

Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

RAPPORT R-524



Qualité de l'air dans les étables de veaux de lait

*Jacques Lavoie
Yves Beaudet
Stéphane Lemay
Martin Belzile
Caroline Côté
Stéphane Godbout
Kathie Roseberry*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

Mission *travaillent pour vous !*

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2007

ISBN : 978-2-89631-183-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-184-2 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
septembre 2007



Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-524

Qualité de l'air dans les étables de veaux de lait

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Jacques Lavoie, Service de la recherche, IRSST

Yves Beaudet, Services et expertises de laboratoire, IRSST

*Stéphane Lemay, Martin Belzile, Caroline Côté,
Stéphane Godbout et Kathie Roseberry,
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Table des matières

Résumé	3
Introduction	5
Objectifs	7
Objectif général	7
Objectifs spécifiques	7
Revue de littérature	9
Les gaz produits en agriculture	9
Les gaz produits en agriculture et la santé humaine et animale	11
Les gaz produits dans les étables à veaux de lait	13
L'ammoniac	15
Le sulfure d'hydrogène	19
Le dioxyde de carbone	21
Le méthane	23
Le protoxyde d'azote	24
Le monoxyde de carbone	25
Le dioxyde d'azote	26
Les poussières	27
Les bioaérosols	29
Les bonnes pratiques recommandées pour l'élevage de veaux	31
Les conditions d'ambiance et la gestion du bâtiment	32
Méthodologie	37
Description des cycles de production	37
Choix des bâtiments	37
Site no. 1	38
Site no. 2	40
Site no. 3	41
Plan expérimental	43
Collecte des données	43
Campagne préliminaire	43
Conditions d'ambiance	44
Poids et nombre de veaux	47
Échantillonnage et analyse des gaz	47
Analyses microbiologiques	50
Bioaérosols, poussières et calculs du nombre de changements d'air	55
Calcul des émissions gazeuses	56
Calcul des émissions de bioaérosols	56
Résultats et discussions	57
Campagne préliminaire	57
Conditions ambiantes	57
Gaz	57
Microbiologie	58
Bioaérosols, poussières et nombre de changements d'air	59
Campagne de qualité de l'air	60
Conditions d'ambiance	60
Débits de ventilation	62

Les gaz.....	66
Microbiologie.....	71
Bioaérosols.....	75
Poussières.....	78
Applicabilité des résultats à la ferme.....	79
Conclusions.....	81
Bibliographie.....	83
Remerciements :.....	91

Résumé

La qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments d'élevage est reconnue comme pouvant avoir un impact sur la qualité de vie et la santé des travailleurs aussi bien que sur les performances animales. Les producteurs de veaux de lait sont conscients de ce fait, surtout en condition hivernale lorsque la ventilation est réduite. Cette étude a donc été mise en place afin d'évaluer la qualité de l'air à l'intérieur de bâtiments d'élevage de veaux de lait durant trois saisons (hiver, printemps et été) afin de quantifier le risque pour les producteurs associé à la qualité de l'air.

Trois fermes ayant trois différents types de ventilation et typiquement retrouvés au Québec (corridor de préchauffe, entrée d'air latérale et cheminées centrales) ont été évaluées. La collecte des données a inclus la mesure des concentrations et émissions de certains gaz (l'ammoniac (NH_3), le sulfure d'hydrogène (H_2S), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O), des comptes microbiens et des bioaérosols viables (bactéries, moisissures, endotoxines) et des poussières, aussi bien que les conditions de température et d'humidité relative.

Les échantillons de gaz ont été analysés en continu à l'aide de différents appareils portables tels qu'un analyseur faisant appel à la spectroscopie non-dispersive dans l'infrarouge (NH_3), un senseur électrochimique (H_2S) et un chromatographe (CO_2 , CH_4 , N_2O). La détection des bactéries *E. coli* et les dénombrements des bactéries *E. Coli* et salmonelles ont été réalisés sur les prélèvements d'air et de fumier. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de l'IRSST ont été utilisées pour évaluer les bioaérosols et les poussières totales. Les débits de ventilation ont été mesurés afin de calculer des émissions gazeuses et de bioaérosols.

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 est appropriée même si l'humidité relative est sensiblement plus élevée que la recommandation du code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des animaux de ferme - Veaux de boucherie (CRAC, 1998). En hiver, l'ammoniac est le seul des gaz à être présent en concentration se rapprochant de sa valeur d'exposition moyenne pondérée. De même, les concentrations de bactéries totales sont élevées pour cette même saison. Un meilleur contrôle de la ventilation en hiver permettrait de diminuer la concentration d'ammoniac et de bactéries totales, tout en diminuant l'humidité relative.

Introduction

Au Québec, la production de veaux à grande échelle a débuté à la fin des années 1970. Au fil des ans, ce secteur a connu une croissance importante, si bien que le Québec est devenu le leader canadien, voir nord-américain en la matière (Veau de grain veau de lait, 2003). Avec 245 000 veaux produits en 2002, le Québec fournit 70 % de la production canadienne de viande de veau. Ce type d'élevage génère annuellement des revenus à la ferme de l'ordre de 184 millions de dollars.

Il est maintenant reconnu que la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments d'élevage peut avoir un impact sur la qualité de vie et de santé des travailleurs, ainsi que sur la performance des animaux (Lavoie et al., 2005; American Thoracic Society, 1998). Toutefois, la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage des veaux de lait est un sujet peu documenté. Contrairement aux autres types d'élevage où le fumier est plus ou moins solide, le secteur du veau de lait a de particulier la gestion des fumiers liquides ce qui pourrait entraîner davantage de risques pour les travailleurs, surtout à long terme, à cause de la proximité des pré-fosses et des dalots. Conscients de cette problématique, les producteurs de veaux de lait se questionnent sur cet aspect et tout particulièrement durant la période hivernale où la ventilation est réduite. Ils ignorent si les gaz, détectables par leurs odeurs, sont présents en concentrations toxiques pour leur santé et celle de leurs animaux, et ignorent également si des bactéries, moisissures et autres microorganismes sont aussi présents en concentrations à risque dans leur environnement de travail. Très peu de littérature existe sur ce sujet et aucune donnée concernant les élevages québécois de veaux de lait n'est disponible. L'information provient surtout des études dans les porcheries. De fait, depuis deux décennies, la production porcine a été mise en évidence sur plusieurs aspects dont celui relié à la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage. L'intérêt est donc de savoir si les conditions existantes dans les porcheries se retrouvent dans les étables de veaux de lait. Ce projet est une première pour le secteur et les résultats obtenus pourront également s'appliquer aux producteurs de veaux de grain de bouvillons d'abattage sur gestion liquide des fumiers.

Objectifs

Objectif général

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 proposer des correctifs, s'il y a lieu.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques du projet consistait à :

- Réaliser une revue de littérature afin de connaître les types et concentrations de gaz et des microorganismes affectant la santé humaine dans les bâtiments d'élevage bovin en fonction du type de bâtiment, du climat, de la gestion de la ventilation et de la régie d'élevage.
- Caractériser la qualité de l'air (matières en suspension, CH₄, NH₃, CO₂, H₂S, microorganismes et bioaérosols) à l'intérieur des bâtiments d'élevage de veaux de lait en conditions hivernale et estivale.
- Proposer aux éleveurs une liste de correctifs à apporter à la régie du bâtiment à la fois simples et peu coûteux dans le but d'améliorer, s'il y a lieu, la qualité de l'air.
- Sous la responsabilité de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), produire un feuillet d'information afin d'aider les producteurs à améliorer la qualité de l'air de leurs bâtiments.

Revue de littérature

Avec l'industrialisation agricole, les producteurs doivent maintenant faire face à de nouveaux défis. Dans certains cas, l'intensification des superficies en culture a accentué les pertes de sols et mis en péril la qualité de l'eau. La pollution diffuse engendrée par l'application intensive de pesticides, d'engrais chimiques et d'engrais organiques issus des entreprises animales ont causé dans plusieurs régions des problèmes environnementaux mais aussi des problèmes de consommation d'eau. Depuis les dernières 30 années, ces entreprises ont vu une intensification de la densité de stockage animale mais surtout une augmentation de la productivité par unité animale. Cette intensification a engendré des surplus d'engrais organiques dans certaines régions, comme celles de St-Hyacinthe et de la Beauce. Le Québec est d'ailleurs la province canadienne ayant la plus haute densité animale (0,64 UA/ha) par rapport aux superficies cultivées (Barrington, 2001).

Une autre conséquence de l'intensification agricole est l'augmentation des unités animales sous un même toit. Un plus grand nombre d'animaux, combiné à une plus grande productivité par animal engendre donc plus d'émissions d'odeur et de gaz, dont les gaz à effets de serre.

Les gaz produits en agriculture

Plusieurs des quelques 300 gaz émis par les entreprises agricoles sont détectables à des concentrations de 1 ppb et de grandes distances sont requises pour les diluer en deçà des seuils de détection (O'Neil et Philip, 1992). Depuis plus d'une décennie, la problématique des changements climatiques et des gaz qui causent le réchauffement de la planète sont des sujets d'actualités. Le Canada s'est d'ailleurs engagé, à travers le protocole de Kyoto (UN, 2005), à réduire de 6% ses émissions de gaz à effet de serre au cours de la période 2008-2012. Au Canada, en 2001, l'agriculture était responsable d'environ 8,3% des émissions de gaz à effets de serre (Environnement Canada, 2002).

Mais au-delà des émissions de gaz à effet de serre, l'agriculture produit aussi d'autres gaz, comme l'ammoniac (NH_3), les oxydes d'azote (NO_x) et le sulfure d'hydrogène (H_2S) (Paquet 2000, Choinière et Munroe 1993, Nordstrom et McQuitty 1976). Selon Kurvits et Martab (1998), le secteur agricole canadien serait responsable de 87% (569 kilotonnes) des émissions d'ammoniac au Canada. Les émissions et les concentrations de ces gaz et autres substances fréquemment rencontrées en milieu agricole (poussières, produits chimiques) sont une menace à la qualité de l'air et peuvent poser un danger tant pour la santé animale que pour celle des travailleurs du secteur (Lavoie et al., 2005; American Thoracic Society, 1998).

L'air ambiant est généralement qualifié de bonne qualité lorsque les quantités de certains gaz demeurent stables. Ainsi, lorsque pure, l'air contient de l'azote (78%), de l'oxygène (21%), de l'argon (0,9%) ainsi que des quantités variables de dioxyde de carbone (0,03%). Il peut aussi contenir des traces d'hydrogène, de néon, de krypton, d'hélium, d'ozone et de xénon en plus de la vapeur d'eau et de particules microscopiques. Toutefois, le gaz de loin le plus important pour la vie humaine et animale est l'oxygène. La CSST (2004) a donc statué que le contenu minimal en oxygène de l'air en milieu de travail ne doit pas être inférieur à 19,5% à pression atmosphérique normale, et ce même si les gaz polluants sont absents.

La plupart des substances polluantes sont soumises à une réglementation stricte dans la majorité de pays industrialisés (CSST 2004, Gouvernement de l'Ontario 2004, OSHA 2004, EC 2004). Ces règlements ont pour but d'assurer un environnement de travail sain dans lequel les travailleurs puissent évoluer sans craindre pour leur santé. Ces normes d'exposition établissent les concentrations de contaminants à ne pas dépasser. Selon le RSST du Québec, (2004), trois types de valeurs existent : une valeur d'exposition moyenne pondérée sur huit heures (VEMP) (en considérant une semaine de travail de 40 h), une valeur d'exposition de courte durée (VECD) pour une période de 15 min. et une valeur plafond (VECD/plafond).

Les gaz produits en agriculture et la santé humaine et animale

Plusieurs recherches font état des effets des gaz, poussières et autres organismes sur la santé animale et humaine. Déjà, en 1928, l'Allemand Hoffman rapportait des cas de problèmes respiratoires et d'avortement chez la vache, dus au gaz de lisier (Nordstrom et McQuitty, 1976). En 1965, Bengston, un Suédois, liait l'empoisonnement au sulfure d'hydrogène à des problèmes tels que la détérioration de la condition physique, les problèmes respiratoires, la tendance à l'hémorragie et à la faiblesse et la claudication (Nordstrom et McQuitty, 1976). En 1973, Brevick et al. notaient une perte de 50 à 60% des veaux lorsque ces derniers étaient transférés dans les enclos ou sur des stalles sur lattes. Une perte de 5% était alors attendue. Bates (1974) remarqua des dommages aux poumons de la presque totalité des ses 50 veaux sous étude. Ceux-ci étaient élevés au-dessus d'une fosse d'où les émanations de gaz les atteignaient malgré le système de ventilation contrôlant la température et l'humidité. Le sulfure d'hydrogène était alors le suspect numéro un des cas d'empoisonnement et les effets des gaz comme l'ammoniac, le méthane, le dioxyde de carbone sur la performance animale étaient encore mal connus.

Depuis, beaucoup d'autres études ont été effectuées sur les effets de ces gaz tant sur les animaux que sur les humains. Le journal de l'American Thoracic Society a d'ailleurs publié en 1998 un supplément traitant spécifiquement des problèmes respiratoires retrouvés en milieu agricole. Ce numéro présente une revue exhaustive des études liant l'exposition des travailleurs agricoles aux différentes substances pouvant affecter leur santé. Les maladies et affections recensées englobent les troubles des voies respiratoires, les maladies interstitielles des poumons et les infections respiratoires.

Bien que les maladies liées à l'hypersensibilité des poumons, comme la maladie du poumon de fermier, soient plus reconnues, les troubles des voies respiratoires, tel que l'asthme, la toux ou la dyspnée sont plus communs. Ces troubles sont causés ou aggravés par une multitude de substances, comme les poussières et les oxydes d'azote, l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène. Cette catégorie englobe aussi les rhinitis (inflammation des muqueuses du nez) causée par les bactéries gram-négatives, les champignons (levures et moisissures), les poussières de grain, le

pollen et les gaz irritants (Cormier et al., 1990). L'inhalation de gaz toxiques (NO_x, CO₂, H₂S et autres) peut aussi causer des malaises d'une gravité variable aux voies respiratoires et aux poumons, selon la solubilité du gaz, les concentrations et la durée de l'exposition (Lavoie et al., 2005; American Thoracic Society, 1998). De plus, certains de ces gaz plus denses que l'air, comme le méthane, déplacent l'oxygène et peuvent causer l'asphyxie. D'autres, comme l'ammoniac, semblent augmenter les cas de symptômes respiratoires (toux, crachat, respiration difficile) chez les travailleurs.

Les maladies interstitielles affectent quant à elles les bronches et les alvéoles. Un exemple de ces maladies est le syndrome d'intoxication aux poussières organiques (ODTS), une inflammation aiguë des bronches et alvéoles, souvent associée à la pneumonie hypersensible et causée par une exposition aux poussières organiques. À haute exposition, l'ODTS peut aussi inclure de la fièvre et des malaises. La pneumonie hypersensible est quant à elle une réaction allergique à des substances allergènes telles que les protéines animales, les bactéries ou les champignons. La fibrose interstitielle est aussi une forme de maladies pulmonaires associées à l'exposition aux produits chimiques retrouvés en agriculture, tel que le paraquat (herbicide) et les poussières (Lavoie et al., 2005; American Thoracic Society, 1998; Cormier et al., 1990).

Le milieu agricole donne aussi lieu à une panoplie d'infections. Celles-ci peuvent être engendrées par l'exposition à des sécrétions infectieuses, des aérosols et des matières contaminées. L'agent infectieux peut être un pathogène humain ou animal transmissible à l'homme. La tuberculose en est un exemple. Des études sur les fermiers ont démontré que ceux-ci étaient 6 fois plus à risque de développer cette maladie que la population en général (Centers for Disease Control, 1992). Une autre maladie infectieuse, l'influenza porcine, peut se transmettre à l'être humain et même causer une pandémie. La pandémie d'influenza de 1918-19 qui tua plus de 20 millions de personnes dans le monde en est un exemple. D'autres cas d'influenza ont depuis été relevés dans le monde mais n'ont pas eu d'effets dévastateurs. On peut d'ailleurs penser aux cas récents de gripes aviaires recensés un peu partout en Asie et au Canada et dont on entend parler fréquemment dans les médias. Le tableau 1, tiré du supplément de

l'American Thoracic Society (1998) résume les maladies et syndromes humains retrouvés en milieu de travail agricole.

Contrairement aux humains, les animaux sont confrontés à leur milieu presque en permanence. Ceux-ci peuvent aussi faire face à plusieurs gaz nocifs simultanément sans avoir la possibilité de s'éloigner de la source de danger. Il faut donc rester prudent lorsqu'on impose des critères établis pour les humains aux animaux (Nordstrom et McQuitty, 1976).

Tableau 1. Maladies et syndromes associés au milieu agricole.

<i>Parties du corps</i>	<i>Expositions</i>	<i>Maladies/syndromes</i>
Nez et nasopharynx	Poussières végétales	Rhinitis allergiques ou non-allergiques
	Aéroallergènes	Syndrome toxique aux poussières organiques
	Mites	
	Endotoxines	
	Ammoniac	
Voies respiratoires	Poussières végétales	Bronchites
	Aéroallergènes	Asthme
	Mites	Syndrome asthmatique
	Endotoxines	Syndrome toxique aux poussières organiques
	Ammoniac	
	Allergènes insectes	
	Oxydes d'azote	
	Sulfure d'hydrogène	
Bronches et alvéoles	Poussières végétales	Syndrome d'intoxication aux poussières organiques
	Poussières inorganiques	
	Endotoxines	Oedème pulmonaire/syndrome de détresse respiratoire
	Mycotoxines	Bronchite
	Bactéries et fungi	Pneumonie hypersensible
	Paraquat	Fibrose interstitielle
	Oxydes d'azote	
	Sulfure d'hydrogène	

(Tiré du Supplement de l'American Thoracic Society, 1998)

Les gaz produits dans les étables à veaux de lait

Plusieurs études récentes (Zhu *et al.* 2000, Groot Koerkamp 1998, Martensson *et al.* 1999) portent sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage. Toutefois, très peu s'attardent à la qualité de l'air dans les bâtiments réservés aux veaux et encore moins aux étables à veaux de lait. La présente revue de littérature présente donc les résultats de qualité de l'air évalués dans les

étables pour les veaux mais aussi dans les bâtiments ou les aires d'élevage bovin et laitier. De plus, maintes études visent à évaluer les émissions de gaz produites par les productions animales. Alors que les concentrations sont mesurées, souvent seules les émissions sont rapportées dans la littérature.

Au Québec, l'exposition des travailleurs aux gaz et substances chimiques potentiellement dangereuses est régie par la Commission de la santé et de la sécurité au travail à travers le règlement sur la santé et la sécurité au travail (CSST, 2004). Cette réglementation s'applique aussi aux entreprises agricoles lorsque les employés ne sont pas des membres de la famille de l'entrepreneur. Un organisme et des lois similaires existent en Ontario (Gouvernement de l'Ontario, 2004), tout comme aux États-Unis (OSHA 2004) et dans les pays Européens (EC, 2004).

Comme mentionné précédemment, les limites d'exposition sont généralement calculées de trois manières. La valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP ou TWA) est calculée en prenant la moyenne des concentrations des échantillons d'air pendant une période journalière ou hebdomadaire. En général, cette valeur est calculée pour une période de huit heures par jour en fonction d'une semaine de 40 h, tel qu'indiqué par l'équation 1.

$$C_T = \frac{C_1 t_1 + C_2 t_2 + C_3 t_3 + C_4 t_4 + \dots C_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots t_n} \quad [1]$$

où :

C_T : concentration totale d'une substance (ppm).

C_i : concentration d'une substance mesurée à un poste de travail i (ppm).

t_i : temps d'exposition au poste de travail i (h).

La valeur d'exposition maximale à court terme (VECD, STEV ou STEL) est la concentration moyenne, pondérée sur 10 ou 15 min (au Québec c'est 15 minutes), pour l'exposition à une substance chimique. Cette concentration ne doit pas être dépassée durant la journée de travail même si la valeur d'exposition moyenne pondérée est respectée. Finalement, la valeur plafond est la concentration à ne pas dépasser en tout temps. Il existe d'autres normes d'exposition, basées sur d'autres périodes de temps ou qui considèrent des effets différents. Il est donc

important de bien connaître la façon dont ces limites ont été calculées et comment elles doivent être appliquées.

L'ammoniac

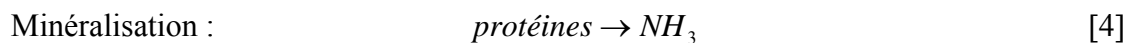
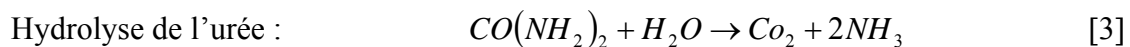
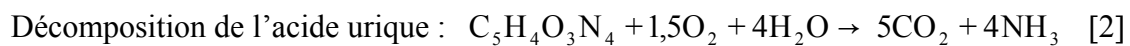
À température ambiante, l'ammoniac (NH_3) est un gaz toxique, incolore et inflammable qui possède une odeur âcre, pénétrante et fortement irritante. Une haute concentration d'ammoniac peut présenter un risque pour le feu et les explosions, particulièrement dans les espaces confinés. À haute température, le gaz se décompose en hydrogène et dioxyde d'azote qui sont très inflammables. Comme l'ammoniac est très toxique et corrosif, l'inhalation de ce gaz peut causer des lésions graves aux poumons et même être fatale. Son seuil de détection (17 ppm) varie d'une personne à l'autre (0,6 à 53,0 ppm). Le tableau 2, tiré des informations de ChemInfo (CCOHS, 2005) et de la CSST (2004), illustre les effets de l'exposition à l'ammoniac sur l'être humain et mentionne les limites d'expositions en vigueur au Québec. Ces limites ont été établies en fonction du risque d'irritation des yeux.

Tableau 2. Effets de l'ammoniac à différentes concentrations.

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
17	Seuil de détection olfactive
24	Irritation du nez et de la gorge après 2 à 6 h
25	Valeur d'exposition moyenne pondérée
30	Légèrement irritant après 10 min
50	Modérément irritant après 10 min
74-134	Irritation du nez et de la gorge après 5 min
134	Irritant pour les yeux
500	Irritation immédiate du nez et de la gorge
700	Irritation immédiate et sévère des yeux
> 1500	Œdème pulmonaire, peut être fatal
5000	Spasme des voies respiratoires et décès

Les animaux de ferme consomment une quantité considérable de protéines et d'azote à travers la nourriture. L'azote ingéré est redistribué dans des produits tels que la viande, le lait, mais aussi l'urine et les fèces. Cette conversion de l'azote est inefficace et de 50% à 80% de l'azote est excrétée. Chez les bovins et les porcs, plus de 50% à 60% de l'azote excrétée se retrouve dans l'urine et près de 70% est sous forme d'urée-N (Arogo *et al.*, 2001). Chez les vaches, près de 70% de l'azote total provient de l'urée de l'urine et des protéines non digérées des excréments (Groot Koerkamp *et al.*, 1998).

La production d'ammoniac est une conséquence de l'activité bactérienne impliquant les substrats organiques azotés. La conversion d'urée et d'acide urique en $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ est la principale source d'ammoniac des productions animales (Arogo *et al.*, 2001). Une deuxième source d'ammoniac est la portion d'azote organique contenue dans les excréments. Approximativement 35% de l'azote organique total contenu dans les fèces est converti en NH_3 . Sur de plus longue période, comme pendant l'entreposage, un total de 50 à 70% de l'azote organique peut être converti en NH_3 (Arogo *et al.* 2001). Ces processus de dégradation biochimique de l'acide urique, de l'urée et des protéines non digérées qui produisent l'ammoniac sont très complexes mais peuvent être simplifiés dans les équations retrouvées ci-bas.



Cette dégradation des protéines et de l'acide urique est influencée par la température, le pH et le contenu en humidité des fèces (Arogo *et al.* 2001). L'hydrolyse de l'urée est, entre autre, influencée par l'activité de l'uréase, le pH et la température (Elzing et Monteny, 1997). Le processus d'hydrolyse ne requiert que de quelques heures à quelques jours pour une conversion complète.

L'ammoniac peut être produit dans les bâtiments, dans les fosses à fumier ou provenir de l'extérieur des bâtiments durant ou après l'application de fertilisants sur les sols. En contact avec l'air, celui-ci se volatilise. L'activité de l'uréase, des conditions alcalines, des températures chaudes, de larges surfaces d'émission ainsi que la vitesse de l'air (naturelle ou ventilation) favorisent la volatilisation.

Les fèces contiennent surtout de l'azote organique qui se minéralise lentement. Le potentiel de volatilisation de l'ammoniac à partir des fèces est donc plutôt faible. Pendant l'entreposage

toutefois, les composés azotés se dégradent anaérobiquement et la concentration d'ammoniac augmente.

Les problèmes reliés à de fortes concentrations d'ammoniac sont moins criants chez les bovins que chez les porcs ou la volaille. Toutefois, des taux d'ammoniac supérieures à 25 ppm sont fréquemment enregistrés dans les bâtiments abritant les veaux laitiers et les veaux de boucherie (Choinière et Munroe, 1993).

Dans une étude datant de 1976, Nordstrom et McQuitty rapportent des concentrations d'ammoniac variant de 5 à 10 ppm pour une étable à vaches avec un taux de ventilation de 76 cfm ($0,036 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) par vache. Noren *et al.* (1967) démontre toutefois des concentrations inférieures aux valeurs publiées par Haartsen (1967). Ces derniers ont enregistré des valeurs de 30 ppm au-dessus du fumier liquide avant agitation et des valeurs atteignant 700 ppm lors de l'agitation du fumier. Selon Taiganides et White (1969), des concentrations variant de 0 à 20 ppm seraient normales dans les étables à bétail.

Plus récemment, une vaste étude de Groot Koerkamp *et al.* (1998) sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage en Europe du Nord rapportait des concentrations d'ammoniac pour différents types de bâtiments agricoles. Des valeurs moyennes inférieures à 8 ppm y ont été enregistrées dans les bâtiments à bétail. Les valeurs maximales enregistrées (29,3 ppm) ont été retrouvées dans les étables à bœufs sur litière en Allemagne. Cette étude rapporte aussi des concentrations moyennes variant de 0,4 ppm en Angleterre à 1,9 ppm au Danemark pour les étables à veaux sur litières et de 5,1 ppm en Allemagne à 7,7 ppm aux Pays-bas pour les étables à veaux sur lattes ou en groupe. Les taux maximums d'ammoniac pour ces mêmes bâtisses atteignent 8,3 ppm pour les étables à veaux sur litières en Allemagne et 13,7 ppm aux Pays-bas pour les étables à veaux sur lattes ou en groupe.

Hillman *et al.* (1992) ont quant à eux étudié l'efficacité d'un système de ventilation pour minimiser les bactéries, les poussières, l'humidité et les niveaux d'ammoniac à l'intérieur de deux

étables à veaux pour le remplacement des vaches laitières. Alors que le système maintient généralement les niveaux d'ammoniac en-dessous de 5 ppm, des pics de 20 à 25 ppm ont tout de même été enregistrés lorsque les stalles étaient nettoyées. Occasionnellement, les niveaux ont aussi atteint 20 ppm durant la nuit, mais sur une période de 10 min seulement.

Zhu *et al.* (2000) ont observé les variations journalières des odeurs et des émissions de gaz dans sept productions animales. Une de ces entreprises est une production laitière de 200 vaches d'environ 568 kg et ventilée naturellement. Les concentrations mesurées sur une période de 12 h, de 7h00 à 19h00, sont demeurées en dessous de 1 ppm.

Martensson *et al.* (1999) se sont attardés aux concentrations des acides organiques volatiles dans deux bâtiments pour bétail avec système de ventilation à pression neutre en Suède. Le premier bâtiment abritait 99 vaches laitières et 70 animaux de remplacement dans des stalles sur lattes alors que le deuxième bâtiment abritait 83 vaches laitières et 28 animaux de remplacement. Les concentrations d'ammoniac, mesurées en continu à toutes les 30 min de 4h00 à 6h00 A.M., variaient de 1,5 à 14 ppm avec une moyenne de 12 ppm pour la première bâtisse et une moyenne de 2 ppm pour la seconde.

Des résultats de vanVliet et Patni (2003) font état de concentrations en ammoniac à l'intérieur d'un bâtiment à ventilation naturelle en Colombie-Britannique où étaient abritées 288 vaches laitières. Les mesures, prises de avril à juin, présentent des valeurs moyennes de concentrations d'ammoniac oscillant entre 1,0 et 4,2 ppm.

En général, l'ammoniac dans les bâtiments à bovins ne posent pas de problèmes puisque les valeurs moyennes retrouvées dans la littérature (0,9 à 14 ppm) se maintiennent généralement sous la valeur d'exposition moyenne de 25 ppm. Toutefois, cette valeur est parfois dépassée dans les étables à veaux ou lors de l'agitation du fumier. Cependant, en hygiène du travail, lorsque la moitié de la norme est atteinte, il est généralement nécessaire d'intervenir sur la qualité de l'air (Lavoie et Pigeon, 2001).

Le sulfure d'hydrogène

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz incolore, très toxique et très inflammable. À très basse température et à haute pression, il se liquéfie pour former un liquide incolore. Comme le H₂S est plus dense que l'air, il peut s'accumuler près du sol et présenter un risque de toxicité, de feu ou d'explosions, surtout en milieu clos.

Ce gaz est identifiable même à très basse concentration (0,0094 ppm) à cause de son odeur d'œufs pourris. Son seuil de détection varie toutefois grandement d'une personne à une autre (0,001 à 0,13 ppm; CCOHS, 2005). À une concentration de 30 à 100 ppm, le sulfure d'hydrogène possède une odeur écœurante. Toutefois, le H₂S diminue l'odorat à une concentration d'environ 50 ppm et le paralyse rapidement à des concentrations de 100 ppm ou plus. Le tableau 3, tiré des informations de ChemInfo (CCOHS, 2005) et de la CSST (CSST, 2004), illustre les effets de l'exposition au sulfure d'hydrogène sur l'être humain et mentionne les limites d'expositions en vigueur au Québec.

Tableau 3. Effets du sulfure d'hydrogène à différentes concentrations.

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
0,001-0,13	Seuil de détection olfactive
0,0094	Seuil de détection moyen
1-5	Odeur modérément offensante, nausée, irritant pour les yeux, maux de tête à exposition prolongée
10	Valeur d'exposition moyenne pondérée
20-50	Irritation du nez, de la gorge et des poumons, problèmes d'appétit, diminution de l'odorat
50-100	Écoulement du nez, toux, irritation de la gorge et essoufflement
30-100	Odeur douce et écœurante
50	Début de la paralysie de l'odorat
< 100	Diminution de l'odorat
> 100	Paralysie rapide de l'odorat en 2 à 15 min
100-200	Irritation sévère du nez, de la gorge et des poumons, paralysie complète de l'odorat
250-500	Œdème pulmonaire, maux de tête, nausée, étourdissement
500	Irritation sévère des poumons, excitation, maux de tête, nausée, étourdissement, perte d'équilibre et perte de conscience, mort en 4 à 8 h
500-1000	Paralysie respiratoire, battements irréguliers du cœur, perte de conscience, mort
1000-2000	Coma instantané

Tout comme l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène est principalement créé par la dégradation anaérobique des déjections animales (Nordstrom et McQuitty, 1976). Il est le produit de la dégradation des acides aminés contenant du soufre.

De tous les gaz retrouvés en milieu agricole, il est le plus dangereux. On le retrouve dans les fosses à lisier mais aussi dans les bâtiments d'élevage. La température et le pH sont des facteurs qui influencent sa production. En général, les bâtiments d'élevage recèlent très peu de H₂S. L'agitation d'une fosse à lisier interne peut toutefois en libérer de dangereuses quantités.

Comme pour l'ammoniac, la littérature présente surtout les résultats d'études portant sur le bétail en général et non sur les bâtiments abritant les veaux. De plus, la majorité des articles trouvés (Sheffield et Thompson 2004, Koelsch *et al.* 2004, Bicudo *et al.* 2003) traitent des concentrations retrouvées à proximité des grands parcs d'engraissement. Quelques-uns rapportent toutefois des valeurs de concentrations de gaz à l'intérieur des bâtiments. Le rapport de Nordstrom et McQuitty (1976) rapporte qu'une légère agitation du lisier peut libérer des gaz nocifs. Des concentrations de H₂S de l'ordre de 15 ppm à 1 à 2 mètres au-dessus des lattes ont été mesurées (Noren *et al.*, 1967). La concentration dans les dalles pouvait même parfois excéder les 200 ppm. Haartsen (1967) rapporte aussi des concentrations à la hauteur des animaux de l'ordre de 120 à 600 ppm durant l'agitation du lisier. Hudek (1969) fait état de concentrations de 50 à 250 ppm dans les mêmes conditions alors qu'il mesurait des concentrations n'excédant pas 5 ppm lorsque le lisier était pompé sans agitation. Toujours à cette époque, Taiganides et White (1969), en faisant une revue des gaz nocifs en milieu animal, ont suggéré qu'un écart de 0 à 20 ppm était considéré normal dans les bâtiments à bétail.

De nos jours, les conditions dans les bâtiments semblent s'être améliorées. Ainsi, Clark et McQuitty (1987) rapportent une concentration maximale de sulfure d'hydrogène de 145 ppb pour quatre étables laitières en stalles libres en Alberta. Patni et Clark (1991) ont également mesuré le H₂S avant, pendant et après l'agitation du lisier dans une étable de 240 bêtes en stalles libres ainsi que dans une étable à génisses. Cette étude fait état de concentrations moyennes allant de 1 à 14 ppm et de concentrations maximales de 11 à 63 ppm pour le premier bâtiment alors que le

deuxième bâtiment démontrait des concentrations moyennes variant de 0 à 8 ppm et des pics allant de 5 à 41 ppm. Zhu *et al.* (2000) ont analysé la variation journalière de certains gaz à l'intérieur de quelques productions animales. Les concentrations moyennes prises aux deux heures de 7 h à 19 h dans le bâtiment laitier à ventilation naturelle abritant 200 vaches variaient de 4 à 26 ppb avec un écart-type de 2,2 à 7,3 ppb. Finalement, l'étude de Sheffield et Thompson (2004) fait état de concentrations moyennes de 0.007 ppm, et maximales de 0.009 ppm près de quatre enclos à veaux extérieurs.

En général, les concentrations de H₂S en milieu animal ne semblent pas présenter un problème criant pour la santé animale ou humaine. Toutefois, les concentrations moyennes de H₂S peuvent parfois dépasser la valeur d'exposition moyenne pondérée de 10 ppm, surtout pendant l'agitation du lisier où les concentrations maximales sont souvent supérieures à la valeur d'exposition de courte durée (15 ppm). Les concentrations maximales recensées en 1991 par Patni et Clark (63 ppm) sont suffisantes pour causer la toux et l'irritation des voies respiratoires alors que celles évaluées par Hudek (1969) et Haartsen (1967), de 50 à 600 ppm, peuvent causer de graves problèmes et même entraîner la mort.

Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz principalement incolore et inodore. Ce gaz est plus dense que l'air et peut s'accumuler au sol, déplacer l'oxygène et causer l'asphyxie. L'inhalation de forte concentration de dioxyde de carbone peut causer l'hyperventilation et mener à une perte de conscience et à la mort. Le tableau 4, tiré des informations des sites internet International occupational Safety and Health Information Centre et de la CSST (CSST, 2004), illustre les effets de l'exposition au dioxyde de carbone sur l'être humain et mentionne les limites d'expositions en vigueur au Québec.

Tableau 4. Effets du dioxyde de carbone à différentes concentrations

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
2000-2500	Concentrations normales
5000	Valeur d'exposition moyenne pondérée
20000	Accélération de la respiration
40000	Somnolence et maux de tête
100000	Respiration rapide, étourdissements, sudations, engourdissements
300000	Décès dans les 30 min

Le dioxyde de carbone est un des principaux constituant de l'air expiré par les animaux. Il est un sous-produit du métabolisme énergétique des animaux est évacué par les échanges d'air dans les poumons. Il peut aussi être produit dans le rumen et expulsé de l'animal par éructation. Une autre partie peut aussi être formée lors de la décomposition des déjections animales (Nordstrom et McQuitty, 1976).

Les études recensées dans le présent travail ont utilisé les mesures de concentration du dioxyde de carbone pour évaluer différents types de système de ventilation (Pedersen *et al.*, 1998) ou encore pour caractériser la qualité de l'air ou les émissions provenant des bâtiments d'élevage (vanVliet *et al.* 2004, Martensson *et al.* 1999).

L'étude de Pedersen *et al.* (1998) visait à tester trois méthodes pour calculer le taux de ventilation dans les productions animales de l'Europe du Nord. Les différentes méthodes ont été comparées en se basant sur les bilans de chaleur animale, d'humidité et de dioxyde de carbone pour des productions porcines, laitières et aviaires. Les concentrations mesurées dans les 12 productions laitières présentaient des concentrations moyennes de CO₂ variant de 681 à 2072 ppm.

Dans leur étude sur les concentrations d'acides organiques volatiles, Martensson *et al.* (1999) ont aussi mesuré les concentrations de dioxyde de carbone à l'intérieur de deux bâtisses, une abritant de 99 vaches laitières et 70 animaux de remplacement dans des box avec lattes et l'autre abritant 83 vaches laitières et 28 animaux de remplacement dans des stalles avec copeaux et paille. Les deux bâtiments étaient équipés d'un système de ventilation à pression neutre. L'écart des concentrations en CO₂ variait de 1500 à 1750 ppm et la moyenne était de 1700 ppm dans l'étable

avec lattes. Le bâtiment avec copeaux et paille présentait une concentration moyenne moins élevées (1000) et un écart de 750 à 1100 ppm.

Au Canada, vanVliet *et al.* (2004) ont mesuré les concentrations et les émissions des gaz à effets de serre (CO₂, CH₄ et N₂O) d'une étable à vaches laitières avec ventilation naturelle en Colombie-Britannique. Les 288 animaux étaient séparés en deux groupes, un sur un lit de sable et l'autre sur du bran de scie. Les résultats mesurés à l'aide de tubes détecteurs à 75 cm au-dessus du sol, présentent une concentration moyenne en CO₂ de 835 ppm pour le premier groupe et de 795 ppm pour le second groupe. Les échantillons ont été colligés à quatre périodes différentes de avril à juin 2002, et les concentrations moyennes journalières variaient de 667 à 970 ppm alors que les concentrations minimale et maximale des échantillons étaient de 543 à 27 073 ppm.

Le méthane

Le méthane (CH₄) est un gaz incolore et inodore extrêmement inflammable qui au contact de l'air peut former un mélange explosif, surtout en milieu fermé. À forte concentration (200 ppm), le méthane peut présenter une douce odeur huileuse. Comme le méthane est plus dense que l'air, il a tendance à s'accumuler au sol où il déplace l'oxygène. Le méthane présente donc un risque d'asphyxie. Souvent, un composé odorant est ajouté au méthane par les fabricants de ce gaz afin d'en permettre la détection. À des concentrations inférieures à 50000 ppm, le méthane n'est cependant pas toxique. Le tableau 5, tiré des informations de ChemInfo (CCOHS, 2005) et de la CSST (CSST, 2004), illustre les effets de l'exposition au méthane sur l'être humain. Le Québec ne possède pas de limite d'exposition à ce composé chimique mais le considère comme un asphyxiant simple.

Tableau 5. Effets du méthane à différentes concentrations

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
200	Seuil de détection olfactive
50000	Limite inférieure d'explosion
500000	Maux de tête, non toxique

Le méthane est l'un des principaux constituants de l'air vicié expiré par les ruminants. Il est produit par fermentation dans le rumen et évacué dans l'air principalement par éructation (Nordstrom et McQuitty, 1976). Il peut aussi être produit par la décomposition des déjections animales. On peut donc retrouver ce gaz dans les fosses à purin, les lieux de fermentation tout comme dans les bâtiments d'élevage.

Plusieurs articles traitent des émissions de méthane dans l'atmosphère (vanVliet *et al.* 2004, Hillhorst *et al.* 2001, Huis et Monteny 2003), peu par contre mentionnent les concentrations recueillies afin de calculer les émissions.

Nordstrom et McQuitty (1976) mentionnent toutefois une étude de Noren *et al.* (1967) où des concentrations de 150 à 300 ppm ont été observées dans un bâtiment ventilé abritant du bétail. Des données non publiées provenant de vanVliet (2004) offrent toutefois des valeurs plus faibles. Pour une étable avec ventilation naturelle abritant 288 vaches laitières, une concentration moyenne de 19,11 ppm a été obtenue à partir de huit échantillons pris à quatre dates, de juin 2002 à mars 2003. Les valeurs de concentration moyenne journalière variaient de 6,2 à 27,3 ppm.

Le protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote (N_2O) est un gaz incolore et inflammable. Il n'est cependant pas très dommageable à court terme pour la santé car le protoxyde d'azote est excrété de façon inchangée par les poumons. Il porte aussi le nom de gaz hilarant et est fréquemment utilisé en anesthésie. Suite à une exposition élevée (300 à 5000 ppm) de 15 min à 5 h, ce gaz peut être mesuré dans l'air alvéolaire jusqu'à 3 à 7 h après la fin de l'exposition.

En milieu agricole, ce gaz est principalement formé par la décomposition des déjections animales. On le retrouve donc dans les fosses mais aussi dans les bâtiments d'élevage en faible quantité.

vanVliet *et al.* (2004) ont recensé une concentration moyenne de 0,26 ppm dans un bâtiment à ventilation naturelle abritant 288 vaches laitières. Les valeurs de concentration journalière variaient de 0,25 à 0,26 ppm, bien en dessous de la valeur d'exposition moyenne pondérée du Québec de 50 ppm (CSST, 2004). Une étude de Huis et Monteny (2003) en Hollande a aussi démontré des concentrations bien inférieures (0,13 à 0,23 ppm) à la norme établie. Toutefois, au Québec, Lavoie *et al.* (1995) ont mesuré une concentration maximale de 12,5 ppm en hiver dans un élevage de porcs sur litière biomâtrisée. Lorsque les porcs étaient élevés sur une litière à couche mince, la concentration maximale mesurée en hiver était de 5,8 ppm (Lavoie et Pigeon, 2001).

Le monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz inodore et incolore extrêmement inflammable et qui au contact de l'air peut former un mélange explosif. Des concentrations dangereuses de ce gaz dans l'air peuvent aisément être atteintes. Le monoxyde de carbone peut avoir un effet sur le système nerveux et cardiovasculaire qui aboutissent à des maladies neurologiques et cardiaques. Il diminue l'habileté du sang à transporter l'oxygène aux tissus. Son inhalation peut aussi causer des maux de tête, des nausées, des étourdissements, des faiblesses, une respiration rapide, et même l'inconscience. Une forte concentration peut rapidement être fatale et ne pas montrer de symptômes. Une exposition prolongée peut aussi aggraver les maladies coronariennes et causer des douleurs thoraciques chez les gens souffrant de maladies cardiaques. Le tableau 6, tiré des informations de ChemInfo (CCOHS, 2005) et de la CSST (2004), illustre les effets de l'exposition au monoxyde de carbone sur l'être humain et indique les limites d'expositions en vigueur au Québec.

Le monoxyde de carbone est susceptible d'être retrouvé là où il y a combustion. Dans les bâtiments agricoles, la principale source de combustion est celle des équipements et des unités de chauffage au gaz. Selon Donham (2005), les chauffages radiants au propane peuvent être une source de CO (100 à 300 ppm). Ce gaz peut aussi être présent dans les entrepôts à grain où il est formé par photorespiration ou par décomposition des matériaux comme les glycosides

phénoliques et les flavonoïdes (Whittle *et al.*, 1994). Whittle *et al.*, 1994 ont mesuré les niveaux de monoxyde de carbone dans plusieurs entrepôts à grains secs en Australie. Les mesures variaient de non détectable (moins de 1 ppm) à 1000 ppm en moyenne.

Tableau 6. Effets du monoxyde de carbone à différentes concentrations

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
1-50	Modification des performances et de la vigilance
35	Valeur d'exposition moyenne pondérée
50	Élévation de 10% sur 8 h. du taux de COHb dans le sang, risque d'angine
50-100	Maux de tête légers, essoufflement, risque d'angine
100-1000	Maux de tête sévères, confusion, étourdissement, vision embrouillée, perte de conscience
500-1000	Maux de tête sévères, nausée, faiblesse, essoufflement, confusion, étourdissement, vision embrouillée, hallucination, perte de conscience
4000	Faiblesse, perte de conscience et coma
>5000	Décès en quelques min

Choinière et Munroe (1993) révèlent que les productions aviaires et porcines présentent fréquemment des concentrations en monoxyde de carbone dépassant la norme VEMP de 35 ppm. Aucune mention n'est toutefois faite à propos des productions laitières, de veaux ou de bétail. Le monoxyde de carbone ne serait retrouvé que dans les bâtiments où les combustibles fossiles sont brûlés et parfois dans les bâtiments abritant les animaux. Ainsi, Breurec *et al.* (1999) rapportent un épisode d'empoisonnement au monoxyde de carbone dans une production aviaire qui a causé la mort de plus de 3500 poulets autour du système de chauffage radiant. Donham (2005) rapporte quant à lui des concentrations de 0 à 200 ppm dans les productions porcines. Comme la source principale de CO est anthropique, des concentrations similaires pourraient théoriquement être retrouvées dans les étables à veaux.

Le dioxyde d'azote

Le dioxyde d'azote (NO₂) est un gaz de couleur rougeâtre ou brune ou un liquide jaunâtre ayant une odeur forte et âcre. Le dioxyde d'azote réagit violemment avec les combustibles et matériaux réducteurs et en augmente donc la combustion. Étant un oxydant fort, le NO₂ est corrosif pour la peau et les voies respiratoires. L'inhalation de ce gaz peut causer de l'œdème pulmonaire et mener à la mort. Plus dense que l'air, le dioxyde d'azote tend à s'accumuler près du sol et des

concentrations dangereuses sont facilement atteintes. Le tableau 7, tiré des informations de « l'Occupational Health Guideline for Nitrogen Dioxide » (NIOSH, 1981) et de la CSST (CSST, 2004), illustre les effets de l'exposition au dioxyde d'azote sur l'être humain et mentionne les limites d'expositions en vigueur au Québec.

Le dioxyde d'azote se retrouve généralement dans les silos à fourrage conventionnels où il est formé par la fermentation des matières organiques. Comme ce gaz n'est généralement pas retrouvé dans les bâtiments d'élevage, les ouvrages traitant de cette problématique n'ont pas été retenus.

Tableau 7. Effets du dioxyde d'azote à différentes concentrations

<i>Concentrations (ppm)</i>	<i>Effets</i>
0,5	Seuil olfactif
1-5	Irritation légère des voies respiratoires
3	Valeur d'exposition moyenne pondérée
25	Irritation des voies respiratoires et douleur thoracique en 60 min
5-50	Irritation légère yeux, nez et gorge, irritation modérée à sévère des poumons
50	œdème pulmonaire et lésions aux poumons en 60 min, irritation légère des yeux et du nez
100	œdème pulmonaire et décès en 60 min
50-150	Irritation légère à modérée des yeux, nez et de la gorge, atteinte sévère aux poumons
>150	Spasme des voies respiratoires, manque d'oxygène, décès immédiat
250	Toux, production de crachats muqueux ou écumeux, augmentation de la dyspnea, œdème pulmonaire

Les poussières

Les poussières sont composées de fines particules solides en suspension dans l'air et peuvent être caractérisées selon trois facteurs : la source et le type de particules, la taille des particules et la concentration des particules. La poussière retrouvée dans les bâtiments d'élevage peut être composée d'une multitude de substances, organiques ou inorganiques, de formes et de tailles très variables.

Selon Choinière et Munroe (1993), 70% à 90% des poussières dans les bâtiments d'élevage sont de source organique. Elles proviennent des produits alimentaires, des excréments desséchés, des poils, de la peau, des insectes ou encore du pollen, des moisissures et champignons ou de virus et bactéries. Ces poussières organiques sont considérées biologiquement actives car elles provoquent souvent une réaction de défense du système respiratoire. Les poussières inorganiques proviennent plutôt des matériaux de construction, comme le béton, les isolants ou les particules de terre qui entre dans les bâtiments.

Les particules de poussières sont classifiées en deux catégories : les particules fines ou respirables et les autres, plus grosses. Les particules de plus grande taille retombent rapidement au sol après manipulation des matières qui les produisent. Les particules fines demeurent toutefois en suspension dans l'air où leur petite taille, moins de 5 microns, leur permet d'être inhalée et de pénétrer profondément dans les poumons. Le problème dans les bâtiments à bétail est que près de 80% à 90% des poussières sont respirables (Choinière et Munroe, 1993). Les travailleurs agricoles sont donc sujets à de grandes quantités de fines poussières qui peuvent aller se loger profondément dans leurs poumons.

Il existe toujours des poussières dans l'air ambiant. Les normes d'expositions aux poussières au Québec préconisent des seuils d'expositions aux poussières de grains ou organiques de 4 mg m^{-3} ou de 10 mg m^{-3} pour les poussières non-classifiées autrement (PNCA). Dans les fermes laitières, des concentrations de l'ordre de 100 mg m^{-3} ne sont pas rares lors de la manipulation de foin moisi ou lorsqu'on distribue du grain aux animaux. L'utilisation de paille ou de foin de meilleure qualité améliore la situation mais des concentrations de 10 à 20 mg m^{-3} sont fréquentes (Choinière et Munroe, 1993).

Hillman *et al.* (1992) ont testé un système de ventilation à l'intérieur de deux étables à veaux afin de minimiser les niveaux de poussières, de bactéries, d'humidité et d'ammoniac dans l'air. Les concentrations résultantes des contaminants ont été comparées aux concentrations rapportées par vanWicklen (1982) dans les mêmes étables alors qu'un système de ventilation à pression négative sans filtration y était installé. Les poussières filtrées étaient de 0,5 microns et plus. Alors que les

concentrations rapportées par vanWicklen (1982) varient de $26,9 \times 10^5$ particules m^{-3} à $239,5 \times 10^5$ particules m^{-3} , les concentrations avec filtration sont beaucoup plus basses et varient de 5,4 à $7,2 \times 10^5$ particules m^{-3} . Aucune mention n'est toutefois faite sur le type et la grosseur des animaux utilisés dans l'étude de vanWicklen (1982).

L'étude de Thorne *et al.* (1997), fait état de concentrations moyennes de poussières inhalables de l'ordre de $0,78 \text{ mg } m^{-3}$ à $1,78 \text{ mg } m^{-3}$ et de $0,07 \text{ mg } m^{-3}$ pour les poussières respirables dans des étables laitières.

Plus récemment l'équipe de Takai *et al.* (1998) a participé à une vaste étude sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage de cinq pays d'Europe du Nord (Whates *et al.* 1998, Groot Koerkamp *et al.* 1998 ; Phillips *et al.* 1998 ; Pedersen *et al.* 1998). Les poussières étaient classifiées en deux groupes : inhalable et respirable (moins de 5 microns). Au total, 118 bâtiments pour le bétail en Angleterre, en Allemagne, aux Pays-Bas et au Danemark ont été sélectionnés, dont 40 étaient destinés aux veaux. La moyenne générale des poussières inhalables et respirables étaient de $0,38 \text{ mg } m^{-3}$ et $0,07 \text{ mg } m^{-3}$, respectivement, pour les étables à veaux de lait. Une analyse de variance a été effectuée à partir des mesures de concentrations et afin d'évaluer l'interaction entre pays, type de bâtiments/animaux et la saison. Après analyse, dans les étables pour veaux, les moyennes attendues de poussières inhalables variaient de $0,15 \text{ mg } m^{-3}$ à $0,55 \text{ mg } m^{-3}$ alors que celles des poussières respirables étaient comprises entre $0,03 \text{ mg } m^{-3}$ à $0,08 \text{ mg } m^{-3}$.

Les publications récentes semblent donc indiquer que les concentrations de poussières retrouvées à l'intérieur des bâtiments de veaux de lait ne dépassent pas les valeurs d'exposition moyenne en vigueur au Québec.

Les bioaérosols

Les endotoxines sont produites par les bactéries gram-négatives et sont des substances hautement allergènes qui causent des réactions du système respiratoire de façon instantanée ou différée. Elles sont le fruit de la dégradation de la membrane des bactéries gram-négatives. Même si le

danger des endotoxines est reconnu (Kullman *et al.* 1998, Thorne *et al.* 1997), les endotoxines ne sont soumises à aucune limite d'exposition au Canada (Duchaine *et al.*, 2001). Toutefois, il existe des valeurs guides pour les travailleurs à ne pas dépasser pour des expositions de huit heures. Ces valeurs varient de 50 à 300 UE m⁻³ d'air (unités d'endotoxine par mètre cube d'air; Lavoie et Pigeon 2001, Donham *et al.* 2000, Heederick et Douwes 1997, Lavoie *et al.* 1995).

Seedorf *et al.* (1998) ont effectué une revue des concentrations d'endotoxines dans l'étude prédominamment mentionnée sur les productions animales de cinq pays en Europe du Nord (Whates *et al.* 1998, Groot Koerkamp *et al.* 1998 ; Phillips *et al.* 1998 ; Pedersen *et al.* 1998). Les concentrations d'endotoxines ont été mesurées par filtration gravimétrique à tous les 12 h. Les concentrations moyennes en endotoxines dans les bâtiments pour bétail sont faibles et varient de 7,4 à 63,9 ng m⁻³ pour les endotoxines inhalables et de 0,6 ng m⁻³ à 6,7 ng m⁻³ pour les endotoxines respirables. Dans les étables à veaux, les concentrations d'endotoxines étaient plus élevées. La fraction inhalable variait de 48,7 ng m⁻³ le jour à 63,9 ng m⁻³ la nuit et la fraction respirable était de 6,3 ng m⁻³ le jour et de 6,7 ng m⁻³ la nuit. Lorsque les concentrations font état des pays, les concentrations d'endotoxines inhalables dans les bâtiments pour veaux varient de 10,4 ng m⁻³ à 110,1 ng m⁻³ alors que les concentrations de la fraction respirable vont de 0,1 ng m⁻³ à 13,3 ng m⁻³.

Zucker et Muller (1998) ont mesuré les concentrations d'endotoxines et le nombre de bactéries gram-négatives dans des étables pour vaches et deux bâtiments pour les veaux. Les étables abritaient de 120 à 200 vaches et possédait un système de ventilation forcée. Un des bâtiments pour veaux abritait 50 bêtes et possédait un système de ventilation forcée alors qu'un deuxième abritait 72 veaux et sa ventilation était naturelle. Les veaux étaient nourris au lait. Cinq échantillons ont été pris dans chacun des bâtiments. Les concentrations moyennes en endotoxines y variaient de 36 EU m⁻³ (unités d'endotoxines m⁻³) à 761 EU m⁻³ (ou 3,6 à 76,1 ng m⁻³) et de 44 EU m⁻³ à 262 EU m⁻³ (4,4 à 26,2 ng m⁻³) dans les étables à veaux. L'étable à veaux possédant un système de ventilation présentait une moyenne de 68 EU m⁻³ alors que celle de l'étable à veaux avec ventilation naturelle était de 248 EU m⁻³.

Plus récemment, Zucker *et al.* (2000) ont étudié les espèces de bactéries gram-négatives et leur concentration dans six productions animales dont deux pour le bétail et deux pour les veaux. Le premier bâtiment, aéré avec un ventilateur, abritait 30 veaux de lait sur litière de paille en stalles individuelles. L'autre, à ventilation naturelle, renfermait 50 veaux nourris de lait et de foin. Au total, 26 souches de bactéries gram-négatives et gram-positives ont été identifiées dans les six types de productions animales. Dans les étables à veaux, de 3 à 181 types de colonies de bactéries gram-négatives ont été recensées, selon le substrat utilisé pour la culture et le type d'instrument employé. En général, dans les établissements étudiés, les bactéries gram-négatives ne représente que de 0,02% à 5,2% des bactéries aérobiques cultivables. Ce faible taux de bactéries gram-négatives cultivables est probablement dû à la courte période de survie de ces dernières dans l'air. Les concentrations moyennes de bactéries aérobiques étaient de 20 et 24 UFC m⁻³ pour les étables à vaches laitières, 14 UFC m⁻³ pour l'étable à veaux avec ventilation naturelle et 505 UFC m⁻³ pour l'étable à veaux de lait. Les familles de bactéries gram-négatives majoritairement retrouvées dans les deux productions de veaux (veaux de lait et veaux nourris de lait et de foin) sont : les *Enterobacteriaceae* (44,3 à 68,3%), les *Pseudomonadeceae* (52,8 à 19,5%) et les *Neissaeriaceae* (2,7 à 12,2%). Des *Enterobacteriaceae*, ce sont les espèces *Escherichia Coli* (19,7 et 82,7%) et *Enterobacter agglomerans* (78,4 et 13,8%) qui sont les plus souvent dénombrées dans les étables à veaux de lait et à veaux nourris de lait et de foin respectivement (Zucker *et al.*, 2000). Des *Pseudomonadeceae*, les *Xant. Maltophilia* (93,1 et 75,0%) sont les plus communes et des *Neissaeriaceae*, les *Ac. Lwoffii* (70,0 et 100,0%) et les *Ac. Junii* (30,0 et 0,0%) sont fréquemment rencontrées (Zucker *et al.*, 2000).

Les bonnes pratiques recommandées pour l'élevage de veaux

Bien qu'aucun critère d'exposition aux gaz n'existe pour les animaux, plusieurs pays (Canada, Royaume-Unis, États-Unis, etc.) ont élaboré des codes de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des animaux d'élevage. Au Canada, il en existe un pour la volaille, les porcs, les visons, les renards, les cerfs, les équidés, les moutons, les bovins laitiers, les bovins de boucherie et les veaux de boucherie (CRAC, 1998). Leur application ne dépend toutefois que des aptitudes, de la formation et de l'intégrité des producteurs.

Le code de pratique concernant les veaux comporte plusieurs sections, dont une qui se rapporte au logement des veaux. L'isolation, la ventilation, l'humidité, l'éclairage, la température, la construction et l'entretien des différents types de stalles, les attaches et la litière y sont discutés. Les autres sections du document traitent de l'alimentation des veaux, de l'hygiène des installations, de la sélection des veaux, du personnel affecté à la manipulation, de la gestion sanitaire ainsi que du transport des animaux.

Ces règles de base associent le bien-être et la santé des animaux à la productivité. Le producteur doit donc tout mettre en oeuvre pour assurer le confort de ses animaux. Ainsi, il se doit d'héberger les veaux dans des conditions qui assurent le confort, la santé, la croissance et une bonne performance à tous les stades de croissance de l'animal. Le système sélectionné pour l'élevage, stalles individuelles ou de groupe, doit être construit de manière à rencontrer les besoins des veaux et ne pas présenter de dangers corporels.

Les conditions d'ambiance et la gestion du bâtiment

Un système de ventilation et/ou de chauffage doit être installé dans les étables afin de protéger les veaux des courants d'air, d'assurer une stabilité thermique et de garantir une bonne qualité de l'air. Les températures recommandées aux États-Unis pour l'élevage des veaux oscillent entre 10°C et 21°C (Wheeler *et al.*, 2000). Généralement, les températures sont gardées plus élevées (18°C à 21°C) au début du cycle de croissance et elles sont par la suite diminuées de 0,6°C par semaine pour atteindre environ 10°C à la fin. Cependant, les conclusions de l'étude de Wheeler *et al.* (2000) semble démontrer que les productions de veaux maintenues à des températures de 3°C à 8°C plus froides ne semblait pas présenter de problèmes et que les recommandations en vigueur devraient probablement être révisées. Selon le code de pratiques recommandées au Canada, l'humidité relative doit aussi 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. Les bâtiments avec ventilation mécanique rencontrent généralement ce critère alors que les bâtiments à ventilation naturelle démontrent des taux d'humidité relative allant de 79% à

86%, particulièrement pendant la période de distribution des aliments ou lorsque l'humidité relative extérieure est élevée (Wheeler *et al.* 2000).

Toujours selon le code des pratiques recommandées pour les veaux de boucherie, ceux-ci doivent bénéficier d'au moins huit heures par jour d'éclairage permettant une bonne visibilité. Pour les nouvelles stalles ou celles rénovées, un espace d'au moins 90 cm x 165 cm doit être alloué à chacun des veaux de 200 kg ou moins. Les attaches ne devraient pas être utilisées en stalle individuelle et leur utilisation en stalles collectives devrait faire en sorte que tous les veaux puissent adopter une position de repos simultanément sans se blesser. Lorsque les veaux ne sont pas nourris à volonté, ceux-ci doivent recevoir de la nourriture de manière régulière au moins deux fois par jour. L'eau pour l'abreuvement et servant au mélange des aliments doit être potable. De plus, le producteur et son personnel doivent être familiers avec les besoins nutritionnels de base des veaux ainsi qu'avec les programmes et procédures d'alimentation. Les veaux, choisis avec soin, doivent bien sûr être en santé. Durant le transport et la manipulation (veaux de 7 jours ou plus seulement), le bien-être de ceux-ci doit être assuré et les sources de stress diminuées le plus possible. À leur arrivée, les stalles doivent être prêtes et propres et doivent le demeurer durant tout le séjour des veaux dans le bâtiment. Pour ce faire, un programme de nettoyage journalier des stalles et des instruments doit être mis en place. Une attention particulière doit être portée aux veaux par le personnel afin de s'assurer qu'ils demeurent en santé. Un plan de prévention en matière de santé doit d'ailleurs être mis en place avec l'aide d'un vétérinaire. Un plan et des systèmes d'urgence doivent aussi être mis en place en cas de feu, de panne d'électricité ou tout simplement de coupure de l'approvisionnement en nourriture.

Les directives retrouvées dans les codes de pratiques recommandées sont basées sur des recherches et observations en milieu agricole et sont en constante évolution. Même si le code ne donne pas de directives très précises (concentrations à respecter) quant à la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage, son suivi général assurera un bon environnement pour l'animal. Ce sont les règlements créés pour les humains (CSST, 2004) qui assurera la qualité de l'air à des niveaux généralement considérés comme acceptables pour les animaux. Mentionnons toutefois que les

normes de la CSST ne s'appliquent que pour des expositions de huit heures, 40 heures par semaine. Les animaux eux sont présents 168 heures par semaine.

Quoiqu'il existe peu de littérature sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage à veaux de lait, les articles recueillis qui traitent du sujet dans les établissements logeant les bovins donnent une idée des contaminants pouvant devenir problématiques dans les étables à veaux de lait. De plus, la consultation du règlement en vigueur (CSST, 2004) a permis de déterminer les différentes valeurs d'exposition limites pour la santé du travailleur (tableau 8).

L'ammoniac et le sulfure d'hydrogène semblent être les principaux gaz qui s'accumulent, particulièrement lorsque le lisier est agité, et qui peuvent causer des désagréments chez les humains comme chez les animaux. Les concentrations maximales peuvent être suffisantes pour causer la toux et l'irritation des voies respiratoires mais demeurent bien en dessous des taux causant des troubles graves ou la mort.

Tableau 8. Valeur d'exposition aux différents contaminants de l'air

<i>Éléments</i>	<i>VEMP</i>	<i>VECD</i>
NH ₃ (ppm)	25	35
H ₂ S (ppm)	10	15
CO ₂ (ppm)	5000	30000
CH ₄ (ppm)	-	-
N ₂ O (ppm)	50	
CO (ppm)	35	200
NO ₂ (ppm)	3	-
Poussière de grain (mg m ⁻³)	4	-
Poussière NCA (mg m ⁻³)	10	-

Les poussières semblent aussi souvent dépasser les limites établies dans les productions laitières ou bovines. Les concentrations maximales coïncident généralement avec l'utilisation de la litière (paille, copeaux, bran de scie ou autres) dans les stalles ou pendant la distribution de la nourriture. Il est donc logique que les veaux de lait qui sont nourris d'une diète liquide ne seraient pas assujettis aux mêmes conditions puisque leur alimentation ne dégage pas de poussières dans la pièce. Quant aux autres gaz mentionnés dans ce rapport (CH₄, CO₂, CO, NO₂), ils ne semblent pas s'accumuler en quantité suffisante et de façon jugée dangereuse.

La production et l'accumulation de gaz ou de poussières dans les bâtiments pour animaux dépendent de plusieurs facteurs, tels que le type d'animaux, le type de conception des salles, la ventilation ou encore le climat. Les pratiques de gestion comme la fréquence de nettoyage ou la méthode d'entreposage des déjections sont aussi des facteurs importants. Plusieurs études (Hartung et Phillips 1994, Groot Koerkamp *et al.* 1998, Seedorf *et al.* 1998, Takai *et al.* 1998, Whates *et al.* 1998, Martensson *et al.* 1999, Zhu *et al.* 2000, vanVliet 2004) visent à déterminer le lien qui existe entre ces facteurs et les concentrations et émissions de gaz ou de poussières dans les bâtiments d'élevage.

Cette revue de littérature résume le niveau des connaissances sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage de bovins et de veaux. Bien que cette information soit limitée sur certains aspects, elle a permis de guider la prise de mesure et l'analyse des données recueillies au cours de la réalisation de ce projet.

Méthodologie

Description des cycles de production

Les veaux de lait sont élevés pendant une période d'un peu plus de quatre mois. Ils sont nourris en utilisant exclusivement un aliment d'allaitement fourni aux animaux deux fois par jour dans des abreuvoirs individuels. Le poids des animaux lors de leur arrivée chez le producteur varie entre 41 et 52 kg et il est de 204 à 218 kg lors de leur transport vers l'abattoir. Ce cycle de production nécessite généralement 21 semaines. La plupart des veaux sont gardés en stalles individuelles, bien que des parcs de 6 à 8 animaux soient parfois rencontrés. Les stalles sont fabriquées en bois franc et les lattes sur lesquelles reposent leurs pattes sont faites de plastique et/ou de bois francs.

Les étables à veaux de lait sont souvent opérées en mode tout plein/tout vide. De plus, dès la première semaine après leur naissance, la plupart des animaux sont transportés vers un site de tri. On y forme les groupes avant de les acheminer chez le producteur dans une salle vide qui a été préalablement nettoyée.

Choix des bâtiments

La sélection des sites expérimentaux prenant part au projet devait tenir compte des caractéristiques des bâtiments de veaux de lait existants au Québec. Un portrait des exploitations québécoises a donc été réalisé par les professionnels de l'IRDA et de la fédération des producteurs de bovins du Québec (FPBQ). Lors de cet exercice, les caractéristiques suivantes ont été considérées et inventoriées : le type de chauffage, de ventilation, de stabulation, la gestion des lisiers, etc.

À partir de ce portrait, trois bâtiments possédant des systèmes différents de ventilation et de chauffage ont été sélectionnés. Tous les sites ont été visités par l'ensemble des partenaires au projet préalablement à l'expérimentation.

Pour les besoins du rapport, les sites seront identifiés par les no. 1, 2 et 3. Les analyses ont été effectuées dans l'une des salles de chacun des bâtiments.

Site no. 1

Le premier site expérimental est localisé dans la municipalité de Acton Vale (figure 1). Le bâtiment principal du site est composé de plusieurs salles dont celle où l'essai s'est déroulé. La salle expérimentale (figure 2) possède une capacité de logement de 134 veaux en stalles individuelles.



Figure 1. Vue de l'extérieur du site no. 1.



Figure 2. Vue de l'intérieur de la salle évaluée sur le site no. 1.

Le système de ventilation utilise une entrée d'air située dans un corridor de préchauffe (figure 3) et l'air est ensuite acheminé dans la salle par des trappes à ouverture ajustable manuellement.



Figure 3. Corridor de préchauffe du site no. 1.

L'air est extrait de la salle à l'aide de deux paliers de ventilation mécanique. Le premier palier comprend quatre ventilateurs de 0,46 m (18 pouces) de diamètre alors que le deuxième palier utilise quatre ventilateurs de 0,51 m (20 pouces) de diamètre.

L'extraction des excréments se fait à l'aide de raclettes sous le plancher qui acheminent les déjections d'abord vers une préfosse d'où le lisier est pompé dans la fosse extérieure.

Site no. 2

Le deuxième bâtiment évalué est situé dans la municipalité de La Présentation (figure 4). Le bâtiment abrite deux sections dont une a été utilisée comme salle expérimentale (figure 5). La salle possède une capacité de logement de 124 veaux en stalles individuelles et en petits parcs.

La ventilation de la salle se fait à l'aide de deux entrées d'air latérales et de cinq ventilateurs à cheminées de 0,56 m (22 pouces) de diamètre placés au centre de la salle. Ces ventilateurs fonctionnent sur trois paliers et sont actionnés automatiquement par un contrôleur central.

Le système de gestion des déjections est similaire à celui des autres bâtiments, soit une raclette sous le plancher qui achemine les déjections d'abord vers une préfosse d'où le lisier est pompé dans la fosse extérieure.



Figure 4. Vue de l'extérieur du site no. 2.



Figure 5. Vue de l'intérieur de la salle évaluée sur le site no. 2.

Site no. 3

Le troisième site expérimental évalué est situé dans la municipalité de Upton (figure 6). Le bâtiment comprend deux salles et la salle choisie pour l'expérimentation possède une capacité de logement de 124 veaux (figure 7).



Figure 6. Vue de l'extérieur du site no. 3.

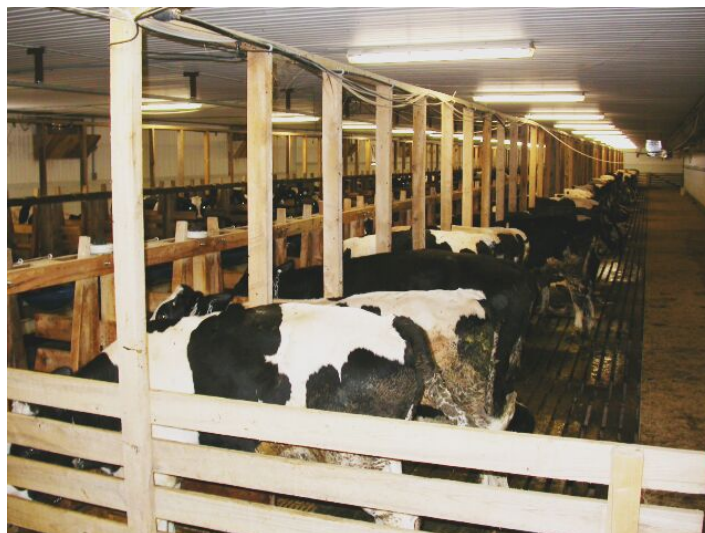


Figure 7. Vue de l'intérieur de la salle évaluée sur le site no. 3.

Cette salle est munie d'un système de ventilation avec une entrée d'air latérale (figure 8) et des ventilateurs sur des côtés opposés. Les sept ventilateurs de 0,51 m (20 pouces) de diamètre sont opérés sur deux paliers contrôlés automatiquement. Un système de raclettes sous le plancher est utilisé afin de transférer les déjections à la préfosse avant de les déverser dans la fosse extérieure.



Figure 8. Entrée d'air latérale de la salle évaluée sur le site no. 3.

Le tableau 9 résume les principales caractéristiques des bâtiments étudiés.

Tableau 9. Caractéristiques des bâtiments évalués.

<i>Paramètre</i>	<i>Description du paramètre</i>		
	<i>Site</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Entrée d'air (s.u.)	Latérale dans corridor	Latérale sur 2 côtés	Latérale sur un côté
Chauffage (s.u.)	Corridor de préchauffe	Intérieur de la salle	Intérieur de la salle
Ventilateurs (s.u.)	Muraux sur 1 côté	Cheminée au centre de la salle	Muraux sur 1 côté
Capacité de logement (veaux)	134	124	124
Gestion des déjections (s.u.)	Animaux sur lattes et raclettes	Animaux sur lattes et raclettes	Animaux sur lattes et raclettes

s.u. : sans unité.

Plan expérimental

L'échantillonnage s'est déroulé sur chacun des sites pendant une durée d'environ 10 jours en continu au cours de trois saisons (cycle d'échantillonnage). 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 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.

Collecte des données

Campagne préliminaire

Vu le peu de données disponibles concernant les concentrations gazeuses présentes dans les bâtiments de veau de lait, une campagne préliminaire a été effectuée.

Les concentrations des gaz ont été mesurées en continu à l'aide de deux appareils Multiwarn II de Dräger qui ont été placés dans chacun des bâtiments pendant une période de deux à trois jours au cours du mois de décembre 2004. La température et l'humidité relative ont été également mesurées pendant les mêmes périodes à l'aide de deux appareils Nomad de Dräger. Ces appareils

avaient préalablement été calibrés et les erreurs sur les lectures étaient de 2% pour le CH₄ et de 5% pour le H₂S et le NH₃.

Pour la campagne préliminaire, les bioaérosols incluant les bactéries totales, les moisissures, les endotoxines et les poussières ont été prélevés au nombre de trois simultanément en position fixe sur des cassettes de prélèvement de 37 mm. Leur nombre a été de six pour la campagne officielle. Les déterminations des endotoxines et des bactéries et moisissures viables aéroportées ont été réalisées en utilisant les méthodes de l'IRSST (IRSST, 1999a; IRSST, 1999b; IRSST, 1998). Les filtres utilisés étaient en polycarbonate de 0,8 µm de porosité pour les moisissures et les bactéries, en fibre de verre 1,0 µm de porosité pour les endotoxines et en chlorure de polyvinyle (CPV) prépesés de 0,8 µm de porosité pour les poussières. Les débits de prélèvement étaient environ de 2 L min⁻¹. De même, les débits de ventilation cette journée là ont été mesurés avec la méthode des gaz traceurs (SF₆) (ASTM, 1993). Les dénombrements de *Escherichia coli* dans l'air ont été faits par l'IRDA en utilisant un échantillonneur de type barboteur et les pétrifilmsTM. La présence de *Salmonella* et de *E. coli* dans l'air a été vérifiée à partir du même échantillon par enrichissement conventionnel. De même, à chaque campagne d'échantillonnage, un échantillon de lisier a été prélevé dans la pré-fosse afin de déterminer la présence de *Salmonella*. Cet échantillon était formé de six prélèvements réalisés à différents endroits dans la pré-fosse, mélangés et homogénéisés pour former un échantillon composite.

L'information ainsi recueillie a permis de peaufiner le protocole qui a servi pour la caractérisation de la qualité de l'air à la ferme. Elle a permis de préciser les variations quotidiennes des variables à l'étude et l'impact des opérations à la ferme sur les paramètres qui ont été mesurés par la suite.

Conditions d'ambiance

Température et humidité relative

Les conditions de température et d'humidité relative ont été mesurées à l'aide de sondes (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 afin de mesurer à la fois la température et l'humidité relative de l'air. Les points de mesure étaient

l'entrée d'air du bâtiment ainsi que l'intérieur de la salle.

Mesure des débits de ventilation

Les débits de ventilation ont été évalués à l'aide de conduites normalisées. Deux conduites ont été conçues de façon à s'adapter aux différents diamètres des ventilateurs à mesurer. Ces conduites ont été développées à l'aide de la norme ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE, 1992). Chacune d'entre elle est équipée d'un redresseur d'air et d'un système de tubes de pitot. Les mesures de débit circulant dans la conduite se font en mesurant la pression dynamique et en utilisant l'équation 5 :

$$Q = V \pi r^2 \quad [5]$$

où

- Q : débit ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).
- V : vitesse (m s^{-1}).
- π : constante.
- r : rayon de la conduite (m).

Afin de s'assurer de l'exactitude de l'évaluation du débit à l'aide des conduites normalisées, des mesures de la vitesse en plusieurs points à l'intérieur de la conduite ont été prises en laboratoire à l'aide d'un anémomètre à fil chaud. Ceci a permis de s'assurer que le débit évalué à partir de la pression dynamique à l'intérieur de la conduite est équivalent à celui calculé à partir de la vitesse dans la conduite et l'aire d'écoulement.

Tout au long des différents cycles de mesures dans les salles expérimentales, 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 de chacun des paliers de ventilation ont été mesurés en continu.

Les conduites normalisées ont ensuite été transportées sur chacun des sites (figure 9). Dans chacune des salles, on a recréé certaines des conditions rencontrées lors de l'expérimentation. Trois niveaux de pression statique et quatre vitesses de rotation différentes pour chacun des paliers de ventilation ont été simulés afin d'évaluer la pression dynamique dans la conduite et d'en déduire le débit d'air au travers le système complet de ventilation.



Figure 9. Mesure des débits de ventilation à l'aide d'une conduite calibrée

L'ensemble des données de pression statique, dynamique et de la vitesse de rotation a ensuite été traité dans un chiffrier Excel de façon à établir la relation entre le débit et la pression statique. La forme de l'équation utilisée est la suivante :

$$Q = \frac{(B + C p^{n1}) R^{n2}}{1000} \quad [6]$$

où

Q : débit ($m^3 s^{-1}$).

B et C : constantes.

p : pression statique (Pa).

n1 et n2 : constantes.

R : vitesse de rotation des ventilateurs (rpm).

Cette équation a ensuite permis l'évaluation du débit en continu pour toutes les conditions de différence de pression statique entre l'intérieur de la salle et l'extérieur du bâtiment et pour toutes les vitesses 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. Celles-ci permettent d'obtenir une évaluation théorique des débits de ventilation du modèle de ventilateur retrouvé dans le bâtiment en fonction de sa vitesse de rotation et de la pression statique de la salle.

À titre de comparaison, les taux de changement d'air par heure ont également été mesurés avec la méthode des gaz traceurs (ASTM, 1993). Quatre sondes de mesures du SF₆ ont été placées équidistantes dans les fermes. Après avoir calculé la concentration requise comme le recommande l'ASTM (1993) à partir du volume de la pièce et du nombre théorique de changements d'air et mélangé l'air d'une façon uniforme avec des ventilateurs, une concentration de SF₆ de 20 ppb a été ciblée afin d'établir la courbe de décroissance des concentrations. Cette courbe a été établie avec l'aide du chromatographe portable à capture d'électron Autotrac (Autotrac 101, Lagus Applied Technology inc., San Diego, California). La précision de cet appareil est de ±5% à ces plages de mesures. L'exercice a été répété au moins 4 fois dans la journée de mesures.

Poids et nombre de veaux

Afin d'établir la masse des veaux présents dans les salles où ont eu lieu les mesures, le nombre de veaux au début et à la fin de la période a dû être évalué (tableau 10). Aussi, à l'aide du poids des veaux à l'arrivée chez le producteur et au départ pour l'abattoir ainsi que le 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.

Échantillonnage et analyse des gaz

Lors des campagnes expérimentales, les gaz ont été analysés à l'aide du laboratoire mobile MESANGES^{MC} (figure 10). L'unité mobile permet la mesure en continu de différents gaz. Les gaz mesurés lors de l'expérimentation étaient le NH₃, H₂S, CO₂, CH₄ et le N₂O.

Tableau 10. Poids et nombre de veaux durant les différentes campagnes d'échantillonnage.

Saison	Site (s.u.)	Date (s.u.)	Poids moyen (kg/veau)	Nombre veau (s.u.)
Hiver	1	2 février 2005	190,9	135
		16 février 2005	216,4	
	2	16 février 2005	163,6	124
		3 mars 2005	180,5	
		3 mars 2005	63,6	
3	17 mars 2005	78,6	124	
Printemps	1	20 avril 2005	102,7	135
		4 mai 2005	120,5	
	2	4 mai 2005	63,6	124
		19 mai 2005	80,0	
	3	19 mai 2005	209,1	122
		31 mai 2005	222,7	
Été	1	1 juillet 2005	172,7	133
		13 juillet 2005	190,5	
	2	13 juillet 2005	136,4	124
		27 juillet 2005	152,3	
	3	17 août 2005	90,9	123
		31 août 2005	106,4	

s.u. : sans unité.

Les échantillons ont été prélevés séquentiellement de plusieurs points d'échantillonnage, incluant les concentrations à l'entrée et à la sortie pour le calcul des émissions et acheminés en continu jusqu'au système d'analyse. Le méthane, le dioxyde de carbone et l'oxyde nitreux ont été analysés avec un chromatographe (Varian, modèle 3600; Walnut Creek, USA; précision : 1%). L'ammoniac a été analysé dans un analyseur distinct faisant appel à la spectroscopie non-dispersive dans l'infrarouge (NDIR; Seimens, modèle Ultramat 6E; Munich, Allemagne; précision : 1%) alors que le H₂S a été analysé à l'aide d'un senseur électrochimique, Californie; figure 11), (Dräger Safety, modèle DrägerSensor H₂S LC; Luebeck, Allemagne; précision : 3%).

Pour chacun des points échantillonnés, les gaz ont été aspirés à travers une membrane filtrante à base de cellulose et acheminés dans un tube en téflon® de longueur variable selon la distance entre la source échantillonnée et le système d'analyse. Une valve rotative à 16 positions a permis de sélectionner la source de gaz analysé parmi l'une des 16 sources potentiellement reliées à la valve. L'écoulement des gaz de la source aux analyseurs était assuré par une pompe à

diaphragme qui refoule les gaz dans un té en acier inoxydable. Un petit manchon filtrant en acier inoxydable aggloméré placé en amont de la pompe principale permettait une protection supplémentaire des équipements contre les poussières fines.



Figure 10. Unité mobile MESANGES^{MC} raccordée au site no. 2.

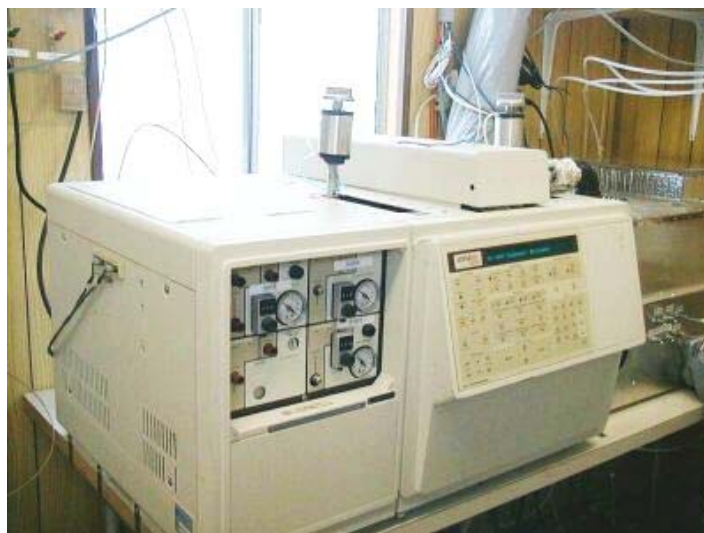


Figure 11. Chromatographe en phase gazeuse.

La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique est la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q. Le méthane a été quantifié avec un détecteur à ionisation de

flamme (FID), le dioxyde de carbone a aussi été quantifié avec le FID mais après réduction en méthane avec l'hydrogène sur un catalyseur de nickel et l'oxyde nitreux a été mesuré avec un détecteur à capture d'électron (ECD). Une pré-colonne montée en série devant la colonne analytique a permis d'éliminer certaines substances (eau, NH₃, H₂S) qui peuvent être présentes dans les gaz agricoles et qui pourraient soit endommager l'analyseur ou interférer avec les substances mesurées.

Analyses microbiologiques

Échantillonnage

Air des bâtiments d'élevage

Les échantillons d'air ont été récoltés à l'aide de barboteurs remplis d'un volume de 20 mL d'eau peptonnée tamponnée, connectés à un système de pompe relié à un débitmètre calibré. Les échantillons ont été récoltés en duplicata à trois intervalles différents, selon les paramètres suivants : 12,5 L min⁻¹ pendant 60 min. Des mesures de débit ont été effectuées au début, au milieu et à la fin de l'intervalle de l'échantillonnage. Les échantillons ont été maintenus entre 2 et 8°C jusqu'à l'analyse microbiologique qui a été effectuée dans un délai de 48 h.

Lisier de la préfosse

Les échantillons ont été récoltés directement dans la préfosse en six prélèvements répartis à différents endroits afin de former un échantillon composite de 500 g. Les échantillons ont été maintenus entre 2 et 8°C jusqu'à l'analyse microbiologique qui a été aussi effectuée dans un délai de 48 h.

Analyses de laboratoire

Air des bâtiments d'élevage

Extraction des microorganismes

Avant de procéder aux analyses microbiologiques, les échantillons ont été placés dans un agitateur rotatif à 1 500 rpm pendant 10 min, puis analysés dans un délai de 15 min. La portion restante des échantillons a été conservée à -20°C .

Dénombrement des bactéries E. coli par la méthode Petrifilm™

Pour chaque échantillon, les dilutions suivantes ont été faites dans de l'eau peptonnée tamponnée : brut, 10^{-1} et 10^{-2} . 1 mL, en duplicata, de chacune de ces dilutions a été déposé sur une plaque de numération Petrifilm™, puis incubé à 35°C pendant 48 h.

Après incubation, les colonies présentant une coloration bleue à pourpre, associées à des bulles de gaz, ont été dénombrées comme étant des bactéries de type *E. coli* et ont été confirmées par des tests biochimiques. Les limites de quantification de la méthode Petrifilm™ étant situées entre 15 et 150 UFC mL^{-1} , la dilution qui a été utilisée pour le calcul du dénombrement des *E. coli* est celle située dans cette limite. Les colonies présentant un profil différent de celui énuméré ci-haut ont été considérées comme négatives pour les bactéries de type *E. coli*.

La confirmation a été effectuée sur trois colonies par échantillon ayant démontré la présence de bactéries de type *E. coli* sur les plaques de numération Petrifilm™ (la dilution utilisée pour la confirmation étant la même que celle utilisée pour le calcul du dénombrement). Les colonies ont été isolées sur milieu gélosé MacConkey (milieu d'enrichissement sélectif et différentiel pour la famille des entérobactéries), et incubées à 35°C pendant 24 h. Puis, une colonie lactose (+) (bactérie qui fermentent le lactose) par souche, a été repiquée sur milieu gélosé 5% de sang de mouton (milieu d'enrichissement non-sélectif et différentiel), puis incubée à 35°C pendant 24 h. Par la suite, la confirmation de la présence de *E. coli* a été validée par les épreuves biochimiques suivantes : test d'indole, milieu gélosé en pente trois sucres et fer (TSI), milieu gélosé en pente à l'urée de Christensen (urée) et milieu gélosé en pente citrate de Simmons (citrate). Les résultats suivants (tableau 11) sont généralement observés pour les bactéries de type *E. coli*.

Toutes les souches présentant un profil typique ont été considérées comme positives pour les *E. coli*. Les souches présentant un profil atypique ont été confirmées avec le test API 20 E® (galeries d'identification des bacilles Gram (-)). Les souches présentant un profil différent de ceux énumérés au tableau 11, ont été considérées comme négatives pour les bactéries *E. coli*.

Tableau 11. Résultats des tests biochimiques servant à l'identification de *E. coli*

Tests	Profils obtenus	
	<i>E. coli</i> (typique)	<i>E. coli</i> (atypique)
Indole	+	±
TSI		
Pente	A	K
Culot	A	A
H ₂ S	-	+
Gaz	+	±
Urée	-	-
Citrate	-	-

A : acide; K : alcalin

*Détection des bactéries *E. coli* par enrichissement conventionnel*

Afin d'augmenter le seuil de détection des bactéries *E. coli* dans les échantillons d'air, il a été convenu de procéder à la détection des *E. coli* par enrichissement conventionnel en plus du dénombrement des *E. coli* par la méthode Petrifilm™. La détection des *E. coli* par enrichissement conventionnel a donc été effectuée pour l'ensemble des échantillons à l'exception de ceux prélevés le 8 février 2005 sur le site no. 1.

Pour chaque échantillon, 1 mL a été transféré dans 10 mL d'eau peptonnée tamponnée (milieu d'enrichissement non sélectif), puis incubé à 35°C pendant 24 h. Par la suite, 1 mL de ce bouillon a été transféré dans 10 mL de bouillon MacConkey (bouillon d'enrichissement sélectif et différentiel pour la famille des entérobactéries), et incubé à 35°C pendant 24 h. Après cette incubation, les bouillons lactose (-) (bactéries qui ne fermentent pas le lactose) ont été considérés

comme négatifs pour les bactéries *E. coli* et les bouillons présentant un résultat lactose (+) (bactéries qui fermentent le lactose), ont subi la suite d'analyses.

L'équivalent d'une anse d'inoculation de bouillon a été ensemencé en stries sur milieu gélosé MacConkey (milieu d'enrichissement sélectif et différentiel pour la famille des entérobactéries), puis incubé à 35°C pendant 24 h. Pour chaque échantillon, trois colonies lactose (+) (bactéries qui fermentent le lactose), ont été repiquées sur milieu gélosé 5% sang de mouton (milieu d'enrichissement non-sélectif et différentiel), et incubées à 35°C pendant 24 h. Par la suite, la confirmation de la présence de *E. coli* a été validée par les épreuves biochimiques suivantes : test d'indole, milieu gélosé en pente trois sucres et fer (TSI), milieu gélosé en pente à l'urée de Christensen (urée) et milieu gélosé en pente citrate de Simmons (citrate). Les résultats suivants sont généralement observés pour les bactéries de type *E. coli* (voir Tableau 11).

Toutes les souches présentant un profil typique ont été considérées comme positives pour les *E. coli*. Les souches présentant un profil atypique ont été confirmées avec le test API 20 E® (galeries d'identification des bacilles Gram (-)). Les souches présentant un profil différent de ceux énumérés au Tableau 11, ont été considérées comme négatives pour les bactéries *E. coli*.

Détection des bactéries salmonelles par enrichissement conventionnel

Pour tous les échantillons, 1mL a été transféré dans 10 mL d'eau peptonnée tamponnée (milieu d'enrichissement non sélectif), puis incubé à 35°C pendant 24 h. Par la suite, 1 mL de ce bouillon a été transféré dans 10 mL de bouillon Rappaport-Vassiliadis (bouillon d'enrichissement sélectif pour les salmonelles) et dans 10 mL de bouillon Tétrathionate vert brillant additionné d'iode (bouillon d'enrichissement sélectif pour les salmonelles), puis incubé à 35°C pendant 24 h.

L'équivalent d'une anse d'inoculation de chacun des bouillons a été ensemencé en stries sur milieu gélosé Double Modified Lysine Iron (milieu d'enrichissement sélectif et différentiel pour les salmonelles) et sur milieu gélosé BG Sulfa additionné de novobiocine (milieu

d'enrichissement sélectif et différentiel pour les salmonelles) et incubé à 35°C pendant 24 h. Pour chaque échantillon, trois colonies lactose (-) (bactéries qui ne fermentent pas le lactose) et produisant ou non du H₂S, ont été sélectionnées sur milieu gélosé Double Modified Lysine Iron. De même, trois colonies lactose (-) ont été sélectionnées sur milieu gélosé BG Sulfa additionné de novobiocine. Les souches ont été repiquées sur milieu gélosé 5% sang de mouton (milieu d'enrichissement non-sélectif et différentiel), et incubées à 35°C pendant 24 h. Par la suite, la confirmation de la présence des salmonelles a été validée par les épreuves biochimiques suivantes : milieu gélosé en pente trois sucres et fer (TSI) et milieu gélosé en pente à l'urée de Christensen (urée). Les résultats suivants sont généralement observés pour les bactéries de type salmonelles (voir Tableau 12).

Tableau 12. Résultats des tests biochimiques servant à l'identification des salmonelles

<i>Tests</i>	<i>Profil typique salmonelles</i>
<i>TSI</i>	
Pente	K
Culot	A
H ₂ S	+
Gaz	-
<i>Urée</i>	-

A : acide; K : alcalin

Les souches présentant un profil différent de celui énuméré au Tableau 12, ont été considérées comme négatives pour les salmonelles. Toutes les souches présentant un profil typique ont été considérées comme positives pour les salmonelles après confirmation par sérotypage avec l'antisérum *Salmonella O poly A*.

Congélation des souches positives

Toutes les souches considérées comme positives pour les microorganismes étudiés ont été congelées à -20°C dans un milieu de congélation.

Lisier de la préfosse

Détection des bactéries salmonelles par enrichissement conventionnel

Pour tous les échantillons, 50 g ont été transférés dans 450 mL d'eau peptonnée tamponnée (milieu d'enrichissement non sélectif), puis incubés à 35°C pendant 24 h. Par la suite, 1 mL de ce bouillon a été transféré dans 10 mL de bouillon Tétrathionate vert brillant additionné d'iode (bouillon d'enrichissement sélectif pour les salmonelles), et incubé à 35°C pendant 24 h. La suite des analyses est la même que celles réalisées pour la détection des bactéries salmonelles par enrichissement conventionnel pour l'air des bâtiments d'élevage.

Bioaérosols, poussières et calculs du nombre de changements d'air

Le tableau 13 résume les méthodes d'analyse et d'échantillonnage de l'IRSST utilisées dans cette étude pour évaluer les bioaérosols et les poussières (IRSST, 1999a, 1999b, 1998). Le nombre de prélèvement pour chaque paramètre était de six, répartis dans la journée. Les bioaérosols et le nombre de changement d'air ont été mesurés une fois pour chaque période de 10 jours dans les trois saisons. Les poussières ont été prélevées deux fois (couvrant deux journées) dans chacune des périodes.

Tableau 13. Résumé des méthodes de l'IRSST

<i>Agent</i>	<i>Méthodes de l'IRSST</i>		
	<i>Échantillonnage</i>	<i>Analyse</i>	<i>Limite de détection</i>
		<i>Principe</i>	
Bactéries Totales	Filtre en polycarbonate+ milieu TSA, 2 L min ⁻¹ , 60 min	Extraction dans eau distillée stérile et Tween 20 + incubation 2 jours, 37,5°C + dénombrement	420 UFC m ⁻³
Moisissures totales	Filtre en polycarbonate + milieu agar à extrait de malt, 2 L min ⁻¹ , 60 min	Extraction eau stérile et Tween 20 + incubation 5-7 jours, 25°C + dénombrement	420 UFC m ⁻³
Endotoxines	Filtre en fibre de verre, 2 L min ⁻¹ , 240 min	Test LAL + photométrie	4 UE m ⁻³
Poussières totales	Filtre prépesé en CPV, 2L min ⁻¹ , 240 min.	Quantification par gravimétrie	25 µg

UFC m⁻³ : unité formatrice de colonie par mètre cube d'air.

UE m⁻³ : unité d'endotoxine par mètre cube d'air.

LAL : lysat d'améobocyte de limule.

Calcul des émissions gazeuses

Les émissions gazeuses provenant du bâtiment ont également été calculées de façon à connaître l'impact sur l'environnement des gaz présents dans les bâtiments de veaux de lait. Le calcul des émissions gazeuses se fait sur la base de l'équation 7.

$$E = \frac{(C_{\text{sortie}} - C_{\text{entrée}}) * Q * \frac{P_{\text{atm}} - P_v}{287 * T} * \frac{M_{\text{gaz}}}{M_{\text{air}}}}{M_{\text{veaux}}} \quad [7]$$

Où E est l'émission gazeuse ($\text{mg min}^{-1} \text{ kg}_{\text{veau}}^{-1}$), C_{sortie} est la concentration du gaz à la sortie du bâtiment, $C_{\text{entrée}}$ est la concentration du gaz à l'entrée du bâtiment, Q est le débit du système de ventilation ($\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$), P_{atm} est la pression atmosphérique (Pa), P_v est la pression de vapeur, T est la température (K), M_{gaz} est la masse molaire du gaz, M_{air} est la masse molaire de l'air et m_{veau} est la masse des veaux présents dans le bâtiment (kg).

Calcul des émissions de bioaérosols

Les émissions des bioaérosols ont été calculés sur la base de l'équation 8.

$$E_{\text{Bio}} = C_{\text{Bio}} * \frac{Q}{M_{\text{veaux}}} \quad [8]$$

où E_{Bio} représente les émissions de bioaérosols (UE ou UFC/s kg_{veau}), C est la concentration de bioaérosols (UE/ m^3 ou UFC/ m^3), Q représente le débit moyen de ventilation pour la journée dans la chambre ($\text{m}^3_{\text{air}}/\text{s}$) and M_{veaux} est le poids total des veaux dans la chambre (kg).

Résultats et discussions

Campagne préliminaire

Une campagne d'essais préliminaires a eu lieu préalablement aux essais expérimentaux. Elle avait pour but de déterminer les niveaux des gaz à l'intérieur des bâtiments de façon à sélectionner les équipements de mesure appropriés.

Conditions ambiantes

Lors des essais préliminaires, les conditions ambiantes étaient telles que présentées au tableau 14. Ces valeurs démontrent que les conditions intérieures lors de la période hivernale sont similaires d'un site à un autre. La différence entre la lecture de l'appareil Nomad 1 et Nomad 2 pourrait indiquer que l'air n'est pas distribué de façon complètement uniforme dans le bâtiment.

Tableau 14. Conditions ambiantes lors de l'échantillonnage préliminaire

Sites (s.u.)	Instruments (s.u.)	Conditions ambiantes			
		Température intérieure (°C)		Humidité relative (%)	
		moy.	e.t.	moy.	e.t.
1	Nomad 1	15,3	0,7	64,0	2,8
	Nomad 2	17,4	4,5	44,0	21,2
2	Nomad 1	16,5	0,7	64,1	5,4
	Nomad 2	17,4	1,0	59,5	4,9
3	Nomad 1	15,9	0,7	58,0	5,1
	Nomad 2	15,6	0,8	57,0	4,7

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

Gaz

Les résultats préliminaires sont présentés au tableau 15. Les valeurs égales à zéro signifient que la concentration mesurée était inférieure à la limite de détection de l'appareil. Les valeurs retrouvées pour le CO₂ et le H₂S sont en tout temps inférieures à la VEMP pouvant causer des troubles pour le travailleur (respectivement 5000 et 10 ppm). La concentration en NH₃ était cependant élevée dans le bâtiment 1, tout juste supérieure à la VEMP de 25 ppm. Les valeurs retrouvées aux sites no. 2 et 3 était toutefois plus faible.

Tableau 15. Concentrations moyennes des gaz lors de l'essai préliminaire

Site (s.u.)	Instruments (s.u.)	Concentration moyennes des gaz (ppm)					
		NH ₃		H ₂ S		CO ₂	
		Moy.	e.t.	Moy.	e.t.	moy.	e.t.
1	Multiwarn 1	26,0	1,7	0	0	2713	320
	Multiwarn 2	27,0	3,8	0,037	0,214	2608	622
2	Multiwarn 1	13,4	1,2	0	0	3314	436
	Multiwarn 2	9,8	0,6	0,001	0,003	3543	525
3	Multiwarn 1	6,7	0,5	0	0	3098	237
	Multiwarn 2	6,3	0,5	0	0	3455	248

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

Les niveaux de concentrations gazeuses rencontrées lors des essais préliminaires ont permis de confirmer que l'utilisation du laboratoire mobile MESANGES^{MC} était tout approprié pour la mesure des gaz présents dans les étables de veaux de lait.

Microbiologie

Les résultats de la campagne d'échantillonnage préliminaire sont présentés au tableau 16.

Tableau 16. Concentrations moyennes des microorganismes lors de l'essai préliminaire

Site (s.u.)	Type échantillon (s.u.)	Temps d'exposition (min)	Dénombrement des microorganismes	
			<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>
			Dénombrement (UFC m ⁻³)	présence/absence (s.u.)
1	Air	30	< ^B	Nég
1	Air	60	< ^B	Nég
1	Air	90	< ^B	Nég
1	Lisier préfosse	N/A	N/A	Nég
2	Air	30	< ^B	Nég
2	Air	60	< ^B	Nég
2	Air	60	< ^B	Nég
2	Lisier préfosse	N/A	N/A	Nég
3	Air	30	200,0 ^A	Nég
3	Air	60	70,0 ^A	Nég
3	Air	70	88,0 ^A	Nég
3	Lisier préfosse	N/A	N/A	Nég

s.u. : sans unité; UFC m⁻³ : unité formatrice de colonie par mètre cube d'air.

A : Le dénombrement a été effectué en duplicata. Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne des 2 résultats obtenus.

B : La valeur obtenue est inférieure à la limite de détection.

À partir des résultats obtenus, le traitement conventionnel a été retenu. Il comprend un temps d'exposition de 60 min avec un débit d'air de 12,5 l/min et un volume d'eau peptonée tamponnée de 20 ml.

Bioaérosols, poussières et nombre de changements d'air

La mesure des concentrations de bioaérosols et des poussières et du nombre de changement d'air a été réalisée lors d'une journée en décembre pour chacune des trois fermes. Les valeurs sont présentés au tableau 17. On peut noter les concentrations très élevées de bactéries ($2\,258\,560 \pm 514\,350$ UFC m^{-3} d'air) sur le site no. 1 pendant cette période. À première vue, cette situation pourrait s'expliquer par un nombre de changement d'air insuffisant pour la grosseur des animaux présents car nous étions à la fin d'un cycle d'élevage. Les concentrations de bactéries sur le site no. 2 sont aussi élevées et la même remarque sur le nombre de changements d'air peut s'appliquer. Les concentrations d'endotoxines rejoignent celles préalablement mesurées par Zucker et Muller (1998) dans des fermes de veaux de lait. Les concentrations de poussières sont aussi très faibles (moins de 10% de la VEMP ; RSST, 2004). Elles sont comparables à celles mesurées par Takai *et al.* (1998). Enfin, les concentrations de moisissures sont faibles comparées à l'élevage porcin (Lavoie *et al.*, 2005; Goyer *et al.*, 2001; Lavoie et Pigeon, 2001; Zuskin *et al.*, 1992; Cormier *et al.*, 1990). Les résultats obtenus de l'ILD pour les poussières ont donné une valeur de $0,041 \pm 0,008$ mg/ m^3 pour 19 échantillons.

Tableau 17. Concentrations moyennes des bioaérosols lors de l'essai préliminaire

Site (s.u.)	Concentrations moyennes des bioaérosols								Changements d'air ^A	
	Type								(s.u.)	
	Bactéries ^B (UFC m^{-3})		Moisissures ^B (UFC m^{-3})		Endotoxines ^B (UE m^{-3})		Poussières ^B (mg m^{-3})		moy.	e.t.
moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.			
1	2 258 560	514 350	290	150	410	110	0,24	0,07	3,8	0,7
2	493 740	30 050	120	20	520	30	0,13	0,01	2,2	0,13
3	30 900	6130	1790	890	60	15	0,17	0,03	0,95	0,04

s.u. : sans unité; UFC m^{-3} : unité formatrice de colonie par mètre cube d'air; UE m^{-3} : unité d'endotoxine par mètre cube d'air.

A : Résultats provenant de la moyenne arithmétique de 4 points de prélèvement.

B : Résultats provenant de la moyenne arithmétique de 3 échantillons.

Campagne de qualité de l'air

Conditions d'ambiance

Lors de la période hivernale, la température à l'intérieur de la salle du site no. 3 a variée de 14,6 à 16,7°C pendant que la température extérieure se situait entre -19,9 et 3,2°C (figure 12). Ces valeurs sont en accord avec les recommandations de Wheeler *et al.* (2000). Puisque la température intérieure était assez 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 variée de 63 à 85% au long de cette même période. Ces valeurs sont plus élevées que la recommandation (40 à 60%) pour le bien-être des animaux. La figure 12 est également représentative de ce qui s'est déroulé lors des mêmes périodes sur les deux autres sites.

Lors de la saison estivale, la température intérieure dans la salle du site no. 3 a variée de 14,3 à 28,1°C (figure 13). Cette grande variation est principalement due à une grande variation de la température extérieure. En effet, durant cette même période, la température extérieure était située entre 7,3 to 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 en ce qui concerne le maintien de la température puisque la température intérieure ne dépasse jamais de plus de 3°C la température extérieure (critère de design généralement accepté). L'humidité relative, quant à elle, s'est maintenue entre 50 et 89%. Ce taux d'humidité relative est encore une fois relativement élevé si on considère le fait qu'il aurait dû décroître avec un débit de ventilation plus élevé et également avec une température intérieure plus élevée (d'un point de vue psychrométrique).

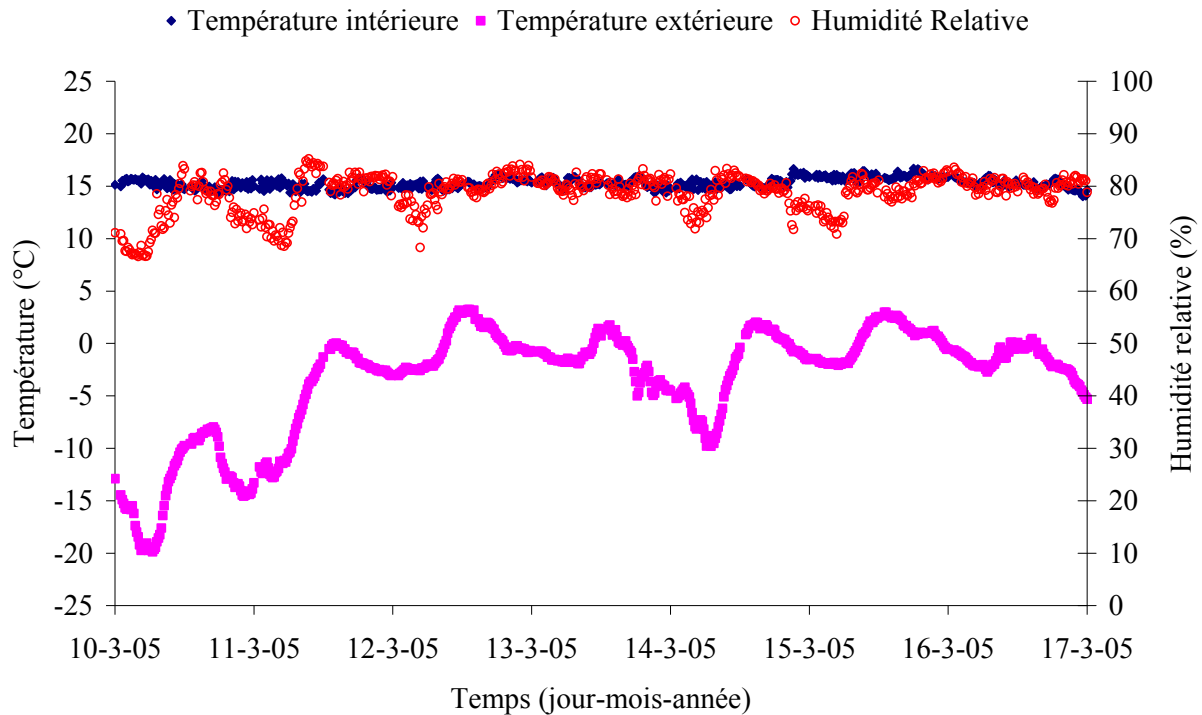


Figure 12. Conditions de température et d'humidité de la salle évaluée au site no. 3 en hiver.

Tel que présenté au tableau 18, la température extérieure moyenne de chaque saison est représentative des températures présentes au Québec en hiver, printemps et été. De plus, même si les périodes d'échantillonnage sur les différents sites ont été réalisées durant des semaines différentes avec l'unité mobile, la température extérieure était similaire d'un site à l'autre. Par exemple, durant la période hivernale d'échantillonnage, la température moyenne extérieure des sites 1 à 3 a varié de $-2,8$ à $-9,3^{\circ}\text{C}$ pendant que celle de la période estivale passant de $19,3$ à $22,9^{\circ}\text{C}$.

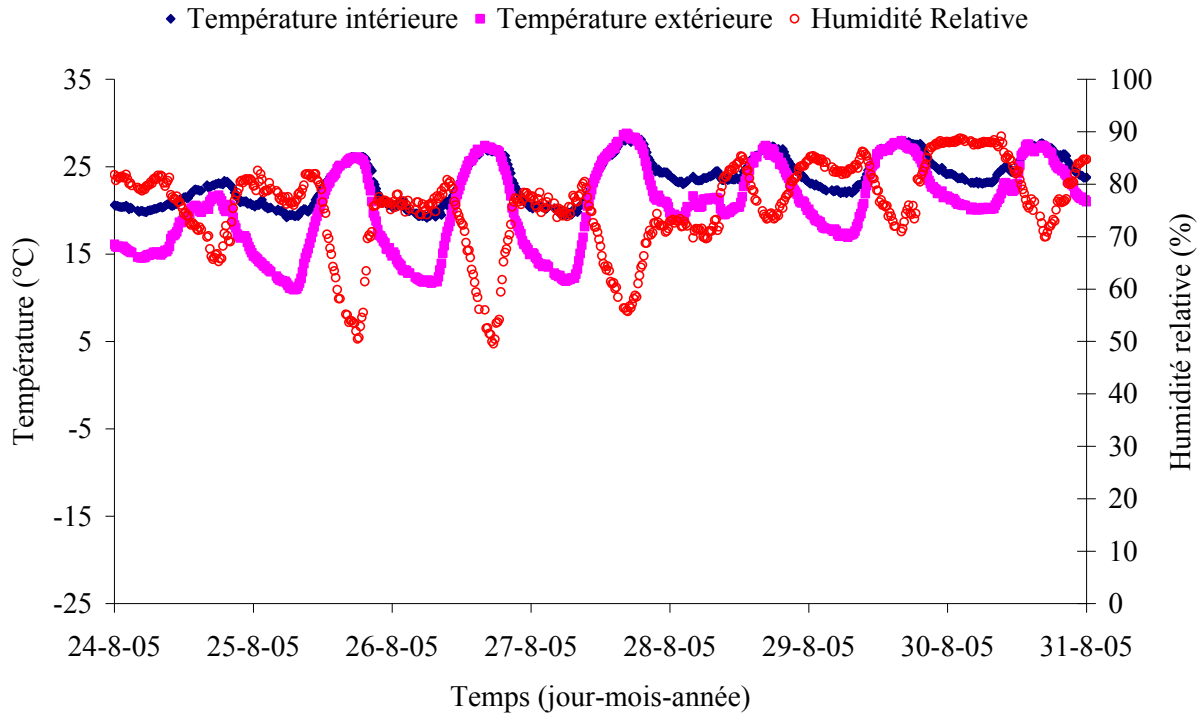


Figure 13. Conditions de température et d'humidité pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

Tableau 18. Conditions dans les bâtiments lors des essais pour les différentes périodes

Saison	Site	Conditions ambiantes (s.u.)					
		Température extérieure (°C)		Température intérieure (°C)		Humidité relative (%)	
		<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>
Hiver	1	-2,8	6,2	14,3	0,4	67,4	4,2
	2	-9,3	6,3	14,9	0,7	74,2	3,4
	3	-5,1	5,5	15,3	0,5	76,7	5,0
Printemps	1	8,2	4,3	15,5	0,8	60,0	8,6
	2	12,4	5,6	17,9	2,5	61,2	9,6
	3	12,5	3,7	18,1	1,4	71,8	4,5
Été	1	21,2	4,9	23,5	3,7	69,3	10,9
	2	22,9	4,7	25,0	2,6	71,4	12,5
	3	19,3	4,5	22,6	2,4	75,4	9,0

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

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 m³ h⁻¹ kg⁻¹ (tableau 19). L'accroissement des débits semble être proportionnel à 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 par heure. Ces taux calculés sont toujours supérieurs à la norme de 1 changement d'air à l'heure exigé par le RSST (2004), signifiant que la ventilation des sites semble bien conçue.

Tableau 19. 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})	
		moy.	e.t.	moy.	e.t.
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

chang : changement ; s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

La mesure des taux de changements d'air à l'heure a également été réalisée à l'aide du SF_6 . La mesure à l'aide du SF_6 a été effectuée pendant quelques heures lors des journées de mesure des bioaérosols et constituent donc une mesure ponctuelle du nombre de changement d'air par heure. Les valeurs obtenues par cette méthode sont également supérieures à la prescription du RSST (2004) pour ce genre d'activité (tableau 20). Les résultats montrent que les taux vont de 2,7 à 23,6 changements h^{-1} durant la période hivernale et de 13,9 à 27,8 changements h^{-1} durant l'été.

Tableau 20. Nombre de changements d'air par heure mesuré au SF_6 pour la période d'échantillonnage des bioaérosols

Site (s.u.)	<i>n</i>	Nombre de changements d'air (chang h^{-1})							
		Hiver			Printemps			Été	
		Moy.	e.t.	<i>N</i>	moy.	e.t.	<i>N</i>	moy.	e.t.
1	4	23,6	1,7	7	22,5	6,2	7	13,9	5
2	4	2,7	0,2	9	12,6	4,1	11	27,8	15,3
3	4	3	0,6	11	2,9	0,2	12	14,2	6

chang : changement ; s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

La norme est de 1 changement d'air à l'heure

Afin de calculer les émissions de bioaérosols, certains des débits provenant des mesures en continu ont du être extrait. Ces débits, qui représentent les mêmes périodes que celles des mesures des bioaérosols, sont présentés au tableau 21.

Tableau 21. Débit de ventilation et changement d'air à l'heure pour la période d'échantillonnage des bioaérosols à l'aide des mesures en continu.

Saison	Site (s.u.)	Débit de ventilation ($m^3 h^{-1} kg^{-1}$)		Nombre de changement d'air (chang. h^{-1})	
		moy.	e.t.	Moy.	e.t.
Hiver	1	0,37	0,02	11,0	0,5
	2	0,31	0,00	6,0	0,0
	3	0,43	0,02	2,8	0,1
Printemps	1	0,79	0,25	12,2	3,6
	2	1,82	0,26	13,8	1,9
	3	N/A	N/A	N/A	N/A
Été	1	0,71	0,00	16,7	0,0
	2	N/A	N/A	N/A	N/A
	3	0,89	0,23	7,7	1,9

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

Finalement, afin de vérifier l'exactitude des données mesurées à l'aide des deux méthodes, un débit de ventilation à été estimé à l'aide de la production de chaleur des animaux et des concentrations de CO₂ présentes dans les salles. Les formules suivantes ont été utilisées. Ces valeurs sont présentées au tableau 22.

Initialement :

$$E_{CO_2} = (C_{out} * Q) - (C_{in} * Q) \quad [9]$$

E_{CO_2} = Émissions de CO₂

C_{out} = Concentration de CO₂ à l'extérieur du bâtiment

C_{in} = Concentration de CO₂ à l'intérieur du bâtiment

Q = Débit de ventilation

Une fois transformée, l'équation 1 devient :

$$Q = E_{CO_2} / \Delta C_{CO_2} \quad [10]$$

Il reste à estimer les émissions à estimer pour connaître le débit. Pour ce faire, on postule que la production totale de CO₂ est reliée à la production de chaleur des animaux selon la relation suivante :

$$TP_{CO_2} = 0,185L / hW \text{ (CIGR, 2002)} \quad [11]$$

La production de chaleur peut être estimée, pour des veaux, à l'aide de l'équation suivante :

$$PTC = 2,8 W / kg \text{ (ASAE, 2003)} \quad [12]$$

La valeur de E_{CO₂} est obtenue en combinant les équations 11 et 12.

$$E_{CO_2} = M * PTC * TP_{CO_2} * A \quad [13]$$

M = Masse totale des animaux (kg)

A = Activité des animaux

PTC = Production totale de chaleur

TP_{CO₂} = Taux de production de CO₂

Tableau 22. Débit de ventilation calculé à partir de la production de chaleur des animaux et les concentrations de CO₂ présentes dans les salles

Site (s.u.)	Débit de ventilation (m ³ h ⁻¹ kg ⁻¹)		
	Hiver	Printemps	Été
1	0,44	0,26	0,29
2	0,91	0,93	0,77
3	1,74	3,22	1,28

s.u. : sans unité.

En comparant les valeurs des changements d'air entre les mesures avec le SF₆ et celle des mesures en continu, certaines des valeurs sont similaires. Toutefois, La mesure des débits de ventilation apparaît comme une source possible d'erreur dans l'évaluation des émissions. En effet, cette mesure 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 études 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 présent dans la salle. Notons que les valeurs obtenues à partir du SF₆ permettent d'éviter ce genre de problème.

Les gaz

Concentrations gazeuses

Les concentrations en ammoniac durant la période hivernale sur le site no. 1 sont relativement élevées (figure 14), mais du même ordre que celles rapportées par Choinière et Munroe (1993). En effet, certaines des concentrations en NH₃ 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 a rebours des différents événements qui surviennent habituellement en fin de journée (allaitement des veaux, nettoyage du bâtiment, mise en fonction des grattes). En effet, le premier événement de concentration élevée de NH₃ est survenu 10 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 h également durant la nuit, les concentrations de NH₃ se sont étendues de 25,7 à 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 prédire si les concentrations se sont maintenues entre les lectures ou si elles ont redescendu. Si elles se sont maintenues, la 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, alors qu'il n'y avait pas de travailleur présent dans le bâtiment.

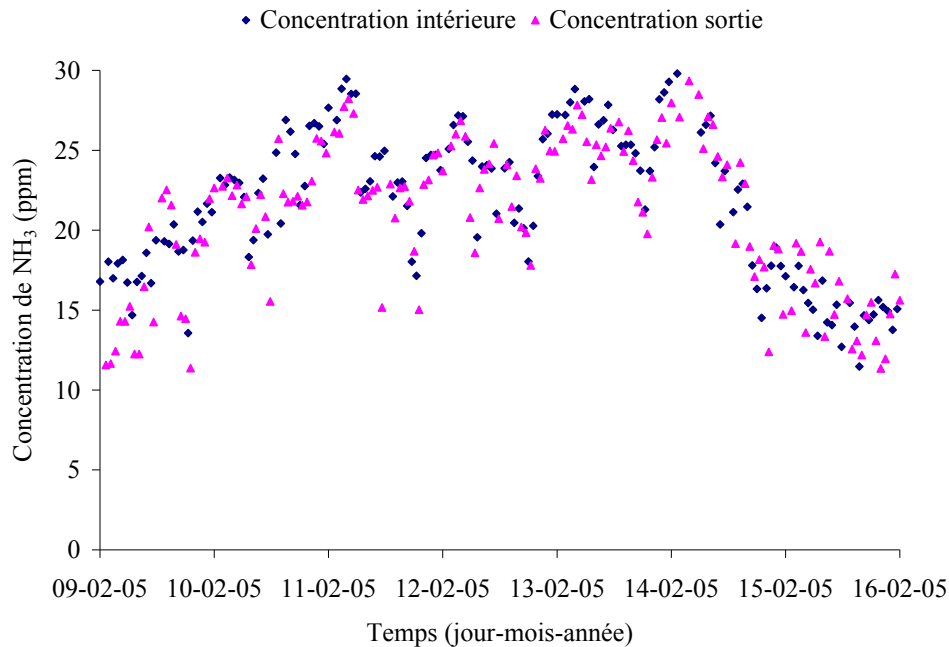


Figure 14. Concentrations en NH₃ sur le site no. 1 entre le 9 et le 16 février 2005

Les concentrations d'ammoniac durant la période hivernale à l'intérieur de la salle des sites no. 2 et no. 3 sont toutes deux similaires (tableau 23). Celles du site no. 2 ont variées de 15,9 ppm à 18,0 ppm alors que celles du site no. 3 ont variées de 14,9 ppm à 24,0 ppm (figure 15). Ces valeurs sont relativement plus élevées que celles mentionnées précédemment dans la revue de la littérature mais toujours inférieures à la limite acceptable de 25 ppm pour la santé du travailleur (CSST 2004). Toutefois, le niveau d'intervention en hygiène du travail étant atteint (supérieur à 50% de la norme), la situation nécessite une attention particulière. La variation de la concentration de NH₃ à l'intérieure de la salle, sur ces deux sites, ne semble pas suivre un patron particulier qui pourrait être associé avec des activités prenant place à l'intérieur de la salle.

Toujours durant la période hivernale, l'air entrant dans les salles évaluées est relativement peu chargé en gaz et il semble y avoir une bonne circulation de l'air à l'intérieur de ces salles. En effet, les valeurs de concentration gazeuses à l'entrée d'air au tableau 23 sont faibles et sont du même ordre de grandeur que la concentration de l'air ambiant dans un environnement agricole. Il n'y a que le site no. 1 où les concentrations sont plus élevées que les autres et cela est

probablement dû au fait que l'entrée d'air de la salle était 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 pièce et à la sortie de la salle sont similaires.

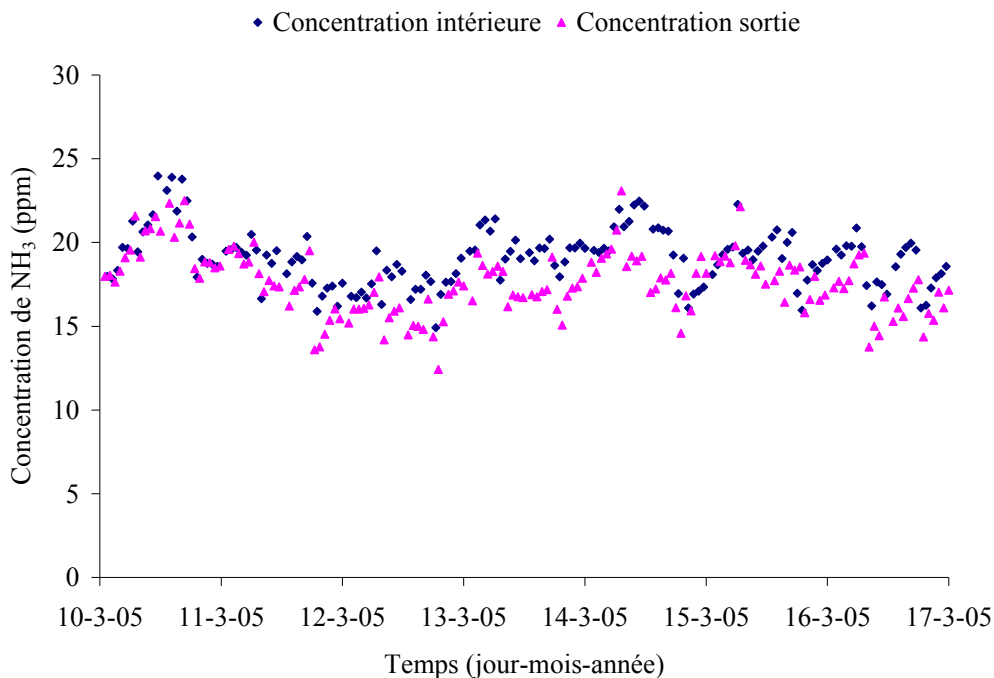


Figure 15. Concentrations en NH_3 sur le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005

Tableau 23. Concentration des différents gaz pour la période d'hiver

Site (s.u.)	Point (s.u.)	Concentration des gaz (ppm)									
		NH_3		H_2S		CO_2		CH_4		N_2O	
		moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.
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

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

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 en hiver, tous sites confondus, est de 2,5 ppm. Les concentrations moyennes sont plus près de 0,1 ppm. La concentration de CO₂ ne représente, elle aussi, pas un risque pour le travailleur. En effet, la valeur moyenne de concentration est de 1679 à 2325 ppm pour le centre des salles. Ces valeurs sont typiques de bâtiments d'élevages sous des conditions hivernales (Lavoie et Pigeon, 2001; Lavoie *et al.*, 1995 ; Choinière et Munroe, 1993 ; Donham et Gustafson, 1982). Finalement, les concentrations de CH₄ et de N₂O sont en moyenne de 8,4 et de 0,4 ppm, respectivement. Il n'y a donc aucun risque pour la santé des travailleurs pouvant être relié à ces concentrations de gaz. L'allure générale des concentrations des autres gaz pour la période hivernale peut être consultée à annexe A.

Durant les essais de la période estivale, les concentrations gazeuses 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 no. 1 (figure 16).

Les concentrations moyennes de H₂S, CO₂, CH₄ et de N₂O suivent la même tendance que les concentrations de NH₃ (tableau 24). Leurs concentrations moyennes, tous les sites confondus, sont de 0,2, 846, 4,3 et 0,4 ppm, respectivement, et elles varient en fonction du débit de ventilation. Ces valeurs sont toutes largement inférieures aux VEMP, qui sont respectivement de 10 ppm pour le H₂S, de 5000 ppm pour le CO₂ et de 50 ppm pour le N₂O. Enfin, tout comme pour la période hivernale, la concentration des différents gaz au centre de la salle est similaire à celle à la sortie. Une fois de plus, cela signifie que le mélange de l'air à l'intérieur de la salle se fait correctement.

Des figures décrivant l'allure de la concentration des différents gaz ainsi qu'un tableau illustrant l'ensemble des valeurs obtenues durant la période du printemps sont disponibles à l'annexe A.

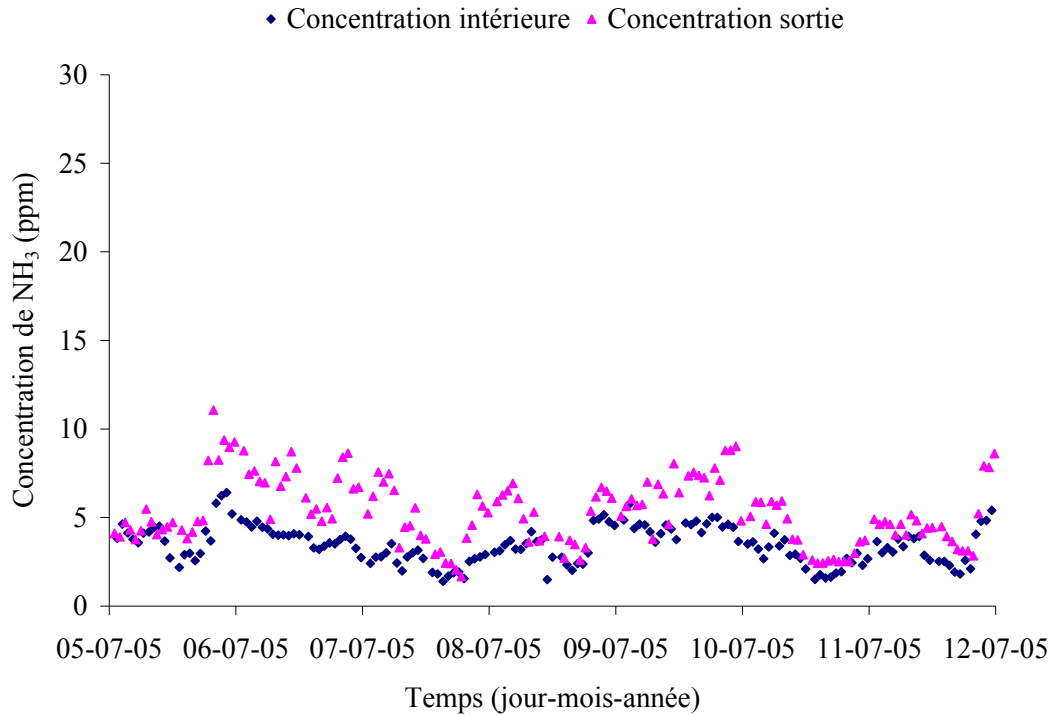


Figure 16. Concentrations en NH_3 sur le site no. 1 entre le 5 et le 12 juillet 2005

Émissions gazeuses

Les émissions de NH_3 sont plus élevées en hiver qu'en été. En effet, pour le site no. 1, elles sont de $2,6 \text{ mg h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ en hiver et de $1,9 \text{ mg h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ en été (tableau 25). Normalement, les émissions de NH_3 devrait croître en même temps que la température intérieure des salles. Les émissions de CO_2 tendent également à diminuer au fur et à mesure que la température augmente. Puisque le CO_2 est principalement produit par la respiration des animaux, son émission devrait croître au même rythme que l'accroissement des pertes de chaleur des animaux. De ce fait, il devrait avoir une bonne corrélation entre les émissions de CO_2 et le débit de ventilation. Il semble donc qu'il y ait un problème dans l'évaluation des émissions provenant des bâtiments, particulièrement pour le site no. 1 où l'on soupçonne une contamination provenant des sortie d'air d'une autre section du bâtiment.

Tableau 24. Concentrations des différents gaz pour la période d'été

Site (s.u.)	Point (s.u.)	Concentration des gaz (ppm)									
		NH_3		H_2S		CO_2		CH_4		N_2O	
		moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.
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

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

Tableau 25. Émissions des différents gaz pour les différentes périodes

Saison	Site (s.u.)	Émissions de gaz ($mg\ h^{-1}\ kg^{-1}$)									
		NH_3		H_2S		CO_2		CH_4		N_2O	
		moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.
Hiver	1	2,6	0,5	0,03	0,05	487	107	0,4	0,2	0,01	0,04
	2	4,2	0,6	0,12	0,14	1138	178	1,4	0,4	0,02	0,04
	3	5,1	0,9	0,11	0,07	1342	284	1,7	0,6	0,02	0,04
Printemps	1	1,8	0,6	0,09	0,07	473	98	0,4	0,2	0,01	0,01
	2	1,0	0,4	0,13	0,18	929	319	0,6	0,4	0,03	0,02
Été	1	1,9	0,8	0,06	0,11	390	153	0,5	0,8	0,04	0,10
	3	3,6	2,6	0,07	0,05	429	276	0,6	0,4	0,02	0,02

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

Des graphiques permettant de voir l'allure des émissions évaluées pour les différents gaz et pour un des sites visités sont disponibles à l'annexe A.

Microbiologie

Les résultats des analyses microbiologiques apparaissent aux tableaux 26 à 28 pour les saisons d'hiver, de printemps et d'été, respectivement.

Tableau 26. Dénombrement des *E. coli* par la méthode Petrifilm™ et détection de *E. coli* et des salmonelles par enrichissement conventionnel lors des mesures en hiver.

Site (s.u.)	Date (jj/mm/aa)	Type (s.u.)	Débit moyen (L min ⁻¹)		Dénombrement de microorganismes					
					Type					
					<i>E. coli</i> (UFC m ⁻³) ^A		<i>E. coli</i> enrichissement		Salmonelles enrichissement	
1	08/02/05	air	12,50	12,25	< ^B	< ^B	N/A	N/A	Nég	Nég
1	08/02/05	air	12,50	12,25	< ^B	< ^B	N/A	N/A	Nég	Nég
1	08/02/05	air	11,50	12,00	< ^B	< ^B	N/A	N/A	Nég	Nég
1	08/02/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Positif	
1	14/02/05	air	12,00	11,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	14/02/05	air	12,00	12,00	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	14/02/05	air	12,25	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	21/02/05	air	12,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
2	21/02/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
2	21/02/05	air	12,50	12,50	20	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
2	21/02/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
2	02/03/05	air	12,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	02/03/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
2	02/03/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	08/03/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
3	08/03/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	08/03/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	08/03/05	lisier préfosse ^C	N/A		N/A		N/A		Nég	
3	15/03/05	air	11,75	11,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	15/03/05	air	11,75	11,75	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
3	15/03/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég

s.u. : sans unité; jj : jour; mm : mois; aa : année; UFC : unité formatrice de colonie.

A : Le dénombrement a été effectué en duplicata. Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne des deux résultats obtenus.

B : La valeur obtenue est inférieure à la limite de détection.

C : L'échantillon de lisier contenait de la glace (préfosse extérieure).

Tableau 27. Dénombrement des *E. coli* par la méthode Petrifilm™ et détection de *E. coli* et des salmonelles par enrichissement conventionnel lors des mesures au printemps.

Site (s.u.)	Date (jj/mm/aa)	Type (s.u.)	Débit moyen (L min ⁻¹)		Dénombrement de microorganismes					
					<i>E. coli</i> (UFC m ⁻³) ^A		<i>E. coli</i> enrichissement		Salmonelles enrichissement	
1	26/04/05	air	11,75	11,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	26/04/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	26/04/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	26/04/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
1	03/05/05	air ^C	12,75	12,50	< ^B	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
1	03/05/05	air	12,50	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
1	03/05/05	air	11,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	10/05/05	air	11,75	11,75	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
2	10/05/05	air	10,50	10,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	10/05/05	air	12,25	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	10/05/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
2	17/05/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
2	17/05/05	air	11,00	11,00	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
2	17/05/05	air	12,50	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/05/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/05/05	air	12,25	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/05/2005	air	12,25	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/05/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
3	30/05/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/05/05	air	12,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/05/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/05/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	

s.u. : sans unité; jj : jour; mm : mois; aa : année; UFC : unité formatrice de colonie.

- A : Le dénombrement a été effectué en duplicata. Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne des deux résultats obtenus.
- B : La valeur obtenue est inférieure à la limite de détection.
- C : Les raclettes ont fonctionné pendant l'échantillonnage.

Tableau 28. Dénombrement des *E. coli* par la méthode Petrifilm™ et détection de *E. coli* et des salmonelles par enrichissement conventionnel lors des mesures en été.

Site (s.u.)	Date (jj/mm/aa)	Type (s.u.)	Débit moyen (L min ⁻¹)		Dénombrement de microorganismes					
					Type		<i>E. coli</i> (UFC m ⁻³) ^A		<i>E. coli</i> enrichissement	
1	05/07/05	air ^C	12,50	12,75	< ^B	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
1	05/07/05	air	12,50	12,50	10	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
1	05/07/05	air	12,50	12,00	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	05/07/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Positif	
1	11/07/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	11/07/05	air	12,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
1	11/07/05	air	12,75	12,75	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	19/07/05	air ^D	12,00	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	19/07/05	air	12,25	12,00	< ^B	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
2	19/07/05	air	12,50	12,00	< ^B	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
2	19/07/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
2	26/07/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
2	26/07/05	air ^D	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
2	26/07/05	air	12,50	12,25	< ^B	< ^B	Positif	Positif	Nég	Nég
3	01/08/05	air	12,75	12,25	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
3	01/08/05	air	12,25	11,50	< ^B	< ^B	Nég	Positif	Nég	Nég
3	01/08/05	air	12,25	12,00	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	08/08/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
3	08/08/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
3	08/08/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	08/08/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	
3	23/08/05	air	12,50	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/08/05	air	12,00	12,50	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	23/08/05	air ^C	11,75	12,00	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/08/05	air	12,00	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/08/05	air	11,75	12,25	< ^B	< ^B	Nég	Nég	Nég	Nég
3	30/08/05	air	12,25	12,25	< ^B	< ^B	Positif	Nég	Nég	Nég
3	30/08/05	lisier préfosse	N/A		N/A		N/A		Nég	

s.u. : sans unité; jj : jour; mm : mois; aa : année; UFC : unité formatrice de colonie.

A : Le dénombrement a été effectué en duplicata. Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne des deux résultats obtenus.

B : La valeur obtenue est inférieure à la limite de détection.

C : Les raclettes ont fonctionné pendant l'échantillonnage.

D : Nettoyage des planchers pendant l'échantillonnage

Malgré que *Salmonella spp* ait été détectée dans la préfosse de deux élevages, cette bactérie n'a pas été retrouvée dans l'air. La présence de *E. coli*, utilisée comme microorganisme indicateur, a été observée à quelques reprises après enrichissement dans l'air. Lorsque le dénombrement fut possible (2 échantillons), les concentrations étaient faibles.

La présence d'entérobactéries dans l'air des bâtiments à l'étude semble donc plutôt rare. Il est d'ailleurs reconnu que, de façon générale, la survie des bactéries à gram négatif, telles que *E. coli* et *Salmonella*, est plutôt courte (Wilson *et al.*, 2002; Zucker et Miller, 1998). La présence de bactéries à gram négatif n'est d'ailleurs pas un bon indicateur des niveaux d'endotoxines pouvant être trouvés dans l'air des bâtiments d'élevage (Zucker et Miller, 1998). Il est toutefois nécessaire de tenir compte du fait que les bactéries à gram négatif pourraient entrer dans un état viable mais non cultivable lorsque présentes dans l'air (Wilson *et al.*, 2002). Il est alors impossible de les détecter par des méthodes de culture conventionnelles. Des études futures sur le sujet en utilisant des méthodes de biologie moléculaire pourraient être utiles.

Bioaérosols

Bactéries totales

Les concentrations moyennes de bactéries totales du tableau 29 (de l'ordre de 10^5 UFC m^{-3} d'air) sont, du moins en hiver, équivalentes à celles mesurées dans d'autres bâtiments d'élevage tels les porcheries (Lavoie *et al.*, 2005; Goyer *et al.*, 2001; Lavoie et Pigeon, 2001; Zuskin *et al.*, 1992; Cormier *et al.*, 1990). Au printemps, pour les sites no. 2 et no. 3, et en été, pour les trois fermes, les concentrations moyennes de bactéries totales sont beaucoup plus faibles. Elles sont de deux à trois ordres de grandeurs plus faibles que celles mesurées en hiver, ce qui est inférieur à la valeur guide de 10 000 UFC m^{-3} d'air recommandé en agriculture et dans les métiers de l'environnement (Goyer *et al.*, 2001; Lavoie et Pigeon, 2001). En été, les concentrations variant de 70 ($\pm 1,0$) à 105 (± 16) UFC m^{-3} d'air de bactéries s'apparentent beaucoup plus à un édifice à bureaux bien entretenu. À notre connaissance, c'est la première fois que des concentrations aussi faibles de bactéries totales sont mesurées dans des bâtiments d'élevage, même en été.

Tableau 29. Concentrations moyennes des bactéries

Site (s.u.)	Concentration moyennes des bactéries (UFC m ⁻³)								
	Hiver			Printemps			Été		
	n	moy.	e.t.	n	moy.	e.t.	n	moy.	e.t.
1	6	325 670	136 220	6	142 850	76 890	6	100	20
2	6	267 560	31 370	4	5 060	920	6	70	0,9
3	6	187 500	59 600	6	7 800	2 510	6	105	16

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type ; UFC : unité formatrice de colonie.
La valeur guide est de 10 000 UFC/m³ (Goyer *et al.*, 2001)

Les émissions de bactéries sont présentées au tableau 30. Il est intéressant de constater que les taux d'émissions du site 1 pour l'hiver et le printemps sont très élevés lorsque comparés aux deux autres. Ces émissions élevées tendent à confirmer encore plus la contamination de l'air par le bâtiment situé juste à côté de ce site. De fait, pendant l'hiver et au printemps, la seule source d'air frais étant la prise d'air en haut du mur extérieur du corridor de préchauffe (figure 3), la contamination du site se trouve influencée par l'air provenant du corridor adjacent.

Tableau 30. Émissions moyennes des bactéries

Site (s.u.)	Émissions moyennes des bactéries (UFC h ⁻¹ kg ⁻¹)		
	Hiver moy.	Printemps moy.	Été moy.
1	121105	112897	71
2	83717	9216	N/A
3	79984	N/A	94

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; UFC : unité formatrice de colonie.

Endotoxines

En hiver, les endotoxines sont semblables aux valeurs guides pour ces substances (tableau 31). Au printemps et en été, elles sont en majorité plus faibles que ces dernières. Ces concentrations rejoignent celles mesurées par Zucker et Muller (1998) dans des fermes de veaux de lait. Habituellement, dans les porcheries, les concentrations d'endotoxines sont de l'ordre de 10⁴ UE m⁻³ d'air (Lavoie *et al.*, 2005; Goyer *et al.*, 2001; Lavoie et Pigeon, 2001). Il s'agit donc encore une fois d'un environnement de travail beaucoup plus propre que ceux d'autres productions. Les émissions d'endotoxines sont présentées au tableau 32.

Tableau 31. Concentrations moyennes des endotoxines

Site (s.u.)	Concentration moyennes des endotoxines (UE m ⁻³)								
	Hiver			Printemps			Été		
	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>N</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>
1	6	190	50	5	70	15	6	21	10
2	5	360	110	6	40	10	6	5	2,1
3	6	285	50	6	30	10	6	210	42

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type ; UE : unité d'endotoxine.

La valeur guide est entre 50 et 300 UE m⁻³.

Tableau 32. Émissions moyennes des endotoxines

Site (s.u.)	Émissions moyennes des endotoxines (UE h ⁻¹ kg ⁻¹)		
	Hiver	Printemps	Été
	<i>moy.</i>	<i>moy.</i>	<i>moy.</i>
1	71	55	15
2	113	73	N/A
3	122	N/A	188

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; UFC : unité d'endotoxines.

Moisissures

Les concentrations moyennes de moisissures sont, au printemps et en été, du même ordre de grandeur que celles retrouvées dans l'air extérieur (Goyer *et al.*, 2001; tableau 33). Les concentrations de moisissures ne semblent pas être affectées par l'élevage des veaux de lait étant donné que la source principale de moisissures est l'air extérieur durant les saisons sans couvert de neige (ACGIH, 1999). Cependant, pour le site no. 3 où les concentrations moyennes sont relativement élevées en hiver (1150 UFC m⁻³), elles peuvent être expliquées par la possible présence de foyers de prolifération provenant du toit de la ferme, fabriqué de contreplaqué recyclé provenant d'un autre bâtiment. Les émissions de moisissures sont présentées au tableau 34.

Tableau 33. Concentrations moyennes des moisissures

Site (s.u.)	Concentration moyennes des moisissures (UFC m ⁻³)								
	Hiver			Printemps			Été		
	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>
1	6	300	220	6	1 250	210	6	1 870	1 050
2	6	100	8	6	1 900	730	6	6 030	1 200
3	6	1 150	590	6	3 210	600	6	3 510	690

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type ; UFC : unité formatrice de colonie.

Tableau 34. Émissions moyennes des moisissures

Site (s.u.)	Émissions moyennes des moisissures (UFC h ⁻¹ kg ⁻¹)		
	Hiver moy.	Printemps moy.	Été moy.
1	112	988	1337
2	31	3461	N/A
3	491	N/A	3136

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; UFC : unité formatrice de colonie.

Poussières

Les concentrations moyennes de poussières totales sont toutes inférieures à 10% de la norme du RSST (2001) pour des expositions de 8 h de travail (tableau 35). Ces valeurs rejoignent celles mesurées dans des études sur les fermes de veaux de lait (Takai *et al.*, 1998). Dans les bâtiments d'élevage comme les porcheries, les concentrations de poussières totales peuvent varier de 1,6 à 8,8 mg m⁻³ (Lavoie et Pigeon, 2001; Cormier *et al.*, 1990; Donham, 1990; Donham *et al.*, 1989; Donham et Gustafson, 1982). La gestion liquide de la nourriture permet donc de démontrer l'efficacité de cette dernière sur la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage des veaux de lait.

Tableau 35. Concentrations moyennes des poussières

Site (s.u.)	Concentration moyennes des poussières (mg m ⁻³)								
	Hiver			Printemps			Été		
<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>N</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>n</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	
1	12	0,12	0,03	12	0,08	0,05	12	0,06	0,03
2	12	0,17	0,05	12	0,06	0,02	12	0,05	0,01
3	12	0,02	0,03	12	0,07	0,03	12	0,08	0,03

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type ; UFC : unité formatrice de colonie.
La VEMP est de 10 mg m⁻³.

Applicabilité des résultats à la ferme

Selon les résultats obtenus lors des campagnes d'échantillonnage sur les différentes fermes évaluées, les principaux paramètres qui devraient être améliorés sont la concentration en ammoniac et l'humidité relative présentes dans les salles. En effet, la concentration en NH_3 devrait idéalement se maintenir sous la moitié de la valeur de la VEMP (25 ppm) alors que l'humidité relative ne devrait pas dépasser 60% tout au long de l'année.

Le premier élément à considérer afin de diminuer la concentration de NH_3 concerne le design des bâtiments. Une mauvaise conception amène parfois certaines entrées d'air à être situées trop près de la sortie d'air des salles voisines. Cela fait en sorte que l'air entrant dans ces salles est déjà chargé en gaz. En s'assurant que les entrées d'air sont suffisamment éloignées des sorties de la ventilation, on s'assure de diminuer la concentration des gaz, dont le NH_3 , à l'intérieur des salles.

Ensuite, une modification du débit minimum de ventilation permettrait de diminuer l'humidité relative et, par le fait même, les concentrations des gaz à l'intérieur des salles. Il suffit de mesurer l'humidité relative à l'intérieur des salles à intervalles réguliers (1 à 2 fois par jour) pendant une période de deux à trois semaines. L'humidité relative se mesure à l'aide d'un hygromètre que l'on peut retrouver pour moins de 200\$ chez les vendeurs d'équipement de laboratoire. Lorsque la valeur lue est supérieure à 65%, la vitesse de rotation minimum devra être augmentée. Une augmentation de 3 à 5% de la vitesse de rotation devrait être appliquée avant de vérifier de nouveau l'humidité relative dans la salle. Cette opération devrait être répétée jusqu'à ce que la valeur de la lecture de l'humidité relative soit en dessous de 65%. Se faisant, il faut également s'assurer que la température de la salle ne descend jamais sous les valeurs recommandées (18 à 21°C en début de cycle et 10 à 21°C en fin de cycle). Si les bâtiments ont été correctement conçus, les systèmes de chauffage devraient être suffisamment puissants pour maintenir une température intérieure suffisante malgré l'augmentation de la vitesse de rotation minimum des ventilateurs. Il suffira d'apporter une attention particulière 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 température de salle légèrement réduite et un taux d'humidité relative légèrement supérieur aux recommandations.

Enfin, certains contrôleurs de ventilation peuvent tenir compte de l'humidité relative dans leurs paramètres. 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.

Conclusions

La qualité de l'air dans les étables à veaux de lait a été étudiée. Une revue de littérature a permis de déterminer les niveaux maximums des éléments nocifs présents dans l'air ainsi que l'impact que peut avoir cette contamination de l'air sur les travailleurs. La qualité de l'air a ensuite été caractérisée à l'intérieur de trois bâtiments d'élevage de veaux de lait ayant des systèmes de ventilation différents. Les essais se sont déroulés durant des conditions d'hiver, de printemps et d'été et avait pour but de déterminer le risque pour les travailleurs relié à l'air présent dans les bâtiments.

À la suite de l'analyse des résultats, il peut être conclu 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. La température à l'intérieur est correctement contrôlée même durant des températures extérieures très chaudes. L'humidité relative est cependant supérieure aux recommandations, et ce, en hiver comme en été. Parmi les gaz mesurés, l'ammoniac est le seul à atteindre des concentrations près de la limite recommandée pour la santé humaine, mais il n'est en aucun cas supérieur à cette valeur. Les autres gaz sont bien contrôlés. Les concentrations de microorganismes, de bioaérosols au printemps et en été et de poussières sont très faibles et ne constituent pas un risque pour les travailleurs. Finalement, l'utilisation de la méthode des gaz traceurs pour évaluer les débits de ventilation semble la plus fiable.

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 et de bactéries totales, pendant l'hiver, dans les bâtiments.

Bibliographie

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1999. *Bioaerosols. Assessment and Control*. Cincinnati, Ohio, 322 p.
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 2003. *ASAE Standards*. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA. 826 pages.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 1993. *Standard Test Methods for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*. Designation E 741 – 93. American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 1-16, 1993.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, inc. (ASHREA), 1992. *Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement*, American Society of Heating, ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (RA 92), Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc, Atlanta ISSN 1041-2336.
- American Thoracic Society, 1998. *Supplement of the American Thoracic Society : Respiratory Health Hazards in Agriculture*. *Am J Respir Care Med.*, 158 (5, part 2) : s1-s76.
- Arogo, J., P. W. Westerman, A. J. Heber, W. P. Robarge, J. J. Classen, 2001. *Ammonia in Animal Production – A Review*. Proceedings of the 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento Convention Center, Sacramento, California, USA. Publication no. 01-4089.
- Barrington, S., 2001. *Technologies to Address Environmental Issues*. London Swine Conference – The pork Industry and Public Issues. 5-6 April 2001. London, Ont., Canada.
- Bates, D. W., 1974. *Future direction of dairy cattle environment research and needs for additional knowledge*. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium. Publication no. (SP-0174), reprint : 74.
- Bicudo, J. R., K. A. Janni, L. D. Jacobson, D. R. Schmidt, 2003. *Odor and hydrogen sulfide emission from a dairy manure storage*. Proceedings of the 29-31 January 2003 Conference, Fifth International Dairy Housing, ed. Kevin Janni, janvier 2003. Publication no. 29(701P0203).

- Breurec, J.Y., Valancony, F., Blevin, A., Baert, D., Charles, Y., Arzel, J.C., Presle, J., P. Curtes, 1999. Carbon Monoxide Poisoning among Poultry Breeders. *Indoor and Built Environment*, 8:193-198.
- Brevick, I. J., G. H. Tenpas, H. J. Larsen, 1973. Cold housing for dairy calves. *Amer. Soc. Agr. Eng. Publication no. 73-4554*.
- Canadian Center for Occupational Health and Safety (CCOHS), 2005. CHEMINFO database. Canada's National Occupational Health and Safety Resource. Canada Centre for Occupational Health and Safety. Disponible en ligne : <http://ccinfoweb.ccohs.ca/chempendium/search.html>
- Centers for Disease Control, 1992. Prevention and control of tuberculosis in migrant farm workers : recommendations of the Advisory Council for the Elimination of Tuberculosis. Report ID. M.M.W.R. 41 (No. RR-10).
- Choinière, Y., 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.
- Clark , P.C., J. B. McQuitty, 1987. Air Quality in six Alberta commercial free-stall dairy barns. *Canadian Engineering Agriculture*, 29 : 77-80.
- Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST), 2004. Règlement sur la santé et la sécurité du travail - Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1, a.223, 1er al., par. 1o, 3o, 4o, 7o et 16o, 18o et 21.1o, 41o et 42o, 2e al. et 3e al.). CSST, Québec, Canada. Disponible en ligne : <http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publications/RSST.htm>
- Commission internationale du génie rural (CIGR), 2002. Report of working group on climatization of animal houses. Research centre Bygholm, Danish institute of agricultural science, P.O. Box 536, DK-8700, Horsen, Dannemark. 45 pages.
- Cormier, Y., G. Tremblay, A. Mériaux, G. Brochu, J. Lavoie, 1990. Airborne Microbial Contents in Two Types of Swine Confinement Buildings in Quebec. *American Industrial Hygiene Association Journal* 51 : 304-309.
- CRAC, 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/Code%20of%20Practice%20-20Veal%20Calves%20 French.pdf](http://www.carc-crac.ca/common/Code%20of%20Practice%20-20Veal%20Calves%20French.pdf)

Donham, K., 2005. Livestock Confinement. [en ligne] : <http://turva.me.tut.fi/iloagri/stock/5.htm>

Donham, K. J., D. Cumro, S. J. Reynolds, J. A. Merchant , 2000. Dose-response relationships between occupational aerosols exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers: recommendations for exposure limits. *Journal of Occupational and environmental Medicine*, 42 : 206-209.

Donham, K., 1990. Health Effects from Work in Swine Confinement Buildings. *American Journal of Industrial medicine* 17 : 17-25.

Donham, K., P. Haglund, Y. Peterson, R. Rylander, L. Belin 1989. Environmental and health Studies of Farm Workers in Swedish Swine Confinement Buildings. *British Journal of Industrial Medicine* 46 : 31-37.

Donham, K., K. E. Gustafson, 1982. Human Occupational Hazard from Swine Confinement. *Annals of her American Conference of Governmental Industrial Hygienists* 2 : 137-142.

Duchaine, C, P. S Thorne, A. Meriaux, Y. Grimard, P. Whitten,, Y. Cormien, 2001. Comparison of endotoxin exposure assesment by aerosol impinger and filter sampling methods. *Applied Envir. Microbiol*, 67(6) : 2775.

Elzing, A. et G. J. Monteny, 1997. Modeling and Experimental Determination of Ammonia Emissions Rates from a Scale Model Dairy-Cow House. *Transactions of the ASAE*, 40(3) : 721-726.

Environnement Canada, 2002. Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2000. Division des gaz à effet de serre – Environnement Canada, juin 2002. Disponible en ligne : www.ec.gc.ca/pdb/ghg/1990_00_report/appa7_f.cfm.

European Commission (EC), 2004. Legislation – Directives by theme. Health and Safety at Work, Employment and Social Affairs, European Commission. Disponible en ligne : http://europa.eu.int/comm/employment_social/health_safety/legislation3_en.htm

Gouvernement de l'Ontario, 2004. Review of Occupational Exposure Limits in Ontario : Current Exposure Limits. Ministère du travail, Gouvernement de l'Ontario. Disponible en ligne : http://www.gov.on.ca/lab/english/hs/oels/current_limits.html

- 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, C. M. Wathes, 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. Agric. Engng. Res.*, 70 : 79-95.
- 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, C. M. Wathes, 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. Agric. Engng. Res.*, 70 : 79-95.
- Haartsen, P. I., 1967. Cows poisoned by dung gases. *Farm Buildings (London)*, 15 : 21.
- Hartung, J., V. R. Phillips, 1994. Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Store. *J. Agric. Engng. Res.* 57, 173-189.
- Heederick, D. et Dowes, J. (1997) Towards an occupational exposure limit for endotoxins. *Annals of Agricultural and Environmental medicine.* 4 : 17-19.
- Hilhorst, M. A., H. C. Willers, C. M. Groenestein, G. J. Monteny, 2001. Effective Strategies to Reduce Methane Emissions from Livestock. 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento Convention Center, Sacramento, É.-U., 30 juillet-1 Août 2001. Publication no. 01-4070, 10pp.
- Hillman, P., K. Gebremedhin, R. Warner, 1992. Ventilation System to Minimize Airborne Bacteria, Dust, Humidity, and Ammonia in Calf Nurseries. *J Dairy Sci.*, 75 : 1305-1312.
- Hudek, E. P., 1969. A slotted floor confinement system for beef. *Agr. Eng.*, 50 (4) : 217.
- Huis, J. W. H, G. J. Monteny, 2003. Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen (Methane emission deom cubicle housing for dairy cows. IMAG, Pays-Bas. IMAG Report 2003-01.
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST), 1999a. Dénombrement des bactéries et moisissures viables. . Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode no. 264-2, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 8 pages.

- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST), 1999b. Méthodes et guides d'étalonnage No 1. Méthode de laboratoire. Méthodes No 3B, 6A, 7B et 39A. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec.
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST), 1998. Analyse des endotoxines présentes dans l'air. Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode no. 332-1, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 8 pages.
- Koelsch, R. K., B. L. Woodbury, D. E. Stenberg, D. N. Miller,, D. D. Schulte, 2004. Total reduced sulfur concentrations in the vicinity of beef cattle feedlots. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (1) : 77-85.
- Kullman, G. J., P. S. Thorne, P. F. Waldron, J. J. Marx, B. Ault, D. M. Lewis, P. D. Siegel, S. A. Olenchock, J. A. Merchant, 1998. Organic dust exposures from work in dairy barns. *Am. Ind. Hyg. Assoc.*, 59 : 403-413.
- Kurvits, T., T. Martab, 1998. Agricultural NH₃ and NO_x emissions in Canada. *Environmental Pollution*, 102 (S1) : 187-194.
- Lavoie, J., D. Massé, F. Croteau, L. Masse, E. Topp, 2005. Evaluation of the Impact of Manure Additives on Worker Exposure and Odour Attenuation. *Journal of Food, Agriculture, Environment* 3 (2) : 257-266.
- Lavoie, J., S. Pigeon, 2001. Évaluation des agents chimiques et des bioaérosols dans une porcherie utilisant la technique d'élevage sur litière mince. *Travail et Santé* 17 : 28-31.
- Lavoie, J., G. Marchand, J.-Y. Drolet, 1995. Biological and Chemical Contamination of the Air in a Grower-finisher Pig Building using Deep-litter Systems. *Canadian Agricultural Engineering* 37(3):195-203.
- Martensson, L., M. Magnusson, Y. Shen,, J. Å. Jönsson, 1999. Air concentrations of volatile organic acids in confined animal buildings - determination with ion chromatography. *Agriculture Ecosystems, Environment*, 75 : 101-108.
- National Institute for Occupational Safety and health (NIOSH), 1981. Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards. NIOSH Publication No. 81-123. [en ligne]: <http://www.cdc.gov/niosh/81-123.html>

- Nordstrom, G.A., 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, Alberta, Canada.
- Noren, O., S. Sharp,, G. Aniansson, 1967. Manure gas problem. Circular no. 20. Swedish Institute of Agricultural Engineering (JTI), Ultuna, Uppsala 7, Sweden.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2004. Permissible Exposure Limits (PELS). Occupational Safety and Health Administration, U.S. Government of Labor. Disponible en ligne : <http://www.osha.gov/SLTC/pel/>
- O'Neil, D. H., V. R. Philip, 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings : Part 3, properties of odorous substances which have been identified in livestock wastes. *J. Agric. Engng Res.*, 53 : 23-50.
- Paquet, B., F. Fontaine, A. Éthier, B. Gingras, M. Legris, 2000. Faites la lumière sur les espaces clos. CSST, Direction des communications, Québec, Canada. ISBN : 2-550-35411-7.
- Patni, N. K., S. P. Clark, 1991. Transient hazardous conditions in animal buildings due to manure gas released during slurry mixing. *Applied Engineering in Agriculture*, 7 (4) : 478-484.
- Pedersen, S., H. Takai, J. O. Johnsen, J.H.M. Metz, P.W.G. Groot Koerkamp, 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, et C. M. Wathes, 1998. A Comparison of Three Balance Methods for Calculating Ventilation Rates in Livestock Buildings. *J. Agric. Engng Res.*, 70 : 25-37.
- Phillips, V. R., 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, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, R. Scholtens, J. H. M. Metz, C. M. Wathes, 1998. The Development of Robust Methods for Measuring Concentrations and Emission Rates of Gaseous and Particulate Air Pollutants in Livestock Buildings. *J. Agric. Engng Res.*, 70 : 11-24.
- Seedorf, J., J. Hartung, M. Schröder, K. H. Linkert, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, C. M. Wathes, 1998. Concentrations and Emissions of Airborne Endotoxins and Microorganisms in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. Agric. Engng Res.*, 70 : 97-109.

- Sheffield, R. E., M. Thompson, 2004. Odor Assessments of Idaho Livestock Farms. 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting. Fairmont Chateau Laurier, The Westin, Government Centre, Ottawa, Ontario, Canada 2004. Publication no. 044123.
- Taiganides, E. P, R. K. White, 1969. The menace of noxious gases in animal units. Transactions of the ASAE, 12 : 359-362.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, 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, C. M. Wathes, 1998. Concentrations and Emissions of Airborne Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. J. Agric. Engng Res., 70 : 59-77.
- Thorne, P. S., S. I. Reynolds, D. K. Milton, P. D. Bloebaum, X. Zhang, P. Whitten, L. F. Burmeister, 1997. Field evaluation of endotoxin air sampling assay methods. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 58 : 792-799.
- U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA), 2004. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Disponible en ligne : <http://epa.gov/air/criteria.html>.
- United Nation (UN), 2005. Kyoto Protocol. United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponible en ligne: http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/2830.php
- vanVliet, L. J. P., N. K. Patni, Md. A. Matin, 2004. GHG Emissions from Manure in a Naturally Ventilated, Freestall Dairy Barn, Comparing sand and Sawdust Bedding. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper no. 044161, Ottawa.
- vanVliet, L. J. P., N. Patni, 2003. Dairy Cattle Manure Management : implications for gaseous emissions. Component no. 4 GHG Emissions, of project : Reduction of GHG Emissions from Dairy Production Systems and Poultry Manure and its Impacts on Agricultural Sustainability. Final Report for Climate Change Funding Initiative in Agriculture (CCFIA). Technical Report no. 71. December 2003. PARC, Agassiz, BC, Canada.
- vanWicklen, G. L., 1982. Aerosol generation and removal mechanisms in an enclosed barn. PhD Diss., Cornell Univ., Ithaca, NY.
- Veau de grain veau de lait (2003). La nature on en mange 1(4) :11-12.

- Wathes, C. M., 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, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, J. H. M. Metz, V. Caspary,, S. Linke, 1998. Emissions of Aerial Pollutants in Livestock Buildings in Northern Europe : Overview of a Multinational Project. *J . Agric . Engng Res.*, 70 : 3-9.
- Wheeler, E. F., R. E. Graves, L. L. Wilson, J. L. Smith, J. L. Shuffran, 2000. Winter Ventilation Case Study in three Veal Barns. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (1) : 67-76.
- Whittle, C.P., C.J. Waterford, P.C. Annis, H.J. Banks, 1994. The Production and Accumulation of Carbon Monoxide in Stored Dry Grain. *Journal of Stored Products research*, 30(30): 23-26.
- Wilson, S. C., J. Morrow-Tesch, D. C. Strauss, J. D.Cooley, W. C. Wong, F. M. Mitlohner, and J. J. McGlone, 2002. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (7) : 3238-3242.
- Zhu, J., L. Jacobson, D. Schmidt, R. Nicolai, 2000. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (2) : 153-158.
- Zucker, B-A., S. Trojan, W. Muller, 2000. Airborne Gram-Negative Bacterial Flora in animal Houses. *Journal of Veterinary Medecine*, B 47, 37-46.
- Zucker, B-A., W. Muller, 1998. Concentrations of Airborne Endotoxin in Cow and Calf Stables. *J. Aérosol Sci.*, 29 (1/2) : 217-221.
- Zuskin, E., E. N. Schachter, J. Mustajbegovic, J. Kern, 1992. Respiratory Symptoms and ventilatory capacity in Swine Confinement Workers. *British Journal of Industrial Medicine* 49 : 435-440.

Remerciements :

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ), la Fédération des producteurs de bovins du Québec (FPBQ), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Nos remerciements également aux trois fermes dans lesquelles l'étude a eu lieu et à Claude Létourneau de l'IRSST pour son travail technique.

Annexe A – Mesures des gaz

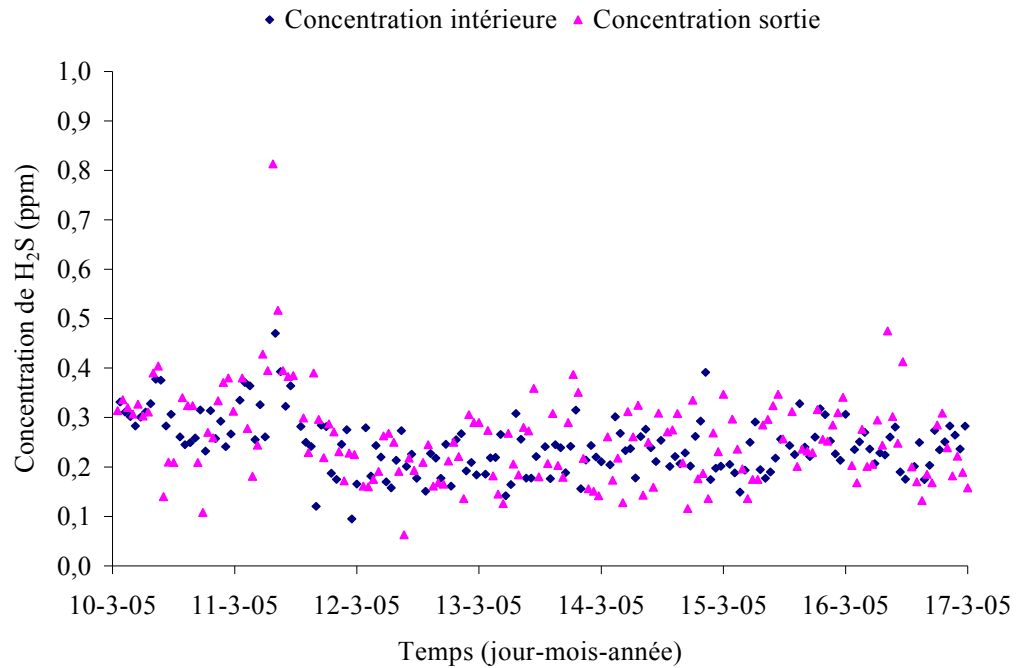


Figure A1. Concentrations en H₂S sur le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

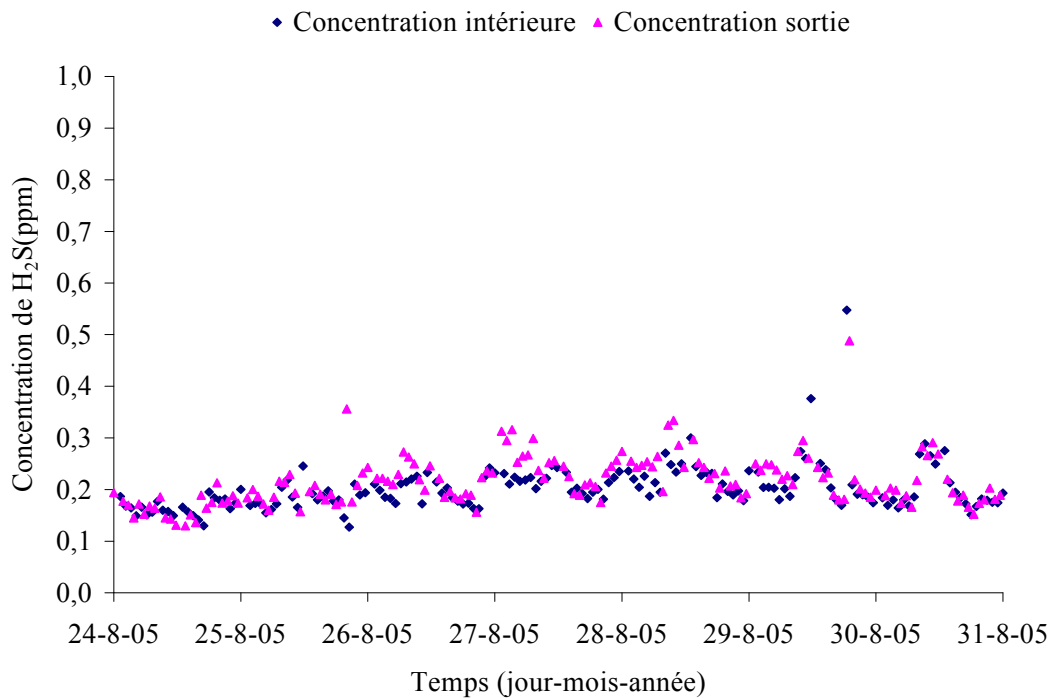


Figure A2. Concentrations en H₂S sur le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

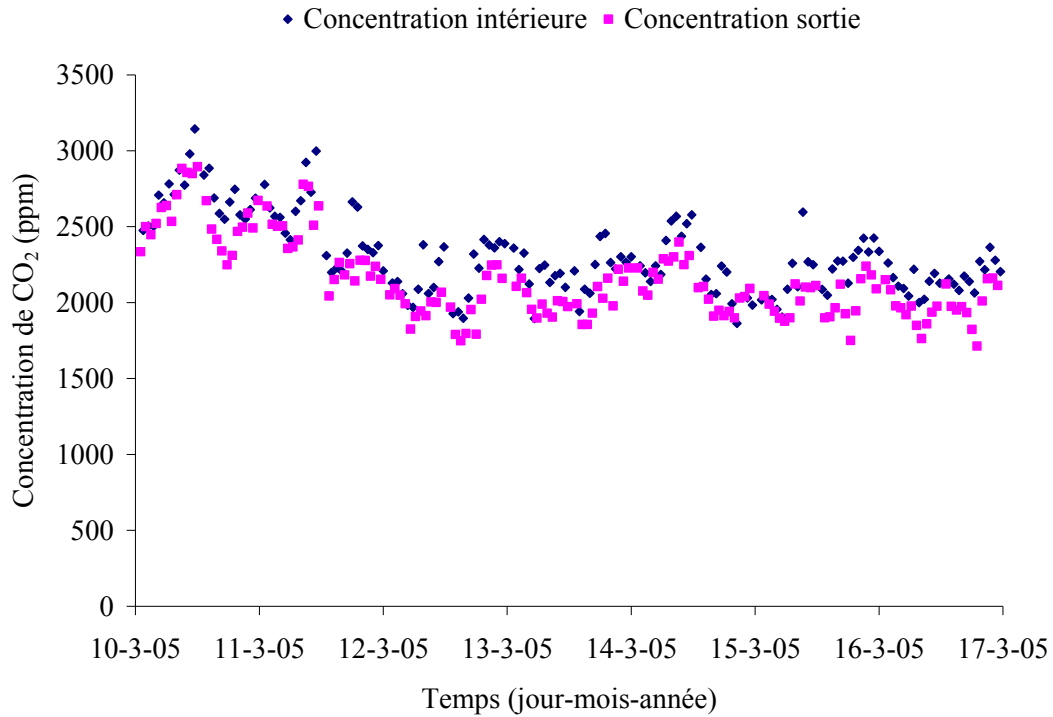


Figure A3. Concentrations en CO₂ sur le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

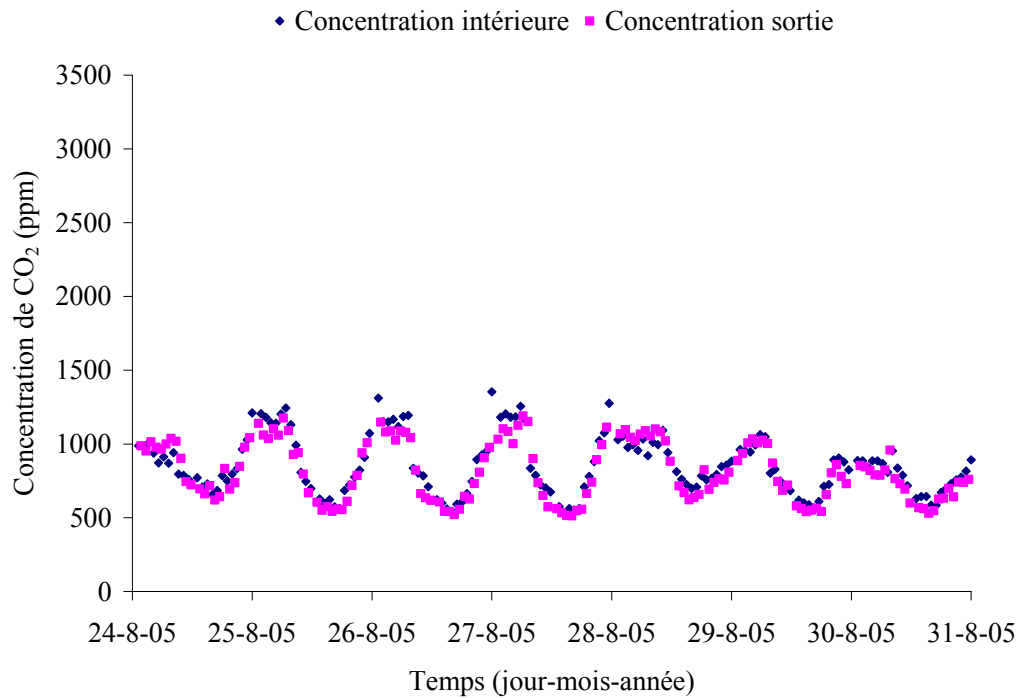


Figure A4. Concentrations en CO₂ sur le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

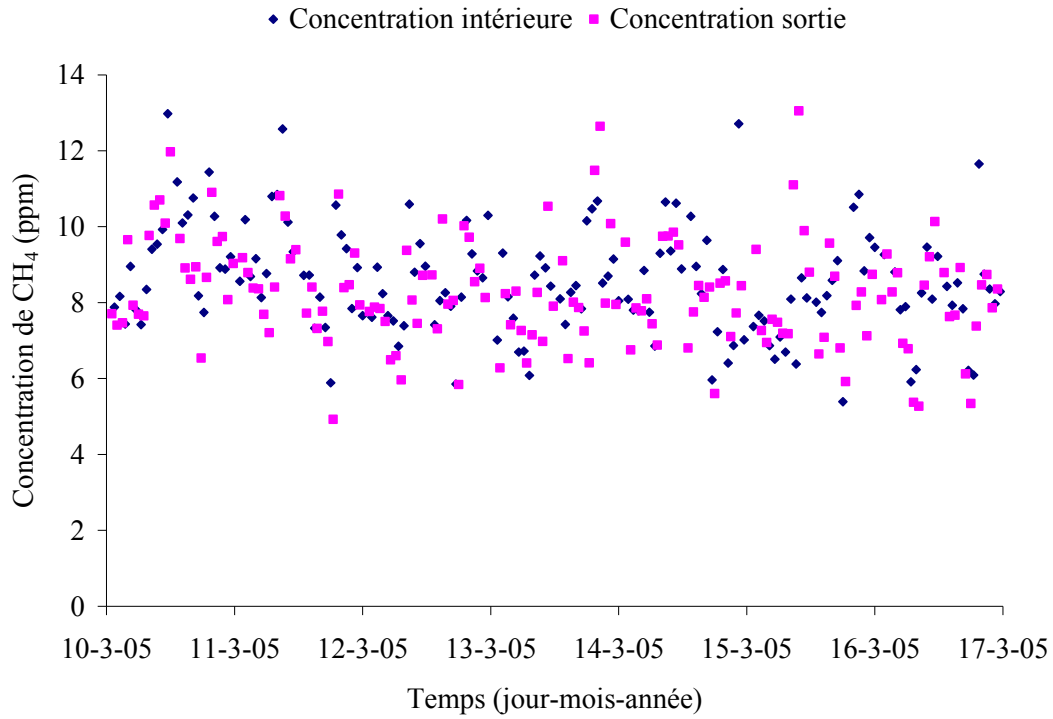


Figure A5. Concentrations en CH₄ sur le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

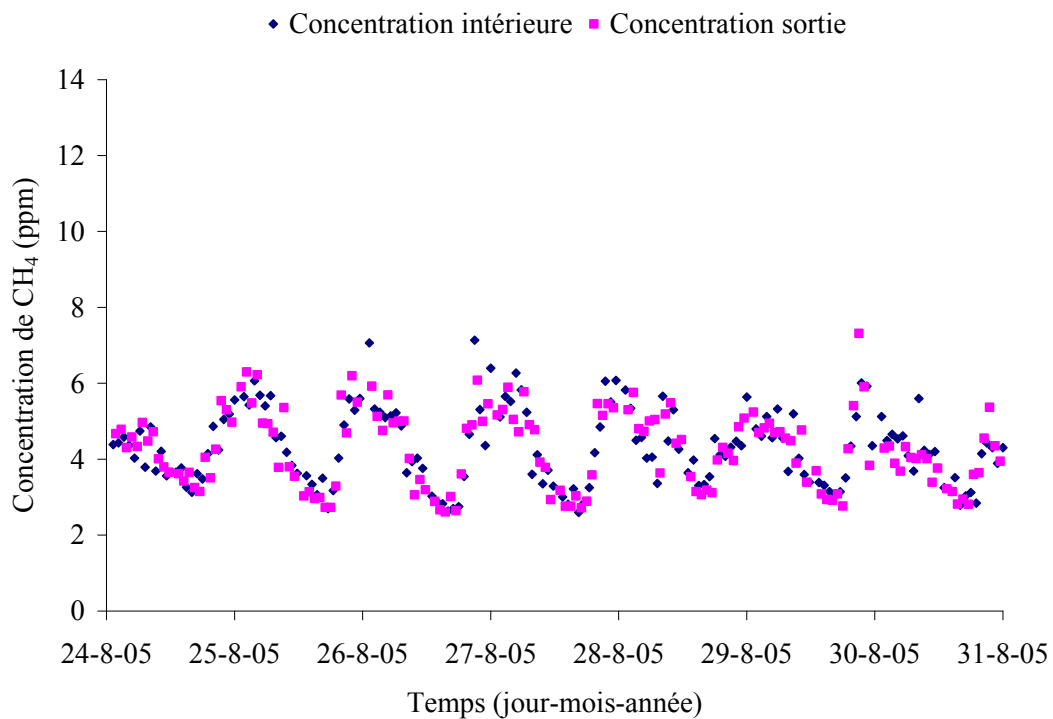


Figure A6. Concentrations en CH₄ sur le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

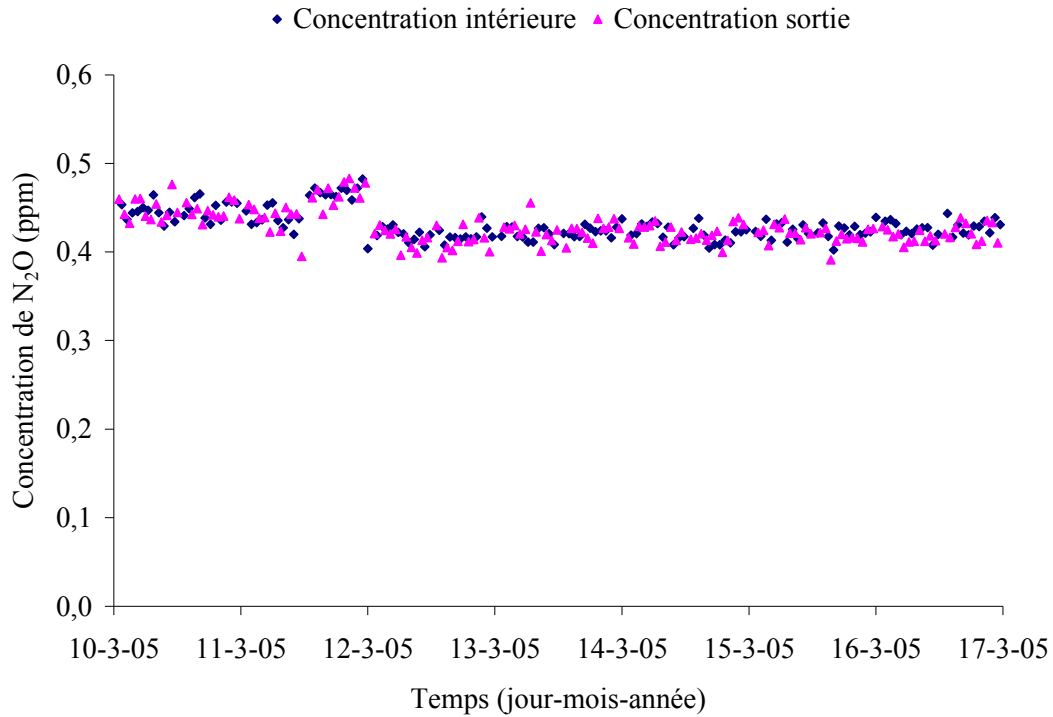


Figure A7. Concentrations en N_2O sur le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

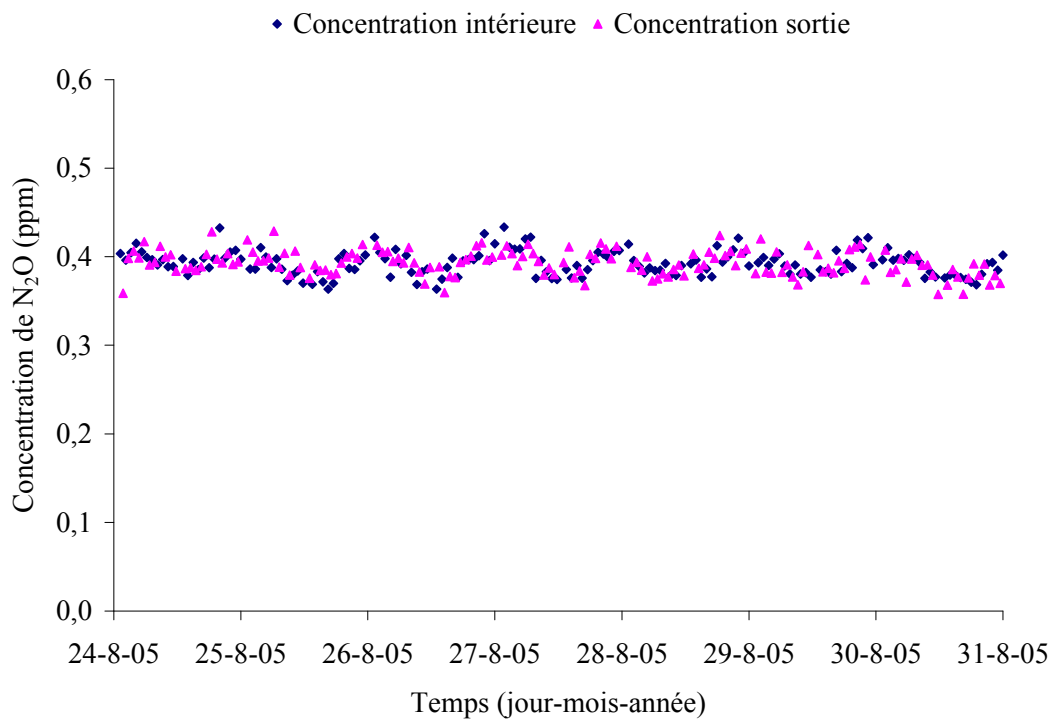


Figure A8. Concentrations en N_2O sur le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

Tableau A1. Concentration des différents gaz pour la période du printemps

Site (s.u.)	Lieu (s.u.)	Concentration des gaz (ppm)									
		NH_3		H_2S		CO_2		CH_4		N_2O	
		<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>	<i>moy.</i>	<i>e.t.</i>
1	Entrée	0,6	0,4	0,13	0,07	372	20	1,9	0,0	0,43	0,02
	Salle	4,4	2,3	0,21	0,07	962	143	3,0	0,4	0,43	0,02
	Sortie	5,9	2,5	0,25	0,09	942	139	3,2	0,6	0,43	0,02
2	Entrée	1,1	0,8	0,10	0,07	380	48	1,9	0,1	0,41	0,02
	Salle	2,4	1,3	0,18	0,10	923	212	2,7	0,7	0,42	0,03
	Sortie	2,6	1,4	0,18	0,16	934	226	2,8	0,7	0,42	0,03
3	Entrée	1,7	0,8	0,10	0,06	385	49	2,1	0,3	0,43	0,03
	Salle	13,6	4,7	0,17	0,06	1080	197	3,1	0,4	0,43	0,03
	Sortie	14,7	4,1	0,17	0,06	1054	175	3,1	0,4	0,43	0,03

s.u. : sans unité; moy. : moyenne; e.t. : écart-type.

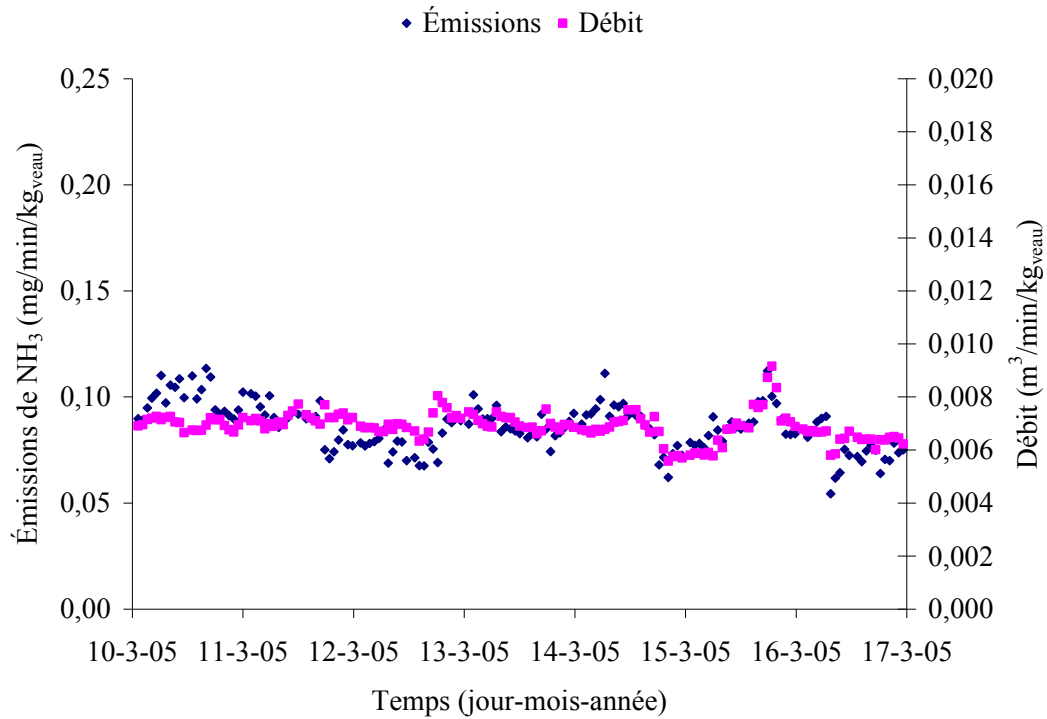


Figure A9. Émissions de NH_3 pour le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

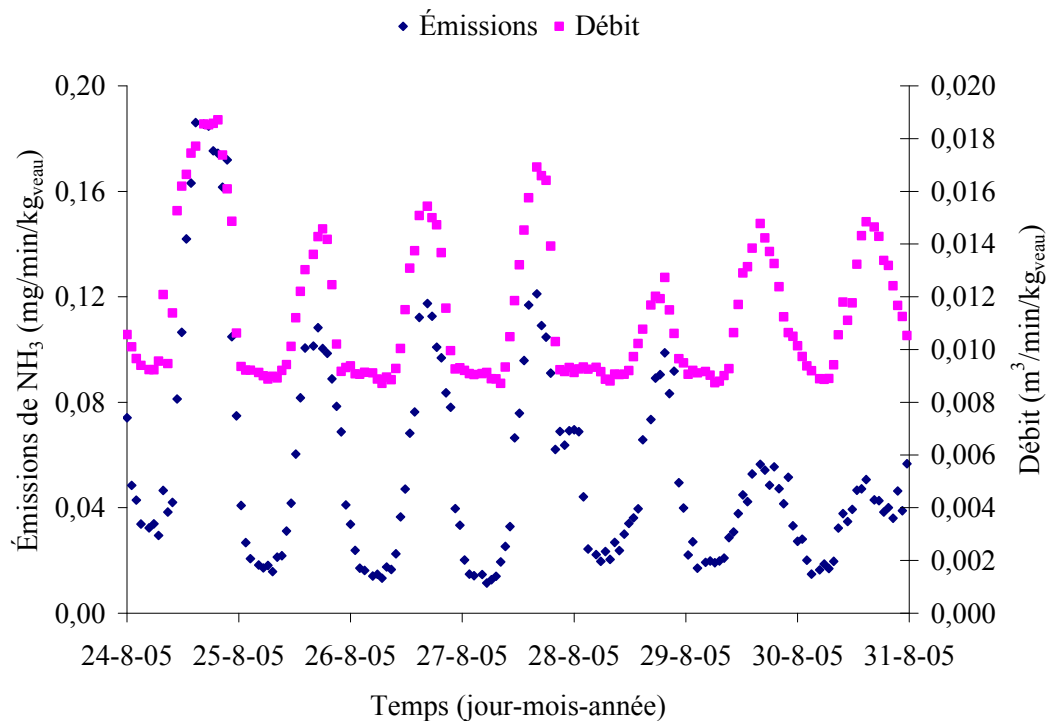


Figure A10. Émissions de NH_3 pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

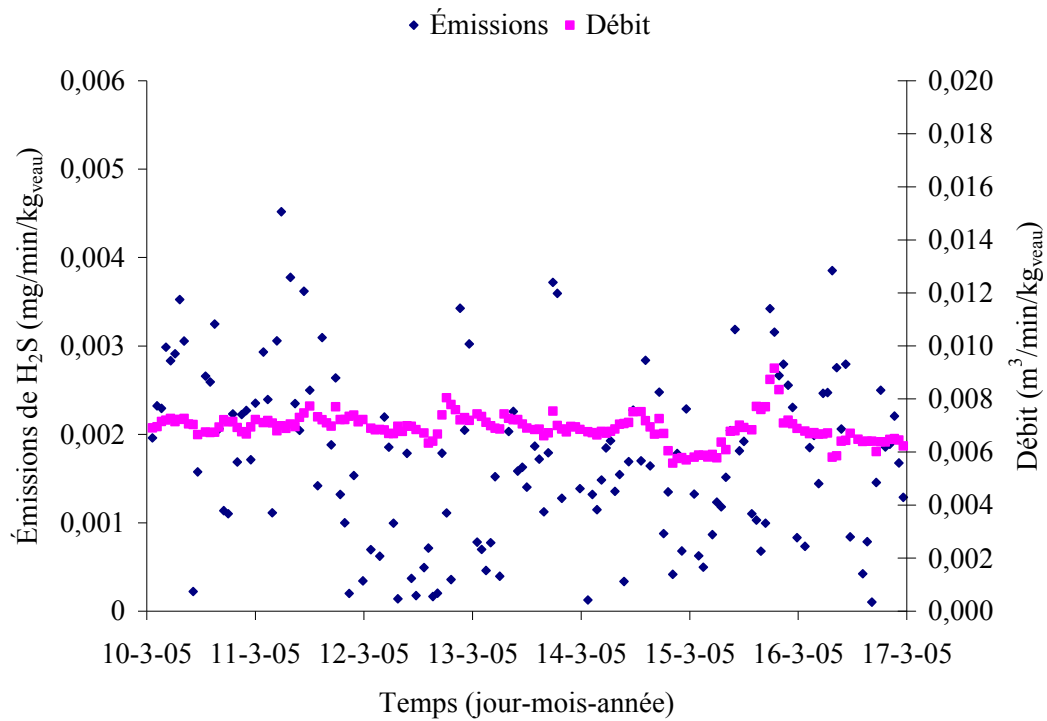


Figure A11. Émissions de H₂S pour le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

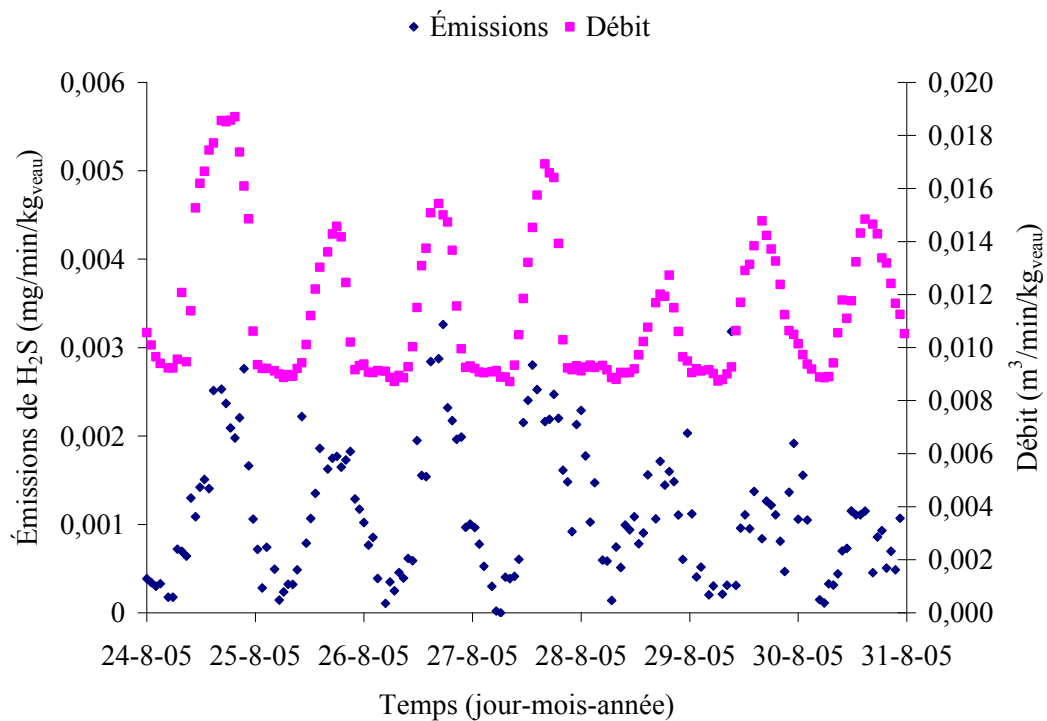


Figure A12. Émissions de H₂S pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

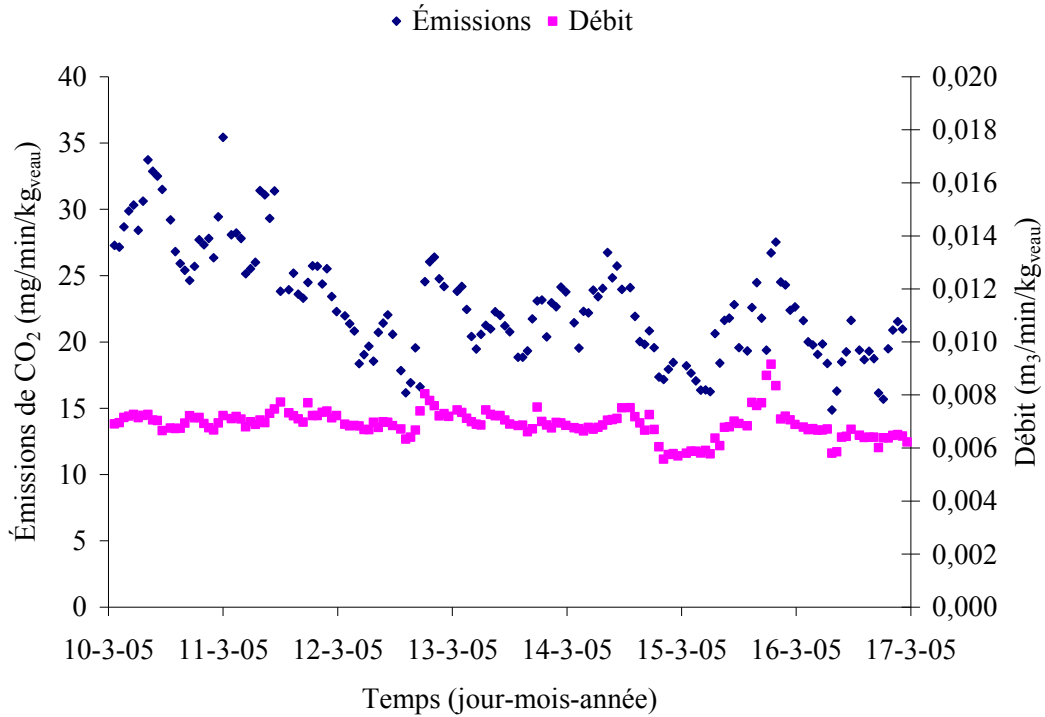


Figure A13. Émissions de CO₂ pour le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

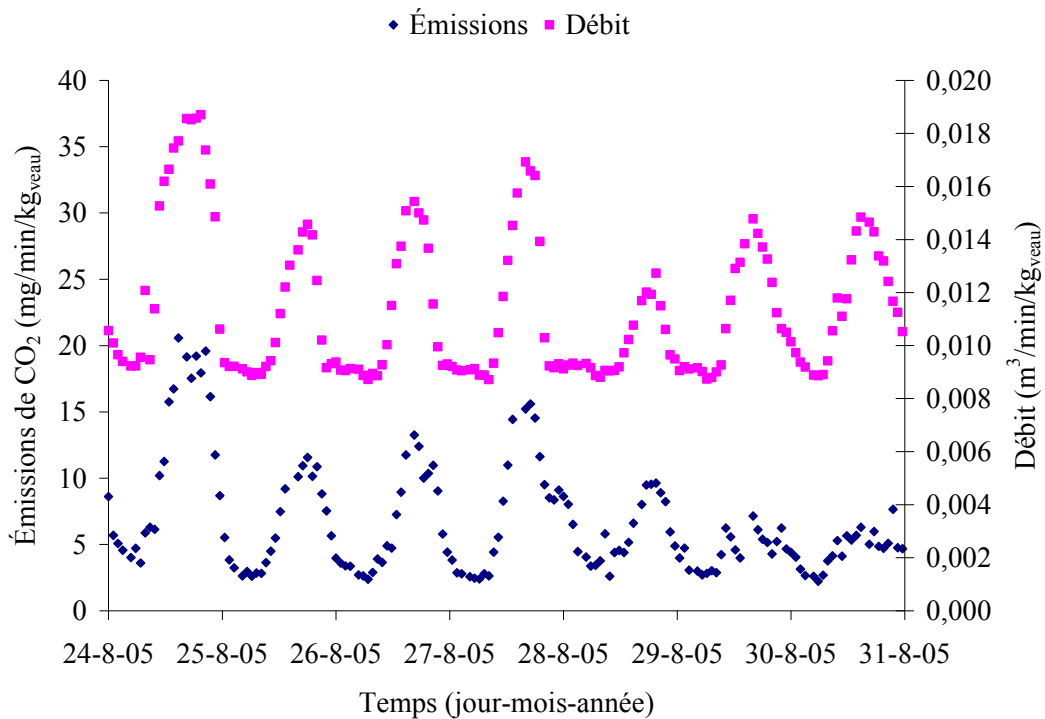


Figure A14. Émissions de CO₂ pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

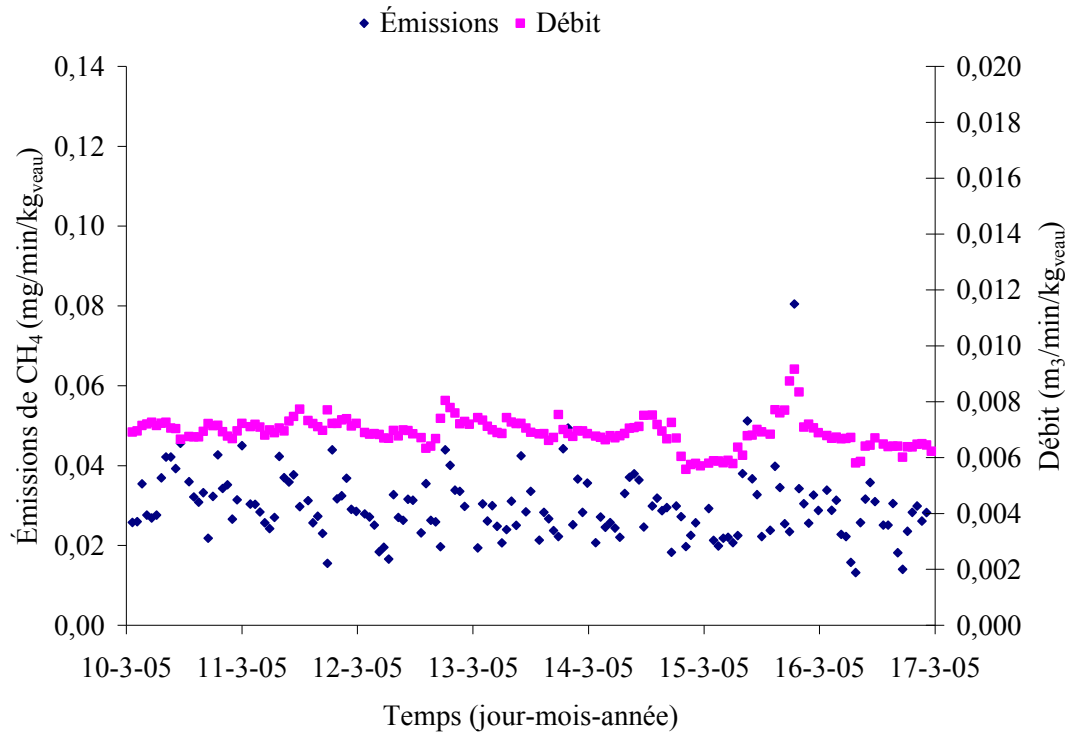


Figure A15. Émissions de CH_4 pour le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

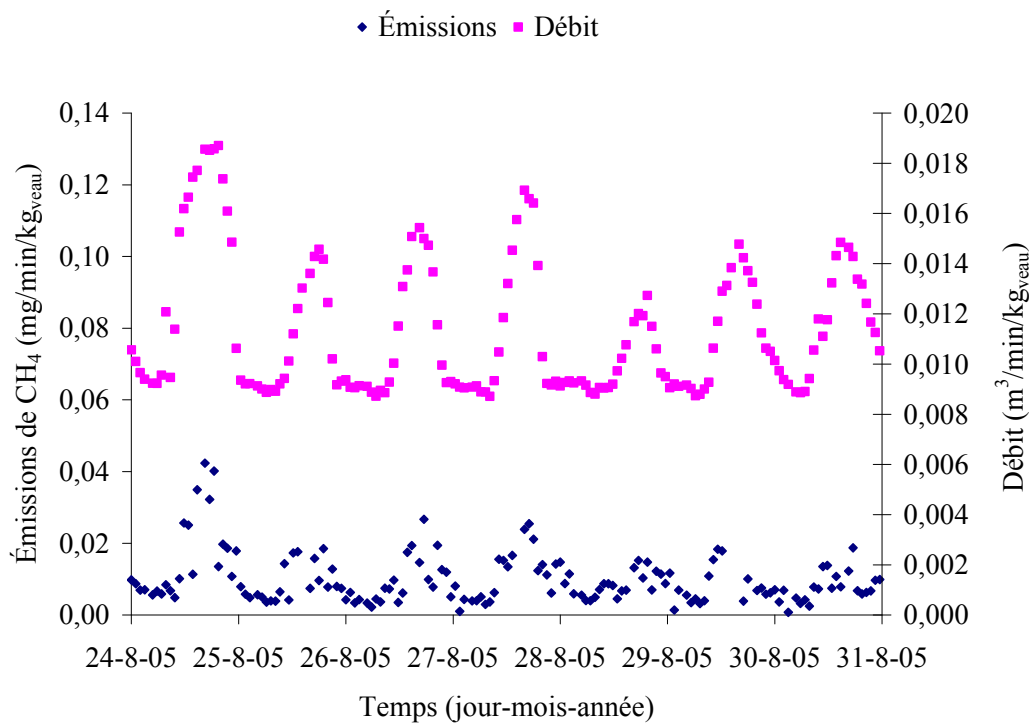


Figure A16. Émissions de CH_4 pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.

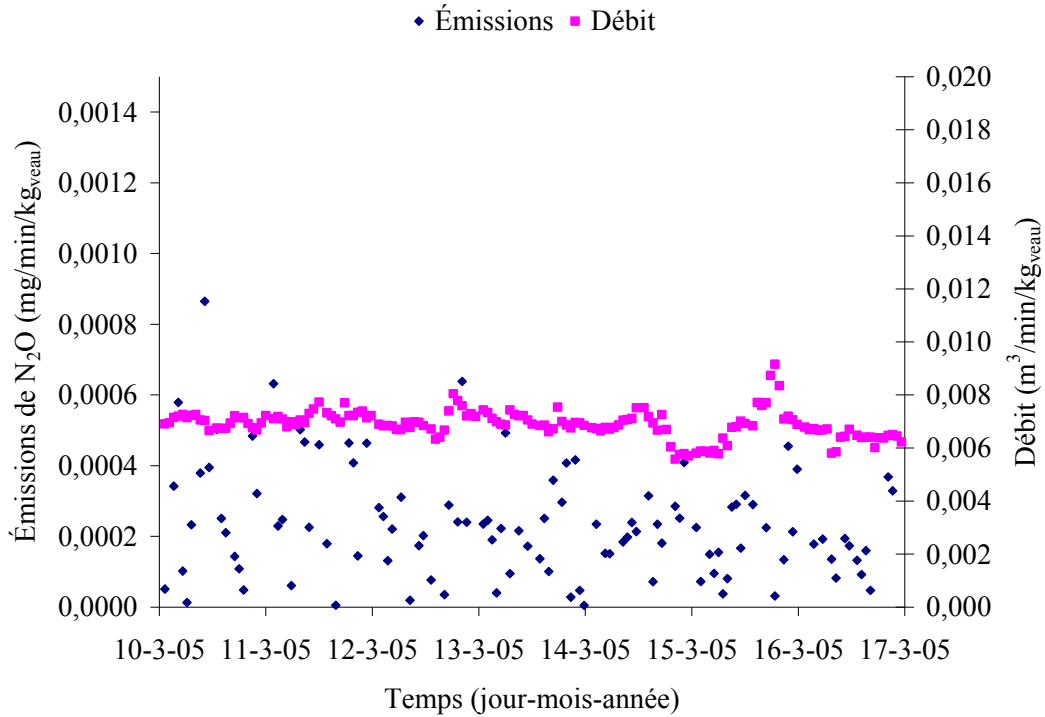


Figure A17. Émissions de N_2O pour le site no. 3 entre le 10 et le 17 mars 2005.

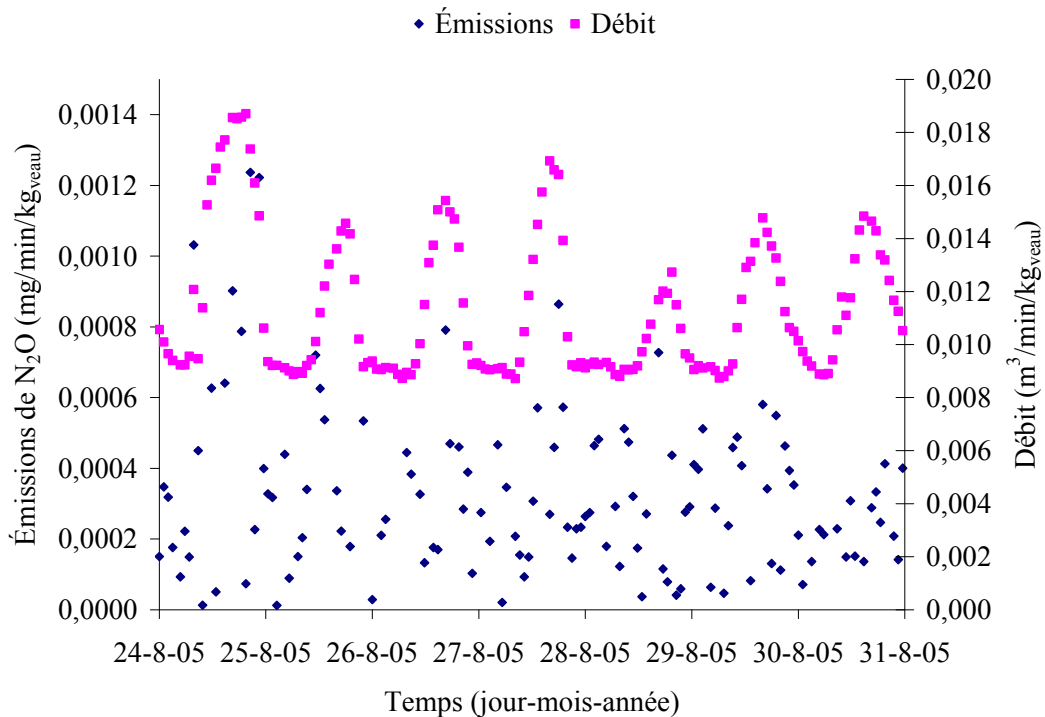


Figure A18. Émissions de N_2O pour le site no. 3 entre le 24 et le 31 août 2005.