
Qualité de l'air dans les bâtiments pour l'élevage de veaux de lait

Martin Belzile^{1*}, Stéphane P. Lemay¹, Stéphane Godbout¹, Caroline Côté² et Jacques Lavoie³

¹Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec, Québec, Canada; ²IRDA, Québec, Québec, Canada; ³IRDA, St-Hyacinthe, Québec, Canada; ³Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal, Québec, Canada. *Courriel: martin.belzile@irda.qc.ca.

Belzile, M., S. P. Lemay, S. Godbout, C. Côté et J. Lavoie. 2010. **Qualité de l'air dans les bâtiments pour l'élevage de veaux de lait.** Canadian Biosystems Engineering/Le génie des biosystèmes au Canada. 52: 5.1–5.10. La qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments d'élevage est reconnue comme pouvant avoir un impact sur la santé des travailleurs aussi bien que sur les performances animales. Cette étude a visé l'évaluation de la qualité de l'air à l'intérieur de bâtiments d'élevage de veaux de lait durant trois saisons (hiver, printemps et été). Les mesures effectuées incluaient la mesure des concentrations et des émissions d'ammoniac (NH₃), de sulfure d'hydrogène (H₂S), de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O) ainsi que les conditions de température et d'humidité relative. Le NH₃ a été analysé à l'aide d'un analyseur faisant appel à la spectroscopie non-dispersive dans l'infrarouge (NH₃), le H₂S a été analysé par un capteur électrochimique alors que les autres gaz (CO₂, CH₄, N₂O) ont été analysés à partir d'un chromatographe en phase gazeuse. Les résultats obtenus démontrent qu'il n'y a pas de problème important de qualité de l'air dans les étables à veaux de lait. La température intérieure y est correctement contrôlée alors que l'humidité relative est sensiblement plus élevée que celle recommandée dans la littérature. L'ammoniac est le seul des gaz à être présent en concentration parfois élevée, mais sa concentration est généralement sous la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) de 25 ppm et toujours sous la valeur d'exposition de courte durée (VECD) de 35 ppm. Une légère modification des consignes de débit minimum de ventilation permettrait de diminuer la concentration en ammoniac tout en diminuant l'humidité relative de l'air. **Mots-clés:** qualité de l'air, émissions gazeuses, veau de lait, ammoniac.

Air quality inside livestock buildings is known to have an impact on the health of workers as well as on the animal performance. This study evaluated the air quality inside milk-fed calf buildings during three seasons (winter, spring and summer). Measurements included concentrations and emissions of ammonia (NH₃), hydrogen sulphide (H₂S), carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), as well as indoor temperature and relative humidity. NH₃ was analyzed using non-dispersive spectroscopy in the infrared; the H₂S was analyzed by an electrochemical sensor, whereas the other gases (CO₂, CH₄ and N₂O) were analyzed using gas chromatography. Results show that there are no important problems with the air quality in the milk-fed calf buildings evaluated. The indoor temperature was correctly controlled while the relative humidity was slightly higher than what is recommended in the literature. Ammonia was the only gas found at higher concentrations, but it remained generally under the time-weighted average (TWA) of 25 ppm, and always under the short-term exposure limit (STEL) of 35 ppm. A slight modification in the minimum ventilation setting would decrease both the ammonia concentration and the relative

humidity of the air. **Keywords:** air quality, gas emissions, milk-fed calf, ammonia.

INTRODUCTION

En production animale, il est maintenant reconnu que la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments d'élevage peut avoir un impact sur la santé des travailleurs. Conscients de cette problématique, les producteurs de veaux de lait se questionnent sur la qualité de l'air de leurs bâtiments, particulièrement durant la période hivernale où la ventilation est réduite. Ils ignorent si les gaz présents, parfois détectables par leur odeur, sont toxiques pour leur santé et celle de leurs animaux. Même si plusieurs études (Zhu et al. 2000; Groot Koerkamp et al. 1998; Martensson et al. 1999) portent sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage bovins, très peu d'entre elles s'attardent à la qualité de l'air dans les bâtiments réservés aux veaux et encore moins aux étables à veaux de lait.

Un des gaz parmi les plus importants et présent dans les bâtiments d'élevage de bovin est l'ammoniac. Comme il est très toxique et corrosif, l'inhalation du NH₃ gazeux peut causer des blessures graves aux poumons et aux voies respiratoires pouvant même aller, en très forte concentrations, jusqu'au décès. Les problèmes reliés à de fortes concentrations d'ammoniac seraient cependant moins importants chez les bovins que chez d'autres productions telles que le porc ou la volaille. Les concentrations en NH₃ dans les étables à bovins se situent généralement sous la barre des 10 ppm (Groot Koerkamp et al. 1998; Hillman et al. 1992; Zhu et al. 2000). Toutefois, des taux d'ammoniac supérieurs à 25 ppm sont fréquemment enregistrés dans les bâtiments abritant les veaux laitiers et les veaux de boucherie (Choinière et Munroe 1993).

Au Québec, l'exposition des travailleurs aux gaz et substances chimiques potentiellement dangereuses est régie par le règlement sur la santé et la sécurité au travail (RSST 2008). Les limites d'exposition aux contaminants sont calculées en utilisant principalement deux variables. La première variable est la valeur d'exposition moyenne prolongée (VEMP) et elle est calculée pour une exposition au niveau de la zone respiratoire de huit heures par jour et pour une semaine de travail de 40 heures. La seconde variable est la valeur d'exposition de courte durée (VECD) et elle correspond à la concentration moyenne pondérée

sur 15 minutes, à une substance chimique présente dans l'air au niveau de la zone respiratoire du travailleur. Cette valeur d'exposition ne doit en aucun cas être dépassée durant la journée de travail, même si la valeur d'exposition moyenne pondérée est respectée. Les VEMP et VECD pour différents gaz sont présentées au tableau 1.

Les conditions de température retrouvées à l'intérieur des bâtiments de veaux de lait devraient être situées entre 10 et 21°C (Wheeler et al. 2000). Généralement, les températures sont plus élevées (18 à 21°C) au début du cycle de croissance et elles diminuent par la suite de 0,6°C par semaine pour atteindre environ 10°C à la fin du cycle d'élevage. De plus, selon Albright (1990), les systèmes de ventilation des bâtiments pour l'élevage d'animaux devraient être conçus de façon à ce que la température intérieure soit maximale de 4°C supérieure à la température extérieure. Enfin, le code de pratiques recommandées au Canada (CARC 1998) préconise que l'humidité relative doit être maintenue entre 40 et 60%. Au-dessus de 60%, la survie des pathogènes est accrue alors qu'en dessous de 40%, le taux de poussières dans l'air augmente.

À la lumière de l'ensemble de ces informations, l'objectif général de ce projet était donc d'évaluer la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage de veaux de lait en regard de la santé des travailleurs et des performances animales et de proposer des correctifs, s'il y a lieu. Les objectifs spécifiques du projet consistaient à: (1) Caractériser la qualité de l'air (température, humidité relative, concentrations et émissions de CH₄, NH₃, CO₂ et H₂S et N₂O) à l'intérieur des bâtiments d'élevage de veaux de lait en conditions hivernale et estivale; (2) Préciser le risque pour le travailleur relié à la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage de veaux de lait; (3) S'il y a lieu, proposer aux éleveurs des correctifs à la fois simples et peu coûteux à apporter à la régie de leur bâtiment dans le but d'améliorer la qualité de l'air.

MATÉRIEL et MÉTHODES

Sites et animaux étudiés

La sélection des sites expérimentaux étudiés devait tenir compte des caractéristiques des bâtiments de veaux de lait existants au Québec. Un portrait des exploitations québécoises a donc été réalisé a permis de répertorier des caractéristiques telles que le type de ventilation et de chauffage, la gestion des déjections ainsi que le type de

Tableau 1. Valeurs d'exposition spécifiques à chaque gaz (IRSST 2010a, b, c, d et e).

Gaz	VEMP ¹	VECD ²
NH ₃	25	35
H ₂ S	10	15
CO ₂	5000	30000
CH ₄	–	–
N ₂ O	50	–

¹Valeur d'exposition moyenne prolongée.

²Valeur d'exposition maximale à court terme.

stabulation pour les animaux. À partir de ce portrait, trois bâtiments situés dans la région de St-Hyacinthe et possédant des systèmes différents de ventilation et de chauffage ont été sélectionnés (tableau 2). Une chambre dans chacun des bâtiments a été choisie pour compléter l'expérimentation.

Les étables à veaux de lait étudiées sont opérées en mode tout plein/tout vide, ce qui signifie que des groupes sont formés dans un site de tri avant de les acheminer chez le producteur dans une salle vide qui a été préalablement nettoyée. Les veaux de lait y sont élevés pendant une période d'un peu plus de quatre mois. Le poids des animaux lors de leur arrivée chez le producteur varie donc entre 41 et 52 kg et il est de 204 à 218 kg lors de leur transport vers l'abattoir. La plupart des veaux sont gardés en stalles individuelles fabriquées de bois et les plancher sont lattés de bois ou de plastique. Toutefois, pour le site #3, une partie (environ 30%) des animaux étaient logés à l'intérieur de parc de six à huit animaux.

Campagne d'échantillonnage et mesures effectuées

L'échantillonnage de la qualité de l'air s'est déroulé en continu sur chacun des sites pendant une durée d'environ 10 jours. La durée totale d'un cycle d'échantillonnage, comprenant les trois fermes investiguées, a été de 30 jours. Le premier cycle d'échantillonnage a eu lieu en janvier 2005 afin de recueillir des données sous des conditions hivernales. Les deux cycles suivants ont eu lieu en avril et à la fin de juin, pour un total de 90 jours d'échantillonnage.

Les conditions de température et d'humidité relative ont été mesurées à l'aide de sondes électroniques (modèle CS500, Cambell Scientific Canada Corp., précision ±0,5 à 20°C et ±3% d'humidité relative) tout au long de l'expérimentation. Deux sondes ont été placées dans chacun des bâtiments, soit dans l'entrée d'air du bâtiment ainsi qu'à l'intérieur de la salle. Ces données ont été enregistrées à toutes les 15 minutes. Les débits de ventilation ont été évalués à l'aide de conduites normalisées (figure 1). Ces conduites ont été développées à partir de la norme ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE 1992). La différence de pression statique entre l'intérieur de la salle et l'extérieur du bâtiment ainsi que la vitesse de rotation d'un ventilateur pour chacun des paliers de ventilation ont été mesurées en continu tout au long des différents cycles de mesures. Les conduites normalisées ont ensuite été transportées sur chacun des sites une fois les essais terminés et les conditions de ventilation (trois niveaux de pression statique et quatre vitesses de rotation différentes pour chacun des paliers de ventilation) ont été simulées. Les données recueillies ont permis de déterminer les équations de régression pour chacun des ventilateurs, ces équations permettant de prédire le débit de ventilation en fonction de la pression statique de la chambre et de la vitesse de rotation des ventilateurs. Les débits de ventilation du site expérimental no. 3 n'ont pu être évalués de la même manière vu que le système de ventilation à cheminées ne permettait pas l'utilisation de la conduite. L'évaluation a dû être effectuée à l'aide de chartes provenant du manufacturier du ventilateur et d'équations de régression. Les

Tableau 2. Description des principaux paramètres spécifiques à chaque site.

Paramètre	Description du paramètre	Site		
		1	2	3
Description des salles	Dimension	15 × 26 m	11,5 × 49 m	15 × 30,5 m
	Superficie Capacité	385 m ² 134 veaux	565 m ² 124 veaux	464 m ² 124 veaux
Système de ventilation	Entrée d'air	latérale à l'intérieur d'un corridor de préchauffe	latérale sur un coté (mur de 49 m) de la salle	latérale sur deux côtés opposé de la salle (sur les murs de 30,5 m)
	Chauffage ¹ Sortie d'air	Corridor de préchauffage Ventilateurs muraux sur un côté de la salle (mur de 26 m); 4 ventilateurs de 508 mm de diamètre et 4 ventilateur de 381 mm de diamètre	Dans la salle 7 ventilateurs muraux de 423 mm de diamètre situés sur le côté opposé de l'entrée d'air	Dans la salle 5 cheminées centrales de 423 mm de diamètre
Gestion des fumiers		Plancher entièrement latté; gratte sous les planchers	Plancher entièrement latté; gratte sous les planchers	Plancher entièrement latté; gratte sous les planchers

¹Les unités de chauffage des salles fonctionnaient toutes au propane et les gaz étaient rejetés à l'intérieur des bâtiments.

équations de régression utilisées ont été basées sur le travail de Barber et al. (1988) et présentaient la forme suivante:

$$Q = (b + c(P)^{n1})^{n2} \quad (1)$$

Où Q est le débit du système de ventilation (m³ h⁻¹), P est la pression statique au travers le ventilateur (Pa) et b, c, n1 et n2 sont divers coefficients (sans dimension).

Afin d'établir la masse des veaux présents dans les salles expérimentales, le nombre de veaux au début et à la

fin de la période a été évalué. À l'aide du poids des veaux à l'arrivée chez le producteur et à leur départ pour l'abattoir ainsi que du nombre de jour d'élevage, une régression a pu être faite afin de déterminer le poids des veaux au début et à la fin de chacune des périodes d'échantillonnage.

Lors des campagnes expérimentales, les gaz ont été analysés à l'aide du laboratoire mobile MESANGES^{MC} développées à l'IRDA. L'unité mobile permet la mesure en continu de différents gaz. Les gaz mesurés lors de

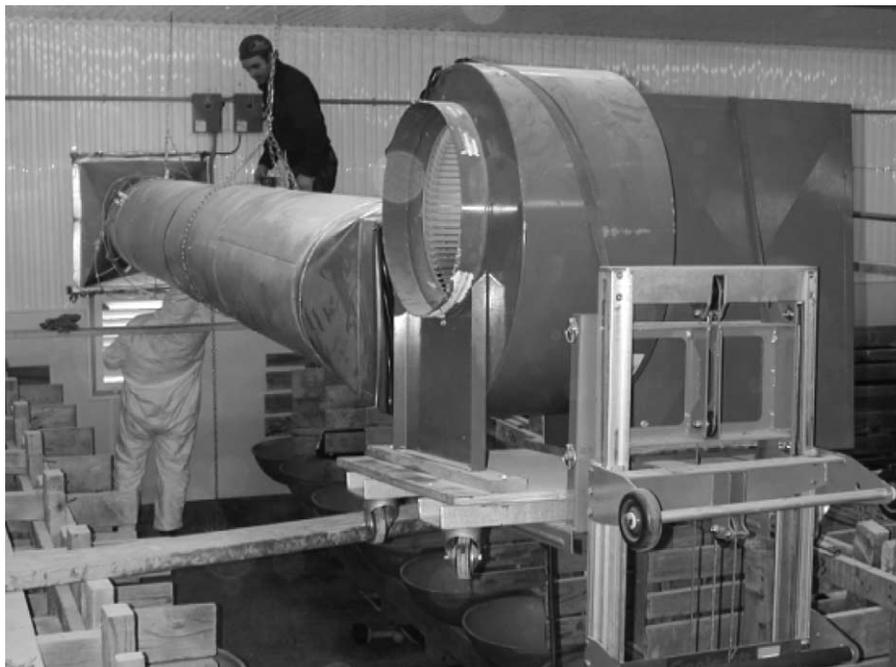


Figure 1. Installation de la conduite normalisée dans l'une des salles expérimentales.

l'expérimentation étaient le NH₃, H₂S, CO₂, CH₄ et le N₂O. Les échantillons ont été prélevés séquentiellement à partir de plusieurs points d'échantillonnage et acheminés en continu jusqu'au système d'analyse. Un total de quatre points de mesure de gaz par bâtiment, soit un à l'entrée d'air, deux au milieu des salles au niveau des animaux et un à la sortie des ventilateurs. Puisque l'analyse de chacun de ces points avait une durée de 15 minutes, chaque point de mesure a été analysé à toutes les heures. Le CH₄, le CO₂ et le N₂O ont été analysés avec un chromatographe (Varian, modèle 3 600; Walnut Creek), le NH₃ a été analysé à l'aide d'un analyseur distinct faisant appel à la spectroscopie non-dispersive dans l'infrarouge (NDIR; Seimens, modèle Ultramat 6E; Munich, Allemagne; précision de 1%) alors que le H₂S a été analysé à l'aide d'un capteur électrochimique (Dräger Safety, modèle DrägerSensor H2S LC; Luebeck, Allemagne; précision de 3%). Le calcul des émissions gazeuses a été complété comme suit:

$$E = \frac{(C_{\text{sortie}} - C_{\text{entrée}}) * Q * \frac{P_{\text{atm}} - P_v}{R * T} * \frac{M_{\text{gaz}}}{M_{\text{air}}}}{m_{\text{veaux}}} \quad (2)$$

Où E est l'émission gazeuse (mg h⁻¹ kg⁻¹ veau), C_{sortie} est la concentration du gaz à la sortie du bâtiment (ppm), C_{entrée} est la concentration du gaz à l'entrée du bâtiment (ppm) Q est le débit du système de ventilation (m³ h⁻¹), P_{atm} est la pression atmosphérique (Pa), P_v est la pression de vapeur (Pa), R est la constante des gaz parfaits (287 J kg⁻¹ K⁻¹), T est la température (K), M_{gaz} est la masse molaire du gaz (kg_{gaz} mol⁻¹), M_{air} est la masse molaire de l'air (kg_{air} mol⁻¹) et m_{veaux} est la masse des veaux présents dans le bâtiment (kg).

RÉSULTATS

Conditions de température et d'humidité relative

Lors de la période hivernale, la température à l'intérieur de la salle du site #3 a varié entre 14,6 et 16,7°C pendant que la température extérieure se situait entre -19,9 et 3,2°C (figure 2). Ces valeurs respectent les consignes de Wheeler et al. (2000). Puisque la température intérieure était relativement stable malgré une grande variation de la température extérieure, il apparaît que les systèmes de ventilation et de chauffage du bâtiment ont fonctionné correctement pour cette période. Les résultats indiquent que l'humidité relative a varié de 63 à 85% pendant cette même période. Ces valeurs sont plus élevées que celles de 40 à 60% recommandées pour le bien-être des animaux. La figure 2 est également représentative des conditions mesurées sur les deux autres sites pendant la même période.

Lors de la saison estivale, la température intérieure dans la salle du site #3 a varié de 14,3 à 28,1°C (figure 3) en parallèle avec la température extérieure. En effet, durant cette même période, la température extérieure s'est maintenue entre 7,3 et 28,8°C. Les pics de température intérieure correspondent à ceux de la température extérieure. De plus, il semble que le système de ventilation soit bien conçu pour le maintien de la température intérieure puisque celle-ci ne dépasse jamais de plus de 3°C la température extérieure. L'humidité relative, quant à elle, s'est maintenue entre 50 et 89%. Ce taux d'humidité relative est élevé si on considère qu'il aurait dû décroître avec un débit de ventilation plus élevé et également avec une température intérieure plus élevée sur une base psychrométrique. Cependant, l'évaporation d'eau dans les bâtiments pendant la période estivale peut également avoir eu un impact sur le taux d'humidité relative dans l'air.

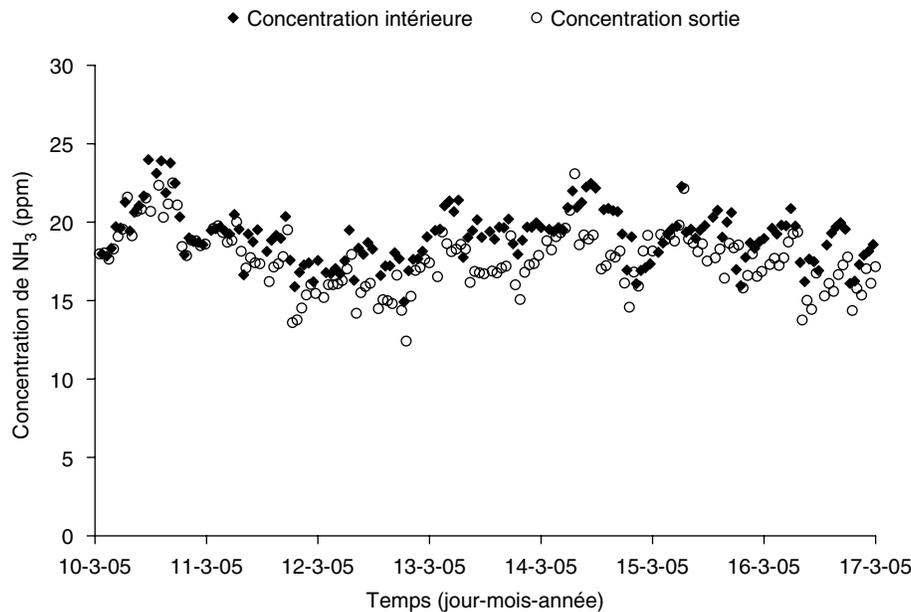


Figure 2. Température et humidité relative de l'air durant la période d'hiver sur le site #3.

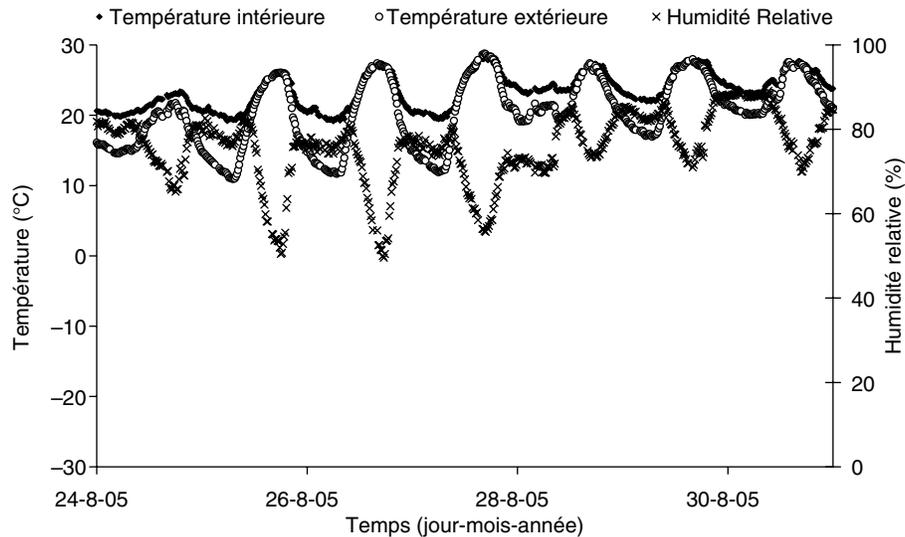


Figure 3. Température et humidité relative de l'air durant la période d'été sur le site #3.

Tel que présenté au tableau 3, la température extérieure moyenne pour chaque saison est représentative des températures présentes dans la région en hiver, printemps et été. À titre de comparaison, les températures moyennes pour les années de 1998 à 2008 relevées par la station de St-Hyacinthe d'Environnement Canada sont également présentées au tableau 3.

De plus, même si les périodes d'échantillonnage sur les différents sites ont été réalisées avec l'unité mobile durant des semaines différentes, la température extérieure était similaire d'un site à l'autre. Par exemple, durant la période hivernale d'échantillonnage, la température moyenne extérieure des trois sites expérimentaux a varié de $-2,8$ à $-9,3^{\circ}\text{C}$ pendant que celle de la période estivale passant de $19,3$ à $22,9^{\circ}\text{C}$.

Débits de ventilation

Les débits de ventilation présents dans les différents bâtiments lors des trois périodes d'échantillonnage se situaient entre $0,23$ et $0,98 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ kg}_{\text{veau}}^{-1}$ (tableau 4). L'accroissement des débits semble se faire en même temps

que l'augmentation de la température à l'intérieure des salles. Des taux de changement d'air ont été calculés à partir de ces mêmes débits. Les valeurs correspondantes se situent entre 2,6 et 16,6 changements d'air h^{-1} . Ces taux calculés sont toujours supérieurs à la norme de 1 changement d'air h^{-1} exigé par le règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST, 2008).

Concentrations gazeuses

Les concentrations en ammoniac durant la période hivernale sur le site #1 ont été relativement élevées (figure 4), mais du même ordre de grandeur que celles rapportées par Choinière et Munroe (1993). En effet, certaines des concentrations en NH_3 ont atteint la VEMP (25 ppm). Tout comme dans l'étude de Hillman et al. (1992), ces épisodes sont tous survenus durant la nuit. Leur cause possible pourrait être l'effet à rebours des différents événements qui surviennent habituellement en fin de journée tel l'allaitement des veaux, le nettoyage du bâtiment et, la mise en fonction des grattes. En effet, la première période de concentration élevée de NH_3 est survenue le 10

Tableau 3. Conditions de température et d'humidité relative moyenne durant chaque cycle de production.

Saison	Site (s.u.)	Température moyenne station EC	Température extérieure ($^{\circ}\text{C}$)		Température intérieure ($^{\circ}\text{C}$)		Humidité relative intérieure (%)	
			Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹
Hiver	1	-8,8	-2,8	6,2	14,3	0,4	67,4	4,2
	2	-7,5	-9,3	6,3	14,9	0,7	74,2	3,4
	3	-2,9	-5,1	5,5	15,3	0,5	76,7	5
Printemps	1	8,5	8,2	4,3	15,5	0,8	60	8,6
	2	13,6	12,4	5,6	17,9	2,5	61,2	9,6
	3	13,6	12,5	3,7	18,1	1,4	71,8	4,5
Été	1	20,5	21,2	4,9	23,5	3,7	69,3	10,9
	2	20,5	22,9	4,7	25	2,6	71,4	12,5
	3	19,5	19,3	4,5	22,6	2,4	75,4	9,0

¹E.T. = écart-type; EC = Environnement Canada, station de St Hyacinthe.

Tableau 4. Débit de ventilation dans les bâtiments durant l'expérimentation.

Saison	Site (s.u.)	Débit de ventilation ($\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{kg}^{-1}$)		Nombre de changement d'air (chang. h^{-1})	
		Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹
Hiver	1	0,23	0,08	6,8	2,3
	2	0,31	0,01	5,9	0,2
	3	0,40	0,06	2,6	0,4
Printemps	1	0,53	0,19	8,2	2,8
	2	0,98	0,33	7,4	2,4
	3	N/A	N/A	N/A	N/A
Été	1	0,71	0,03	16,6	0,5
	2	N/A	N/A	N/A	N/A
	3	0,88	0,33	7,6	2,7

¹E.T. = écart-type.

février, de 20h00 jusqu'à 5h45 le lendemain, et les concentrations sont demeurées entre 25,3 et 29,9 ppm. Le 12 février, pendant une période de 10 heures également durant la nuit, les concentrations de NH_3 se sont maintenues entre 25,7 et 30,4 ppm. Finalement, le dernier épisode a eu lieu entre 20h30 le 13 février et le lendemain à 8h15 où les concentrations d'ammoniac ont varié entre 25,2 à 32,1 ppm. Par contre, puisque la lecture de l'ammoniac s'est fait environ une fois l'heure, il est impossible de savoir si les concentrations se sont maintenues entre les lectures ou si elles ont redescendu. Si elles se sont maintenues, la norme de VEMP a été dépassée. Par contre, en aucun temps, la VECD n'a été atteinte. De plus, chacun de ces événements s'est déroulé lors de la nuit, en l'absence de travailleurs.

Les concentrations d'ammoniac durant la période hivernale à l'intérieur de la salle des sites #2 et #3 sont toutes deux similaires. Celles du site #2 ont variées de 15,9 ppm à 18,0 ppm alors que celles du site #3 ont variées de 14,9 ppm à 24,0 ppm (figure 5). Ces valeurs sont relativement plus élevées que la littérature, mais toujours

inférieures à la limite acceptable pour la santé du travailleur. Toutefois, le niveau d'intervention en hygiène industrielle étant atteint pour une concentration supérieure à la moitié de la norme, la situation nécessite une attention particulière.

Toujours durant la période hivernale, l'air entrant dans les salles expérimentales est relativement peu chargé en gaz et il semble y avoir une bonne circulation de l'air intérieur. En effet, les valeurs de concentration gazeuses à l'entrée d'air au tableau 5 sont faibles et sont du même ordre de grandeur que la concentration de l'air ambiant dans un environnement agricole. Le site #1 offrait des concentrations plus élevées que les autres probablement dû à l'entrée d'air située tout juste au côté de sorties d'air d'une autre section du bâtiment. Enfin, le bon mélange de l'air à l'intérieur des salles peut être remarqué en comparant les concentrations au milieu de la salle et celles vis-à-vis les ventilateurs d'extraction. En effet, pour tous les gaz mesurés, les concentrations au centre de la pièce et à la sortie de la salle sont similaires.

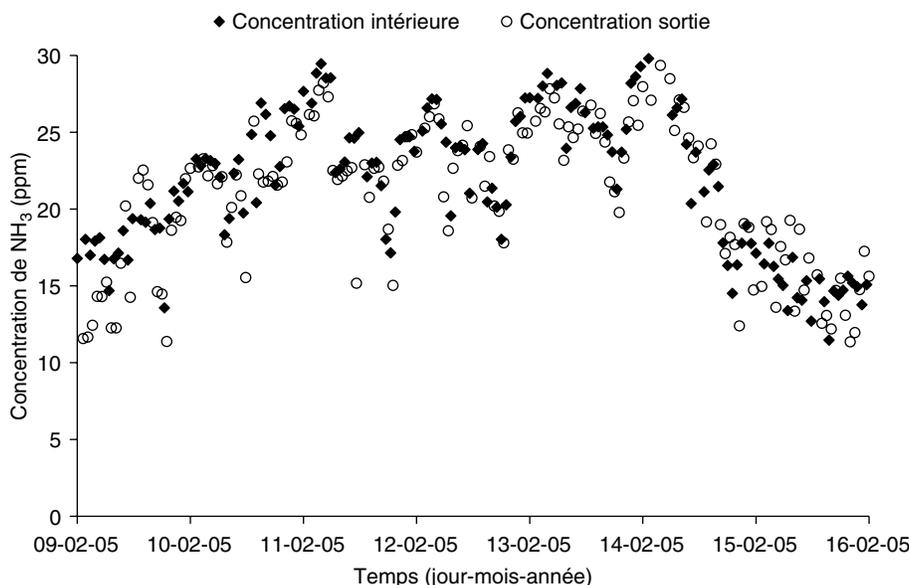


Figure 4. Concentrations de NH_3 durant la période d'hiver sur le site #1.

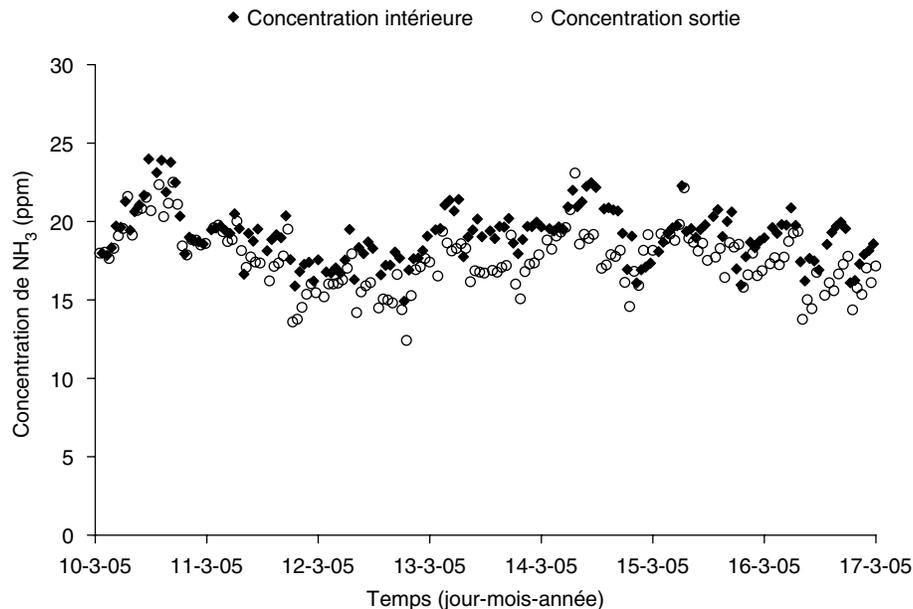


Figure 5. Concentrations de NH₃ durant la période d'hiver sur le site #3.

Les valeurs mesurées pour la concentration du H₂S, CO₂, CH₄ et N₂O en hiver sont toutes largement en dessous de la VEMP. En effet, la valeur maximale de H₂S mesuré en hiver, tous sites confondus, était de 2,5 ppm. Les concentrations moyennes se sont maintenues à environ 0,1 ppm. Comme dans le cas du H₂S, la concentration de CO₂ ne représente pas un risque pour le travailleur. En effet, la concentration moyenne fut de 1 679 à 2 325 ppm pour le centre des salles. Ces valeurs sont typiques de bâtiments d'élevages sous des conditions hivernales. Finalement, les concentrations de CH₄ et de N₂O furent en moyenne de 8,4 et de 0,4 ppm, respectivement et n'offraient donc pas de risque pour la santé des travailleurs.

Durant les essais de la période estivale, les concentrations de tous les gaz ont été beaucoup plus faibles qu'en hiver vu les taux de ventilation plus élevés. Par exemple, les concentrations d'ammoniac ont varié entre 0,9 et 7,3 ppm pour le site #1 et les autres gaz (H₂S, CO₂, CH₄ et N₂O) ont tous suivi la même tendance (tableau 6). Leurs concentrations moyennes, tous sites confondus, étaient de 0,2, 846, 4,3 et 0,4 ppm, respectivement, et elles variaient en fonction du débit de ventilation. Ces valeurs sont toutes largement inférieures aux VEMP. Enfin, tout comme pour la période hivernale, la concentration des différents gaz au centre de la salle était similaire à celle à la sortie. Ces gaz indiquaient une fois de plus, que le mélange de l'air à l'intérieur de la salle se faisait correctement.

Émissions gazeuses

Les émissions moyennes de NH₃ furent plus élevées en hiver qu'en été. En effet, elles sont de 2,6 mg h⁻¹ kg⁻¹ en hiver et de 1,9 mg h⁻¹ kg⁻¹ pour le site #1 lors de la période d'été (tableau 7). Normalement, les émissions de NH₃ devraient croître en même temps que la température intérieure des salles. Les émissions de CO₂ tendent également à diminuer au fur et à mesure que la température augmente. Puisque le CO₂ est principalement produit par

la respiration des animaux, son émission devrait croître au même rythme que l'accroissement des pertes de chaleur des animaux. Outre le fait que le CO₂ peut également être produit par les unités de chauffage lors de faibles températures extérieures, il devrait avoir un lien étroit entre les émissions de CO₂ et le débit de ventilation. Puisque cela n'a pas été le cas lors des essais, il semble donc que l'évaluation des émissions gazeuses provenant des bâtiments ait été biaisée.

La mesure des débits de ventilation est rendue difficile par le fait que les producteurs de veaux de lait ont tendance à utiliser plusieurs moyens pour augmenter la circulation de l'air dans leur bâtiment. L'ouverture de portes entre la salle et l'extérieur et l'utilisation de ventilateur d'appoint sont des exemples d'éléments qui font en sorte que l'évaluation du débit a été rendue difficile. Une grande attention devra être portée lors de futures mesures pour s'assurer que la sortie d'air se fait exclusivement par les ventilateurs de façon à ce que le débit mesuré représente bien le débit d'air de la salle. À cet effet, une mesure de l'infiltration d'air dans le bâtiment aurait pu être utile pour bien évaluer les débits de ventilation.

APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS À LA FERME

Selon les résultats obtenus lors des campagnes d'échantillonnage de l'air intérieur sur les différentes fermes évaluées, les principaux paramètres qui devraient être surveillés sont la concentration en ammoniac et l'humidité relative présentes dans les salles. En effet, la concentration en NH₃ devrait se maintenir sous la moitié de la valeur VEMP de 25 ppm alors que l'humidité relative ne devrait pas dépasser 60% tout au long de l'année.

Une modification du débit minimum de ventilation permettrait de diminuer à la fois le taux d'humidité relative et les concentrations des gaz à l'intérieur des salles.

Tableau 5. Concentrations gazeuses durant la période hivernale.

		Concentrations gazeuses (ppm)									
		NH ₃		H ₂ S		CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
Site	Point	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹
1	Entrée	2,5	0,8	0,20	0,09	396	22	2,0	0,1	0,39	0,01
	Salle	21,1	4,8	0,26	0,07	1679	314	4,8	1,0	0,39	0,01
	Sortie	19,9	5,2	0,25	0,08	1574	432	4,7	1,3	0,40	0,02
2	Entrée	0,3	0,3	0,12	0,03	381	12	2,0	0,1	0,40	0,01
	Salle	16,0	1,8	0,39	0,25	2325	286	7,8	1,7	0,42	0,01
	Sortie	18,8	2,6	0,40	0,31	2340	272	8,3	2,0	0,43	0,01
3	Entrée	0,4	0,2	0,11	0,07	381	28	2,0	0,3	0,42	0,02
	Salle	19,0	1,7	0,26	0,13	2311	253	8,4	1,6	0,43	0,02
	Sortie	18,0	1,9	0,26	0,09	2175	246	8,3	1,7	0,43	0,02

¹E.T. = écart-type.**Tableau 6. Concentrations gazeuses durant la période estivale.**

		Concentrations gazeuses (ppm)									
		NH ₃		H ₂ S		CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
Site	Point	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹
1	Entrée	1,3	0,7	0,17	0,05	399	73	2,0	0,2	0,49	1,73
	Salle	3,6	1,1	0,19	0,06	584	99	2,5	0,3	0,38	0,02
	Sortie	4,8	1,8	0,20	0,06	696	112	2,8	0,5	0,38	0,02
2	Entrée	0,8	0,4	0,14	0,05	400	91	2,1	0,3	0,38	0,02
	Salle	2,6	2,8	0,18	0,08	585	226	2,9	1,3	0,38	0,02
	Sortie	2,5	2,6	0,17	0,07	561	210	2,7	1,0	0,38	0,03
3	Entrée	0,3	0,2	0,13	0,03	401	69	2,6	0,7	0,38	0,02
	Salle	8,9	3,7	0,21	0,05	846	186	4,3	1,0	0,39	0,01
	Sortie	8,5	4,2	0,22	0,06	807	187	4,2	1,0	0,39	0,02

¹E.T. = écart-type.

Tableau 7. Émissions gazeuses lors de chacune des saisons et sur les trois sites.

Saison	Site	Émissions de gaz (mg h ⁻¹ kg ⁻¹)														
		NH ₃			H ₂ S			CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
		Moyenne	E.T. ¹	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	E.T. ¹	Moyenne	E.T. ¹	E.T. ¹
Hiver	1	2,6	0,5	0,03	0,05	487	107	0,4	0,2	0,01	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	
	2	4,2	0,6	0,12	0,14	1138	178	1,4	0,4	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04		
	3	5,1	0,9	0,11	0,07	1342	284	1,7	0,6	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04		
Printemps	1	1,8	0,6	0,09	0,07	473	98	0,4	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
	2	1,0	0,4	0,13	0,18	929	319	0,6	0,4	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02		
Été	1	1,9	0,8	0,06	0,11	390	153	0,5	0,8	0,04	0,10	0,04	0,04	0,10		
	3	3,6	2,6	0,07	0,05	429	276	0,6	0,4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		

¹E.T. =écart-type.

En effet, les débits de ventilation devraient être ajustés de façon à maintenir un taux d'humidité relative situé entre 40 et 60% tout au long de l'année. Si les bâtiments ont été correctement conçus, les systèmes de chauffage devraient être suffisamment puissants pour maintenir une température intérieure adéquate malgré l'augmentation de la vitesse de rotation minimale des ventilateurs. Une attention supplémentaire doit cependant être apportée à la température de consigne durant les périodes très froides. Si le système de chauffage est insuffisant lors de ces périodes, un compromis devra être fait entre une la température de salle légèrement réduite et un taux d'humidité relative légèrement supérieur aux recommandations.

Certains contrôleurs de ventilation qui tiennent compte de l'humidité relative peuvent également être utilisés. Lors de l'installation de nouveaux contrôleurs, ceux-ci devraient être considérés comme une alternative aux modifications citées précédemment. Cependant, ces contrôleurs sont plus coûteux à l'achat et il faut s'assurer que ceux-ci permettent une mesure constante et fiable de l'humidité relative.

CONCLUSION

La qualité de l'air a été caractérisée à l'intérieur de trois bâtiments d'élevage de veaux de lait ayant des systèmes de ventilation différents. Les essais ont été réalisés durant des conditions d'hiver, de printemps et d'été afin de déterminer le risque pour les travailleurs relié à l'air intérieur.

Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de problème important relié à la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage de veaux de lait étudiés. En effet, la température à l'intérieur fut correctement contrôlée même pour des températures extérieures très chaudes. L'humidité relative fut légèrement supérieure aux recommandations, et ce, en hiver comme en été. Parmi les gaz mesurés, l'ammoniac est le seul à avoir atteint des concentrations près de la limite recommandée pour la santé humaine et même à la dépasser en quelques occasions. Les autres gaz sont bien contrôlés.

Un meilleur contrôle du débit minimum de ventilation devrait permettre de corriger le taux d'humidité relative légèrement trop élevé et permettre également de réduire les concentrations d'ammoniac dans les bâtiments.

REFERENCES

- Albright, L.D. 1990. *Environment Control for Animals and Plants*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. 453 pp.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, inc.). 1992. *Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement*. Atlanta, GA: American Society of Heating, ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (RA 92), Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc.
- Barber, E.M., L. Lu et S. Sokhansanj. 1998. *A mathematical model of the airflow delivered by variable-speed propeller fan*. ASABE Paper 88202, St. Joseph, Michigan: ASABE.

- CARC (Canadian Agri-Food Research Council). 1998. Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des animaux de ferme – Veaux de boucherie. Conseil de recherches agro-alimentaire du Canada. Disponible en ligne: <http://www.carc-crac.ca/common/Factsheet%20-%20Veal%20French.pdf>
- IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail). 2010a. Ammoniac, CAS: 7664-14-7. Disponible en ligne: http://www.irsst.qc.ca/fr/_RSST7664-41-7.html.
- IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail). 2010b. Sulfure d'hydrogène, CAS: 7783-06-4. Disponible en ligne: http://www.irsst.qc.ca/fr/_RSST7783-06-4.html
- IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail). 2010c. Dioxyde de carbone, CAS: 124-38-9. Disponible en ligne: http://www.irsst.qc.ca/fr/_RSST124-38-9.html
- IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail). 2010d. Méthane, CAS: 74-82-8. Disponible en ligne: http://www.irsst.qc.ca/fr/_RSST74-82-8.html
- IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail). 2010e. Protoxyde d'azote, CAS: 10024-97-2. Disponible en ligne: http://www.irsst.qc.ca/fr/_RSST10024-97-2.html
- Choinière, Y. et J. A. Munroe. 1993. *Conséquence de la qualité de l'air sur la santé des personnes qui travaillent dans des bâtiments d'élevage*. Canada Service de plans, Ontario, Canada. Publications no. M-9708.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K.H. Linkert, S. Pedersen, H. Takai, J.O. Johnsen et C.M. Wathes. 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70: 79–95.
- Hillman, P., K. Gebremedhin et R. Warner. 1992. Ventilation System to Minimize Airborne Bacteria, Dust, Humidity, and Ammonia in Calf Nurseries. *Journal of Dairy Science* 75: 1305–1312.
- Martensson, L., M. Magnusson, Y. Shen et J.Å. Jönsson. 1999. Air concentrations of volatile organic acids in confined animal buildings-determination with ion chromatography. *Agriculture Ecosystems Environment* 75: 101–108.
- Nordstrom, G.A. et J.B. McQuitty. 1976. Manure gases in the animal environment – A literature review (with Particular reference to cattle Housing). Research Bulletin 76-1. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Alberta, Edmonton, AB.
- RSST. 2008. Règlement sur la santé et la sécurité du travail – Loi sur la santé et la sécurité du travail. Décret 119–2008. Éditeur officiel du Québec, 220 pp.
- Wheeler, E.F., R.E. Graves, L.L. Wilson, J.L. Smith et J.L. Shuffran. 2000. Winter ventilation case study in three calf barns. *Applied Engineering in Agriculture* 16: 67–76.
- Zhu, J., L. Jacobson, D. Schmidt et R. Nicolai. 2000. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Applied Engineering in Agriculture* 16: 153–158.