjournait dans l'aire d'exercice, ni dans le couloir de repos combiné à l'aire d'exercice. Le couloir de repos combiné à l'aire d'exercice de l'exploitation 3 servait d'aire d'attente et était par conséquent très fréquenté avant et au début des périodes de traite. Pendant la nuit, les aires d'exercice séparées n'étaient que rarement utilisées. L'utilisation ponctuelle de l'aire d'exercice dans l'exploitation 1 vient du fait que les animaux cherchaient à éviter le racleur d'évacuation.

### Saleté des aires de circulation

La souillure des aires de circulation par les excréments et l'urine fournit des indications quant au potentiel d'émission de  $\text{NH}_3$ . Le type, le pourcentage et le niveau de saleté des aires de circulation jouent un rôle. Immédiatement avant le passage du racleur, le niveau moyen de saleté variait entre 0,1 et 0,7 cm. Dans les exploitations qui comportaient une aire d'exercice séparée, cette dernière était nettoyée au maximum tous les trois jours. Par conséquent, le niveau de saleté de l'aire d'exercice variait davantage sur trois jours de mesure. Malgré le temps de séjour nettement plus court des animaux dans l'aire d'exercice, le niveau de saleté y était souvent plus important que dans les couloirs de circulation de l'étable qui étaient nettoyés plus fréquemment. Toutes exploitations confondues, le mélange

### Opportunités et recommandations de réduction

Selon les objectifs environnementaux de l'agriculture, les émissions de  $\text{NH}_3$  en Suisse doivent être réduites d'environ 40 %, ce qui signifie passer d'approximativement 44 000 tonnes en 2000 à environ 25 000 tonnes d'azote  $\text{NH}_3$  par an (OFEV et OFAG 2008). Les résultats présentés ainsi que les impressions réunies lors des mesures permettent d'établir les recommandations suivantes en vue de réduire les émissions de  $\text{NH}_3$ :

- Pour éviter un gros réchauffement, il est conseillé d'utiliser des couleurs claires pour le toit et les façades, de prévoir une isolation thermique de la toiture suivant le concept d'étable, une protection contre le soleil avec par exemple des surfaces couvertes ou des avant-toits suffisamment grands. Sur ce plan, la synergie avec le bien-être des animaux est évidente: pour les animaux aussi, il est recommandé d'éviter le stress dû à la chaleur.
- La vitesse de l'air sur et au-dessus des aires de circulation devrait être la plus faible possible. Pour y parvenir, il faut que le bâtiment d'étable et les façades notamment soient conçus de manière appropriée. Les parois sur la longueur doivent par exemple être équipées de rideaux flexibles commandés par des capteurs, de façon à ce qu'en été, l'échange d'air soit suffisant et que les animaux soient protégés du vent lorsque les vitesses de l'air sont plus élevées.
- Pour que l'alimentation soit équilibrée et conforme aux besoins des animaux, le plan d'affouragement, le choix des composants et la distribution de concentrés doivent être régulièrement contrôlés et adaptés. La teneur en urée du lait conservé dans le tank fournit des indications précieuses pour évaluer l'approvisionnement en azote.
- Lors de la planification de l'étable, de sa construction et de son utilisation, il faut veiller à ce qu'une trop grande surface ne soit pas inutilement souillée. Le choix du système de détention et du concept d'étable peut limiter la superficie de la surface émettrice. Une bonne disposition et structuration des aires fonctionnelles y contribue. Ce n'est pas seulement la superficie des aires de circulation à disposition qui est décisive pour le degré de souillure et l'émission de  $\text{NH}_3$ , mais aussi leur disposition, leur aménagement, l'attrait qu'elles exercent (abreuvoirs, brosses, pierres à lécher, etc.) et leur utilisation par les animaux.
- Lorsque les aires de circulation n'ont pas de pente, les liquides y restent jusqu'à la prochaine évacuation du fumier. Pour limiter les pertes de  $\text{NH}_3$ , l'urine devrait s'écouler le plus vite possible des aires de circulation à l'aide de pentes et être évacué dans des rigoles.
- Pour évacuer les excréments et l'urine dans les zones d'étable très fréquentées, qui ont donc par conséquent une grosse quantité à éliminer, un nettoyage fréquent est nécessaire. Il faut des racleurs sûrs et résistants à l'usure. Ils doivent en outre être respectueux des animaux (faible hauteur, vitesse réduite). Enfin, il faut que les animaux puissent s'esquiver. Pour un nettoyage de meilleure qualité, les racleurs doivent être adaptés au revêtement des aires de circulation. Des aires de circulation propres et sèches réduisent le potentiel de formation et de libération de  $\text{NH}_3$  et améliorent ainsi l'hygiène de l'étable et la santé des onglons.

humide d'urine et d'excréments représentait la part la plus importante (fig. 12). La saleté des différents secteurs de l'aire d'exercice, qui était séparée du bâtiment d'étable et était moins fréquentée par les animaux, était plus hétérogène que dans les couloirs de circulation qui étaient plus fréquentés (fig. 13). La proportion plus importante de surface propre dans l'aire d'exercice extérieure ou dans l'aire d'exercice combinée au couloir de repos dans les exploitations 1 et 5 ainsi que dans l'exploitation 3 en hiver vient de la fréquentation plus faible. La part plus élevée de surfaces sèches pendant la saison chaude dans les exploitations 2, 3, 5 et 6 est due au dessèchement à cause des températures plus hautes et du rayonnement. La surface desséchée indique qu'il y a déjà eu des émissions.

A l'aide de simulations et de recherches à l'échelle semi-technique, Monteny (2000) et Keck (1997) ont pu identifier un rapport entre la présence d'urine sur l'aire de circulation et les émissions de  $\text{NH}_3$ . Par conséquent, ce sont les souillures humides comme l'urine et le mélange humide d'urine et d'excréments qui jouent un rôle pour les émissions. Pour réduire la formation et la libération de  $\text{NH}_3$ , il est donc important de contribuer à un écoulement rapide de l'urine sur les aires de circulation en dur en prévoyant des pentes et des rigoles d'évacuation de l'urine. Par conséquent, évacuer le fumier plus fréquemment permet également de réduire les pertes de  $\text{NH}_3$ , ce qui n'est pas négligeable notamment dans les secteurs de l'étable qui sont très fréquentés et où la quantité d'urine et d'excréments est élevée.

## L'essentiel en bref

La présente étude a permis de déterminer les émissions de  $\text{NH}_3$  dans l'élevage de vaches laitières en stabulation libre à logettes sur des aires de circulation en dur et dans les aires d'exercice, à l'aide de mesures effectuées dans six exploitations. Des données fiables sont désormais disponibles sur les émissions de  $\text{NH}_3$  pour le système de détention de vaches laitières le plus répandu en Suisse. La nouvelle méthode Tracer-Ratio a fait ses preuves en pratique. Des mesures systématiques réparties sur toute l'année ont servi à représenter les effets des émissions de  $\text{NH}_3$  suivant les saisons. En été, les émissions de  $\text{NH}_3$  étaient comprises entre 31 et 67 g/UGB-d, soit trois fois plus qu'en hiver où elles oscillaient entre 6 et 23 g/UGB-d. Des cycles diurnes d'émissions de  $\text{NH}_3$  n'ont pu être identifiés que pendant la période chaude. Lorsque la température extérieure ne dépassait pas 7 °C, une hausse des températures n'entraînait pas d'augmentation des émissions de  $\text{NH}_3$ . Ce n'est qu'au-delà que les valeurs commençaient à monter. La diversité des paramètres relevés a permis de décrire en détails les différentes situations de mesures, de les classer et de déterminer les facteurs qui influent sur les émissions de  $\text{NH}_3$ . Les mesures ont montré que les émissions de  $\text{NH}_3$  dépendaient essentiellement de la température extérieure, de la vitesse du vent dans l'étable et de la teneur en urée du lait conservé dans le tank.

## Bibliographie

- Achermann B., Bonjour C., Kupper T., Leuenberger C., Menzi H., Nyfeler-Brunner A., Rihm B. et Zaucker F. 2009: Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990–2007. In: Umwelt B. f. [Hrsg.]: Fachtagung Ammoniak- und Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft: Inventare und Programme zu deren Minderung, 10. September 2009, Zollikofen, Bern, 70 p.
- Amon B., Amon T. et Boxberger J. 1998: Untersuchung der Ammoniakemission in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotentiale und Reduktionsmöglichkeiten. Universität für Bodenkultur, Forschungsprojekt L883/94, Wien, 311 p.
- Arogo J., Zhang R. H., Riskowski G. L., Christianson L. L. et Day D. L. 1999: Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, p. 77–86.
- Brehme G. 2000: Quantifizierung des Luftvolumenstroms in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentalisierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 136 p.
- Brose G. 2000: Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation, Universität Hohenheim, VDI-MEG-Schrift 362, 136 p.
- Cortus E. L., Lemay S. P., Barber E. M., Hill G. A. et Godbout S. 2008: A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. *Biosystems Engineering*, 99, p. 390–402.
- Demmers T. G. M., Phillips V. R., Short L. S., Burgess L. R., Hoxey R. P. et Wathes C. M. 2001: Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from naturally ventilated dairy and beef buildings in the U.K. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79, p. 107–116.
- Dore C. J., Jones B. M. R., Scholtens R., Huis in 't Veld J. W. H., Burgess L. R. et Phillips V. R. 2004: Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores – part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. *Atmospheric Environment*, 38, p. 3017–3024.
- Groenestein C. M. 1993: Animal-waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *Livestock Environment IV: Fourth International Symposium University of Warwick Coventry, England*, p. 1169–1175.
- Groot Koerkamp P. W. G., Metz J. H. M., Uenk G. H., Phillips V. R., Holden M. R., Sneath R. W., Short J. L., White R. P., Hartung J., Seedorf J., Schröder M., Linkert K. H., Pedersen S., Takai H., Johnsen J. O et Wathes C. M. 1998: Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, p. 79–95.
- Groot Koerkamp P. W. G. et Uenk G. H. 1997: Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial animal production systems in the Netherlands. In: Voermans J.A.M. and Monteny G.J. *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings of an International Symposium in Vinkeeloord, Netherlands*, p. 139–144.

- Gustafsson G., Hultgren J. et Jeppsson K.-H. 2001: Ammonia emissions from the cowshed, and animal cleanliness, reproductive performance and health – reference measurements. In: *Life Ammonia*, 5, Februar 2001.
- Hartung E. 1995: Entwicklung einer Messmethode und Grundlagenuntersuchung zur Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist. Dissertation, Universität Hohenheim, VDI-MEG-Schrift 275, 168 p.
- Huis in 't Veld J. W. H., Smits M. C. J. et Monteny G. J. 2003: Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven. Koeienenkansen rapport 17.
- Keck M. 1997: Ammonia emission and odour thresholds of cattle houses with exercise yards. In: Voermans J.A.M. and Monteny G.J. *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities*, Vinkeloord, Netherlands, p. 349–355.
- Kroodsma W., Huis in 't Veld J. W. H. et Scholtens R. 1993: Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, 35, p. 293–302.
- Macuhová J., Enders S., Peis R., Gutermann S., Freiberger M. et Haidn B. 2008: Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Aussenklimaställen für Milchvieh. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8, Freising-Weihenstephan, 97 p.
- Monteny G. J. 2000: Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Thesis, Wageningen University, Wageningen, 156 p.
- Müller H. J. et Sanftleben P. 2008: Hitzestress in der Milchviehhaltung. *Landtechnik*, 63, p. 172–173.
- Office fédéral de l'agriculture 2003: Rapport agricole. Berne.
- Office fédéral de l'environnement OFEV et Office fédéral de l'agriculture OFAG 2008: Objectifs environnementaux pour l'agriculture. A partir de bases légales existantes. *Connaissance de l'environnement n° 0820*, Berne, 221 p.
- Oosthoek J., Kroodsma W. et Hoeksma P. 1990: Ammonia emission from dairy and pig housing systems. In: Nielsen V.C., Voorburg J.H. and l'Hermite P. *Odour and ammonia emissions from livestock farming*, Silsoe, United Kingdom 26–28 mars 1990, p. 31–41.
- Ordonnance sur les éthoprogrammes 2008: Ordonnance du DFE sur les programmes éthologiques. DFE, AS 2008 3785 du 25.06.2008.
- Phillips V. R., Bishop S. J., Price J. S. et You S. 1998: Summer emissions of ammonia from a slurry-based, UK, dairy cow house. *Bioresource Technology*, 98, p. 213–219.
- Pollet I., Christiaens J. et Van Langenhove H. 1998: Determination of the ammonia emission from cubicle houses for dairy cows based on a mass balance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, p. 239–248.
- Rom H. B., Zhang G. Q. et Wang C. 2004: Survey of ammonia emission from naturally ventilated housing facilities for cattle. In: *International Conference on Agricultural Engineering*, 12 to 16 September 2004, Leuven, p. 668–669.
- Schmidt D. R., Jacobson L. D. et Janni K. A. 2002: Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. In: *ASAE Annual International Meeting, CIGR XVth World Congress Chicago, Illinois, USA*, 28.–31. Juli 2002, p. 14.
- Schrade S. 2009: Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität Kiel, VDI-MEG-Schrift 483, 131 p.
- Seipelt F. 1999: Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, VDI-MEG-Schrift 339, 188 p.
- Smits M. C. J., Valk H., Monteny G. J. et van Vuuren A. M. 1997: Effect of protein nutrition on ammonia emission from cow houses. In: Jarvis S.C. and Pain B.F., *Gaseous nitrogen emissions from grassland*, p. 101–107.
- Spiekers H. et Obermaier A. 2007: Milchwahnhstoffgehalt und N-Ausscheidung. *Schule und Beratung*, 4–5, p. III-4 – III-9.
- Swierstra D., Braam C. R. et Smits M. C. 2001: Grooved floor system for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture*, 17, p. 85–90.
- Tamminga S. 1992: Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75, p. 345–357.
- Van Duinkerken G., André G., Smits M. C. J., Monteny G. J. et Šebek L. B. J. 2005: Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *Journal of Dairy Science*, 88, p. 1099–1112.
- Van't Ooster A., Scholtens R. et van der Heiden-de Vos J. J. C. 1994: Emissie uit de rundveestal – Ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen is nu mogelijk. *Landbouwmeehanisatie*, p. 12–14.
- Zhang G., Strøm J. S., Li B., Rom H. B., Morsing S., Dahl P. et Wang C. 2005: Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle Buildings. *Biosystems Engineering*, 92, p. 355–364.

#### Les autrices et auteurs remercient

- l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) pour le mandat et le co-financement,
- les six exploitations pour leur collaboration et leur coopération.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la ART (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-mail: doku@art.admin.ch, Internet: www.agroscope.ch

<b>FR</b>	Jaton Jean-Luc, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
<b>GE</b>	AgriGenève, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 939 03 10
<b>JU</b>	Fleury-Mouttet Solange, FRI, Courtemelon, 2852 Courtételle	Tél. 032 420 74 38
<b>NE</b>	Huguelit Yann, CNAV, 2053 Cernier	Tél. 032 889 36 41
<b>TI</b>	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
<b>VD</b>	Pittet Louis-Claude, Ecole d'Agriculture, Marcellin, 1110 Morges	Tél. 021 557 92 50
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
<b>VS</b>	Brandalise Alain, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, CP 437, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
	<b>AGRIDEA</b> Boéchat Sylvain, Jordils 1, 1006 Lausanne	Tél. 021 619 44 74
	<b>SPAA</b> Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

