

1994

Mesure des contaminants chimiques et biologiques dans l'air d'une porcherie utilisant la technique de litière biomâîtrisée

Jacques Lavoie
IRSST

Geneviève Marchand
IRSST

Yves Beaudet
IRSST

Brigitte Roberge
IRSST

Hortense Fournier
IRSST

See next page for additional authors

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Lavoie, J., Marchand, G., Beaudet, Y., Roberge, B., Fournier, H., Caouette, P., . . . Jobin, C. (1994). *Mesure des contaminants chimiques et biologiques dans l'air d'une porcherie utilisant la technique de litière biomâîtrisée* (Rapport n° R-087). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

Auteurs

Jacques Lavoie, Geneviève Marchand, Yves Beaudet, Brigitte Roberge, Hortense Fournier, Paul Caouette, Jean-Yves Drolet, Gaétan Gingras, and Charles Jobin

**Mesure des contaminants
chimiques et biologiques
dans l'air d'une porcherie
utilisant la technique
de litière biomatrisée**

Jacques Lavoie
Geneviève Marchand
Yves Beaudet
Brigitte Roberge
Hortense Fournier
Paul Caouette
Jean-Yves Drolet
Gaëtan Gingras
Charles Jobin

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

août 1994

R-087

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Mesure des contaminants
chimiques et biologiques
dans l'air d'une porcherie
utilisant la technique
de litière biomatrisée**

Jacques Lavoie, Geneviève Marchand
Yves Beaudet, Brigitte Roberge
et Hortense Fournier
Programme soutien analytique, IRSST

Paul Caouette et Jean-Yves Drolet
Consultants BPR

Gaëtan Gingras et Charles Jobin
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE	2
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	5
3.1 Bactéries totales	5
3.2 Bactéries Gram négatives	5
3.3 Bactéries thermoactinomycètes	6
3.4 Moisissure thermotolérante <i>Aspergillus fumigatus</i>	6
3.5 Moisissures	7
3.6 Gaz	7
3.7 Discussion	7
4. CONCLUSION	9
5. BIBLIOGRAPHIE	9

Liste des Figures

Figure 1 : Schéma et dimensions de la porcherie	14
Figure 2 : Concentrations des bactéries totales	18
Figure 3 : Concentrations des bactéries Gram négatives	18
Figure 4 : Concentrations des thermoactinomycètes	19
Figure 5 : Concentrations des moisissures	19
Figure 6 : Concentrations des <i>Aspergillus fumigatus</i>	20
Figure 7 : Concentrations des poussières totales	20
Figure 8 : Concentrations d'anhydride carbonique	21
Figure 9 : Concentrations d'ammoniac	21
Figure 10 : Concentrations de protoxyde d'azote	22
Figure 11 : Concentrations de monoxyde de carbone	22
Figure 12 : Concentrations d'oxyde nitrique	23
Figure 13 : Concentrations de bioxyde d'azote	23

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Températures moyennes (°C) de l'air, % d'humidité relative et débits moyens	14
Tableau 2 : Températures moyennes ¹ de la litière	15
Tableau 3 : Concentrations des contaminants de l'air (Hiver)	16
Tableau 4 : Concentrations des contaminants de l'air (Été)	17

RÉSUMÉ

Les méthodes habituellement utilisées dans l'élevage du porc exposent les éleveurs à des concentrations élevées de microorganismes, de poussières organiques et à des gaz, tous soupçonnés d'être la cause de plusieurs problèmes de santé. Les ministères de l'agriculture et de l'environnement du Québec via les consultants BPR ont mis à l'essai une nouvelle méthode d'élevage pour les porcs afin de contrôler les contaminants chimiques, biologiques et les odeurs. Il s'agit de l'élevage sur litière biomaitrisée, i.e. une litière composée d'un mélange de déjections solides et liquides, de sciures de bois ou de paille et d'une enzyme issue de la biotechnologie. Avec l'action de cette enzyme, il semblerait se créer une fermentation entraînant la production de compost. Une fois par semaine, pour obtenir des conditions aérobiques, l'aération est réalisée par un brassage de la surface de la litière.

Les objectifs de ce projet étaient de mesurer les contaminants chimiques et biologiques présents dans l'air d'une porcherie utilisant la technique de la litière biomaitrisée dans le but de démontrer si effectivement ce milieu de travail est salubre pour les travailleurs. Les contaminants chimiques rencontrés dans les porcheries et ceux produits par le compostage comme les oxydes d'azote (NO, NO₂, N₂O), l'anhydride carbonique (CO₂), l'ammoniac (NH₃), l'hydrogène sulfuré (H₂S) et les poussières totales ont été prélevés, en hiver et en été, en même temps que les contaminants biologiques tels les bactéries totales, les bactéries Gram négatives, les thermoactinomycètes, les moisissures totales et la moisissure *Aspergillus fumigatus* en utilisant les méthodes recommandées.

Les contaminants chimiques mesurés pendant les deux saisons étaient tous inférieurs à la demie de leur valeur d'exposition recommandée par le règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT). Les concentrations moyennes les plus élevées de bactéries totales et Gram négatives ont été rencontrées en hiver et étaient respectivement 27 fois et 4 fois plus élevées que les niveaux recommandés par Malmros et coll. pour le traitement des déchets et le compostage. Les concentrations de bactéries totales sont équivalentes à celles rencontrées dans les techniques conventionnelles d'élevage du porc. La concentration moyenne maximale des thermoactinomycètes était de 8740 (± 3530) colonies par mètre cube d'air (UFC/m³) en été et celle des *Aspergillus fumigatus* de 9420 (± 5440) UFC/m³ d'air en été. De plus, les concentrations des contaminants sont en général plus élevées après les opérations de brassage d'une façon statistiquement significative.

Ce type d'élevage permet de réduire les concentrations des contaminants habituellement retrouvés dans les porcheries comme les bactéries Gram négatives et les gaz à des niveaux acceptables. Par contre, ce nouveau type d'élevage possède les conditions idéales pour assurer le développement des thermoactinomycètes et de la moisissure *A.fumigatus*.

Considérant les risques encore existants pour la santé des travailleurs, il a été suggéré de porter des masques de protection respiratoire munis de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air-Filters) assurant une rétention de 99,7% des spores de bactéries et de moisissures.

1. INTRODUCTION

Les méthodes modernes d'élevage du porc dans des endroits clos sont conçues pour faciliter les opérations reliées à la distribution de la nourriture, à l'administration des médicaments et au nettoyage des déjections. Malheureusement, ces milieux confinés exposent les éleveurs à des concentrations élevées de microorganismes, de poussières organiques et à des gaz, ces produits étant soupçonnés d'être la cause de plusieurs problèmes de santé.¹⁻⁹

Il est donc important de diminuer les expositions de ces travailleurs aux contaminants chimiques et biologiques présents dans leur milieu de travail. Entre autres, l'utilisation d'une ventilation efficace a été suggérée comme un moyen de contrôle par certains auteurs.⁹⁻¹³ En effet, certains experts ont proposé que la ventilation par extraction à la base pourrait être un moyen efficace pour contrôler les concentrations élevées de contaminants.¹⁰⁻¹⁴ Cependant, dans le cadre du projet de recherche "La ventilation dans les porcheries" réalisé à l'IRSST, malgré une diminution significative des contaminants chimiques et biologiques, les concentrations de bactéries Gram négatives demeurent nettement au-dessus des niveaux recommandés.¹⁵⁻¹⁷

Récemment, un nouveau type d'élevage de porcs a été mis à l'essai par les ministères de l'agriculture et de l'environnement (via les consultants BPR) du Québec. Il s'agit de l'élevage sur litière biomâtrisée, i.e. une litière formée d'un mélange de déjections solides et liquides, de sciures de bois ou de paille et d'une enzyme issue de la biotechnologie.¹⁸ Il semblerait que grâce à cette enzyme capable d'augmenter l'activité des bactéries naturellement présentes dans le lisier (d'où leur nom d'activateur biologique), on assisterait à une dégradation accélérée de la cellulose et de la lignine qui composent la sciure, la paille et les déjections.¹⁹ Le produit est notamment composé de magnésium, potassium, sodium, calcium, phosphoprotéines et vitamines B1 et B2, c'est-à-dire essentiellement de matières organiques résultant de cultures microbiennes et d'un contenu fertilisant.¹⁹ En théorie, cette opération devrait produire un dégagement de chaleur (de 30 à 60°C, selon le substrat et les doses utilisées) ce qui pourrait entraîner des conséquences d'un intérêt majeur pour les objectifs visés, c'est-à-dire :¹⁹

1. elle sécherait quasi instantanément la litière entraînant l'absence de jus d'effluent;
2. elle détruirait une bonne partie des germes parmi les plus nocifs;
3. friandes d'azote, les bactéries captent tout l'azote des déjections avant qu'il ne se dégage, bloquant l'émission de gaz nocifs pour la santé des porcs et des travailleurs.

Selon la littérature consultée, l'activité des porcs doit s'effectuer sur une couche de 60 cm de sciure de bois ou de paille hachée dans laquelle l'enzyme a été incorporée. Cette couche repose elle-même sur une profondeur de 10 à 15 cm de lisier de porc mélangé de façon homogène à de la paille hachée ou de la sciure. Ainsi, avec le travail de l'enzyme qui s'attaquerait à l'azote ammoniacal contenu dans l'excrément de porc, se créerait une fermentation.²⁰ Plus il y aurait d'excréments, plus le sol se réchaufferait dans la mesure où la litière serait bien aérée ou bien ventilée.¹⁹ En effet, une fois par semaine, l'aération de la litière est réalisée par un brassage de la surface et les déjections accumulées dans un coin sont enfouies et arrosées à différents endroits avec l'enzyme.²¹ Un autre avantage serait la croissance de plusieurs bandes de porcs pouvant être réalisée sur la même litière. En effet, la litière doit être changée à tous les 12 mois, réduisant le volume de lisier de 75%. De plus, le compost produit constituerait alors un supplément organique de qualité pour les sols.²² Ce système semblerait donc bouleverser les données classiques d'élevage, i.e., peu de problèmes d'environnement

puisqu'il n'y a plus d'odeurs, et la quantité de lisier serait diminuée d'une façon substantielle.¹⁸

Les objectifs de cette étude étaient donc de mesurer les contaminants chimiques et biologiques présents dans l'air d'une porcherie utilisant la technique de la litière biomaitrisée dans le but de démontrer si effectivement ce milieu de travail est salubre pour les travailleurs.

2. MÉTHODOLOGIE

Le bâtiment a été conçu spécialement pour l'élevage sur litière biomaitrisée. Des murets de béton de 1,22 mètre de haut ont été construits pour supporter la structure d'acier galvanisé. Les parois du bâtiment sont constituées d'une double épaisseur de polyéthylène sur une couche isolante mince et flexible, l'Astro-Foil™.²³ Ce type d'isolant est tout indiqué pour le revêtement d'une structure de serre. Son facteur d'isolation bien que faible ($R_{Si} = 1,41$) permet de limiter la formation de condensation aux taux d'humidité relative envisagés.²³

La capacité de la porcherie est de 120 porcs-espaces pour l'engraissement répartie en six (6) parcs de 26 m² chacun, ce qui permet d'assurer un espace d'environ 1,3 m² par porc. Le volume intérieur total est d'environ 1 200 m³ soit l'équivalent de 10 m³ par porc.²³ Elle est isolée des autres bâtiments de la ferme, ce qui facilite les opérations de suivi des conditions d'ambiance d'élevage et des paramètres globaux comme la demande énergétique ou la consommation d'eau. Les animaux étaient nourris avec des trémies-abreuvoirs, permettant une alimentation semi-humide à raison d'une unité double par parc. La première bande de porcs est entrée à la mi-novembre 1992. Les porcs ont un poids moyen de 20 kg/animal à leur entrée et quittent après 89 jours (moyenne de trois (3) bandes) avec un poids moyen de 80 kg/animal.²³ Lors de l'évaluation d'hiver nous étions dans le milieu du temps de résidence de la deuxième bande et pendant l'été à la fin de la troisième bande.

La ventilation d'hiver était assurée de la manière suivante : deux ventilateurs motorisés de 35 cm à vitesse variable situés sur les côtés intérieurs, près des murs de la porcherie aspiraient l'air et le distribuaient à l'intérieur de gaines de plastique perforées qui faisaient toute la longueur du bâtiment. L'évacuation était assurée par une autre gaine de 60 cm de diamètre placée au niveau du plafond, au centre, elle aussi placée sur toute la longueur. La ventilation d'été utilisait le même système mais, de plus, deux (2) portes de 3 m par 3,65 m étaient ouvertes et recouvertes d'un treillis en polyéthylène perforé avec une porosité de 35%. Les équipements installés ont permis de prendre en compte les besoins plus élevés de ventilation avec la technique sur litière par rapport à un bâtiment standard. En effet, ce système a une capacité de ventilation environ deux (2) fois supérieure à celle d'un bâtiment conventionnel sur lisier à cause de la production d'eau par les fèces et l'urine et les pertes de chaleur latente. Un bilan hydrique a été réalisé pour trouver le point d'équilibre où le taux d'enlèvement de l'humidité dans la litière égale la production par les fèces et l'urine.²³ Les besoins en ventilation ont dû être augmentés à environ 45 m³/porc/heure (12,5 L/s-porc) pour rencontrer ces exigences, ce qui a une incidence majeure sur les besoins en chauffage complémentaire. Par contre, les infra-structures intérieures sont moins sophistiquées (pas de plancher semi-latté, pas de rigole, pas de pré-fosse), ce qui diminue le coût unitaire d'aménagement.²³ Selon les consultants BPR, malgré un espace minimal par porc supérieur, les investissements initiaux en litière biomaitrisée sont légèrement inférieurs étant donné le caractère plus simple des aménagements intérieurs et l'absence de réservoirs à lisier.²³ De plus, les frais variables que sont la litière et les enzymes, les frais de chauffage et la main-d'oeuvre supplémentaire constituent des frais supplémentaires par rapport à une gestion standard de même taille. À la lumière des données recueillies par les consultants BPR, l'augmentation de ces frais est toutefois compensée par la diminution des coûts de disposition du lisier (brassage, reprise, transport,

épandage), les coûts de production étant de plus en plus avantageux en litière biomaitrisée à mesure que la distance moyenne d'épandage requise en gestion sur lisier augmente.²³

Les débits de ventilation en mètres cubes par seconde (m^3/sec) ont été calculés à partir d'un anémomètre numérique à ailettes (modèle DA4000, Pacer Industries Inc., Chippewa, WI, USA), situé au centre de la gaine d'évacuation à 3 mètres du ventilateur de sortie et collecté à un accumulateur de données (modèle DLX-100, D.E.S. corporation, Québec, Canada). La précision de l'anémomètre est de $\pm 10\%$.

Le chauffage du bâtiment était assuré par une unité de pré-chauffage de l'air ambiant de 17,5 Kw (60 000 Btu/h) et d'une autre unité de chauffage radiant au propane de 44,4 Kw (150 000 Btu/h).

Les quantités d'enzymes recommandées ont été ajustées en fonction des conditions d'opération. À chaque semaine, les déjections étaient déplacées et enfouies et le traitement était réalisé sur le quart de la surface du parc ($5m^2$). Par la suite, un rotoculteur était utilisé pour réaliser une homogénéisation de la litière dans ses premiers 30 cm de profondeur. Enfin, des quantités de sciures étaient ajoutées au besoin.

Pour le traitement hebdomadaire des quarts de surface, les enzymes utilisées dans les parcs étaient les suivantes : le Sef-C (Nissan, Japon) dans les parcs 1 et 2 à raison de 4 ml d'enzyme pour 1200 ml d'eau, le Biolyse (TBA, Saint-Maur, France) dans les parcs 3 et 4 à raison de 20 ml par 600 ml d'eau pour 20 porcs et le Lobiflor (Laboratoires Lobial, Laval, France) dans les parcs 5 et 6 à raison de $135 g/m^2$ (figure 1).

Les contaminants chimiques rencontrés dans les porcheries et ceux produits par le compostage comme les oxydes d'azote (NO , NO_2 , N_2O), l'anhydride carbonique (CO_2), l'ammoniac (NH_3), l'hydrogène sulfuré (H_2S) et les poussières totales ont été prélevés, en même temps que les contaminants biologiques tels les bactéries totales, les bactéries Gram négatives, les thermoactinomycètes, les moisissures totales et la moisissure *Aspergillus fumigatus*, un contaminant reconnu au niveau du compostage.^{1-10,15-20}

Les gaz ont été mesurés à l'aide d'appareils à lecture directe munis à un accumulateur de données (modèle DLX-100, D.E.S. corporation, Québec, Canada). Les gaz N_2O , NH_3 , CO_2 et CO ont été mesurés avec un moniteur spectroscopique photoacoustique multigaz (modèle 1302, Bruël and Kjaer, Pointe-Claire, Québec, Canada). La limite de détection de cet appareil pour le N_2O est de 0,025 ppm, pour le NH_3 de 0,3 ppm, pour le CO_2 de 3 ppm et pour le CO de 0,15 ppm. Le CO_2 a aussi été mesuré en utilisant un spectrophotomètre à infra-rouge (Modèle ADC-PM3, The Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, England). La limite de détection de cet appareil à lecture directe est de 10 ppm. Le H_2S a été mesuré avec un appareil fonctionnant par pile électrochimique (modèle 4173, Interscan Corp., Chatsworth, CA). La limite de détection de cet appareil est de 0,4 ppm. Le NO et le NO_2 ont été mesurés avec un moniteur à piles électrochimiques (modèle Ecolyzer 7000, Dräger, Lübeck, Allemagne). La limite de détection est de 0,04 ppm pour le NO_2 et de 0,4 ppm pour le NO . Les poussières totales ont été prélevées sur des filtres en chlorure de polyvinyle de porosité de $0,8 \mu m$ (Omega Specialty Instrument Co., Chelmsford, MA) avec des pompes à haut-volume (Gillian Instrument Corp., Wayne, N.J.) et quantifiées par gravimétrie. La limite de détection est de $25 \mu g$ et le coefficient de variation total pour cette méthode est moins de 7%.²⁴ Les débits des pompes étaient d'environ 2 L/min et le temps d'échantillonnage pour chaque filtre d'environ une (1) heure. Les débits ont été mesurés sur le site avec un débitmètre pré-étalonné de marque Kurz (Kurz Instruments Inc., Carmel Valley, CA). Un minimum de 14 prélèvements de poussières ont été pris avant et environ le même

nombre après le brassage (tableaux 3 et 4).

Les microorganismes ont été prélevés avec des impacteurs microbiens Andersen (Andersen Instruments Inc., Atlanta, GA). La précision de cet appareil est de $\pm 7\%$, sous des conditions de laboratoire. Les prélèvements pour les mêmes microorganismes ont été pris en double, simultanément. Les temps de prélèvement pour les bactéries totales étaient de respectivement pour l'hiver et l'été de 15 sec et 30 sec. Tous les autres temps de prélèvement étaient d'une minute. Un minimum de 32 prélèvements pour chaque groupe de microorganismes lors des deux (2) évaluations ont été pris dans le but de couvrir la période totale d'échantillonnage de quatre (4) heures.

Les milieux de culture utilisés sont les suivants :

Le SDA (Sabouraud dextrose agar, Quelab Laboratories, Montréal, Québec, Canada) incubé à température ambiante pendant sept (7) jours pour les moisissures en général et à 45°C pendant sept (7) jours pour les *Aspergillus fumigatus*;

Le TSA (Tryptic soya agar, Quelab Laboratories, Montréal, Québec, Canada) incubé à 35°C pendant 48 heures pour les bactéries totales et à 55°C pendant 48 heures pour les thermoactinomycètes;

Le MacConkey (Quelab Laboratories, Montréal, Québec, Canada) incubé à 37,5°C pendant 48 heures pour les bactéries Gram négatives.

Les températures de la litière ont été mesurées dans les quatre (4) coins des parcs avec les thermomètres de contact (modèle MPM 500, Solomat Corp., Stanford, Connecticut) (tableau 2). La précision de ces thermocouples est de $\pm 0,1\%$. Les températures intérieures et extérieures ont été mesurées avec des thermistances (modèle YSI, Yellow Spring Instruments Co., Yellow Spring, Ohio, USA) (tableau 1). La précision de ces instruments est de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Les prélèvements ont débuté en mars, pour avoir les conditions d'hiver. Ils ont été réalisés avant et pendant les opérations de brassage (environ deux (2) heures par opération), pour environ 4 heures d'échantillonnage. Pendant ces périodes, le système d'acquisition de données a été programmé pour prendre les mesures des températures, des humidités, des pressions statiques et des concentrations des contaminants chimiques à toutes les minutes. Une deuxième intervention a eu lieu au début de l'été, à la fin d'une troisième bande de porcs et sur la même litière (sciure de bois), dans le but de déterminer l'effet des conditions atmosphériques différentes. Les mêmes types de prélèvements ont été réalisés pour ces deux interventions.

Au niveau des statistiques, les tests suivants ont été appliqués :²⁵

- les moyennes avant et pendant le brassage ont été comparées avec un test de "t" de Student dans le but de démontrer la présence de concentrations différentes d'une façon statistiquement significative;
- les mêmes comparaisons ont été effectuées dans le but de démontrer des différences statistiquement significatives entre les saisons.

Dans les lignes suivantes, les résultats ont été comparés avec les normes ou recommandations proposées lorsqu'elles existent ou avec les concentrations des contaminants qui existent dans la

littérature scientifique concernant soit les porcheries ou le compostage. Le but de ces comparaisons est de pouvoir se prononcer sur le niveau de salubrité d'un tel milieu.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'aménagement de la porcherie et les résultats sont présentés à la figure 1 et aux tableaux 1 à 4. Les figures 2 à 13 donnent les histogrammes des résultats obtenus pour chaque groupe de contaminant. Le tableau 1 donne les températures moyennes de l'air, les pourcentages d'humidité relative et les débits moyens de ventilation mesurés lors des deux interventions. Le tableau 2 donne les températures moyennes de la litière à 30 et 60 cm de profondeur pour les conditions d'hiver et d'été. Les tableaux 3 et 4 donnent les résultats d'analyse des prélèvements d'air. Dans les lignes qui suivent, chaque groupe de contaminant a été considéré spécifiquement.

3.1 Bactéries totales

Les concentrations de bactéries totales dépassaient amplement les niveaux recommandés pour l'industrie du compostage. En effet, le compostage des fumiers constitue une catégorie de cette industrie. La concentration moyenne maximale de $2,7 \times 10^5$ UFC/m³ d'air, rencontrée en hiver après le brassage, est 27 fois supérieure au niveau proposé comme acceptable de 10 000 UFC/m³ d'air (réf. tableaux 3 et 4 et figure 2).^{29,30} Dans les porcheries, des chercheurs de Suède ont déjà mesuré des concentrations moyennes de bactéries totales de $1,4 \times 10^6$ UFC/m³ d'air.¹ Crook et coll. ont mesuré dans six porcheries différentes au Royaume-Uni des concentrations de bactéries totales isolées à 25°C, 37°C et 55°C variant de 3×10^5 à 8×10^6 , de 2×10^5 à 6×10^6 et de 2×10^3 à 2×10^4 UFC/m³ respectivement.³¹ Dans une autre étude faite en Suède par Clark et coll., une concentration médiane de bactéries totales dans six fermes de $3,0 \times 10^5$ UFC/m³ d'air a été trouvée.³² Attwood et coll. ont mesuré dans 171 porcheries des Pays-bas une concentration maximale de bactéries totales de $3,6 \times 10^6$ UFC/m³ d'air.³³ Donham a mesuré dans 30 bâtiments différents d'élevage de porcs aux États-Unis une concentration moyenne de bactéries totales de $3,0 \times 10^6$ UFC/m³ d'air.⁵ La respiration bruyante et des rhumes de poitrine fréquents ont été associés d'une façon statistiquement significative, par ce même auteur, à des concentrations bactériennes plus grandes ou égales à $1,4 \times 10^5$ CFU/m³ d'air.⁵ Il est important de noter que les méthodes de prélèvement utilisées peuvent différer d'une étude à l'autre. Une étude québécoise où les mêmes méthodes de prélèvements microbiens que les nôtres ont été utilisées, rapporte des concentrations moyennes de bactéries du même ordre, i.e., de $1,67 \times 10^5$ CFU/m³ d'air.⁹ Les concentrations de bactéries totales semblent donc équivalentes à celles rencontrées dans les techniques conventionnelles d'élevage du porc.

3.2 Bactéries Gram négatives

Les endotoxines libérées par les parois cellulaires des bactéries Gram négatives peuvent produire divers symptômes chez les individus exposés comme de la fièvre, de la diarrhée, des problèmes gastro-intestinaux et respiratoires.^{15-17,28-30} Les concentrations de bactéries Gram négatives dépassaient le niveau recommandé de 1 000 UFC/m³ d'air par Malmros et coll. pour le traitement des déchets et le compostage mais en hiver seulement (réf. tableau 3 et figure 3).^{29,30} En effet, la concentration maximale moyenne après le brassage était de 3 840 (\pm 1 180) UFC/m³ d'air. Donham a mesuré pour les 30 porcheries une concentration moyenne de ce type de bactéries de 80 000 UFC/m³ d'air.⁵ Clark et coll. ont mesuré dans les 6 bâtiments d'élevage une concentration moyenne de 88 000 UFC/m³ d'air.³² Attwood et coll. dans les 171 porcheries évaluées rapportent des concentrations moyennes de bactéries Gram négatives d'environ 10 000 UFC/m³ d'air.³³ Selon

différents auteurs, les concentrations moyennes de bactéries Gram négatives pour ce type d'environnement se situeraient entre 1 et 10 % des concentrations de bactéries totales.^{5,10,32,33} Les concentrations des bactéries Gram négatives prélevées en été étaient cependant sous cet intervalle et sous le niveau recommandé.

3.3 Bactéries thermoactinomycètes

Les températures moyennes de la litière qui ont varié de 33,5 °C à 56,6 °C en hiver et en été constituent un climat idéal pour la prolifération des bactéries thermophiles (thermoactinomycètes) (réf. tableau 2).^{16,20,29-31,34,36-40} Il n'y a pas de niveau maximal d'exposition recommandé pour ces microorganismes contrairement aux bactéries totales et Gram négatives.^{27,34} La concentration moyenne maximale de thermoactinomycètes était de 3 840 (\pm 1 180) UFC/m³ et elle a été obtenue en hiver après le brassage (réf. tableau 3 et figure 4).

Les thermoactinomycètes sont la cause de pneumonites d'hypersensibilité (ou alvéolite allergique ou poumon du fermier).^{34,35,39,40} Dans d'autres types d'environnements comme dans la culture des champignons où les expositions peuvent causer des sensibilisations respiratoires, des concentrations de thermoactinomycètes de 10⁵ à 10⁷ UFC/m³ d'air ont déjà été mesurées.^{34,36} Selon Miller, des concentrations de l'ordre de 10⁸ UFC/m³ d'air sont nécessaires pour le développement de symptômes aigus.⁴⁰ Récemment, Crook a trouvé que des concentrations de ces bactéries de l'ordre de 10³ UFC/m³ d'air dans des porcheries peuvent causer des problèmes respiratoires de type allergique chez les individus exposés.³⁶ Les concentrations moyennes mesurées dans cette étude sont du même ordre de grandeur soit 3,8 X 10³ UFC/m³.

3.4 Moisissure thermotolérante *Aspergillus fumigatus*

A. fumigatus peut causer des symptômes allant des réponses allergiques aux maladies respiratoires chroniques chez les individus qui ont un système immunitaire déficient ou inadéquat.^{37,39} L'aspergillose est la maladie causée par cette moisissure.^{39,40} Cette espèce thermotolérante est surtout rencontrée lorsqu'il y a du compost ou des substrats ayant une température supérieure ou égale à environ 45 °C comme dans les silos en agriculture où est entreposé le foin moisi.^{16,29,34,36-38,40} Selon le rapport d'un groupe de travail sur la signification de la présence de champignons dans l'air intérieur des édifices, *A. fumigatus* peut être nocif pour la santé des humains; cette moisissure peut être allergisante, pathogène et productrice de puissantes mycotoxines.⁴¹ Selon ces mêmes auteurs, des expositions reliées à cette espèce peuvent susciter une grave inquiétude.⁴¹ *A. fumigatus* a été aussi impliqué dans des cas d'asthme professionnel et plus particulièrement là où l'on cultive les champignons sur du compost.³⁴ La dose précise pour laquelle des effets sur la santé des individus exposés en santé ou sensibilisés n'est pas encore connue.^{37,40,41} Clark et coll. dans leurs usines de compostage en Suède ont mesuré dans certains départements des concentrations de l'ordre de 10⁶ UFC/m³ d'air de cette moisissure.⁴² *A. fumigatus* n'est pas une espèce fréquemment rencontrée dans l'air ambiant.⁴³ Bien que des concentrations faibles d'*A. fumigatus* dans l'air extérieur ne semblent pas causer d'infections chez les individus en santé, des concentrations de 10 à 10⁴ UFC/m³ d'air peuvent inciter des réponses allergiques chez les individus sensibilisés.⁴³ Le niveau maximal retrouvé dans la porcherie a été de 9 420 (\pm 5 440) UFC/m³ en été, après le brassage (réf. tableau 4 et figure 6).

3.5 Moisissures

Les moisissures étaient présentes à des concentrations variant de 3 350 (\pm 430) à 8 740 (\pm 3 530) UFC/m³ d'air (réf. tableaux 3 et 4 et figure 5). La concentration moyenne maximale de 8 740 (\pm 3 530) UFC/m³ d'air a été mesurée en été (réf. tableau 4 et figure 5). En hiver, lorsque les concentrations extérieures de moisissures étaient presque nulles, 6 310 (\pm 1 850) UFC/m³ d'air ont été mesurées après le brassage (réf. tableau 3 et figure 5). Des concentrations de cet ordre sont souvent retrouvées dans les porcheries.^{1,2,4,5,10,31,32,36} Dans une étude sur les facteurs environnementaux en relation avec l'état de santé des travailleurs des porcheries en Suède, des concentrations plus grandes ou égales à $1,3 \times 10^4$ UFC/m³ d'air de moisissures ont été reliées, d'une façon statistiquement significative, avec des symptômes respiratoires.¹ Selon l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), sauf chez les individus immunodéficients, des concentrations de moisissures plus petites que 10^2 ne suscitent que peu d'intérêt.⁴⁴

L'exposition aux spores de moisissures a été reliée à des alvéolites allergiques et au syndrome des poussières toxiques organiques.⁴⁵ L'inhalation des spores et de propagules de champignons peut avoir d'autres effets que la stimulation d'une réaction allergique.⁴¹ L'expression "mycotoxicose pulmonaire" est utilisée pour désigner un groupe de maladies causées par des mycotoxines, des endotoxines et d'autres facteurs. Il n'est pas encore connu dans quelle mesure la présence de mycotoxines peut contribuer à la capacité des spores ou des propagules de champignons inhalés de provoquer la maladie et comment l'inhalation de produits volatiles émis par les champignons peut affecter les humains.⁴¹

3.6 Gaz

Les concentrations de contaminants chimiques mesurées pendant les deux saisons étaient toutes inférieures à 50 % de leur valeur d'exposition réglementée soit par le RQMT au Québec ou par les ACGIH-TLV aux États-Unis (réf. tableaux 3 et 4 et figures 7 à 13).^{26,27} Selon Donham et coll., des problèmes respiratoires apparaissent chez les travailleurs de porcheries à partir de 7 ppm d'ammoniac et de 3,8 mg/m³ de poussières.¹ Dans la porcherie, la concentration maximale d'ammoniac mesurée a été de 4,8 ppm après le brassage en hiver et les concentrations de poussières étaient inférieures à 0,5 mg/m³.

3.7 Discussion

Concernant les comparaisons statistiques, le brassage a eu des influences significatives au niveau des bactéries totales, des moisissures, du CO et du NO₂ pendant l'hiver et des bactéries totales, des thermoactinomycètes, des moisissures, des *A. fumigatus*, du N₂O et du CO pendant l'été (tableaux 3 et 4 et figures 2, 4-7, 10, 11 et 13). À cause de l'utilisation d'un rotoculteur à essence pour faire le brassage, des concentrations significativement plus élevées de CO en hiver et en été et de NO₂ en hiver, ont été mesurées après le brassage. Pour les autres contaminants, il n'est pas surprenant de les retrouver à des concentrations significativement plus élevées après le brassage, à cause de leur origine qui est la litière.

Au niveau des saisons, tous les contaminants qui proviennent de la porcherie, i.e. les gaz, les poussières et les bactéries (totales, Gram négatives et thermoactinomycètes) sont retrouvés en concentrations plus élevées, d'une façon statistiquement significative en hiver malgré que la capacité de ventilation soit durant cette période deux (2) fois supérieure à un bâtiment conventionnel sur lisier.²³ Le système de ventilation, qui en été, fournit un débit moyen d'air de 1,9 m³/sec (4 120 CFM) avec

en plus des portes ouvertes sur un côté lorsque comparé à 1,1 m³/sec (2 370 CFM) en hiver, semble donc efficace pour diluer les concentrations des contaminants. Les contaminants qui proviennent de l'air extérieur comme les moisissures dont *Aspergillus fumigatus*, ont, tant qu'à eux, des concentrations significativement plus élevées pendant l'été. En effet, ces microorganismes ont leur période optimale de croissance du printemps à l'automne.^{40,41,44}

Les températures des litières prises pendant 11 mois pour l'ensemble des parcs, quelle que soit la profondeur d'échantillonnage, se situent, selon la firme de consultants BPR, dans l'intervalle 30°C à 50°C.²³ Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par les italiens Bonazzi et Navaratto, qui ont mesuré des températures de litière variant entre 35°C et 45°C à 20 cm de profondeur.⁴⁸ En effet, le processus de compostage est continuellement réamorcé par l'ajout graduel de litière et de déjections et ne permet pas d'observer un profil classique d'évolution de température. La véritable phase thermophile étant de courte durée ou absente, le produit ne réalise pas une phase d'hygiénisation qui permettrait de détruire la majorité des pathogènes éventuels. Il est recommandé dans la littérature scientifique d'atteindre des températures de 60 à 70°C pendant au moins une semaine pour diminuer la flore bactérienne (bactéries totales et Gram négatives) et les thermoactinomycètes.^{36,38} De plus, dans l'élevage des porcs sur litière biomaitrisée ces températures à la surface ne pourront jamais être atteintes, à cause de la température de l'air qui refroidit la litière, créant ainsi des conditions favorables à la prolifération des moisissures thermotolérantes comme *A. fumigatus* et des thermoactinomycètes.

En ce qui concerne l'efficacité des enzymes, selon le rapport de la firme de consultants BPR, aucune différence significative attribuable au type n'a pu être notée.²³ De plus, selon ce même rapport, sur la base du peu de résultats scientifiques disponibles et de leur caractère contradictoire sur l'efficacité des enzymes, la pertinence économique de leur utilisation reste encore à prouver. Les auteurs de ce rapport sont d'avis que le succès de la technique repose d'abord sur une gestion adéquate des opérations reliées à la litière (quantité, renouvellement, brassage), sur la gestion de l'eau et des conditions du bâtiment (ventilation, chauffage).²³

Ce type d'élevage permet de réduire, lorsque les taux de ventilation sont suffisants, les concentrations de certains contaminants habituellement retrouvés dans les porcheries comme les bactéries Gram négatives et les gaz à des niveaux acceptables lorsque comparés avec les normes ou les niveaux recommandés. De plus, cette méthode a des impacts non négligeables comme la disparition des fosses à fumier et des eaux de lixiviat, la diminution du volume de lisier de 75% et le compost produit constitue alors un supplément organique de qualité pour les sols. Cependant, il possède aussi les conditions idéales pour assurer le développement de la moisissure *A. fumigatus* qui est la source de symptômes allant des réponses allergiques aux maladies respiratoires chroniques et des thermoactinomycètes qui peuvent causer des pneumonites d'hypersensibilité.^{34,35,37,39,40} Selon une étude effectuée par Kay et coll. (1993), les concentrations d'actinomycètes thermophiles mesurées dans la litière et dans l'air signifiaient un risque pour les travailleurs affectés aux opérations sur la litière dans les parcs.⁴⁷ Ces résultats vont dans le même sens que nos observations.

Considérant les risques encore existants au niveau des thermoactinomycètes et de la moisissure *A. fumigatus*, il est suggéré, pour protéger la santé des travailleurs de ce milieu, de porter des masques de protection respiratoire munis de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air-Filters) assurant une rétention de 99,7 % des spores.⁴⁸ De plus, ces masques devront être entreposés d'une façon convenable lorsque inutilisés afin d'empêcher la croissance microbienne à l'intérieur des filtres.⁴⁹ Ils doivent être entreposés dans un endroit propre et sec, à l'abri des rayons du soleil.⁵⁰

4. CONCLUSION

Cette étude a permis de mesurer les contaminants chimiques et biologiques présents dans l'air d'une porcherie utilisant la technique de la litière biomâtrisée dans le but de démontrer à quel niveau se situe la salubrité de ce milieu de travail pour les travailleurs.

Concernant les contaminants chimiques, les concentrations mesurées ont toutes été inférieures à 50 % de leur valeur d'exposition du RQMT, quelle que soit la saison.

Les concentrations moyennes les plus élevées de bactéries totales et Gram négatives ont été rencontrées en hiver et étaient respectivement 27 fois et 4 fois plus élevées que les niveaux recommandés par Malmros et coll. pour le traitement des déchets et le compostage. Les concentrations des bactéries semblent donc équivalentes à celles rencontrées dans les techniques conventionnelles d'élevage du porc au Québec. Cependant, en été, les concentrations de bactéries Gram négatives étaient sous ces niveaux. La concentration moyenne maximale des thermoactinomycètes était de 8 740 (\pm 3 530) UFC/m³ en été et celle des *Aspergillus fumigatus* de 9 420 (\pm 5 440) UFC/m³ d'air en été. Les températures moyennes de la litière constituent donc un climat idéal pour la prolifération de ces microorganismes thermotolérants et rejoignent les résultats obtenus dans d'autres études sur ce sujet. Les moisissures étaient présentes à des concentrations variant de 3 350 (\pm 430) à 8 740 (\pm 3 530) UFC/m³ d'air. La concentration moyenne maximale de 8 740 (\pm 3 530) UFC/m³ d'air a été mesurée en été. En hiver, lorsque les concentrations extérieures de moisissures étaient presque nulles, 6 310 (\pm 1 850) UFC/m³ d'air ont été mesurées après le brassage. Des concentrations de cet ordre sont souvent retrouvées dans les porcheries.

Au niveau des saisons, tous les contaminants qui proviennent de la porcherie, i.e. les gaz, les poussières et les bactéries (totales, Gram négatives et thermoactinomycètes) sont retrouvés en concentrations plus élevées, d'une façon statistiquement significative, en hiver. Les contaminants qui proviennent de l'air extérieur comme les moisissures dont *Aspergillus fumigatus* et qui ont leur période optimale de croissance du printemps à l'automne ont, quant à eux, des concentrations significativement plus élevées pendant l'été. De plus, les concentrations des contaminants sont en général plus élevées après les opérations de brassage d'une façon statistiquement significative.

Ce type d'élevage permet de réduire les concentrations de certains contaminants habituellement retrouvés dans les porcheries comme les bactéries Gram négatives et les gaz à des niveaux acceptables. De plus, cette méthode a des impacts non négligeables sur l'environnement comme la disparition des fosses à fumier et des eaux de lixiviat, la diminution du volume de lisier et le compost produit utilisé comme amendement constitue alors un supplément organique de qualité pour les sols. Cependant, ce nouveau type d'élevage possède les conditions idéales pour assurer le développement des thermoactinomycètes et de la moisissure *A.fumigatus*. Considérant les risques encore existants, il est suggéré, pour protéger la santé des travailleurs de ce milieu, de porter des masques de protection respiratoire munis de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air-Filters) assurant une rétention de 99,7 % des spores.

5. BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Donham, K., Haglind, P., Peterson, Y., Rylander, R., Belin L., Environmental and Health Studies of Farm Workers in Swedish Swine Confinement Buildings. Br. J. Ind. Med. 46:31-37. (1989).

-
- 2 - Donham, K., and Gustafson K.E., Human Occupational Hazards from Swine Confinement. Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg. 2:137-142. (1982).
 - 3 - Rylander, R., Organic Dusts and Lung reactions. Exposure Characteristics and Mechanisms for Disease. Scand. J. Work. Environ. Health. 11:199-206. (1985).
 - 4 - Donham, K., Health Effects from Work in Swine Confinement Buildings. Am. J. Ind. Med. 17:17-25. (1990).
 - 5 - Donham, K., Assessment of Bioaerosols in Livestock Confinement Buildings and their Relationships to Worker Health. University of Iowa. Institute of Agricultural Medicine and Occupational Health. 124 AMRF, Oakdale Campus, Iowa, USA, 1986.
 - 6 - Zuskin, E., Schachter, E.N., Mustajbegovic, J. and Kern, J., Respiratory Symptoms and Ventilatory Capacity in Swine Confinement Workers, Br. J. Ind. Med. 49:435-440. (1992).
 - 7 - Dosman, J.A., Cockcroft, D.W., Principles of Health and Safety in Agriculture. CRC Press, Inc, Florida, 421 p., 1989.
 - 8 - Cormier, Y. Respiratory Health of Workers Exposed to Confinement Buildings only or both Swine Confinement Buildings and Dairy Barns. Scand. J. Environ. health. 17:269-275. (1991).
 - 9 - Cormier, Y., Tremblay, G., Mmériaux, A., Brochu, G., Lavoie, J., Airborne Microbial Contents in Two Types of Swine Confinement Buildings in Quebec. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 51:304-309. (1990).
 - 10 - Donham, K., Studies on Environmental Exposures, Swine Health and Engenering Design in Swine Confinement Buildings in Southern Sweden. Report 4186, Swedish Work Environment Fund Contractk 82-0101, 83-0124, 83-0933 and 84-0667. The Institute of Agricultural Medicine and Occupational Health, The University of Iowa, USA, and the Department of Environmental Hygiene, The University of Gothenburg, Sweden, 1986.
 - 11 - Barber, E.M., Ventilation for Healthy Pigs and workers. Agricultural Engineering Department, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, 306-966-5310, 1986.
 - 12 - Harry, E.G. Air pollution in Farm buildings and Methods of Control: a Review. Avian Pathology, 7:441-454. (1978).
 - 13 - Clark, C.S., Report on Prevention and Control. Am. J. Ind. Med. 10:267-273. (1986).
 - 14 - Gingras, G., Lavoie, J., Down-Draft Ventilation in Swine Confinement Buildings. Canadian Society of Agricultural Engineering, University of Saskatoon, Saskatchewan, paper # 91-230.
 - 15 - Clark, C.S., Health Effects Associated with Wastewater Treatment and Disposal. Journal WPCF (Water Pollution Control Federation), 1984, vol.56, 6:625-626.
 - 16 - Lundholm, M., Rylander, R., Occupational Symptoms Among Compost Workers. J. Occ. Med., 22: 256. (1980).

- 17 - Clark, C.S., Potential and Actual Biological Related Health Risks of Wastewater Industry Employment, Journal WPCF, 59 (Water Pollution Control Federation), #12, 999, (1987).
- 18 - Chatillon, G., Viel, L., Le retour à la litière, une alternative zéro défaut. Porc Magazine, #226, septembre 1990, édition du Boisbaudry, Rennes, France, pp. 92-122.
- 19 - Viel, L., Porci plateau central crée le "porc nature". Porc Magazine, #230, janvier 1991, édition du Boisbaudry, Rennes, France, pp.64-70.
- 20 - Tam, N.F.Y., Vrijmoed, L.L.P., Effects of Commercial Bacterial Products on Nutrient Transformations of Pig Manure in a Pig-On-Litter System. Waste Management and Research (1990) 8, 363-373.
- 21 - Caouette, P., Gingras, G., Dutil, C., Le point sur les élevages sur litière biomatrisée. Texte de conférence présenté dans le cadre du colloque sur la gestion des fumiers, Drummondville, Québec, octobre 1992.
- 22 - Navarotto, P.L., Bonazzi, G., A New Kind of Litter to Eliminate Slurry Production in Piggeries. Recent Development in Animal Waste Management. Proceedings of the consultation in the European cooperative research network on waste utilization. Bologne, Italie, septembre 1990, pp. 183-187.
- 23 - Les consultants BPR., L'élevage sur litière biomatrisée. Expérimentation et suivi agronomique, environnemental et économique. Rapport final, division agronomique et génie rural, Québec, (Québec), 83 pages, 1994.
- 24 - National Institute for Occupational Safety and Health., NIOSH Manual of Analytical Methods, Method # S-349: Boron Oxide, and method # S-262: Carbon Black. Second ed. Vol. 3, (1977).
- 25 - Scherrer, B., Biostatistique. Gaétan Morin éditeur, Chicoutimi, Québec, Canada, 849 pages, 1984.
- 26 - Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r.15. Éditeur officiel du Québec, 67 pages, 1990.
- 27 - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. 1993-1994. Cincinnati, Ohio, 1992.
- 28 - Laitinen, S., Nevalainen, A., Kotimaa, M., Liesivuori, J., Martikainen, P.J., Relationship between Bacterial Counts and Endotoxin Concentrations in the Air of Wastewater Treatment Plants. Applied and Environmental Microbiology, 58:11(3774-3776). (1992).
- 29 - Malmros, P., Sigsgaard, T., Bach, B., Occupational Health Problems Due to Garbage Sorting. Waste Management and Research 10, 227-234 (1992).
- 30 - Malmros, P., Problems with the Working Environment in Solid Waste Treatment. The National Labour Inspection of Denmark, Report No. 10/1990, 26 pages, (1990).

-
- 31 - Crook, B., Robertson, J.F., Travers Glass, S.A., Botheroyd, E.M., Lacey, J., Topping, M.D., Airborne Dust, Ammonia, Microorganisms, and Antigens in Pig Confinement Houses and the Respiratory Health of Exposed Farm Workers, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., (52)7:271, 1991.
 - 32 - Clark, S., Rylander, R., Larsson, L., Airborne Bacteria, Endotoxin and Fungi in Dust in Poultry and Swine Confinement Buildings, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 44(7):537, (1983).
 - 33 - Attwood, P., Brouwer, R., Ruigwaard, P., Versloot, P., De Wit, R., Heederik, D., Boleij, J.S., A Study of the Relationship between Airborne Contaminants and Environmental Factors in Dutch Swine Confinement Buildings, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(8):745, (1987).
 - 34 - Lacey, J., Crook, B., Fungal and Actinomycetes Spores as Pollutants of the Workplace and Occupational Allergens, Ann. Occup. Hyg., 32, #4, 515-533, (1988).
 - 35 - Shellito, J.E., Hypersensitivity Pneumonitis, Seminars in Respiratory Medicine, Vol. 12, #3, (1991).
 - 36 - Crook, B., Exposure to Airborne Microorganisms in the Industrial Workplace, J. Aerosol Sci., 23(Suppl. 1):S559, (1992).
 - 37 - Maritato, M.C., Algeo, E.R., Keenan, R.E., The Aspergillus fumigatus Debate: Potential Human Health Concern, Biocycle, December 1992, pp. 70-72.
 - 38 - Lessard, S., Compostage des déchets verts domestiques et des boues de stations d'épuration : synthèse des connaissances concernant les risques pour la santé, Comité de santé environnementale des DSC du Québec, DSC Hôpital de l'Enfant-Jésus, 83 pages, octobre 1992.
 - 39 - American Public Health Association, Control of communicable Diseases in Man, Abram S. Benenson, editor, 5^e ed., Washington, DC, 1985.
 - 40 - Miller, J.D., Fungi as Contaminants in Indoor Air, Atmospheric Environment, 26A(12):2163, (1992).
 - 41 - Santé et bien-être social du Canada, Signification de la présence de champignons dans l'air intérieur des édifices : Rapport d'un groupe de travail, Revue canadienne de santé publique, Vol. 78, mars/avril 1987, p.S17.
 - 42 - Clark, C.S., Rylander, R., Larsson, L., Levels of Gram-Negatives Bacteria, Aspergillus fumigatus, Dust, and Endotoxin at Compost Plant, Applied and Environmental Microbiology, 45(5):1501, (1983).
 - 43 - Millner, P.D., Marsh, P.B., Snowden, R.B., Parr, J.F., Occurrence of Aspergillus fumigatus During Composting of Sewage Sludge, Applied and Environmental Microbiology, 34(6):765, (1977).
 - 44 - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Guidelines for the Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment, Cincinnati, Ohio, (1989).

- 45 - Eduard, W., Sandven, P., Levy, F., Serum Antibodies to Mold Spores in Two Norwegian Sawmill Populations: Relationship to Respiratory and Other Work-Related Symptoms. Am. J. Ind. Med., 24:207, (1993).
- 46 - Bonazzi, G., Navarotto, P.L., Wood Shaving Litter for Growing-Finishing Pigs. Dans : Proceedings Workshop Deep litter Systems for Pigs Farming. Research Institute for Pig Husbandry, 21 and 22 september 1992, Rosmalen, The Netherlands, J.A.M. Voermans, ed., pp. 57-60, (1992).
- 47 - Kay, R.M., Evans, A.T., In Situ Composting of Pig Manure: Potential Environmental and Health Risks. In: Livestock Environment IV. Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. 6-9 July 1993. Published by American Society of Agricultural Engineers, pp. 875-881. 1993.
- 48 - Lacey, J., Nabb, S., Webster, B.T., Retention of Actinomycete Spores by Respirator Filters. Ann., Occup., Hyg., 25(4):351, (1982).
- 49 - Pasanen, A.L., Keinanen, J., Kalliokoski, P., Martikainen, P.I., Ruuskanen, J., Microbial Growth on Respirator Filters from Improper Storage. Scand, J., work, Environm. and Health, 19(6):421, (1993).
- 50 - American Industrial Hygiene Association., Respiratory protection. A Manual and Guideline. American Industrial Hygiene Association, Akron, Ohio, 121 p., 1989.

Figure 1 : Schéma et dimensions de la porcherie

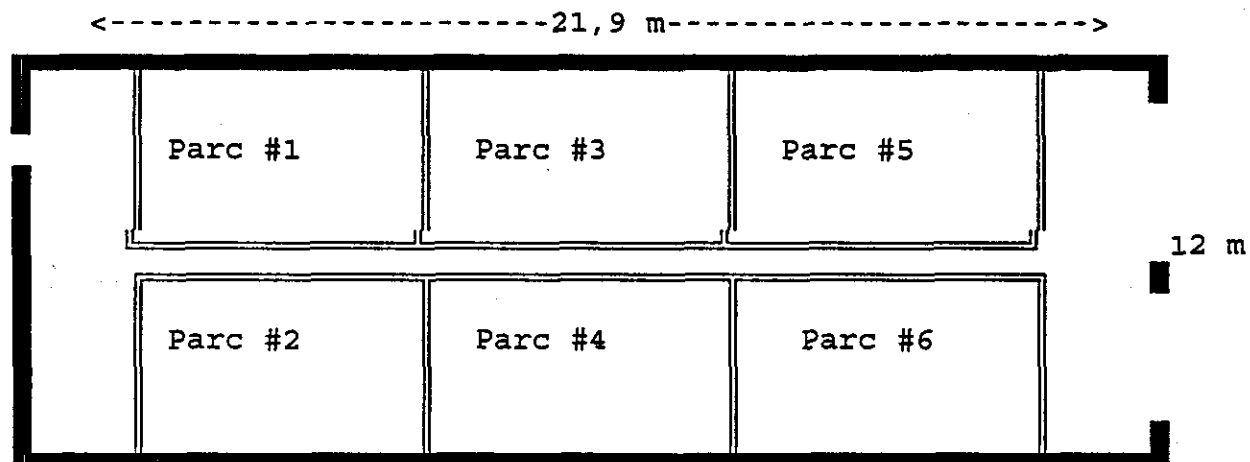


Tableau 1 : Températures moyennes (°C) de l'air, % d'humidité relative et débits moyens

	Température		% d'humidité relative		Débit moyen (m ³ /sec)
	Intérieure	Extérieure	Intérieure	Extérieure	
Hiver (03-93)	17,5	-14,0	62	40	1,1 (±0,3)
Été (07-93)	27,0	26,0	69	65	1,9 (±0,9)

Tableau 2 : Températures moyennes¹ de la litière

	TEMPÉRATURE (°C)			
	HIVER		ÉTÉ	
	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm
Parc # 1	35,3 (± 6,8)	37,5 (± 0,7)	49,7 (± 3,3)	50,4 (± 1,7)
Parc # 2	33,5 (± 2,4)	47,5 (± 0,7)	41,7 (± 2,7)	41,6 (± 1,6)
Parc # 3	43,5 (± 2,4)	49,5 (± 0,7)	44,8 (± 5,0)	45,0 (± 4,4)
Parc # 4	41,0 (± 3,8)	40,5 (± 0,6)	47,8 (± 1,6)	44,2 (± 2,1)
Parc # 5	44,0 (± 3,2)	53,5 (± 0,7)	45,7 (± 3,8)	47,1 (± 4,1)
Parc # 6	43,7 (± 8,4)	56,6 (± 2,3)	42,7 (± 1,2)	42,3 (± 0,9)

¹ : Basées sur la moyenne de quatre températures

Tableau 3 : Concentrations des contaminants de l'air (Hiver)

CONTAMINANT	NORME OU RECOMMANDATION	AVANT BRASSAGE		APRÈS BRASSAGE	
		n	moyenne (écart-type)	n	moyenne (écart-type)
Bactéries totales (UFC/m ³)	10 000 UFC/m ³ ^{28,29} 5 000 UFC/m ³ ^{28,29}	19	172 800 (± 53 920)	18	266 800* (± 98 850)
Bactéries gram-négatives (UFC/m ³)	1 000 UFC/m ³ ^{28,29}	20	2 990 (± 2 200)	19	3 840 (± 1 180)
Thermoactinomyètes (UFC/m ³)	---	17	2 570 (± 1 920)	20	3 450 (± 2 000)
Moisissures (UFC/m ³)	---	16	3 350 (± 430)	17	6 310* (± 1 850)
<i>Aspergillus fumigatus</i> (UFC/m ³)	---	18	1 220 (± 780)	15	1 080 (± 690)
Poussières totales (mg/m ³)	10 mg/m ³ ²⁵	17	0,5 (± 0,1)	16	0,5 (± 0,1)
Anhydride carbonique (CO ₂) (ppm)	5 000 ppm ²⁵	63	2 370* (± 140)	41	2 150 (± 150)
Ammoniac (NH ₃) (ppm)	25 ppm ²⁵	60	4,4 (± 1,5)	40	4,8 (± 1,1)
Protoxyde d'azote (N ₂ O) (ppm)	50 ppm ²⁵	63	12,5 (± 0,9)	41	11,8 (± 1,5)
Monoxyde de carbone (CO) (ppm)	50 ppm ²⁵	63	7,2 (± 0,5)	41	34,7* (± 19,8)
Oxyde nitrique (NO) (ppm)	25 ppm ²⁵	22	0,3 (± 0,15)	16	0,3 (± 0,13)
Bioxyde d'azote (NO ₂) (ppm)	5 ppm ²⁵	20	0,7 (± 0,3)	16	1,5* (± 0,4)

*: p ≤ 0,05

Tableau 4: Concentrations des contaminants de l'air (Été)

CONTAMINANT	NORME OU RECOMMANDATION	AVANT BRASSAGE		APRÈS BRASSAGE	
		n	moyenne (écart-type)	n	moyenne (écart-type)
Bactéries totales (UFC/m ³)	10 000 UFC/m ³ ^{28,28} 5 000 UFC/m ³ ^{28,29}	20	78 200 (± 26 300)	20	146 100* (± 44 300)
Bactéries gram-négatives (UFC/m ³)	1 000 UFC/m ³ ^{28,29}	20	490 (± 365)	19	495 (± 210)
Thermoactinomycètes (UFC/m ³)	---	22	1 410 (± 740)	22	2 790* (± 820)
Moisissures (UFC/m ³)	---	18	5 570 (± 3 450)	18	8 740* (± 3 530)
<i>Aspergillus fumigatus</i> (UFC/m ³)	---	18	1 520 (± 1 310)	14	9 420* (± 5 440)
Poussières totales (mg/m ³)	10 mg/m ³ ²⁸	14	0,3 (± 0,1)	18	0,4* (± 0,1)
Anhydride carbonique (CO ₂) (ppm)	5 000 ppm ²⁸	35	730 (± 160)	36	795 (± 190)
Ammoniac (NH ₃) (ppm)	25 ppm ²⁸	36	0,9 (± 0,3)	37	1,3 (± 0,4)
Protoxyde d'azote (N ₂ O) (ppm)	50 ppm ²⁸	35	2,2 (± 0,6)	37	2,8* (± 1,3)
Monoxyde de carbone (CO) (ppm)	50 ppm ²⁸	41	1,0 (± 0,2)	29	11,0* (± 15,6)
Oxyde nitrique (NO) (ppm)	25 ppm ²⁸	--	N.D.	--	N.D.
Bioxyde d'azote (NO ₂) (ppm)	5 ppm ²⁸	--	N.D.	--	N.D.

*: p ≤ 0,05

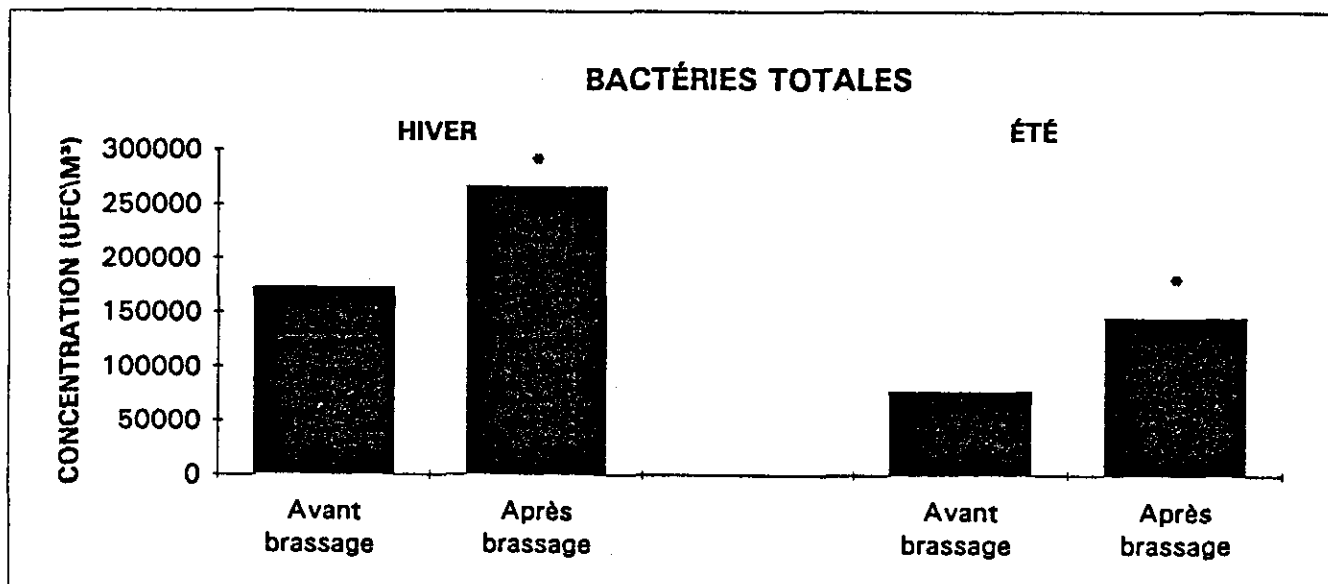


Figure 2 : Concentrations des bactéries totales

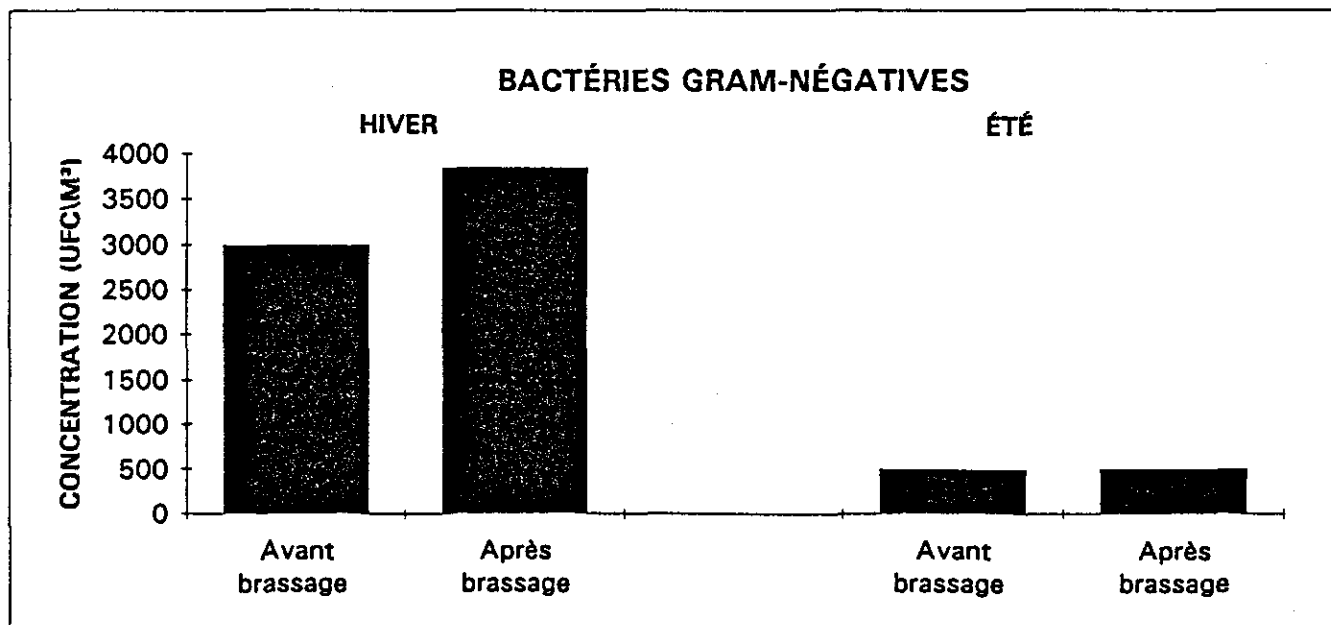


Figure 3 : Concentrations des bactéries Gram négatives

* $p \leq 0,05$

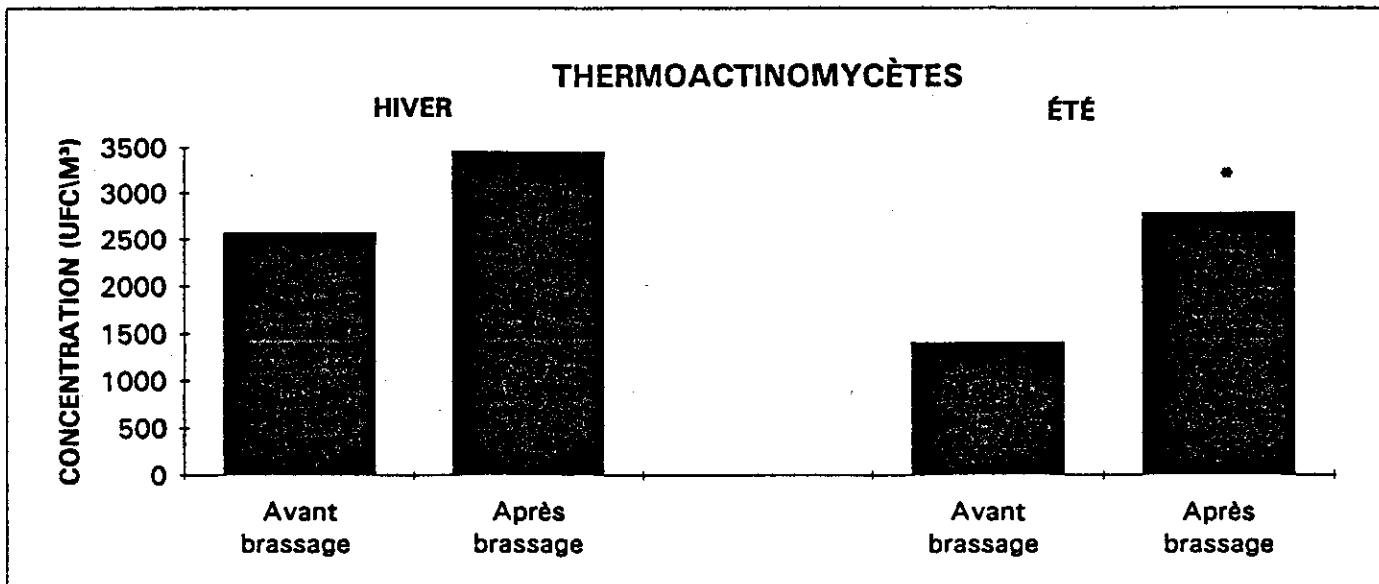


Figure 4 : Concentrations des thermoactinomycètes

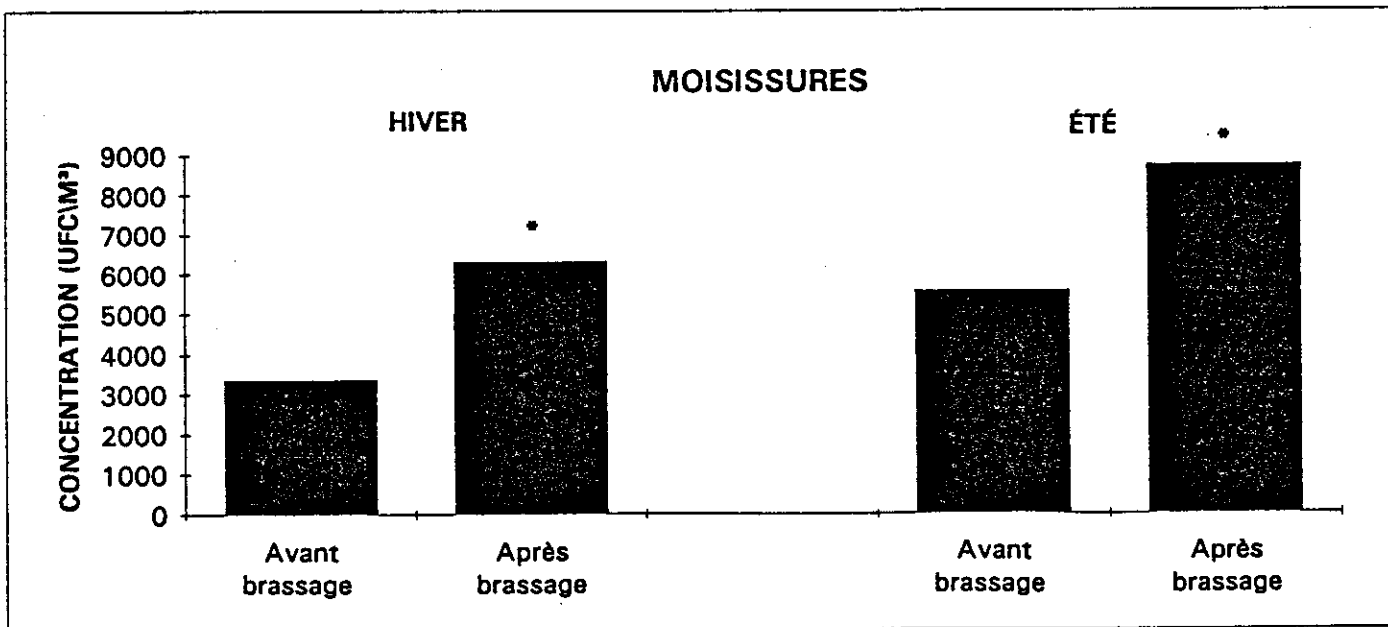


Figure 5 : Concentrations des moisissures

* p < 0,05

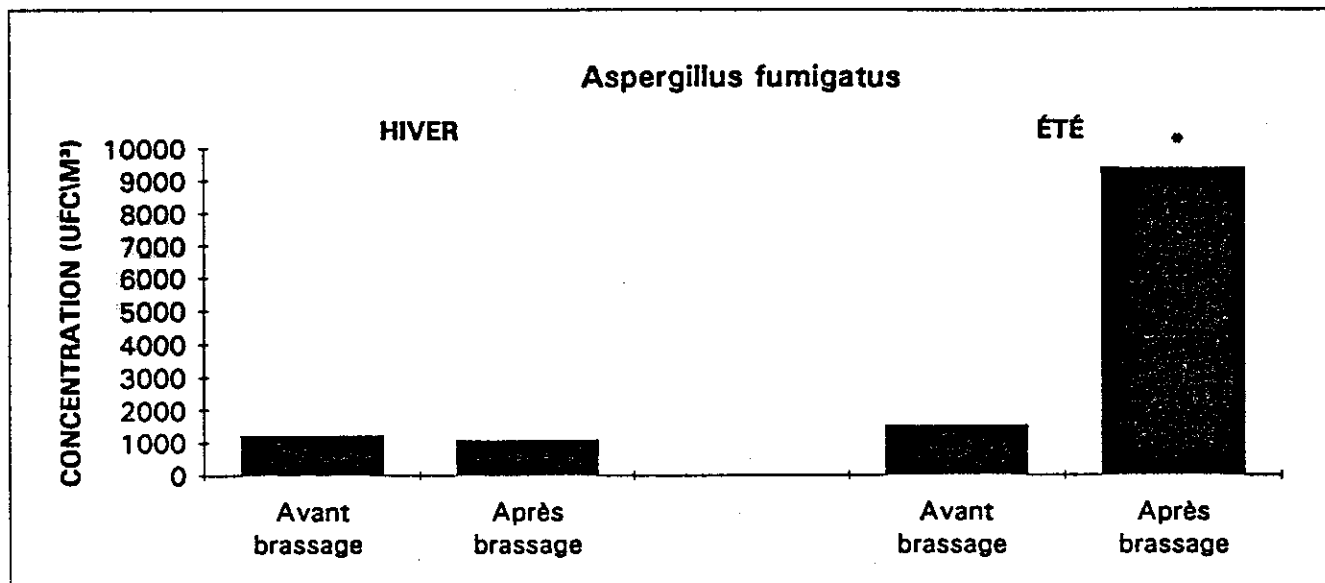
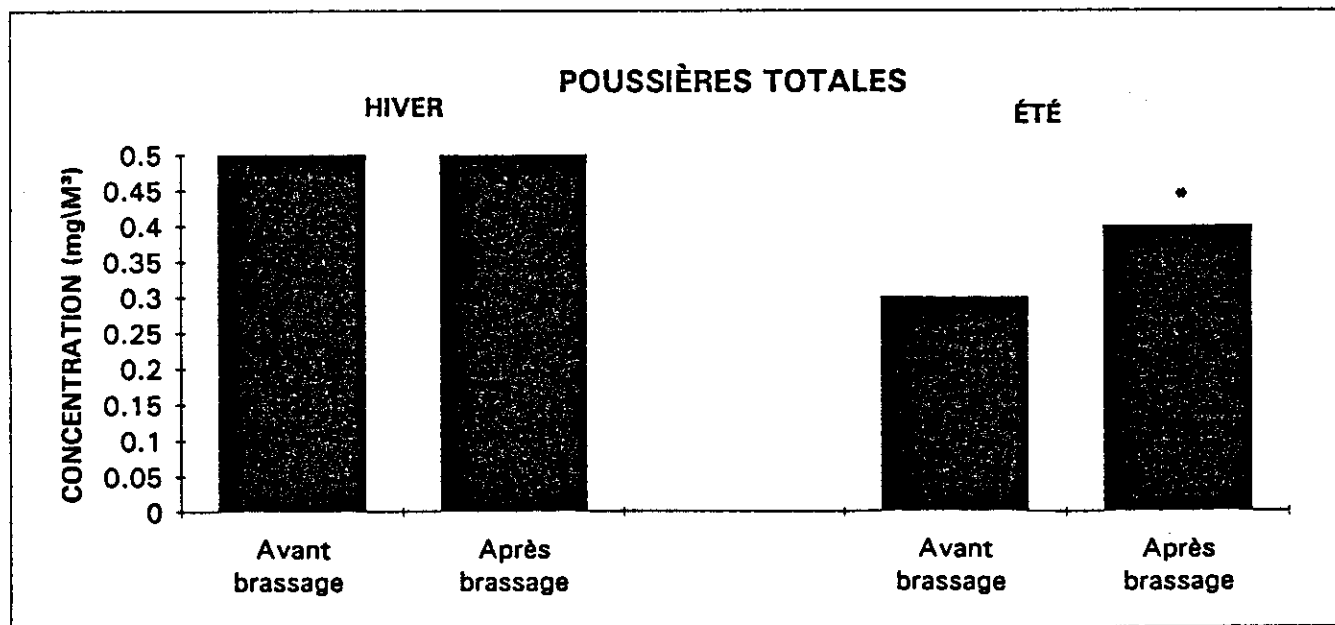
Figure 6 : Concentrations des *Aspergillus fumigatus*

Figure 7 : Concentrations des poussières totales

* $p \leq 0,05$

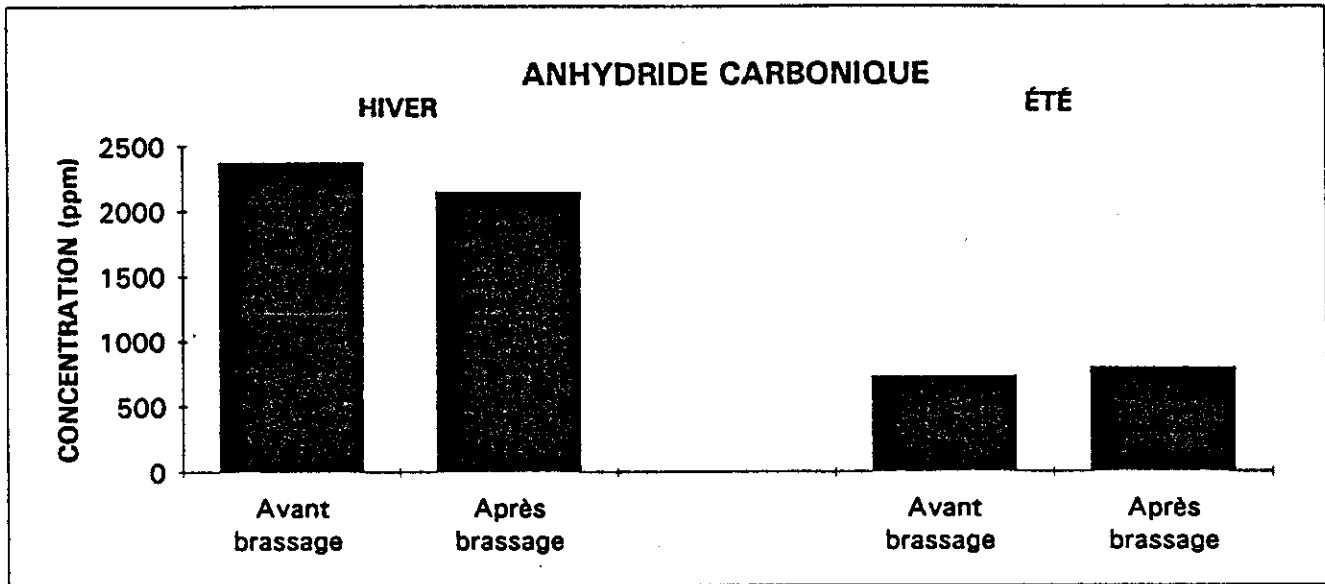


Figure 8 : Concentrations d'anhydride carbonique

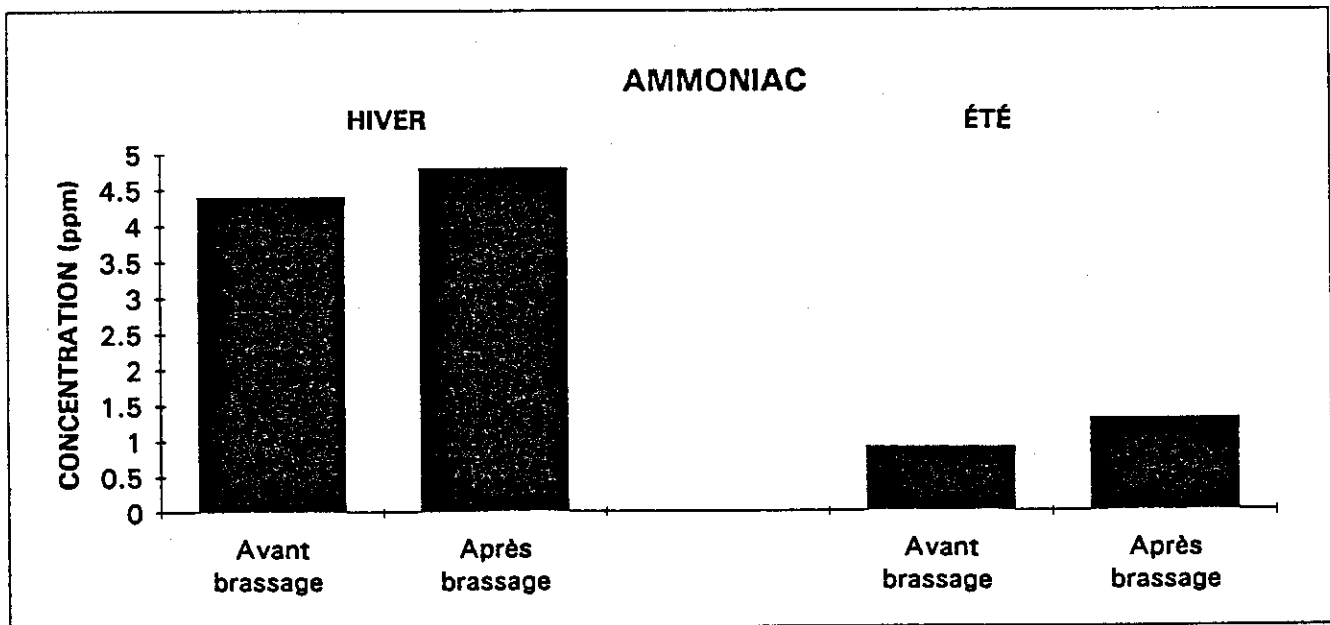


Figure 9 : Concentrations d'ammoniac

* $p \leq 0,05$

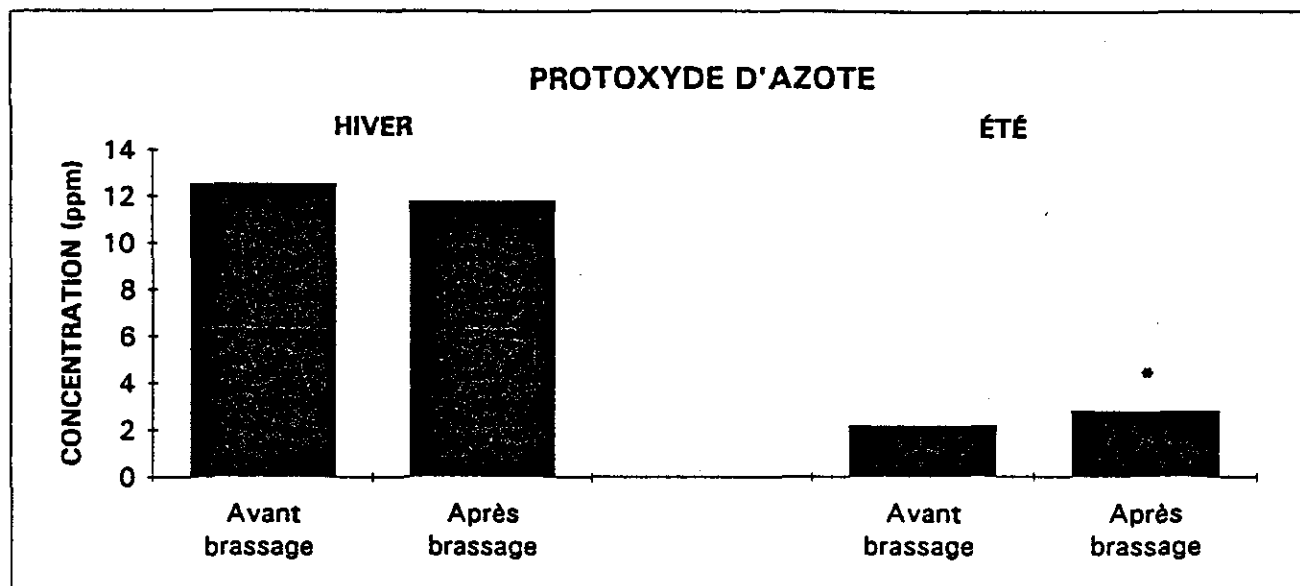


Figure 10 : Concentrations de protoxyde d'azote

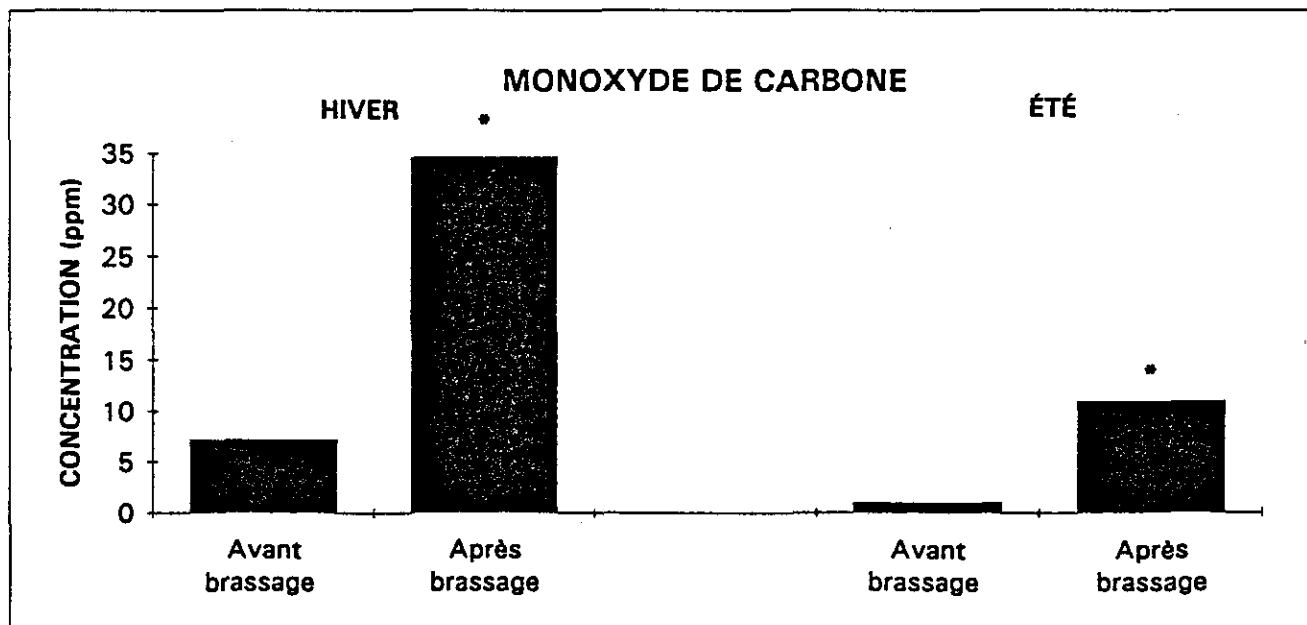


Figure 11 : Concentrations de monoxyde de carbone

* $p \leq 0,05$

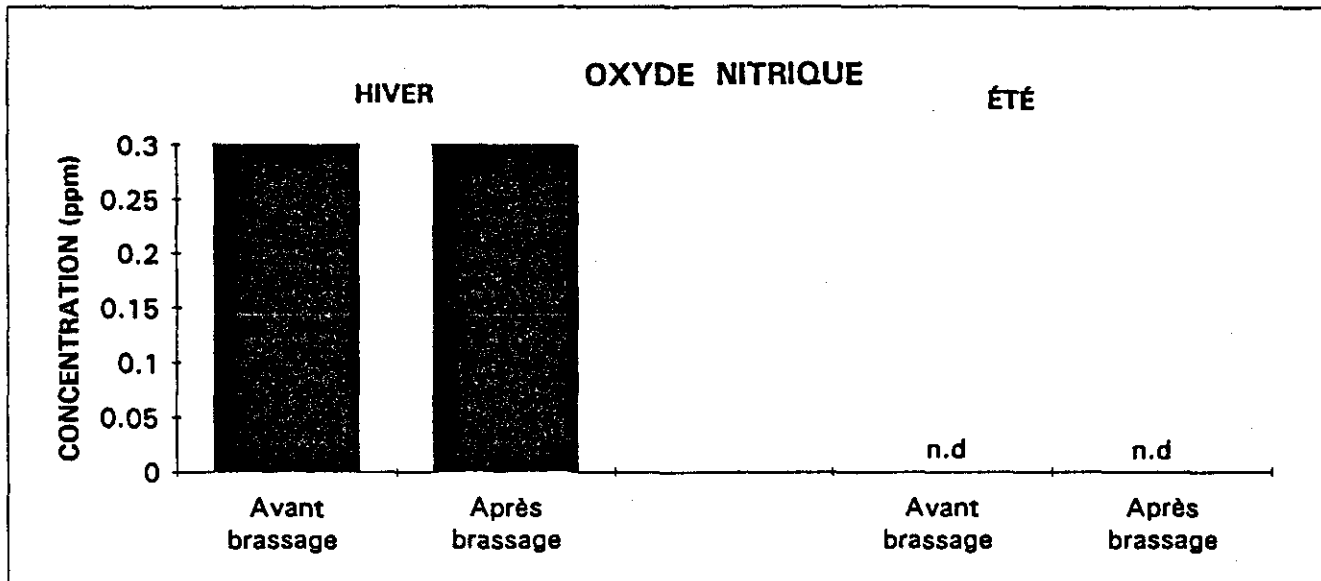


Figure 12 : Concentrations d'oxyde nitrique

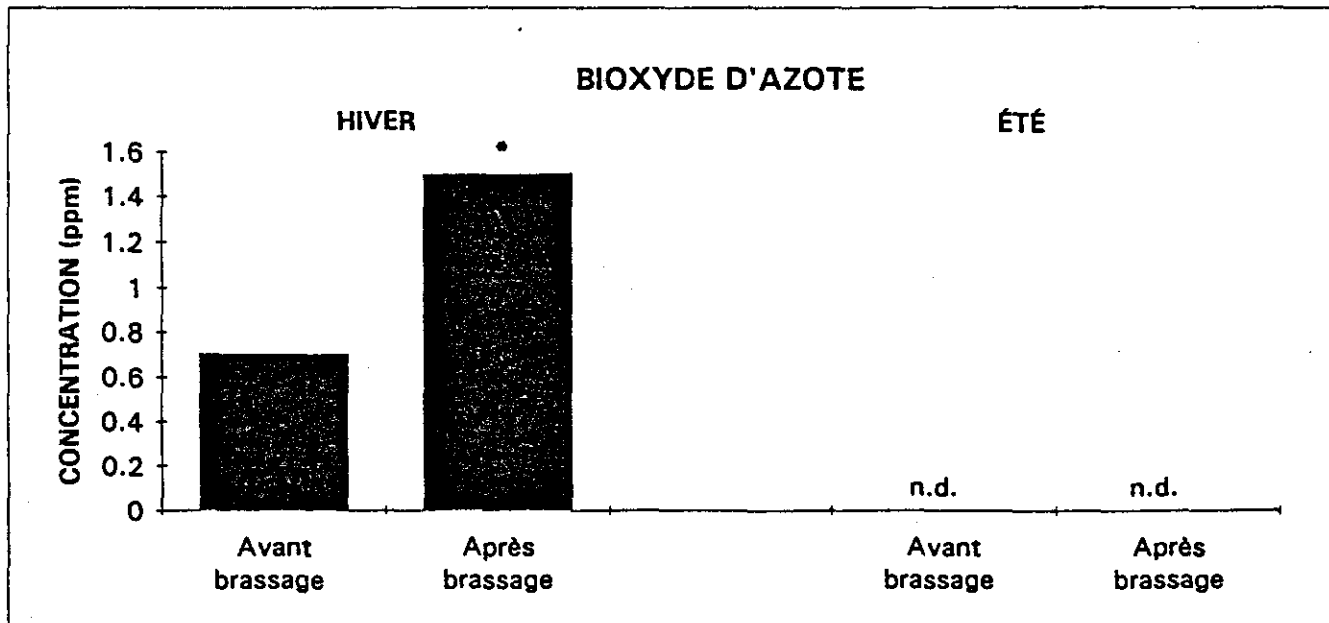


Figure 13 : Concentrations de bioxyde d'azote

* $p \leq 0,05$