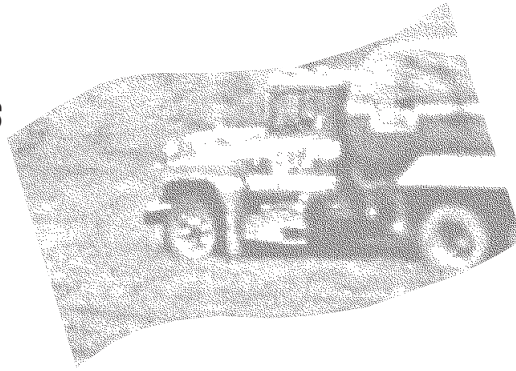


Évaluation de l'impact des additifs de lisier sur l'exposition des travailleurs et l'atténuation des odeurs

Jacques Lavoie
Daniel Massé
Francis Croteau
Lucie Masse



ÉTUDES ET RECHERCHES

R-376

RAPPORT



Centre de recherche et de développement
sur le bovin laitier et le porc
Agriculture et Agroalimentaire Canada



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 *travaillent pour vous !*

MISSION

- 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

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,
juillet 2004

Évaluation de l'impact des additifs de lisier sur l'exposition des travailleurs et l'atténuation des odeurs

Jacques Lavoie,
Hygiène du travail, IRSST

Daniel Massé, Francis Croteau et Lucie Masse,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ.....	1
INTRODUCTION.....	3
Mise en contexte.....	4
MÉTHODOLOGIE	8
Montage expérimental.....	9
Les additifs	10
Le lisier.....	11
Analyses physico-chimiques du lisier.....	11
Analyses des gaz	11
Analyses des odeurs	13
Biosécurité des additifs	14
Analyses statistiques	15
RÉSULTATS ET DISCUSSION	16
Effets des additifs sur les caractéristiques physico-chimiques du lisier.....	16
Effets des additifs sur la composition gazeuse.....	19
Effets des additifs sur les odeurs.....	20
Effets des additifs sur la biosécurité des lisiers.....	23
Bactéries	24
Endotoxines.....	25
Moisissures.....	26
Concentrations de H ₂ S	28
Méthodologie d'évaluation des effets des additifs sur le lisier	28
Limites de l'étude.....	29
CONCLUSION.....	30
REMERCIEMENTS.....	31
BIBLIOGRAPHIE	31

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Additif et dosage utilisé dans le montage expérimental.....	13
Tableau 2 : Caractéristiques du lisier	13
Tableau 3 : Résumé des méthodes (bioaérosols)	15
Tableau 4 : Moyennes brutes des bioaérosols mesurés.....	24
Tableau 5 : Résultats de l'analyse en doubles mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations de bactéries.....	25
Tableau 6 : Résumé des analyses non paramétriques sur les dénombrements bactériens pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, à chacune des reprises .	25
Tableau 7 : Résultats de l'analyse en double mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations d'endotoxines.....	26
Tableau 8 : Résumé des analyses non paramétriques sur les concentrations d'endotoxines pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, à chacune des reprises .	26
Tableau 9 : Résultats de l'analyse en doubles mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations de moisissures.	27
Tableau 10 : Résumé des analyses non paramétriques sur les dénombrements de moisissures pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, pour chacune des reprises	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Montage expérimental	12
Figure 2 : Montage expérimental (système ouvert)	16
Figure 3 : Concentrations totales des AGV (VFA) dans le système fermé pour toute la période d'entreposage expérimentale.....	18
Figure 4 : Concentrations totales des AGV (VFA) dans le système ouvert pour toute la période d'entreposage expérimentale.....	18
Figure 5 : Concentrations de NH ₃ -N (NH ₃ + NH ₄ ⁺) dans la phase liquide du lisier pour les réservoirs des systèmes ouvert et fermé.....	19
Figure 6 : Concentrations gazeuses de NH ₃ et de méthane dans l'espace d'air des réservoirs du système ouvert.....	20

Figure 7 : Limites inférieures de détection d'odeurs pour le système de réservoirs fermés	21
Figure 8 : Limites inférieures de détection pour le système de réservoirs ouverts	21
Figure 9 : Mesures d'intensités d'odeurs et de tons hédoniques pour le système de réservoirs fermés	22
Figure 10 : Mesures d'intensités d'odeurs et de tons hédoniques pour le système de réservoirs ouverts	23

RÉSUMÉ

Les odeurs représentent un défi important en agriculture, notamment pour les producteurs de porcs. Différentes entreprises ont mis en marché des additifs à ajouter au purin qui selon eux diminuent les odeurs en éliminant les composés responsables. Cette affirmation n'est pas documentée scientifiquement et pourrait créer une fausse sécurité chez les travailleurs. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) s'est intéressé à cette problématique mais du point de vue environnemental et nous a proposé une collaboration afin de couvrir les principaux aspects de l'utilisation de tels additifs. Notre collaboration a porté sur l'aspect biosécurité pour les travailleurs.

Les objectifs de cette recherche étaient de s'assurer que de nouveaux risques ne soient pas créés avec l'utilisation d'additifs et de réaliser des mesures d'odeurs selon les méthodes standardisées dans le but d'évaluer une méthodologie ou protocole expérimental en laboratoire pour vérifier sur une base scientifique les affirmations des manufacturiers d'additifs.

Un montage a été développé au centre de recherche de Lennoxville de AAC. L'évaluation du protocole et des quatre additifs les plus utilisés sur le marché s'est faite sur une période de 12 mois. Les caractéristiques physico-chimiques, les gaz (le méthane, l'ammoniac et l'hydrogène sulfuré), les odeurs et les bioaérosols (bactéries totales, endotoxines et moisissures) ont été mesurés dans cette même période.

Les résultats indiquent que les quatre additifs testés pour toute la période d'entreposage ont eu aucun effet sur le système de réservoirs représentant les caniveaux sous les lattes de planchers. Dans le système représentant les fosses à fumier, un d'entre eux, le neutralisant chimique, a réduit la dégradation des acides gras volatils et les émissions d'ammoniac. Toutefois, la quantité de neutralisant chimique ajouté au lisier correspondait à 14 fois la dose recommandée sur l'emballage, ce qui est économiquement inacceptable pour un usage commercial.

Les résultats suggèrent aussi que la configuration du système peut avoir un impact sur les effets des additifs. Les techniques de prélèvement pour analyser les odeurs ont aussi besoin d'être améliorées. Les analyses d'odeurs devraient aussi être faites au minimum en triplicata à cause de l'erreur expérimentale liée à la dilution et aux facteurs humains.

INTRODUCTION

Les questions de la qualité de l'air sont omniprésentes dans les préoccupations des citoyens et des travailleurs soucieux de leur santé et de leur qualité de vie. Pendant longtemps, parce qu'elles étaient considérées comme un mal nécessaire, les odeurs associées aux activités industrielles ont été négligées. Toutefois, de nos jours, les citoyens et travailleurs les considèrent quand même de plus en plus toxiques et poussent les industries et les gouvernements vers une réglementation visant à les éliminer.^{1,2}

Les odeurs représentent aussi un défi important en agriculture, notamment pour les producteurs de porcs. Au Québec, l'élevage du porc, sur le plan économique, est la deuxième production agricole la plus importante.³ Environ 12 000 personnes travaillent dans cette industrie.⁴ L'expansion de la production porcine près des zones urbaines et l'empiètement de la construction résidentielle en régions rurales au cours des dernières décennies ont causé des conflits de cohabitation. Dans certaines régions, les émissions malodorantes de la production porcine limitent la croissance de cette industrie. En outre, la réglementation mise en place pour diminuer ces émissions réduit considérablement les emplacements potentiels de nouvelles constructions.

Différentes entreprises ont mis en marché des additifs à ajouter au purin de porc qui selon eux diminuent ou éliminent les odeurs en éliminant les composés responsables. D'ailleurs, certains fournisseurs affirment que leurs additifs réduisent sensiblement les niveaux de gaz toxiques et dangereux, tels l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac et le méthane. Cette affirmation n'est pas documentée scientifiquement et pourrait créer une fausse sécurité chez les travailleurs. Par surcroît, les tests antérieurs effectués jusqu'à présent n'ont pas considéré l'aspect biosécuritaire et l'impact environnemental associé à l'utilisation de ces additifs. Une étude exploratoire menée à la demande de la CSST par un CLSC n'a pas montré de différence significative dans les concentrations d'hydrogène sulfuré.⁵ L'utilisation d'additifs pour régler les odeurs sera socialement acceptable seulement si ces derniers réduisent les odeurs d'une façon substantielle et qu'ils ne présentent aucun risque potentiel pour les travailleurs, les animaux et l'environnement.

AAC s'est intéressé à cette problématique mais du point de vue environnemental et nous a

proposé une collaboration afin de couvrir les principaux aspects de l'utilisation de tels additifs. Notre collaboration a porté sur l'aspect biosécurité pour les travailleurs. Le présent rapport décrira les résultats de cette étude conjointe.

Mise en contexte

Jusqu'à récemment, on pensait que les odeurs associés à l'élevage d'animaux n'étaient qu'un problème de nuisance. Des études récentes tendent à démontrer que les odeurs peuvent également affecter la santé des humains. Hartung (1992) et Hinz et Krause (1987) ont indiqué qu'il y a une augmentation significative de maladies respiratoires parmi les gens demeurant dans des régions où la densité animale est élevée.^{6,7} Des odeurs de forte intensité peuvent causer des nausées, des maux de tête, la perturbation du sommeil, des troubles de digestion, la perte d'appétit et la dépression.^{6,7} Les problèmes de santé sont plus graves chez les travailleurs agricoles qui sont continuellement exposés aux poussières et aux gaz responsables des odeurs. Il est maintenant bien connu que ces travailleurs peuvent développer des maladies respiratoires.^{3,4}

Dans les porcheries, les gaz malodorants sont produits principalement par la dégradation des bactéries anaérobies du lisier. Les chercheurs ont identifié plus de 150 composés volatils émis par les lisiers, surfaces de plancher mouillées et animaux souillés.^{5,8} Les principaux gaz retrouvés sont le méthane (CH_4), l'ammoniac (NH_3), l'anhydride carbonique (CO_2) et l'hydrogène sulfuré aussi appelé sulfure d'hydrogène (H_2S).⁵ Le plus dangereux des composés chimiques tapis dans les préfosse et fosses est le H_2S .⁵ Son odeur rappelle celle des œufs pourris. Il est une cause fréquente de décès par intoxication au travail. En 1996 seulement, 8 intoxications au H_2S , dont 5 mortelles, sont survenues dans ces établissements.⁵ Une seule respiration de H_2S à une concentration de 1 000 parties par million (ppm) est fatale.⁵ Cette concentration peut être atteinte lors de l'agitation du lisier dans les caniveaux et les fosses. La valeur d'exposition moyenne pondérée permise en milieu de travail pour une journée de 8 heures est de 10 ppm.⁹ Les distributeurs affirment que leurs additifs ont pour effet de réduire sensiblement les niveaux de gaz toxiques et dangereux, tels le H_2S , le NH_3 et le CH_4 . En fait, lorsque le lisier est traité avec de tels produits, des concentrations semblables et même supérieures ont été observées.⁵ Une fausse impression de sécurité peut être ainsi créée. La validité des informations fournies par les

manufacturiers d'additifs est souvent non fondée car leurs affirmations sont basées principalement sur des témoignages de producteurs agricoles.

Les odeurs peuvent aussi atteindre des niveaux inacceptables pour le voisinage, particulièrement lors de la reprise du lisier des fosses d'entreposage et lors des activités d'épandage sur les champs. Les odeurs peuvent être caractérisées en terme d'intensité, de qualité et de degré de nuisance olfactive.¹⁰ Le nez humain représente le meilleur outil pour qualifier l'odeur. Il contient plus de 1 000 groupes de récepteurs. Ces récepteurs permettent au nez de faire la distinction entre 5 000 composantes odorantes différentes.¹¹ L'intensité de l'odeur varie avec la taille, le type et la régie des installations de production porcine, les pratiques de production, l'emplacement des installations, la topographie locale, la saison, le climat, le moment de la journée, la direction et la vitesse du vent et la turbulence de l'air. La réaction à l'intensité de l'odeur varie tant qu'à elle beaucoup en fonction de l'expérience des gens, de leur sens de l'odorat et de la façon dont ils perçoivent la production porcine. Les possibilités d'expansion, la viabilité et l'image publique de la production porcine vont dépendre de la façon dont les odeurs et autres problématiques environnementales seront atténuées.

Afin de solutionner la problématique des odeurs, plusieurs entreprises ont développé des produits supposés être efficaces pour réduire l'intensité ou l'émission des odeurs. Au Québec, Choinière (1996), a répertorié 54 additifs différents utilisés pour désodoriser le lisier.¹² À cette liste s'ajoutent les nouveaux additifs qui font leur apparition annuellement sur le marché. Ces additifs peuvent être classés selon les catégories suivantes :^{13,14}

Agents masquants : Substances composées d'un mélange d'huiles aromatiques ou de parfums avec un alcool. Le mélange permet de camoufler les odeurs du lisier par une odeur plus agréable. L'alcool permettrait aussi d'éliminer les bactéries indigènes responsables de la production d'odeurs.

Agents neutralisants : Ce sont des produits chimiques et biologiques qui réagissent avec les substances odorantes pour les détruire, modifier leur composition ou empêcher leur formation. Dans certains cas, une réaction d'oxydation transforme les composés odorants en composés

inodores. Certains neutralisants inhiberaient les microorganismes indigènes du lisier et empêcheraient la formation de composés odorants.

Agents biologiques : Ce sont des enzymes qui favorisent l'utilisation de certaines substances odorantes par les bactéries indigènes ou ce sont des bactéries que l'on ajoute au lisier. Ces bactéries rivalisent avec les bactéries indigènes. Lorsque ces dernières réussissent à supplanter la flore indigène, le lisier est alors transformé en substances non odorantes et en microorganismes.

Agents oxydants : Ces agents sont des oxydants puissants ou des germicides qui éliminent les microorganismes indigènes du lisier et mettent fin à la production de composés odorants. Les oxydants détruisent aussi certains des composés odorants.

Agents adsorbants : Produits avec un rapport surface/volume très élevé. Cette caractéristique permet aux produits d'adsorber les composés odorants.

Agents chimiques : Pour le contrôle du pH et du milieu ambiant ou pour réduire le transfert des composés organiques volatils (COV) de la phase liquide à l'air ambiant.

Certains des additifs sur le marché ont été évalués selon différents protocoles expérimentaux à l'échelle de laboratoire à travers le monde.¹²⁻¹⁴ Toutefois, les conditions en laboratoire, même pour les protocoles utilisés en Amérique du Nord, n'étaient pas représentatives des conditions d'entreposage du lisier sur les fermes du Québec (température, pH, composition physico-chimique, rapport surface/volume, débit d'air au-dessus du lisier, etc.).^{13,14} De plus, ces tests étant de courte durée, ils n'ont pas permis d'évaluer l'effet des additifs pour la période d'entreposage recommandée au Québec de 8 à 12 mois. Les tests antérieurs ne fournissent aucune information sur l'impact des additifs sur l'exposition des travailleurs et des animaux aux contaminants chimiques et agents biologiques et sur l'environnement en général. À titre d'exemple, certains agents oxydants peuvent causer des inflammations respiratoires. Les alcools sont très réactifs, dangereux et inflammables. Quelques additifs (produits acides, alcalins, métaux lourds, etc.) peuvent affecter l'environnement soit en augmentant l'émission des gaz à effets de serre, de l'azote ammoniacal ou de sulfure d'hydrogène ou en contribuant à la contamination des sols et

des eaux de surface et souterraines. Les additifs qui affectent les propriétés physico-chimiques du lisier et du sol risquent d'avoir un impact négatif sur la qualité du milieu environnemental comme la contamination des sols par les métaux lourds, l'acidification du sol et la diminution de la disponibilité des éléments fertilisants.

L'utilisation d'additifs pour régler la problématique des odeurs sera socialement acceptable seulement si ces derniers réduisent les odeurs d'une façon substantielle et qu'ils ne présentent aucun risque potentiel pour les travailleurs, les animaux et l'environnement.

Tous les additifs sur le marché devraient être évalués afin de déterminer leur efficacité, leur biosécurité et leurs impacts sur l'environnement. L'évaluation peut se faire en laboratoire ou à la ferme. Les tests à la ferme sont plus difficiles à réaliser et à reproduire, plus variables et substantiellement plus dispendieux. À la ferme, les prélèvements d'échantillons de lisier et d'air vicié pour les analyses sont plus difficiles. La comparaison de l'efficacité des additifs sur l'atténuation des odeurs d'une ferme à l'autre est très difficile à établir car le niveau d'odeur dans un bâtiment dépend de la régie et du design de ce dernier. L'intensité des odeurs peut dépendre de la surface de plancher plein versus latté, du type de matériel de recouvrement du plafond et des murs, des systèmes d'alimentation et de ventilation, de la concentration de poussières, de la propreté du bâtiment, du volume de lisier dans les caniveaux, de la fréquence d'évacuation du lisier et du stade physiologique des animaux. Entre autres, l'ajout d'un additif dans les caniveaux à lisier à l'intérieur d'un bâtiment poussiéreux ne devrait pas réduire de façon significative le niveau d'odeur. En effet, les poussières provenant des porcheries sont en général composées de fines particules d'aliments, de matières fécales séchées, de poils, de cellules épidermiques, de moisissures, de bactéries et ne proviennent pas tous des caniveaux.^{3,4,14} La concentration de certaines substances malodorantes peut être plusieurs fois plus élevée sur les poussières que dans un volume égal d'air.

Par contre, des tests en laboratoire permettent un meilleur contrôle expérimental, facilitent l'échantillonnage du lisier, des microorganismes aéroportés (bioaérosols) et des gaz et réduisent les interférences avec les opérations courantes à la ferme ainsi que les risques de transmission de

maladies d'une ferme à l'autre. En laboratoire, il est plus facile d'évaluer l'aspect biosécurité des additifs et de contrôler leurs impacts sur l'environnement.

Il y a donc un besoin urgent de développer une méthodologie ou norme d'évaluation en laboratoire pour déterminer l'efficacité et la biosécurité des additifs présentement disponibles et ceux qui seront mis sur le marché dans le futur. À cet égard, le centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc de la direction générale de la recherche du ministère de l'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a démarré en janvier 2001 un projet visant à développer un protocole pour l'évaluation des additifs de lisier.

Les objectifs de cette recherche étaient de :

s'assurer que de nouveaux risques ne soient pas créés avec l'utilisation d'additifs. En effet, certains additifs sont susceptibles d'augmenter les émissions gazeuses, de vapeurs et de bioaérosols. Il est donc primordial d'identifier les risques dus à la manutention des additifs ainsi que les principaux contaminants potentiels de types biologiques et chimiques qui pourraient affecter la santé des travailleurs et la qualité de l'environnement;

réaliser des mesures d'odeurs selon les méthodes standardisées (unité d'odeur, seuil de perception, intensité comparative d'odeur et utilisation d'échelles numériques pour quantifier l'odeur) afin de déterminer si les additifs sont capables de les réduire;

d'évaluer une méthodologie ou protocole expérimental en laboratoire pour vérifier sur une base scientifique les affirmations des manufacturiers d'additifs. Cette méthodologie devra être représentative des conditions d'entreposage du lisier à la ferme (température, teneur en solides, pH, vitesse de l'air au dessus du lisier dans les caniveaux) et permettre de déterminer l'effet des additifs du début jusqu'à la fin de la période d'entreposage.

MÉTHODOLOGIE

Selon AAC, les montages expérimentaux en laboratoire devraient permettre de simuler adéquatement les conditions dans les caniveaux et les structures d'entreposage à long terme sur les fermes porcines du Québec. Il est possible de distinguer deux zones différentes dans un

volume de lisier entreposé. Il s'agit des caniveaux sous les planchers lattés et des réservoirs d'entreposage à long terme. Dans ces deux zones, il y a une zone aérobie facultative près de la surface et une zone entièrement anaérobie en-dessous de la zone aérobie facultative.¹⁵ Les types de gaz et de matières organiques volatiles produits par les microorganismes prédominants à l'intérieur de ces zones sont différents.¹⁵ Dans les caniveaux peu profonds, la contribution de la zone aérobie facultative à la production totale d'émission gazeuse est importante. En outre, il est difficile de mesurer le débit d'air dans les caniveaux à l'intérieur des bâtiments d'élevage. C'est aussi à cet endroit que l'on retrouve les travailleurs et les animaux. Par contre, dans les structures d'entreposage profondes, la contribution de la zone aérobie facultative sera substantiellement moins importante.

L'émission des composantes odorantes dans ces deux zones est fonction des paramètres suivants : température, pH, vitesse de l'air au-dessus du lisier, volume du lisier, profondeur de la structure d'entreposage, composition du lisier, pression partielle des COV et autres gaz, leurs concentrations relatives dans les phases gazeuses et liquides et la durée d'entreposage.

Montage expérimental

Afin de permettre une analyse statistique détaillée, le montage en laboratoire doit fournir suffisamment d'unités expérimentales. Les infrastructures consistent en deux chambres à température contrôlée qui ont été maintenues à 15°C pour simuler la température du lisier dans les caniveaux et lors de la reprise du lisier dans les fosses au début du mois de mai.¹⁵⁻¹⁷ Dans chacune des chambres ont été placés dix réservoirs d'entreposage de lisier à échelle réduite. Dans l'une des chambres où se retrouve le système ouvert, les réservoirs d'une capacité de 220 litres (880 mm de hauteur par 580 mm de diamètre) ont servi à simuler les caniveaux sous les lattes de planchers (pré fosse) (Figure 1) et dans le système fermé de l'autre chambre, ils ont servi à simuler les fosses à fumier (Figure 1). Le lisier provenant d'un parc de finition porcin a été préalablement mélangé pendant 30 minutes avant d'être transféré dans les réservoirs ouverts et fermés. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur du lisier prélevé dans chacun des réservoirs afin de s'assurer de l'uniformité dans la composition du lisier. La profondeur de lisier dans les caniveaux a été la même dans les réservoirs (100 litres de lisier par réservoir). Une paire de réservoirs servira de contrôle et les quatre autres serviront à évaluer quatre additifs différents

qui sont présentement disponibles pour les producteurs de porcs du Québec. L'évaluation du protocole et des additifs pour les systèmes ouvert et fermé s'est faite sur une période de 12 mois.

Des échantillons d'air ont été prélevés au-dessus du lisier du système ouvert, avant et après agitation, aux jours 0, 7, 14, 28, 90, 150 et 280. Cette agitation a consisté à mélanger le lisier de chaque réservoir avec l'aide d'un mélangeur pendant deux minutes. Les échantillons prélevés avant agitation permettront d'évaluer quel sera l'effet des additifs pour atténuer les odeurs provenant des caniveaux. Ceux prélevés après l'agitation du lisier permettront d'estimer l'effet des additifs sur l'atténuation des odeurs lors des activités d'épandage.

Le volume gazeux au-dessus du lisier dans les réservoirs ouverts était de 100 litres. Au début, le taux de ventilation au-dessus du lisier dans les réservoirs était de 2,5 ml/min. Ce taux a été augmenté par la suite de façon à ce que les concentrations d'ammoniac (NH_3) soient similaires à celles mesurées juste au-dessus de la surface du lisier dans les caniveaux sous les planchers lattés des porcheries commerciales (68 à 80 ppm).¹⁵ Un rotamètre Cole-Parmer a été utilisé pour mesurer les débits. La précision du rotamètre de $\pm 5\%$ l'échelle de lecture. Les pompes étaient des Dual Head, modèle 400-2901 de Barnant.

Dans l'autre chambre représentant le système fermé, 10 réservoirs de même taille ont été utilisés afin de simuler les principales conditions anaérobies retrouvées dans les fosses profondes à lisier. Encore une fois, 100 l de lisier, provenant de la même source que celui du système ouvert, ont été mis dans chacun des réservoirs. Les réservoirs, connectés à des ports d'échantillonnage du biogaz et des appareils de mesure, ont été fermés hermétiquement. La figure 1 schématise le montage en laboratoire.

Les additifs

Quatre additifs à lisier disponibles commercialement ont été sélectionnés afin de tester le protocole expérimental. Il s'agit d'un neutralisant biologique, d'un neutralisant chimique, d'un agent chimique et d'un agent masquant. Le tableau 1 présente les caractéristiques principales de ces quatre produits. Les additifs ont été incorporés au lisier selon la posologie et les méthodes d'incorporation recommandées par les manufacturiers. Après avoir déterminé le bon dosage pour

chacun des additifs, ces derniers ont été ajoutés au lisier et agiter pour s'assurer d'une distribution uniforme.

Le lisier

Le lisier a été prélevé d'une porcherie de finition commerciale. Les caractéristiques du lisier présentées au tableau 2 pour le système ouvert et le système fermé représentent une moyenne de 10 échantillons chacun. Il était impossible de démarrer le projet avec les systèmes ouvert et fermé en même temps. Il y a eu une semaine de décalage entre les deux. Afin d'utiliser du lisier frais pour chacun des systèmes, il a été nécessaire de réaliser deux prélèvements différents à la ferme. Le pH, la concentration du lisier en DCO soluble et acides gras volatiles étaient similaires.

Analyses physico-chimiques du lisier

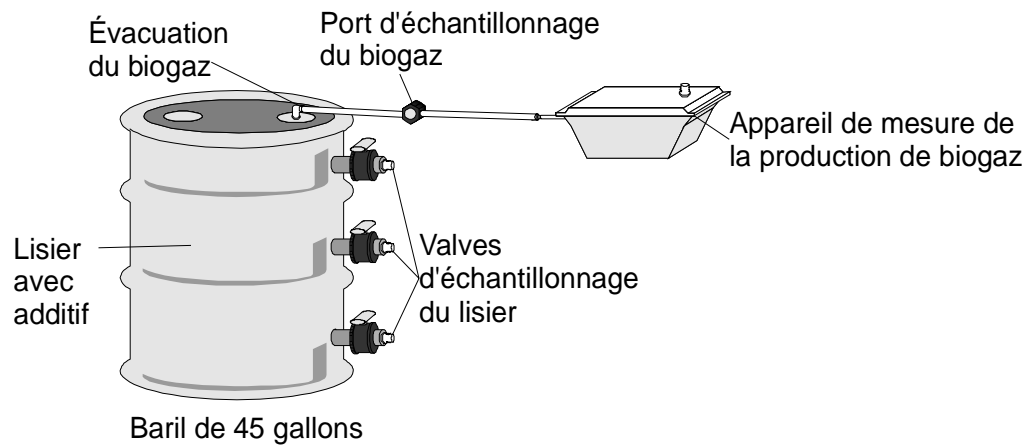
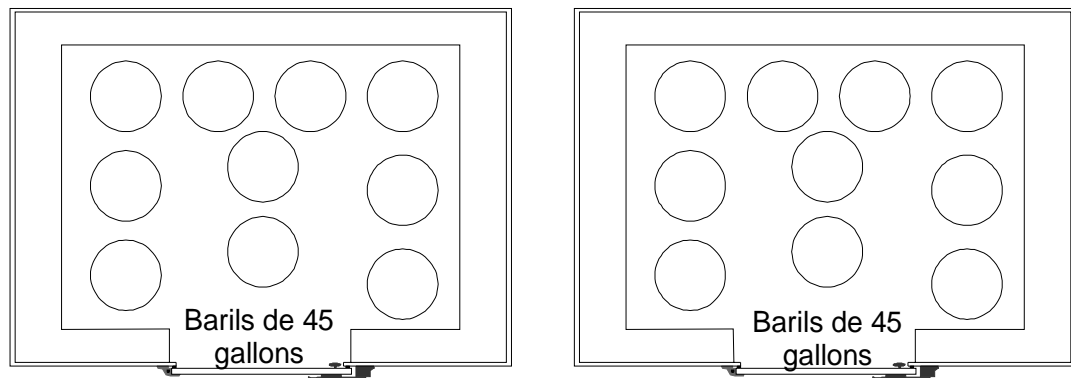
Des échantillons d'un litre de lisier ont été prélevés via la valve d'échantillonnage, de chacun des réservoirs avant et après l'addition des additifs et aux jours 7, 14, 28, 90, 150 et 280 pour le système ouvert et aux jours 28, 93, 149 et 282 pour le système fermé. Les analyses des échantillons de lisiers comprenaient celles des solides totaux, en suspension et les volatils (ST, SST et SV), les demandes en oxygène chimique totales et solubles (DOCT et DOCS), les acides gras volatils (AGV), le pH, l'alcalinité et la viscosité apparente. L'azote ammoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) a été aussi mesuré. Toutes ces méthodes analytiques ont déjà été décrites dans APHA 1992¹⁶ et Massé et coll.¹⁷

Analyses des gaz

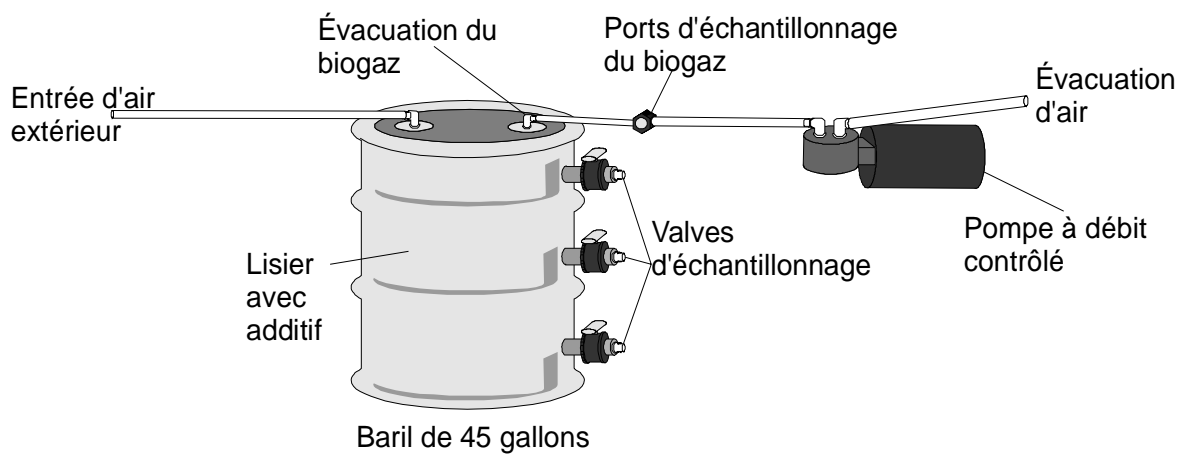
Dans les réservoirs du système ouvert, des échantillons d'air ont été prélevés à chaque 3 à 10 jours. Les échantillons furent pris dans le conduit d'évacuations gazeuses à un débit de 2 l/min et envoyés à une cellule de détection de CH_4 (pile électrochimique) de Draeger (Luebeck, Allemagne) et à un analyseur infra-rouge de NH_3 Ultramat 5F de Siemens. La précision de ces deux appareils est respectivement de 25% et de 3%. Les appareils étaient étalonnés avant chaque séance de mesures.

Figure 1 : Montage expérimental

Salle à température contrôlée



Système fermé



Système ouvert

Tableau 1 : Additif et dosage utilisé dans le montage expérimental

Catégorie	Dose (ml/m ³)	Substance active	pH	Action ¹
Neutralisant biologique	50	Extraits de plantes	3,38	Réduite les odeurs et les émissions d'ammoniac
Neutralisant chimique ²	5000	NA	0,60	Réduit les odeurs
Agent chimique	17	Sulfate de cuivre pentahydraté; complexe sel-acide	0,38	Réduit les odeurs, la viscosité et les pathogènes
Agent masquant	20	Extraits naturels et synthétiques	6,41	Modifie les caractéristiques des odeurs

NA : non disponible

¹ : Selon les manufacturiers

² : La dose a été déterminée par le manufacturier après analyse du lisier expérimental. La dose recommandée sur l'emballage était de 350 ml/m³.

Tableau 2 : Caractéristiques du lisier

Caractéristiques	Système fermé		Système ouvert	
	Moyenne (n=10)	É-T	Moyenne (n=10)	É-T
DOC total (g/l)	138,4	5,1	119,5	7,2
DOC soluble (g/l)	60,9	1,4	61,3	2,6
Solides totaux (g/l)	84,0	4,8	57,1	1,0
Solides totaux volatils (g/l)	61,1	4,7	39,5	1,0
Solides en suspension (g/l)	68,3	4,7	40,9	2,0
Acides gras volatils (g/l)	29,1	1,6	28,7	1,0
Acide acétique (g/l)	13,6	0,8	13,1	0,6
Acide propionique (g/l)	4,2	0,2	4,3	0,2
Acide butyrique(g/l)	7,4	0,4	6,9	0,2
Acide isobutyrique (g/l)	1,2	0,1	1,1	0,0
Acide valérique (g/l)	0,4	0,0	0,7	0,0
Acide isovalérique (g/l)	1,9	0,1	1,9	0,0
Acide caproïque(g/l)	0,4	0,0	0,7	0,0
PH	7,8	0,0	7,6	0,0
Alcalinité (g CaCO ₃ /l)	34,5	2,6	30,4	1,2
Viscosité (cP)	93,3	27,6	45,1	1,7

Analyses des odeurs

Les échantillons de gaz pour les analyses d'odeurs ont été prélevés dans des sacs Tedlar de 60 l aux jours 1, 3, 7, 28, 70, 90, 150, 210, et 280 dans les réservoirs du système ouvert et aux jours 29, 71, 92, 148, 211 et 281 dans ceux du système fermé. Le jour suivant les prélèvements, les analyses d'odeurs ont été réalisées dans le laboratoire d'olfactométrie du centre de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lennoxville (Québec). Tous les échantillons ont été analysés en dedans d'une période de 24 heures afin de respecter les exigences de la norme de la Communauté Européenne de Normalisation (CEN, 1997). La température et l'humidité ont été maintenues au même niveau et l'air ambiant a été renouvelé continuellement. L'air de remplacement a été traité par un filtre au charbon activé afin de le débarrasser de toutes substances volatiles qui pourraient fausser les tests d'odeurs. Les murs et le plafond de ce laboratoire sont revêtus de profilés en aluminium et le plancher recouvert de céramique. Ces matériaux n'émettent pas de COV.

Les échantillons d'odeurs ont été testés en duplicata par un groupe de 6 panélistes sélectionnés selon la norme pour les analyses statistiques AFNOR NFX 43-101 et la norme de la Communauté Européenne de Normalisation (CEN, 1997) pour les analyses d'olfactométrie. Ces normes exigent un minimum de 4 panélistes pour réaliser des analyses d'olfactométrie.

Les échantillons d'air ont été dilués afin d'abaisser les concentrations de H₂S pour faire les analyses hédoniques et d'intensités d'odeurs. La concentration de H₂S ciblée était de 15 ppm. Cette concentration représente la valeur d'exposition de courte durée (VECD) pondérée pour 15 minutes retrouvée dans le règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec.⁹ Les intensités d'odeurs ont tant qu'à elles été mesurées en terme de niveau de dilution au seuil de détection¹⁸ ou en terme d'équivalent de concentration de n-butanol. Les tons hédoniques ont été déterminés avec l'aide de pictogrammes.

Biosécurité des additifs

Trois échantillons de bioaérosols viables (bactéries totales et moisissures) et trois d'endotoxines ont été prélevés sur cassette, avant et après brassage à chacun des jours d'échantillonnage (jours 1,7, 14, 30, 90, 150 et 350) sur chacun des réservoirs ouverts. En fait, nous nous sommes

intéressés plus particulièrement aux conditions représentant l'air intérieur des porcheries, donc là où l'on rencontre les caniveaux. Par surcroît, les bioaérosols sont les bactéries et moisissures présentes dans l'air, donc en conditions aérobies. Les méthodes d'analyse ont été, telles que démontrées dans le tableau 3, les méthodes utilisées par le laboratoire de microbiologie de l'IRSST.^{19,20} La figure 2 présente le montage expérimental.

Les concentrations de H₂S ont été aussi prélevées avant et après brassage en même temps que les bioaérosols, sur le même montage. Des tubes indicateurs 4LLX de marque Gastec (Ayase-City, Japon) de 0,25 à 120 ppm ont été utilisés. Le pourcentage d'erreur de ces tubes est entre 15-25%.

Tableau 3 : Résumé des méthodes (bioaérosols)

Agent	Échantillonnage	Analyse	
		Principe	Limite de détection
Bioaérosols			
Bactéries Totales	Filtre en polycarbonate+ milieu TSA, 2 L/min, 30 minutes	Extraction dans eau distillée stérile et Tween 20 + incubation 2 jours, 37,5°C + dénombrement	1 250 UFC/m ³
Moisissures totales	Filtre en polycarbonate + milieu agar à extrait de malt, 2 L/min, 30 minutes	Extraction eau stérile et Tween 20 + incubation 5-7 jours, 25°C + dénombrement	1 250 UFC/m ³
Endotoxines	Filtre en fibre de verre, 2 L/min, 240 minutes	Test LAL + photométrie	4 UE/m ³

UFC/m³ = unité formatrice de colonie par mètre cube d'air

UE/m³ = unité d'endotoxine par mètre cube d'air

LAL = lysat d'améobocyte de limule

Analyses statistiques

Le modèle retenu a été une analyse de la variance à 1 facteur (TRAIT) avec comparaisons multiples de type Dunnett (comparaison de chaque additif au traitement contrôle en mesure répétées pour chaque système (ouvert ou fermé séparément).²¹ À cause de la distribution des concentrations de bioaérosols dans le système ouvert, cette analyse a été accompagnée d'une analyse non paramétrique de chaque variable (bactéries, endotoxines et moisissures viables).



Figure 2 : Montage expérimental (système ouvert)

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Effets des additifs sur les caractéristiques physico-chimiques du lisier

Dans le système de réservoirs fermés, les traitements aux additifs n'ont eu aucun effet sur les concentrations des AGV, DOCT et DOCS, sur les contenus en solides, sur les pH, les alcalinités et les viscosités apparentes. Dans tous ces réservoirs, les concentrations totales des AGV ont augmenté d'une façon similaire pendant toute la période expérimentale (Fig. 3), à cause principalement des augmentations dans les concentrations d'acides acétique, propionique et butyrique. Ces augmentations sont principalement causées par l'acidification du contenu organique soluble, étant donné qu'il n'y a pas eu d'augmentation significative des DOCS pendant cette même période.

Tous les réservoirs du système ouvert ont démontré des concentrations d'AGV similaires à ceux du système fermé durant les premiers 29 jours d'entreposage à 15⁰C (Fig. 4). Seul le neutralisant chimique a eu un effet significatif sur les concentrations d'AGV après cette période (Fig. 4). Avec tous les autres traitements, les concentrations d'AGV totaux tendent à diminuer passant à environ 29 g/l au jour 0 à 22 g/l au jour 289 (Fig. 4), partiellement à cause de la volatilisation des AGV due aux mouvements d'air sur la surface du lisier, bien qu'à un pH supérieur à 7, la concentration des AGV non ionique devrait être plus faible lorsque comparée avec celle sous forme ionique. La diminution des AGV pourrait être principalement causée par l'activité

biologique dans la zone anaérobie facultative. Dans le lisier traité avec le neutralisant chimique, les concentrations d'AGV tendent à être constantes, indiquant probablement l'inhibition des bactéries oxydantes d'AGV.

Les analyses des AGV individuels indiquent que, dans les réservoirs traités avec le neutralisant chimique, la concentration d'acide acétique augmente durant les 148 premiers jours et décroît par après. Dans tous les autres réservoirs du système ouvert, les concentrations d'acide acétique commencent à décroître après 29 jours d'entreposage. Dans ce même système, les concentrations d'acides propionique, isobutyrique, butyrique et valérique augmentent tout au long de la période d'entreposage dans les réservoirs traités avec le neutralisant chimique, malgré qu'elles diminuent ou demeurent constantes pour tous les autres traitements. La demande en oxygène chimique soluble a elle aussi diminué dans tous les traitements, passant de 62 g/l au jour 0 à 43 g/l au jour 289. Toutefois, elle reste constante pour toute la période d'entreposage dans les réservoirs traités avec le neutralisant chimique. Les autres paramètres (pH, alcalinité, contenu en solide et viscosité) sont tous semblables pour tous les traitements pendant toute la période d'entreposage.

Les concentrations d'azote ammoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) (comprend les ions ammonium et l'ammoniac) dans la phase liquide des lisiers des systèmes ouverts et fermés à la fin de la période expérimentale sont présentées à la figure 5. Les concentrations de $\text{NH}_3\text{-N}$ significativement plus faibles du système ouvert lorsque comparées au système fermé indiquent une volatilisation d'un volume important de NH_3 pendant la période expérimentale dans le système ouvert. Dans le système fermé, les additifs n'ont eu aucun effet sur le NH_3 . La concentration moyenne de $\text{NH}_3\text{-N}$ était de 9368 ± 160 mg/l. Au contraire, dans le système ouvert, les concentrations de $\text{NH}_3\text{-N}$ étaient significativement plus faibles dans les réservoirs traités avec le neutralisant biologique lorsque comparés aux contrôles et significativement plus élevées dans les réservoirs traités avec le neutralisant chimique que dans les contrôles.

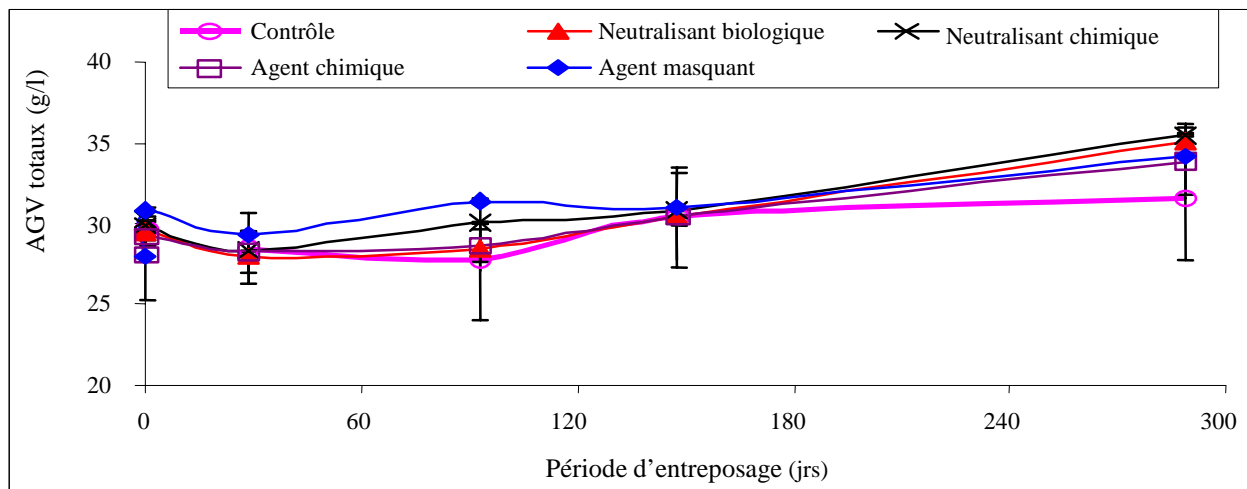


Figure 3 : Concentrations totales des AGV (VFA) dans le système fermé pour toute la période d'entreposage expérimentale

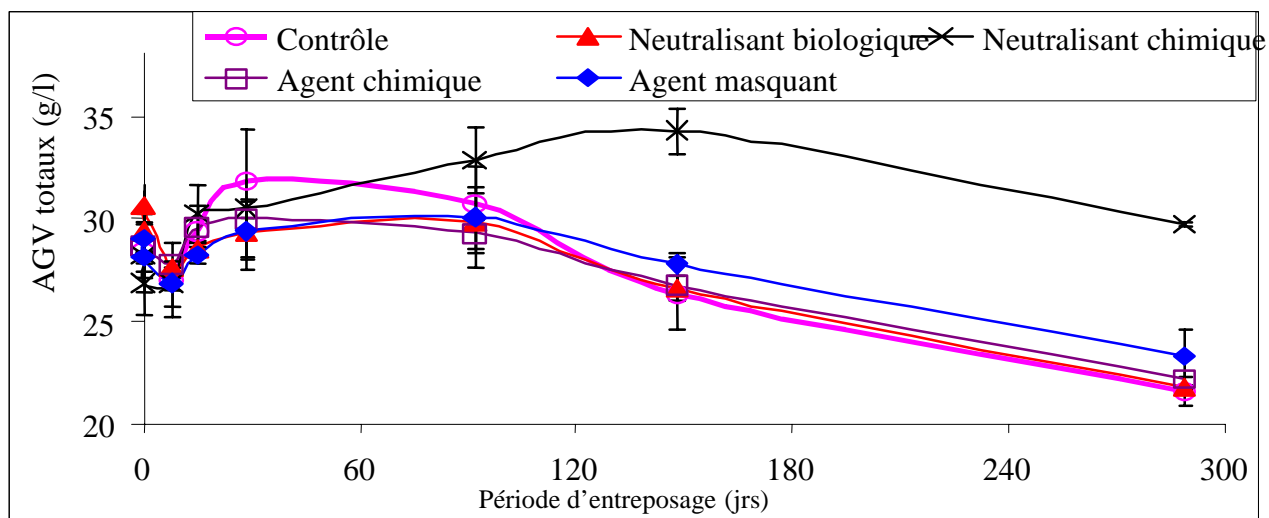


Figure 4 : Concentrations totales des AGV (VFA) dans le système ouvert pour toute la période d'entreposage expérimentale

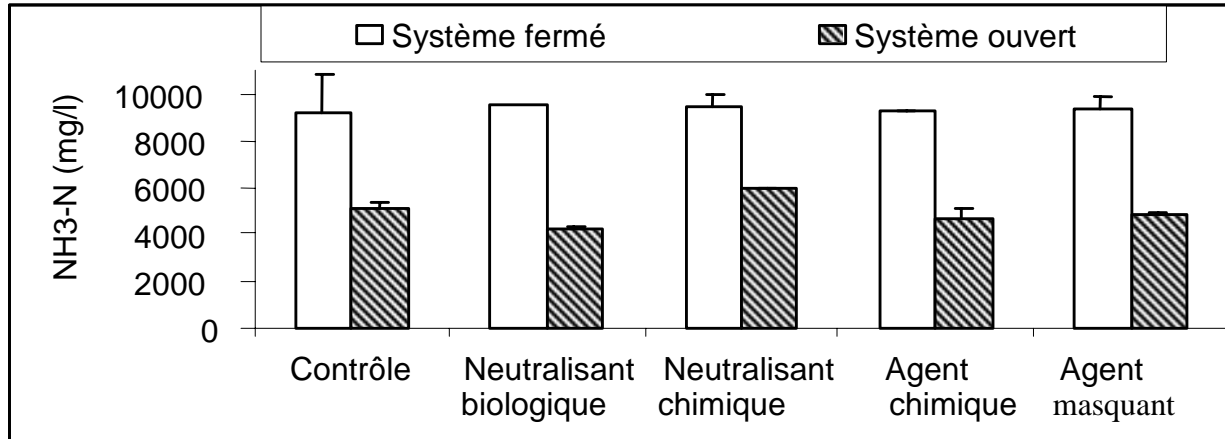


Figure 5 : Concentrations de NH₃-N (NH₃ + NH₄⁺) dans la phase liquide du lisier pour les réservoirs des systèmes ouvert et fermé

Effets des additifs sur la composition gazeuse

Le contenu en méthane dans l'espace d'air des réservoirs du système fermé, a varié pour toute la période expérimentale, de 2% à 22%. La faible concentration est survenue au début lorsqu'il y avait encore de l'air dans le volume gazeux au-dessus du lisier, ce qui a eu pour effet de diluer la concentration du méthane. Par la suite, la concentration de méthane a augmenté jusqu'à 22%. Aucun effet consistant sur le contenu en méthane associé soit au traitement ou au temps d'entreposage n'a été observé durant cette période.

Pendant la période expérimentale, le taux de ventilation dans l'espace d'air des réservoirs du système ouvert a été ajusté (figure 6) de façon à ce que les concentrations de NH₃ soient similaires à celles mesurées au-dessus des caniveaux d'une porcherie commerciale (de 70 à 80 ppm). Dans les deux premiers jours d'entreposage, le débit a été gardé à 2,5 l/min. Il a été par la suite augmenté jusqu'à 5 l/min jusqu'au jour 7, à 8 l/min jusqu'au jour 142 et finalement à 17 l/min jusqu'à la fin de la période expérimentale (365 jours). La concentration moyenne de NH₃ dans le contrôle a diminué de 314 ± 99 à 135 ± 40 ppm lorsque le débit d'air fut augmenté de 8 à 17 l/min. Toutefois, à cause des limitations de la pompe, il a été impossible d'augmenter le débit afin de réduire les concentrations de NH₃ à 70-80 ppm.

Le neutralisant chimique a diminué d'une façon significative les concentrations de NH₃ dans l'espace d'air, tout particulièrement entre les jours 42 et 152 de la période d'entreposage (figure 6). Les concentrations plus faibles de NH₃ peuvent expliquer pourquoi les concentrations

significativement plus élevées de $\text{NH}_3\text{-N}$ du lisier traité avec le neutralisant chimique sont significativement plus élevées que dans lisier contrôle, à la fin de la période d'entreposage. Après le jour 152, à un débit de ventilation de 17 l/min, plus aucune différence de NH_3 n'a été observé entre le neutralisant chimique ou les autres additifs et le contrôle.

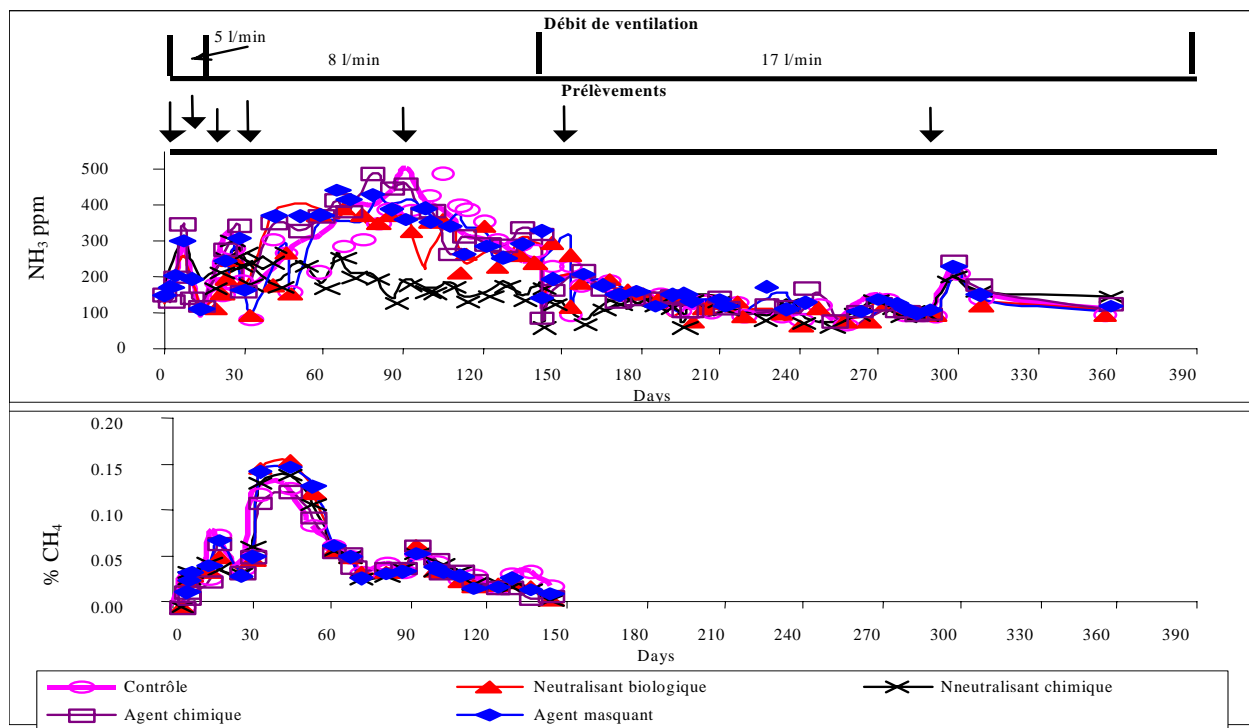


Figure 6 : Concentrations gazeuses de NH_3 et de méthane dans l'espace d'air des réservoirs du système ouvert

Dans tous les réservoirs du système ouvert, une valeur maximale dans les concentrations de méthane pour tous les traitements a été observée entre les journées d'entreposage 30 et 60. Par la suite, les concentrations ont baissé. Pendant les 150 jours de mesure, les émissions de méthane ont tous été similaires, peu importe le traitement. Ce constat explique donc difficilement pourquoi la demande en oxygène soluble est restée constante dans les réservoirs traités avec le neutralisant chimique.

Effets des additifs sur les odeurs

Les limites inférieures de détection du système de réservoirs fermés sont présentées à la figure 7. Les résultats du jour 211 ont été exclus à cause de problème technique avec l'olfactomètre. La limite inférieure de détection tend à augmenter pour tous les traitements durant la période

d'entreposage. Aux jours 71, 148 et 281, la limite de détection dans l'air au-dessus des réservoirs semble être plus élevée pour les réservoirs traités avec l'agent chimique lorsque comparés aux autres, mais la très grande variabilité et le manque de réplique nous ont empêché de faire des analyses statistiques.

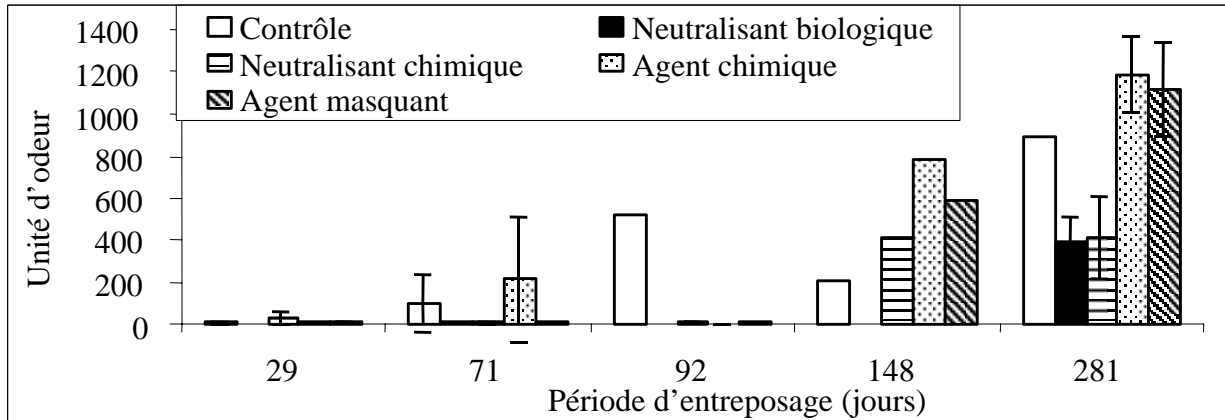


Figure 7 : Limites inférieures de détection d'odeurs pour le système de réservoirs fermés

Les limites inférieures de détection pour le système de réservoirs ouverts sont présentées à la figure 8.

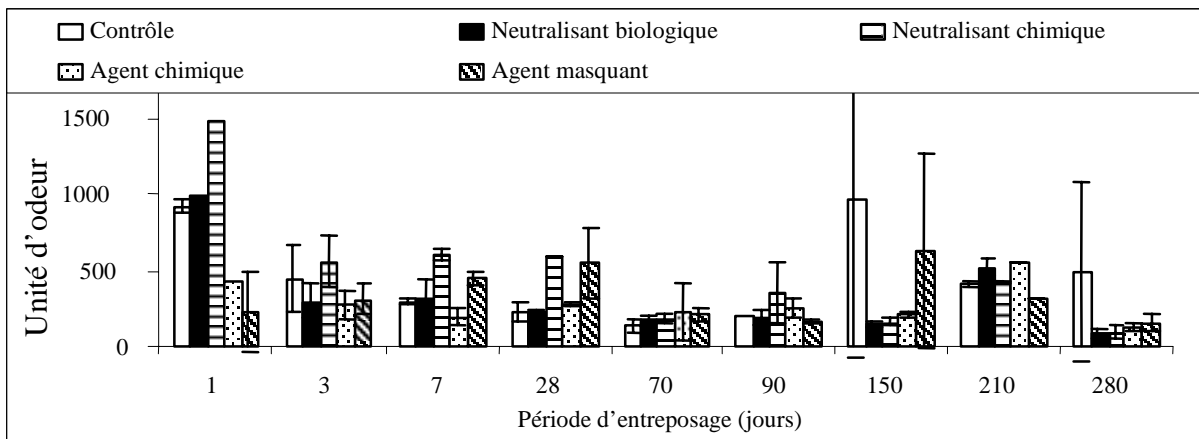


Figure 8 : Limites inférieures de détection pour le système de réservoirs ouverts

Moins de variations ont été observées dans le système ouvert entre les différents jours de prélèvements mais, encore une fois, la variabilité entre les traitements était trop importante pour pouvoir détecter des effets significatifs.

Les mesures des intensités d'odeurs et des tons hédoniques pour le système de réservoirs fermés est présentée pour deux jours de prélèvements à la figure 9. Les échantillons ont été dilués 50 fois le jour 29 et 100 fois le jour 92. Les résultats n'ont pas été corrigés pour les dilutions. De même, les résultats de quatre jours de prélèvements n'ont pas été considérés à cause soit de problèmes de dilution ou avec l'olfactomètre.

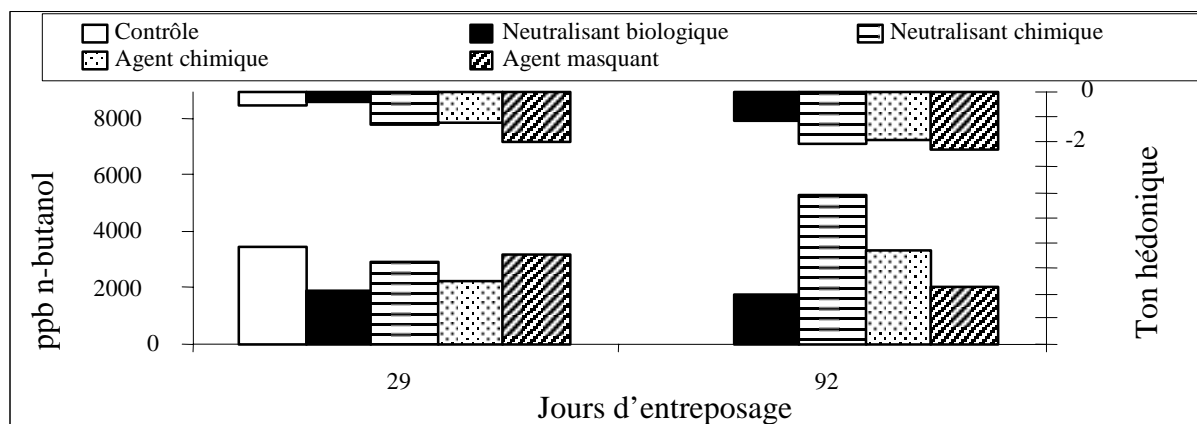


Figure 9 : Mesures d'intensités d'odeurs et de tons hédoniques pour le système de réservoirs fermés

Tous les traitements ont une odeur offensive. Par conséquent, l'échelle des tons hédoniques est négative et le traitement le moins offensif, c'est-à-dire celui qui a le ton hédonique le plus élevé est donc celui qui possède la plus petite valeur négative. Dans les deux jours de prélèvements, les réservoirs traités avec le neutralisant biologique ont la plus faible intensité et le ton hédonique le plus élevé. Toutefois, il n'y a pas de corrélation entre les mesures d'odeurs et les résultats ne sont pas consistants pour les autres traitements.

Les mesures d'intensités et des tons hédoniques pour les réservoirs du système ouvert sont présentées à la figure 10. Les réservoirs contrôles tendent à présenter les intensités d'odeurs les plus faibles à tous les jours de prélèvements sauf au jour 150. Toutefois, il n'y a pas de corrélation entre les tons hédoniques et les intensités pour tous les traitements.

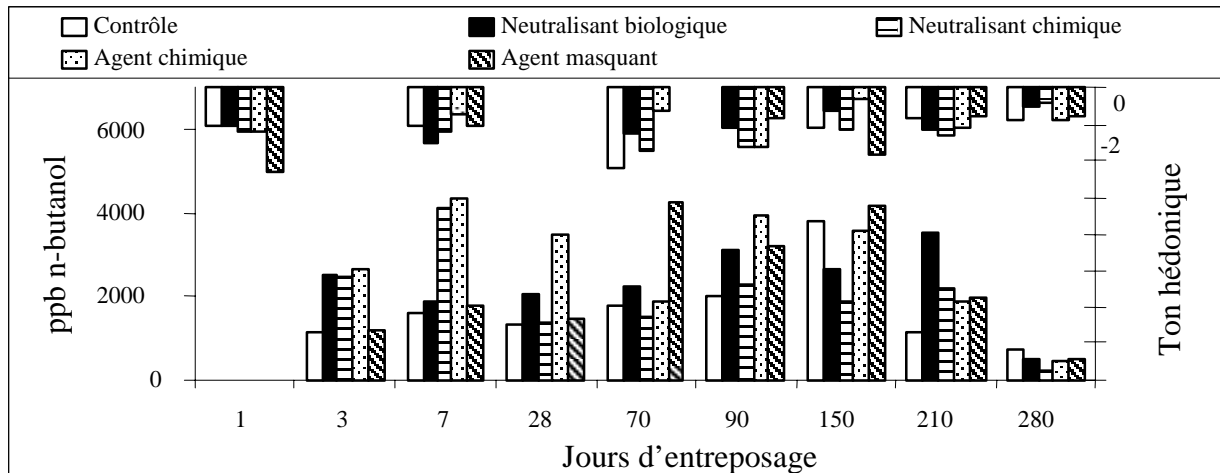


Figure 10 : Mesures d'intensités d'odeurs et de tons hédoniques pour le système de réservoirs ouverts

Effets des additifs sur la biosécurité des lisiers

Les bioaérosols (bactéries, endotoxines et moisissures) de l'air, au-dessus des réservoirs du système ouvert, soumis à chacun des cinq traitements, ont été mesurés en triplicata. Ces mesures ont été prises à sept reprises réparties sur toute la période d'entreposage, avant et après agitation du lisier. Comme pour le cas des prélèvements d'air, les échantillons prélevés avant agitation ont permis d'évaluer quel sera l'effet des additifs sur les concentrations des bioaérosols provenant des caniveaux. Ceux prélevés après l'agitation du lisier permettent d'estimer l'effet des additifs sur ces mêmes bioaérosols lors des activités d'épandage.

Le tableau 4 présente les moyennes brutes des bioaérosols pour chaque traitement sur l'ensemble de la période d'entreposage, avant et après agitation. Le modèle d'analyse statistique retenu est une analyse de la variance en doubles mesures répétées puisque les réservoirs sont mesurés en deux occasions (avant et après le brassage), sept fois dans l'année.²¹ Toutefois, le type de mesure récolté n'a pas présenté pas de distribution normale. De fait, le dénombrement des bactéries, des endotoxines et des moisissures donne typiquement des variables dont la distribution est asymétrique, c'est-à-dire une distribution dans laquelle on retrouve une valeur-plancher pratiquement commune à toutes les observations et quelques valeurs extrêmes. Néanmoins, même si la transformation logarithmique des données a permis de rendre les distributions plus symétriques, elle n'a pas permis de rencontrer l'hypothèse d'homogénéité de la variance essentielle à la validité des résultats de l'analyse. Les résultats de ces analyses en mesures

répétées sont donc accompagnés d'une analyse non paramétrique de chaque variable (bactéries, endotoxines et moisissures) pour chacune des sept reprises, avant et après agitation séparément.

Tableau 4 : Moyennes brutes des bioaérosols mesurés

BACTÉRIES										
Avant agitation						Après agitation				
Traitement	N obs.¹	Moyenne (UFC/m³)	Éc. Type	Min	Max	N obs.	Moyenne (UFC/m³)	Éc. Type	Min	Max
Contrôle	14	360	270	140	900	14	270	130	140	590
Neut. Biol.	14	310	170	140	770	14	790	1720	140	6670
Neut. Chim.	14	290	200	140	790	14	420	410	140	1670
Ag. Chi.	14	335	130	160	560	14	430	320	140	1190
Ag. Masq.	14	290	150	140	600	14	470	790	140	3190
ENDOTOXINES										
Avant agitation						Après agitation				
Traitement	N obs.	Moyenne (UE/m³)	Éc. Type	Min	Max	N obs.	Moyenne (UE/m³)	Éc. Type	Min	Max
Contrôle	14	4,0	1,5	3,0	8,0	14	5,0	2,9	3,0	10,3
Neut. Biol.	14	5,0	1,4	3,0	7,0	14	5,5	4,1	3,0	14,0
Neut. Chim.	14	4,0	2,0	3,0	10,3	14	3,8	1,4	3,0	7,0
Ag. Chi.	14	4,0	1,0	3,0	5,7	14	4,4	1,5	3,0	7,3
Ag. Masq.	14	4,0	3,1	3,0	15,0	14	4,4	2,3	3,0	11,3
MOISSISSURES										
Avant agitation						Après agitation				
Traitement	N obs.	Moyenne (UFC/m³)	Éc. Type	Min	Max	N obs.	Moyenne (UFC/m³)	Éc. Type	Min	Max
Contrôle	14	230	150	140	690	14	190	60	140	330
Neut. Biol.	14	690	1280	140	4160	14	200	130	140	630
Neut. Chim.	14	320	220	140	790	14	210	120	140	530
Ag. Chi.	14	180	40	140	260	14	160	40	140	300
Ag. Masq.	14	220	130	140	560	14	200	100	140	410

¹ : N obs. = Nombre d'observations (3 échantillons ont été prélevés par observation)

Bactéries

Le tableau 5 présente les résultats de l'analyse en doubles mesures répétées sur la transformation logarithmique des mesures de bactéries. Aucune interaction entre les traitements, que ce soit avant ou après agitation, n'est significative. Une différence significative est notée entre les

reprises seulement. Le niveau de bactéries est donc différent d'une série de mesure à l'autre. Le résumé des analyses non paramétriques (tableau 6) décrit pratiquement la même conclusion : aucune différence significative entre les traitements n'est décelée nulle part.

Tableau 5 : Résultats de l'analyse en doubles mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations de bactéries

EFFET	Num DL ¹	Den DL ²	F	Probabilité
Traitement	4	5	1,25	0,3992
Agitation	1	5	0,21	0,6652
Agitation*Traitement	4	5	0,52	0,7249
Reprise	6	30	3,69	0,0073
Reprise*Traitement	24	30	1,03	0,4673
Reprise*Agitation	6	27	1,28	0,2996
Reprise*Agitation*Traitement	24	27	1,40	0,2002

¹ : Num DL = Numérateur, degré de liberté

² : Den DL = Dénominateur, degré de liberté

Tableau 6 : Résumé des analyses non paramétriques sur les dénombrements bactériens pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, à chacune des reprises

BIOAÉROSOL	AGITATION	PROBABILITÉ						
		Repr.1	Repr.2	Repr.3	Repr.4	Repr.5	Repr.6	Repr.7
Bactéries	AVANT	0,479	0,361	0,530	0,790	0,906	0,831	0,862
Bactéries	APRES	0,254	0,135	0,219	0,329	0,580	0,771	0,497

Endotoxines

Puisque l'interaction était significative dans l'analyse globale en doubles mesures répétées des concentrations d'endotoxines, une analyse avant et après agitation prise séparément renvoie les résultats présentés au tableau 7.

Ces résultats présentent des interactions Reprise-Traitement significatives, ce qui indique que la différence entre les reprises n'est pas la même pour chaque traitement ou, de façon équivalente,

que la différence entre les traitements n'est pas la même dans chaque reprise de mesure et ce, autant pour les mesures prises avant que pour les mesures prises après agitation. Par contre, il n'y a pas de différence entre les traitements sur la moyenne globale des sept reprises avant ou après agitation.

Tableau 7 : Résultats de l'analyse en double mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations d'endotoxines

AVANT AGITATION

EFFET	Num DL	Den DL	F	Probabilité
Traitement	4	5	1,19	0,4179
Reprise	6	30	3,04	0,0190
Repr.*Trait.	24	30	1,74	0,0754

APRÈS AGITATION

EFFET	Num DL	Den DL	F	Probabilité
Traitement	4	5	2,18	0,2077
Reprise	6	30	31,57	< 0,0001
Repr.*Trait.	24	30	3,58	0,0006

Le tableau 8 présente le résumé des analyses non paramétriques pour chaque reprise, avant et après agitation pour les endotoxines. On y remarque certaines occasions où la différence entre les scores moyens des rangs des traitements est significative.

Tableau 8 : Résumé des analyses non paramétriques sur les concentrations d'endotoxines pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, à chacune des reprises

BIOAÉROSOL	AGITATION	PROBABILITÉ						
		Repr.1	Repr.2	Repr.3	Repr.4	Repr.5	Repr.6	Repr.7
Endotoxines	AVANT	0,42857	0,13651	0,98730	1,00000	0,01587	0,11111	0,047619
Endotoxines	APRÈS	0,00847	0,36508	0,29735	0,30159	1,00000	0,14286	0,015873

Moisissures

On obtient essentiellement les mêmes résultats pour les moisissures (tableau 9) que ceux obtenus pour les bactéries (tableau 5), c'est-à-dire une différence significative entre les reprises mais aucune différence entre les traitements, avant ou après agitation.

Le tableau 10 présente le résumé des analyses non paramétriques pour chaque reprise, avant et après agitation pour les concentrations de moisissures. Une différence se décèle à la 3^e reprise après agitation où les traitements avec l'agent chimique et l'agent masquant présentent des rangs moyens significativement moins élevés que les trois autres traitements (tableau 10).

Tableau 9 : Résultats de l'analyse en doubles mesures répétées sur la transformation logarithmique des concentrations de moisissures.

EFFET	Num DL	Den DL	F	Probabilité
Traitement	4	5	2,51	0,1697
Agitation	1	5	3,69	0,1130
Agitation*Traitement	4	5	0,69	0,6300
Reprise	6	30	12,07	<0,0001
Reprise*Traitement	24	30	1,03	0,4663
Reprise*Agitation	6	28	0,66	0,6802
Reprise*Agitation*Traitement	24	28	0,77	0,7373

Tableau 10 : Résumé des analyses non paramétriques sur les dénombrements de moisissures pour évaluer la différence entre les traitements, avant et après agitation, pour chacune des reprises

BIOAEROSOL	AGITATION	PROBABILITÉ						
		Repr.1	Repr.2	Repr.3	Repr.4	Repr.5	Repr.6	Repr.7
Moisissures	AVANT	0,374	1,000	0,663	1,000	1,000	0,091	0,834
Moisissures	APRES	1,000	0,333	0,047	1,000	1,000	0,308	0,339

En ce qui concerne les concentrations moyennes des bioaérosols (bactéries, endotoxines et moisissures) mesurées dans cette étude (tableau 4), elles sont faibles si on les compare avec celles habituellement mesurées dans l'air ambiant des porcheries.²² De fait, les concentrations sont plutôt de l'ordre de 10^{5-6} UFC/m³ d'air dans ce genre de milieu.²³ En outre, les concentrations moyennes d'endotoxines sont du même ordre de grandeur que celle habituellement mesurées dans l'air ambiant de référence alors que des concentrations de 10^4 UE/m³ d'air ont déjà été mesurées dans le milieu de l'élevage porcin.^{22,23} Nous pouvons donc affirmer que le lisier retrouvé dans les caniveaux ou les pré-fosses ne sont pas les sources principales des concentrations élevées de bioaérosols habituellement retrouvées dans les porcheries.

Concentrations de H₂S

Les concentrations de H₂S ont aussi été mesurées avant et après le brassage dans le système ouvert aux même jours que les bioaérosols en utilisant des tubes indicateurs. De fait, les concentrations étaient trop élevées après agitation pour pouvoir utiliser des instruments à lecture directe. Donc, même si le pourcentage d'erreur de lecture est élevé en utilisant cette technique, avant le brassage, les concentrations étaient toutes, peu importe le traitement, sous la limite de détection de 0,25 ppm et immédiatement après le brassage, elles étaient plus grandes que 120 ppm, la limite de détection supérieure. À un demi coup de pompe, la limite de détection de 240 ppm a été aussi atteinte. Les additifs ne semblent donc pas avoir eu d'effet sur les émissions de H₂S.

Méthodologie d'évaluation des effets des additifs sur le lisier

Cette étude a donc permis d'évaluer une méthodologie servant à déterminer les effets des additifs sur le lisier de porc. Cette méthodologie est plus représentative que les méthodologies antérieures en ce qui concerne les conditions d'entreposage du lisier à la ferme (température, teneur en solides, pH, vitesse de l'air au-dessus du lisier dans les caniveaux) et permet de déterminer l'effet des additifs du début jusqu'à la fin de la période d'entreposage. Les résultats suggèrent aussi que la configuration du système (ouvert ou fermé) peut avoir un impact sur les additifs. Le système ouvert devrait être utilisé lorsqu'il est recommandé de mettre l'additif dans la diète animale ou dans les caniveaux. De plus, le rapport surface/profondeur dans les caniveaux doit être respecté depuis qu'il a une influence sur la couche aérobie et la volatilisation de l'ammoniac. D'un autre côté, le système fermé devrait être utilisé quand l'additif est appliqué au réservoir d'entreposage du fumier (fosse), surtout si la fosse à un couvert. Toutefois, à cause de certaines limites qui ont pu être identifiées grâce à cette présente étude, la méthodologie avant d'être recommandée aurait besoins de raffinements. Les analyses d'odeurs demandent de la recherche fondamentale afin d'établir des procédures encore plus efficaces, notamment sur les niveaux de dilution du H₂S requis afin d'obtenir des concentrations sécuritaires pour les panélistes. Les techniques de prélèvement pour analyser les odeurs ont aussi besoin d'être améliorées. Dans le système ouvert, les transferts gazeux du liquide à l'espace d'air dans les réservoirs ne sont pas uniformes. De petites bulles gazeuses peuvent demeurer emprisonnées dans le lisier et être soudainement

libérées et former des poches de biogaz assez volumineuses. Dans les réservoirs des systèmes fermés, les gaz emprisonnés peuvent être libérés du lisier tous en même temps à cause de la pression négative créée lors des prélèvements d'échantillons. De fait, les techniques utilisées dans cette étude peuvent avoir contribué aux variations observées dans les traitements. Les analyses d'odeurs devraient donc être faites au minimum en triplicata à cause de la grande erreur expérimentale reliée à la dilution et aux facteurs humains.

Limites de l'étude

L'évaluation des substances chimiques et des caractéristiques physico-chimiques a été réalisée dans le cadre des limites de détection et des précisions énumérées dans la section méthodologie. En outre, nous n'avons pu déterminer adéquatement les concentrations maximales de H₂S avec nos instruments habituellement utilisés en hygiène à cause des concentrations trop élevées. Toutefois, les tubes indicateurs demeurent l'une des seules méthodes disponibles pour mesurer des concentrations supérieures à 120 ppm. Même avec une précision de 25% sur les mesures, nous pouvons affirmer que les concentrations sont supérieures à la valeur d'exposition moyenne pondérée donnée dans le Règlement sur la santé et sécurité du travail du Québec.⁹

La qualité scientifique de l'évaluation des bioaérosols s'est appuyée sur des méthodes de prélèvement et d'analyses éprouvées^{20,24-26}. Les limites sont aussi connues²⁷⁻³⁰. De fait, ces limites se retrouvent dans l'utilisation de méthodes de prélèvement qui n'évaluent que la fraction viable des bactéries et des moisissures. La fraction viable ne constitue qu'une faible fraction de ce que nous respirons.³¹ Selon Nielsen et coll. (1995), qui ont utilisé des méthodes similaires afin de déterminer des profils d'expositions, malgré que la majorité des bioaérosols soient constitués de spores fongiques ou bactériennes résistantes à l'assèchement, les échantillons ne reflètent pas nécessairement la microflore exacte. Plusieurs bactéries et surtout les Gram négatives meurent rapidement lorsqu'elles sont mises en suspension dans l'air. Toutefois, la méthode de prélèvement sur filtres ou membranes demeure la méthode de choix.³⁰

CONCLUSION

Les objectifs de cette recherche étaient premièrement de s'assurer que de nouveaux risques ne soient pas créés avec l'utilisation d'additifs. En effet, certains additifs sont susceptibles d'augmenter les émissions gazeuses, de vapeurs et de bioaérosols et deuxièmement, de réaliser des mesures d'odeurs afin de déterminer si les additifs pouvaient être efficaces afin de réduire les odeurs produites par du lisier de porc. Cette recherche a permis aussi d'évaluer une méthodologie ou protocole expérimental en laboratoire pour vérifier sur une base scientifique les affirmations des manufacturiers d'additifs. Cette méthodologie devait être représentative des conditions d'entreposage du lisier à la ferme (température, teneur en solides, pH, vitesse de l'air au-dessus du lisier dans les caniveaux) et permettre de déterminer l'effet des additifs du début jusqu'à la fin de la période d'entreposage. Les résultats obtenus nous permettent de répondre à ces objectifs. Ils indiquent que les quatre additifs testés pour toute la période d'entreposage ont eu aucun effet sur les gaz, les caractéristiques physico-chimiques, les odeurs et les bioaérosols mesurés. Au mieux, dans l'un des deux systèmes étudiés, soit celui ouvert, un d'entre eux, le neutralisant chimique, a réduit la dégradation des acides gras volatils et des émissions gazeuses d'ammoniac. Toutefois, la quantité de neutralisant chimique ajouté au lisier a correspondu à 14 fois la dose recommandée sur l'emballage, ce qui est économiquement inacceptable pour un usage commercial.

Les résultats suggèrent aussi que la configuration du système (ouvert ou fermé) peut avoir un impact sur les additifs. Le système ouvert devrait être utilisé lorsqu'il est recommandé de mettre l'additif dans la diète animale ou dans les caniveaux. De plus, le rapport surface/profondeur dans le caniveau doit être respecté depuis qu'il a une influence sur la couche aérobie et la volatilisation de l'ammoniac. D'un autre côté, le système fermé devrait être utilisé quand l'additif est appliqué au réservoir d'entreposage du fumier (fosse), surtout si la fosse est recouverte.

Toutefois, les analyses d'odeurs demandent de la recherche fondamentale afin d'établir des procédures encore plus efficaces, notamment sur les niveaux de dilution du H₂S requis afin d'obtenir des concentrations sécuritaires pour les panélistes. Les techniques de prélèvement pour analyser les odeurs ont aussi besoin d'être améliorées. Dans le système ouvert, les transferts gazeux du liquide à l'espace d'air dans les réservoirs ne sont pas uniformes. Dans les réservoirs des systèmes fermés, les gaz emprisonnés peuvent être libérés du lisier tous en même temps. De

fait, les techniques utilisées dans cette étude peuvent avoir contribué aux variations observées dans les traitements. En ce qui concerne les analyses d'odeurs, elles devraient être faites au minimum en triplicata à cause de la grande erreur expérimentale reliée à la dilution et aux facteurs humains.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier pour leur contribution à cette recherche le personnel technique et professionnel de l'IRSST, particulièrement Josée Poulin et Rodrigue Gravel ainsi que Steve Méthot, d'AAC pour le traitement statistique des données.

BIBLIOGRAPHIE

1. Goyer, N., Lavoie, J. 1998. *Émissions du traitement secondaire des effluents des papetières*. Études et recherches, IRSST, rapport # R-201, octobre, 64 pages.
2. Goyer, N., Lavoie, J. 2001. Emission of Chemical Compounds and Bioaerosols during the Secondary Treatment of Paper Mill Effluents. *American Industrial Hygiene Association Journal* **62**:330-341.
3. Lavoie, J. 1995. *La ventilation par extraction basse dans les porcheries*. Études et recherches, IRSST, rapport # R-116, octobre, 29 pages.
4. Lavoie, J., Marchand, G., Gingras, G. 1997. Pit Ventilation in Pig-Housing Facilities. *Canadian Agricultural Engineering* **39**(4) :317-326.
5. Lachance, A. 1998. *Agriculture. Gare aux espaces clos*. Prévention au travail **11**(3) :7-13.
6. Hartung, J. 1992. *Luftgetragene Emissionen der Tierhaltung. (Airborne Emissions from Livestock farming)*. In Akkermann, R., Behrends, H.B., Ehrnsberger, R. (Eds) : Allergie und Umwelt. Veichtaer Universitätsschriften/Verlag Günter Runge, Cloppenburg, Germany, pp. 85-104.

7. Hinz, T., Krause, K.H. 1987. *Emission of Respiratory Biological-mixed Aerosols from Animal Houses*. In Bruce, J.M., Sommer, m. (Eds) : Environmental Aspects of Respiratory Disease in Intensive Pig and Poultry Houses, Including the Implication for Human Health. Proceedings of EEC Conference, Aberdeen, 29-30 October.
8. Rapo, R.O. 1989. *Toxic Gases from Manure Pits*. In : Principles of Health and Safety in Agriculture, Dosman, J.A. and Cockroft, D.W. ed., CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, pp. 55-57.
9. Règlement sur la santé et la sécurité du travail. 2001. *Décret 885-2001*. Éditeur officiel du Québec.
10. Lefebvre, S., Héroux, M., Guy, C. 1997. *Évaluation d'agents neutralisants d'odeurs pour le site d'enfouissement sanitaire de la ville de Montréal*. Compte rendu du quatrième Congrès international sur la caractérisation et la réduction des émissions d'odeurs et de COV, Montréal, 20-22 octobre, pp. 301-313.
11. Denis, R. 1997. *Ecosorb, un neutralisant d'odeurs naturellement efficace*. Compte rendu du quatrième Congrès international sur la caractérisation et la réduction des émissions d'odeurs et de COV, Montréal, 20-22 octobre, pp. 314-334.
12. Choinière, Y. 1996. Rapport fourni à la fédération des producteurs de porcs du Québec. Fédération des producteurs de porcs du Québec, Longueuil, Québec, Canada.
13. William, C.M. 1995. Odor Control Additives : Protocole for Evaluation in Proceeding of Nuisance Concerns. In Animal Manure Management, University of Florida, pp. 36-43.
14. Riter, W.F. 1981. Chemical and Biological Odor Control of Livestock Wastes : a Review. *Canadian Agricultural Engineering* **23**(1) :1-4, 1981.

15. Massé, D.I., Lavoie, J., Barnet, G., Croteau, F., Topp, E., Masse, L. 2003. The Development of Experimental Procedures for the Evaluation of Additives to Attenuate Manure Odour, and the Impact of these Additives on Workers, Animals and the Environment. In: Proceeding of the 2nd IWA International Conference on Odour and VOCs. Singapore, sept. 14-17, 8 pages.
16. APHA 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th. ed. American Public Health Association, Washington, DC.
17. Massé, D., Croteau, F., Patni, N.K., Masse, L. 2002. Methane Emission from Dairy Cows and Swine Manure Slurries Stored at 10 and 15 °C. *Canadian Biosystems Engineering* **45**:6.1-6.6.
18. CEN. 1997. *European Standard « Air Quality Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. »* Commission européenne de normalisation, Central Secretariat : rue de Stassart 36, B-1050, Brussels.
19. IRSST. 1998. *Analyse des endotoxines présentes dans l'air*. Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode # 332-1, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 8 pages.
20. IRSST. 1999. *Dénombrement des bactéries et moisissures viables*. . Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode # 264-3, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 8 pages.
21. SAS Statistical Analysis Systems. 2000. *SAS Version 8.2*. SAS Institute inc., Carey, NC.
22. Lavoie, J., Pigeon, S. 2001. Évaluation des agents chimiques et des bioaérosols dans une porcherie utilisant la technique d'élevage sur litière mince. *Travail et Santé* **17**(2) :28-31.

23. Goyer, N., Lavoie, J., Lazure, L., Marchand, G. 2001. Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention. Études et recherches, guide technique T-23, 87 pages.
24. Lavoie, J., Guertin, S. 2001. Evaluation of Health and Safety Risks in Municipal Solid Waste Recycling Plants. *Journal of the Air and Waste Management Association* **51**:352-360.
25. Breum, N.O., Wurtz, H., Midtgaard, U., Ebbehøj, N. 1999. Dustiness and Bio-aerosol Exposure in Sorting Recyclable Paper. *Waste Management and Research* **17** :100-108.
26. Lavoie, J., Dunkerley, C.J. 2002. Assessing Waste Collectors' Exposure to Bioaerosols. *Aerobiologia* **18**:277-285.
27. Nielsen, B.H., Nielsen, E.M., Breum, N.O. 1995. Occupational Bioaerosol Exposure during Collection of Household Waste. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* **2**:53-59.
28. Thorne, P.S., Kiekhaefer, M.S., Whitten, P., Donham, K.J. 1992. Comparison of Bioaerosols Sampling Methods in Barns Housing Swine. *Applied and Environmental Microbiology* **58**(8):2543-2551.
29. Edouard, W., Heedrik, D. 1998. Methods for Quantification Assessment of Airborne Levels of Noninfectious Microorganisms in Highly Contaminated Work Environments. *American Industrial Hygiene Association Journal* **59**:113-127.
30. Durand, K.H., Muilenberg, M.L., Burge, H.A., Seixas, N.S. 2002. Effect of Sampling Time on the Culturability of Airborne Fungi and Bacteria Sampled by Filtration. *Ann. Occup. Hyg.* **46**(1) :113-118.

31. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1999. *Bioaerosols: Assessment and Control*. J. Macher, ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 322 pages.