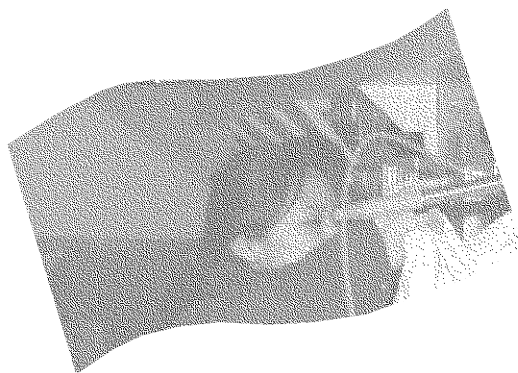


# Évaluation de la qualité de l'air dans les porcheries équipées d'un système de séparation liquide-solide des déjections



# ÉTUDES ET RECHERCHES

Jacques Lavoie  
Yves Beaudet  
Claude Létourneau  
Stéphane Godbout

Stéphane Lemaq  
Martin Belzile  
Isabelle Lachance  
Francis Pouliot

R-460

RAPPORT





**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](http://www.irsst.qc.ca)**

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

**Abonnement : 1-877-221-7046**

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec  
2006

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](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
mai 2006

# Évaluation de la qualité de l'air dans les porcheries équipées d'un système de séparation liquide-solide des déjections

ÉTUDES ET  
RECHERCHES

Jacques Lavoie, Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST

Yves Beaudet et Claude Létourneau,  
Services et expertises de laboratoire, IRSST

Stéphane Godbout, Stéphane Lemaq et Martin Belzile,  
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

Isabelle Lachance, Université Laval

Francis Pouliot, Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ)

**RAPPORT**

## Avis de non-responsabilité

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

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

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://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.**

## SOMMAIRE

L'une des recommandations de la Consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec tenue en 2002-2003 était de développer des nouveaux types de gestion du lisier porcin. Ce défi comprend une réduction importante des différentes émissions de gaz et d'odeurs ainsi que la gestion agroenvironnementale du phosphore et de l'azote. La revue de littérature indique clairement que la séparation sous les animaux ainsi que le retrait rapide des déjections des bâtiments d'élevage est une solution performante permettant de relever ce défi. En plus d'atteindre une efficacité de séparation du phosphore de 80 %, le retrait et la séparation rapide des deux phases permettraient de réduire les émissions d'ammoniac, de gaz, de bioaérosols et d'odeurs, ce qui améliorerait de façon notable la qualité de l'air dans les porcheries. Afin de vérifier ce dernier aspect, l'Institut de recherche en agroenvironnement (IRDA) a demandé la collaboration de l'IRSSST dont les travaux antérieurs sur la qualité de l'air dans les porcheries ont démontré des risques d'exposition à des contaminants chimiques et à des bioaérosols.

Les objectifs de cette activité sont d'évaluer une solution agroenvironnementale au surplus des lisiers et aux émissions de gaz, d'odeurs et de bioaérosols provenant des élevages porcins. Plus spécifiquement, l'objectif principal vise à évaluer et à adapter une approche de gestion des déjections sous les animaux facilitant la manutention, le traitement et la valorisation des phases solides et liquides de façon distincte tout en diminuant les émissions et améliorant ainsi la qualité de l'air.

Il s'agit d'un projet mené dans des conditions contrôlées. Les installations font partie du RRAPP (réseau de recherche appliquée en production porcine) de Deschambault, Québec. Elles consistent en douze chambres identiques contenant des animaux dont le poids variera de 0 à 80 Kg. Six types de configuration du système de séparation ont été testés. La détermination de la qualité de l'air, a été en partie sous la responsabilité de l'IRSSST. Elle a consisté à prendre, une fois par 2 semaines, pour les 16 semaines d'expérimentation, des mesures de bioaérosols viables (bactéries et moisissures totales et endotoxines) et de H<sub>2</sub>S. Les prélèvements ont été faits le matin lorsque les animaux étaient nourris dans le but de représenter les pires conditions. La mesure des débits de ventilation, de l'efficacité de séparation, des performances zootechniques et des autres gaz tels le NH<sub>3</sub>, le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, et le N<sub>2</sub>O et des odeurs a été faite par l'IRDA et ses partenaires. Les émissions ont été calculées.

Les traitements expérimentaux n'ont pas affecté les performances zootechniques des porcs en engraissement-finition. La séparation des fèces et de l'urine sous les lattes permet de concentrer au moins 80% du phosphore dans la partie solide. Cette séparation n'a aucune influence sur les émissions de CH<sub>4</sub>, de CO<sub>2</sub>, de N<sub>2</sub>O, de H<sub>2</sub>S et des bioaérosols en comparaison avec le témoin. Elle permet une réduction significative de 49% des émissions de NH<sub>3</sub> avec le témoin. Toutefois, sans système de séparation, retirer le lisier à tous les 2 à 3 jours réduit de façon significative les émissions de NH<sub>3</sub> d'environ 50% comparativement au témoin. Elle ne permet pas une diminution des émissions d'odeurs et n'a que peu d'impact sur le caractère hédonique, c'est-à-dire le degré d'acceptabilité d'une odeur.

Pour les détails sur les caractéristiques physico-chimiques des lisiers, des performances zootechniques et les odeurs, le lecteur est prié de se référer au rapport complet de l'IRDA (2005).



## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE .....	i
TABLE DES MATIÈRES .....	iii
LISTE DES FIGURES .....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
1. INTRODUCTION .....	1
1.1 Mise en contexte .....	2
2. MÉTHODE .....	5
2.1 Les mini-porcheries .....	5
2.2 Animaux et alimentation (performances zootechniques) .....	7
2.3 Systèmes de traitement du lisier .....	8
2.4 Composition des parties liquide et solide .....	10
2.5 Mesure des odeurs.....	10
2.6 Mesure du caractère hédonique .....	13
2.7 Mesure des substances chimiques et des agents biologiques.....	13
2.8 Statistiques .....	15
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	16
3.1 Animaux et alimentation (performances zootechniques) .....	16
3.2 Efficacité de séparation.....	17
3.2.1 L'azote .....	17
3.2.2 Le phosphore.....	18
3.3 Taux de ventilation .....	19
3.4 Émissions d'odeurs et caractère hédonique .....	19
3.5 Substances chimiques et agents biologiques.....	23
3.6 Portées et limites de l'étude .....	27
4. Conclusion .....	29
5. Remerciements.....	31
6. BIBLIOGRAPHIE.....	33

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue des chambres expérimentales .....	6
Figure 2 : Circuit de ventilation et de chauffage.....	6
Figure 3 : Les systèmes expérimentaux de séparation sous les lattes.....	1
Figure 4. Échantillonnage de l'air pour l'analyse d'odeurs.....	12
Figure 5 : Évolution de l'efficacité de séparation de l'azote total en fonction des différents traitements.....	18
Figure 6 : Évolution de l'efficacité de séparation de l'azote ammoniacal en fonction des différents traitements .....	18
Figure 7 : Évolution de l'efficacité de séparation du phosphore en fonction des différents traitements.....	19
Figure 8 : Émissions d'odeurs en fonction des traitements et des périodes.....	21
Figure 9 : Caractère hédonique pour chaque traitement en fonction des semaines .....	22
Figure 10 : Émissions d'odeurs en fonction du caractère hédonique .....	22
Figure 11. Émissions de méthane pour chaque traitement en fonction des semaines.....	23
Figure 12 : Émissions d'ammoniac pour chaque traitement en fonction des semaines.....	24

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Normes ou valeurs guides des substances chimiques et des bioaérosols retrouvés habituellement dans une porcherie.....	2
Tableau 2 : Dates importantes des deux élevages.....	8
Tableau 3 : Opération pour les deux élevages .....	9
Tableau 4 : Résumé des méthodes.....	15
Tableau 5 : Gain moyen quotidien (GMQ), consommation moyenne journalière (PA) et conversion alimentaire (CA) en fonction des traitements.....	17
Tableau 6 : Efficacité moyenne de séparation des différents traitements pour chacun des éléments .....	17
Tableau 7. Débits de ventilation moyens (m <sup>3</sup> /sec) pour les deux élevages .....	20
Tableau 8 : Caractère hédonique moyen au cours des semaines en fonction des traitements .....	21
Tableau 9 : Émissions de méthane moyennes au cours des semaines en fonction des traitements.....	24
Tableau 10 : Concentrations moyennes et émissions de poussières.....	25
Tableau 11 : Concentrations moyennes et émissions de bactéries totales viables.....	26
Tableau 12 : Concentrations moyennes et émissions d'endotoxines.....	26
Tableau 13 : Concentrations et émissions moyennes de moisissures.....	27

## 1. INTRODUCTION

Depuis juin 2002, un nouveau règlement sur les exploitations agricoles (REA) est en vigueur au Québec. Il donne les nouvelles normes de gestion du phosphore produit pour l'ensemble des productions animales. Le règlement a pour but premier de protéger l'environnement, plus particulièrement, l'eau et le sol, de la pollution causée par les exploitations agricoles. Le REA oblige, entre autres, les producteurs à avoir un bilan en phosphore équilibré d'ici l'an 2010 (Boutin et Richard, 2002). L'accumulation excessive du phosphore (P) dans les sols provient du déséquilibre des éléments fertilisants dans le lisier lorsqu'il est utilisé comme fertilisant unique. Ainsi, lorsque les besoins en azote et en phosphore de la culture sont rencontrés, on devient en excès de lisier. Cette situation rend le développement de la production porcine difficile et, à long terme, risque d'affecter les éleveurs en surplus de lisier qui n'ont pas suffisamment de terres pour l'épandre.

Une des solutions afin de palier aux problèmes de surplus est le traitement du lisier permettant de séparer le solide du liquide. Dans ce contexte, quelques études ont été conduites afin d'évaluer la séparation des déjections directement sous les lattes. Cependant, il n'existe que peu de références où une comparaison des différents systèmes a été conduite dans des conditions similaires. De même, on ne retrouve pas d'information sur l'utilisation de ce type de technologie dans un contexte de production québécoise mis à part les systèmes installés dans le cadre des vitrines technologiques du programme Prime-vert du Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec (MAPAQ, 2004).

Finalement, pour les producteurs en surplus de phosphore possédant ou louant des terres, le traitement partiel du lisier est une alternative intéressante. C'est-à-dire qu'ils peuvent enlever la quantité en surplus de phosphore contenue dans les déjections (phase solide) et de l'exporter vers d'autres terres réceptrices ou bien vers des centres de compostage ou d'usines régionales. De plus, le traitement partiel permet de conserver l'azote (phase liquide) et de l'apporter aux cultures de la ferme ou près de celles-ci.

Le lisier génère également des odeurs. Les problèmes d'odeurs émanant des bâtiments porcins limitent souvent l'expansion de l'industrie porcine (Lemay et al., 2003). Cette situation crée plusieurs conflits entre la population rurale et les producteurs, ce qui mène fréquemment à l'avortement de nouveaux projets d'établissement d'installation porcine. En outre, les odeurs pourraient avoir un impact sur la santé et le bien-être des populations exposées aux émanations (Lavoie et al., 2005; Miner, 1995).

Pour sa part, l'exposition des travailleurs à des concentrations élevées de gaz tels l'ammoniac et de bioaérosols, incluant les bactéries, les moisissures et les endotoxines a été documentée par l'IRSSST dans plusieurs études menées dans les porcheries, autant conventionnelles qu'équipées de différents systèmes d'évacuation de l'air ou de traitement du lisier (Lavoie et Pigeon, 2001; Lavoie et al., 1997; Lavoie et al., 1995). Le tableau 1 spécifie les valeurs limites d'expositions réglementées ou recommandées en milieu de travail (Lavoie et Pigeon, 2001).

**Tableau 1. Normes ou valeurs guides des substances chimiques et des bioaérosols retrouvés habituellement dans une porcherie**

Contaminant	Norme ou valeur guide
Bactéries totales (UFC/m <sup>3</sup> )	10 000
Endotoxines (UE/m <sup>3</sup> )	50-300
Moisissures (UFC/m <sup>3</sup> )	Équivalentes à l'air extérieur
CO <sub>2</sub> (ppm)	5 000
NH <sub>3</sub> (ppm)	25
H <sub>2</sub> S (ppm)	10
N <sub>2</sub> O (ppm)	50
Poussières totales (mg /m <sup>3</sup> )	10

UFC/m<sup>3</sup> = unités formant des colonies par mètre cube d'air ; UE/m<sup>3</sup> = unités d'endotoxines ; ppm = parties par million ; mg/m<sup>3</sup> = milligramme par mètre cube d'air.

Bien qu'une amélioration des conditions concernant les gaz était observée, l'exposition aux bioaérosols demeure problématique. La séparation solide-liquide des lisiers semble donc plus prometteuse pour améliorer de la qualité de l'air à l'intérieur des porcheries.

## 1.1 Mise en contexte

La séparation des solides et des liquides pourrait être un élément important dans le développement de la production porcine dans les prochaines années. Zhu et al. (2000) ont réalisé un projet dont les objectifs étaient de : 1) déterminer les changements dans la partie solide du lisier durant la période d'entreposage et 2) déterminer le délai minimum à l'intérieur duquel la séparation des fèces et des urines sera plus efficace. Les résultats ont montré que la séparation du lisier devrait être faite au maximum 10 jours après l'excrétion pour les particules de grandeur égale ou supérieure à 0,5 mm, et en dedans de cinq jours pour les particules plus petites. Après les dix premiers jours d'entreposage, la totalité des particules solides en suspension tendront à se décomposer à un taux plus rapide, ce qui réduira l'efficacité de la séparation.

La séparation des urines et des fèces sous le caillebotis et l'enlèvement rapide des deux fractions amélioreraient l'efficacité de séparation, les conditions hygiéniques, l'ambiance et l'environnement d'un bâtiment porcin et par le fait même, diminueraient les émissions d'odeurs

(Jongebreur, 1981). Il existe plusieurs types de système de séparation sous les caillebotis. Notons particulièrement les convoyeurs à courroies et gouttières (Ogink *et al.*, 2000), à filets mobiles (Jongebreur, 1981; Kroodsmas, 1986, Marchal, 2002) et les systèmes à grattes avec fonds de dalots en pente (Von Bernuth, 2001, Voermans et Poppel, 1993). Godbout *et al.* (2002) indiquaient que le système étudié par Von Bernuth avait un bon potentiel de séparation et d'intégration au concept des bâtiments porcins québécois.

De façon générale, ces systèmes de séparation sous l'animal permettent d'isoler les fèces de l'urine, avec une efficacité de séparation de phosphore de 80 % (Von Bernuth, 2001). Marchal (2002), au Cemagref, a isolé 90 % du phosphore avec un autre type de séparateur (courroie perforée sous les lattes), la matière sèche du solide récupérée était de 25 %.

Comme indiqué précédemment, ces systèmes permettent d'améliorer la qualité de l'air. Comparativement à des systèmes conventionnels (100% latte et dalot), ceux de séparation sous les animaux permettent une réduction des émissions d'ammoniac de l'ordre de 40 à 60% et des autres gaz (Hendriks et Weerdhof, 1999, Kroodsmas, 1986, Voermans et van Poppel, 1993). Ces réductions sont fortement influencées entre autres par la fréquence d'évacuation, la pente des dalots, le débit de ventilation (vitesse d'air au plancher), les températures de consigne, les types de matériaux utilisés pour la construction et le pourcentage de surface lattée. En comparant à un entreposage sous le bâtiment (cave à lisier), cette réduction d'ammoniac pourrait atteindre 80 % (Voermans et Poppel, 1993). Avec la séparation et l'enlèvement quotidiens de la partie solide du lisier, les processus de dégradation aérobie et anaérobie sont ralentis et les émissions d'odeurs au bâtiment sont alors réduites de 50 % (Kroodsmas, 1986, Gilbertson *et al.*, 1987). Il est aussi permis de croire que cette gestion efficace devrait réduire les concentrations de bioaérosols et d'endotoxines retrouvées dans les porcheries conventionnelles (Lavoie et Pigeon, 2001). Cependant, Ndegwa *et al.* (2002) ont démontré que les systèmes de séparation solide-liquide ne permettaient pas de retirer les fines particules (inférieures à 0,075 mm) du liquide et que celles-ci contenaient les composés odorants. Par conséquent, ces chercheurs n'ont pas mesuré de réduction significative des émissions d'odeurs.

Également, les systèmes retirant les déjections rapidement permettraient d'améliorer la santé des animaux d'environ 40% basé sur l'étude de l'état des poumons des porcs à l'abattoir. Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette amélioration de la santé est due à une meilleure qualité de l'air. De plus, des expérimentations réalisées par Kroodsmas (1986) et Gilbertson *et al.* (1987), avec des procédés de séparation fèces-urines démontraient que l'application d'urine sur les prairies permettait une augmentation des apports en azote de 35 à 50 % sur les champs cultivés par rapport au lisier (Marchal, 2002).

Les objectifs de cette activité sont donc de trouver une solution agroenvironnementale au surplus des lisiers et aux émissions de gaz, d'odeurs et de bioaérosols provenant des élevages porcins. Plus spécifiquement, l'objectif principal vise à évaluer et à adapter une approche de gestion des déjections sous les animaux facilitant la manutention, le traitement et la valorisation des phases solide et liquide de façon distincte tout en diminuant les émissions et améliorant ainsi la qualité de l'air. Pour les détails concernant les caractéristiques physico-chimiques des lisiers, des performances zootechniques et les odeurs (écarts-types, moyennes, etc.), le lecteur est prié de se référer au rapport complet de l'IRDA. (Godbout *et al.*, 2005).



## 2. MÉTHODE

### 2.1 Les mini-porcheries

Le dispositif expérimental utilisé pour cette expérimentation était situé dans le laboratoire BABE (Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage) de l'IRDA. Le laboratoire est localisé dans le bâtiment DC-137 du Centre de recherche en science animale de Deschambault (CRSAD). Il consiste en douze chambres identiques, complètement indépendantes permettant la réalisation de protocoles rigoureux (figure 1). La superficie des chambres est de 1,2 m par 2,44 m et les planchers sont entièrement lattés. Chacune des chambres est hermétique afin de prévenir l'échange d'air entre les différentes pièces. Le plancher est composé de lattes de béton commerciales et chacune des chambres possède son propre système de gestion du lisier. Les parois sont en contreplaqué peint et leur partie inférieure est recouverte d'une feuille de polyvinyle (PVC). Les porcs sont alimentés par des trémies sèches et des bols économiseurs d'eau. La régie lumineuse peut être sélectionnée selon les exigences du protocole. Le poids des porcs variera de 30 à 80 kg. L'utilisation de ces unités est privilégiée puisque Godbout et al. (2002) ont clairement démontré que le système de mini-porcheries reproduisait fidèlement un système commercial de croissance-finition pour des porcs de 30 à 80 kg.

La bio-sécurité est assurée par une entrée de type danoise à l'entrée du laboratoire. Ce type d'entrée permet, par une séparation entre l'extérieur et le local expérimental, d'éviter une contamination pouvant provenir d'un autre élevage. Les produits de nettoyage, le matériel nécessaire à l'alimentation et aux soins des animaux sont entrés dans le laboratoire avant le début de l'élevage. Une salle hébergeant les équipements d'acquisition de données et une aire de manutention sont également intégrées au laboratoire.

Chacune des chambres du laboratoire est ventilée de façon indépendante et possède son propre ventilateur d'extraction à vitesse variable. Avant l'arrivée aux chambres, l'air d'entrée est conditionnée par une unité centrale de chauffage et de climatisation. Une partie du système de ventilation est illustrée à la figure 2.





**Figure 1 : Vue des chambres expérimentales**



**Figure 2 : Circuit de ventilation et de chauffage**

Lors de la saison froide, l'air est chauffé par une unité de chauffage de 20 kW située après l'unité d'air climatisé. Une seconde unité de chauffage, installée dans la conduite de ventilation de chacune des chambres, permet un ajustement optimal de la température des aires expérimentales. Lors de la saison chaude, une unité de climatisation de l'air est utilisée pour refroidir l'air acheminé aux chambres.

Le débit de ventilation des chambres a été mesuré par différence de pression statique dans un orifice (Iris Damper de 204 mm de diamètre, Continental fan manufacturer inc., modèle : 200 Original; précision :  $\pm 5\%$ ) installé en aval de chacune des chambres. En accord avec la littérature et les pratiques commerciales, les consignes de température sont de 22°C au début de l'élevage pour ensuite être progressivement réduite à 18°C à la fin de l'élevage. L'humidité relative se situe entre 30 et 65%.

Pour chacune des chambres, la température et l'humidité relative ont été mesurées avec une sonde identique (modèle: CS500 ; Campbell Scientific Canada Corp. ; précision :  $\pm 0,5$  à 20°C et  $\pm 3\%$ RH). Les débits de ventilation ont été calculés à partir de la pression statique à la sortie des chambres à l'aide de capteurs (204 mm de diamètre, Model 200, Continental fan manufacturer inc., precision  $\pm 5\%$ ). Le débit de ventilation a été mesuré sans interruption et des données ont été enregistrées toutes les 10 minutes. Le système d'acquisition de données recueille les données chaque 10 secondes et enregistre la moyenne toutes les 10 minutes. Les débits ont été ajusté afin de garder la température dans les chambres aux alentours de 20 °C et de façon à respecter les pratiques commerciales (Godbout et al., 2005).

Le débit de ventilation a été calculé avec l'équation suivante :

$$Q = k\sqrt{\Delta\text{pression}} \times \frac{1}{60} \times 0,02831685 \quad (1)$$

où Q est le débit de ventilation dans la chambre ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $\Delta$  pression est la différence de pression (pouce d'eau), K est le facteur ajusté selon la position de l'iris, 0,02831685 est le facteur de conversion, système anglais-SI (ASAE, 2003) et 1/60 égale 1 min par 60 sec.

Un système d'acquisition de données relié à un ordinateur est utilisé pour enregistrer les données provenant des sondes de température-humidité relative et de la différence de pression statique.

Le système d'éclairage apporte une intensité lumineuse de 70 Lux. La période d'éclairage est de 12 heures, soit de 7h00 à 19h00.

## 2.2 Animaux et alimentation (performances zootechniques)

Chacune des chambres contenait quatre porcs en engraissement de sexe mâle et castrés. Les porcs ont été engraisés de 30 à 80 Kg. Lors de l'expérimentation, deux diètes ont été utilisées pour les deux phases de croissance ou élevages de façon à limiter l'excrétion d'azote. Les principaux ingrédients de la diète étaient le maïs, le blé et le tourteau de soya. L'alimentation s'est faite *ad libitum* dans une trémie sèche. L'eau a été fournie par un abreuvoir commercial avec tétine (Drik-o-mat, Egebjerg, Denmark) située à plus de 40 cm de la trémie pour éviter toute humidification de la nourriture.

L'expérimentation s'est déroulée pendant deux élevages successifs. Chaque élevage a duré huit semaines et a compris deux répétitions de chacun des traitements. Les dates de début et de fin des élevages se retrouvent au tableau 2. Les traitements ont été attribués de façon aléatoire à chacune des chambres et la distribution des porcs s'est faite de façon à avoir une répartition des poids sensiblement égale.

**Tableau 2 : Dates importantes des deux élevages**

Date	Évènement
18 mars 2004	Début du premier élevage
13 mai 2004	Fin du premier élevage
20 mai 2004	Début du deuxième élevage
15 juillet 2004	Fin du deuxième élevage

Les porcs ont été pesés toutes les quatre semaines. La précision de la balance était de  $\pm 0,23$  kg. Pour chacune des chambres, le poids total quotidien des porcs a été calculé en utilisant des équations polynomiales particulières à chaque chambre. Les équations ont été développées par l'analyste du CDPQ (CDPQ, 2004). Les performances zootechniques des porcs ont ensuite été calculées.

### 2.3 Systèmes de traitement du lisier

Les traitements utilisés pour cette expérimentation sont basés sur les systèmes étudiés par Marchal (2002), van Kempen et al. (2003) et von Bernuth (2001). L'expérimentation a consisté à évaluer les prototypes à échelle réduite représentant ces systèmes de séparation. Ils ont été comparés à deux systèmes sans séparation. Les six traitements étaient les suivants :

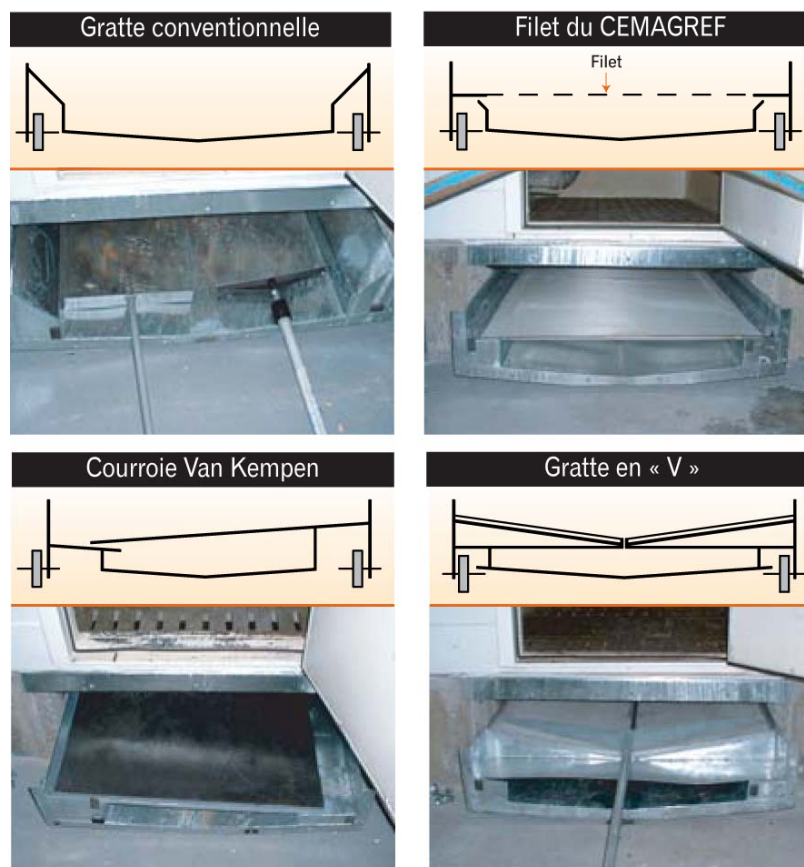
- Vidange gravitaire ou Pull plug (PP) : Système sans séparation des phases. Bien que vidé une fois par semaine, il permet de représenter un système présent en production porcine québécoise. C'est le témoin.
- Gratte conventionnelle (G) : Système de gratte en acier inoxydable qui ne sépare pas les phases du lisier. Retrouvé fréquemment en production porcine au Québec, ce système sert normalement à retirer le lisier d'en dessous des parcs et à l'acheminer vers un réservoir tel une pré-fosse.
- Gratte en « V » (V) : Système où le dalot est en forme de « V », permettant à la partie liquide de s'écouler vers le centre et d'être acheminée sous le dalot par une fente au centre du « V ».
- Gratte en « V » journalière (VJ) : Il s'agit du système de gratte en « V », mais avec une opération de grattage à tous les jours. Seul l'urine s'accumule dans le tiroir.
- Filet (F) : Système de séparation composé d'un filet immobile. Le solide reste sur le filet alors que le liquide s'écoule au travers ses mailles. Ce système a été développé par le CEMAGREF de France.
- Courroie (C) : Système où le solide repose sur une courroie inclinée immobile et où le liquide s'écoule vers une gouttière puis sous le dalot pour entreposage.

Les traitements ont cependant dû être modifiés pour des raisons d'économie, mais également pour répondre à certaines contraintes physiques imposées par la mise à l'échelle des chambres expérimentales. Dans le cas de la courroie et du filet, les systèmes ont dû être inversés. Normalement, la courroie et le filet sont mobiles et il y a une gratte fixe qui permet de gratter le solide qui repose sur la surface. Dans la présente expérimentation, la courroie et le filet ont été installés de façon fixe et c'est la gratte qui était actionnée manuellement afin de retirer le solide. De plus, toutes les opérations de grattage ont été réalisées de façon manuelle. La fréquence des opérations des différents systèmes est présentée au tableau 3.

**Tableau 3 : Opération pour les deux élevages**

Traitements	Chambre No.		Grattage	Vidange
	Élevage 1	Élevage 2		
PP (témoin)	3, 12	2, 7	Jeudi	Jeudi
G	5, 9	8, 11	Lundi, mercredi et vendredi	Lundi, mercredi et vendredi
V	1, 7	3, 10	Lundi, mercredi et vendredi	Lundi, mercredi et vendredi
VJ	2, 6	4, 12	Tous les jours	Lundi, mercredi et vendredi
F	4, 11	1, 5	Lundi, mercredi et vendredi	Lundi, mercredi et vendredi
C	8, 10	6, 9	Lundi, mercredi et vendredi	Lundi, mercredi et vendredi

Les traitements sont illustrés à la figure 3.



**Figure 3 : Les systèmes expérimentaux de séparation sous les lattes**

## 2.4 Composition des parties liquide et solide

L'échantillonnage des parties solide et liquide pour en déterminer leur composition s'est fait lors des opérations de vidange (réf. tableau 2). L'accès aux tiroirs contenant les parties solide et liquide se fait à partir d'une plaque boulonnée en dessous de chacune des chambres. Dans les tiroirs avec séparation, il y a deux sections superposées. Celle du bas sert à recueillir la partie liquide et celle du haut récolte la partie solide.

La partie liquide est recueillie à l'aide d'un aspirateur (modèle Shop-Vac). Quand le liquide est entièrement recueilli, on en fait la pesée (balance Sartorius EA60FEG-IOUR, précision :  $\pm 2$ g). Le liquide est ensuite homogénéisé avant d'être échantillonné. La prise de l'échantillon se fait dans des contenants de 125 ml identifiés de façon adéquate.

La partie solide est retirée du tiroir à l'aide de racloirs et accumulée pour la pesée. Une fois qu'il est pesé, le solide est transféré vers l'opération de hachage. Le solide est haché afin d'en uniformiser la composition. Pour ce faire, on utilise un hachoir commercial et un pilon. Une fois que l'ensemble de la masse solide a été hachée, un échantillon composite est recueilli. Les contenants de 125 ml ayant servi à recueillir les échantillons ont été identifiés et ensuite scellés. Pour les traitements sans séparation, les échantillons étaient récoltés dans des pots de 600 ml.

L'efficacité de séparation a été calculée à l'aide de l'équation 2. Dans la littérature, les auteurs (Kroodsma, 1986; Voermans et van Asseldonk, 1990) s'entendent pour dire que l'efficacité de séparation se calcule selon l'équation 2 ou une variante similaire :

$$E_i = \left( \frac{SQ_{is}}{SQ_{is} + LQ_{il}} \right) \times 100 \quad (2)$$

où  $E_i$  est l'efficacité de séparation (%), S est la quantité de solide (kg), L est la quantité de liquide (kg),  $Q_{is}$  est la quantité de l'élément i dans le solide (g/kg) et  $Q_{il}$  est la quantité de l'élément i dans le liquide (g/kg).

Dans le cas des échantillons ne présentant pas de séparation à la source, le lisier a été séparé en laboratoire à l'aide d'une centrifugeuse (Modèle K, IEC), dans une cuve de 59 cm, à une vitesse de 2000 tours minute<sup>-1</sup> pendant 20 minutes. La séparation en laboratoire permet de comparer l'efficacité de séparation des systèmes sous les lattes à une séparation par centrifugation.

## 2.5 Mesure des odeurs

Les concentrations d'odeurs ont été évaluées à partir d'un olfactomètre à dilution dynamique à choix forcé, conformément au Standard Européen EN13725 : 2003.

La concentration d'odeur (u.o.m<sup>-3</sup>) est le rapport de dilution d'air ( $\text{volume}_{\text{air inodore}} / \text{volume}_{\text{air ventilation}}^{-1}$ ) où 50% des membres du jury peuvent détecter une odeur. Afin d'avoir des mesures précises et conformes, la norme européenne a été utilisée (Sweeten *et al.*, 2001).

De nouveaux sacs Tedlar™ ont été utilisés pour chacun des échantillonnages. Quelques jours précédant les échantillonnages, les sacs ont été conditionnés à température ambiante. Les sacs ont été remplis d'azote puis vidés deux fois de suite, chaque cycle prenait ±30 minutes. Par la suite, les sacs ont été remplis de nouveau et conservés gonflés durant au moins deux heures.

Le protocole d'échantillonnage des odeurs a été différent pour les deux élevages. Pour le premier élevage, les traitements PP, V et G ont été échantillonnés le mardi lors des semaines 1, 2, 5 et 6. Lors des semaines 4 et 8, toujours le mardi, un échantillonnage de l'air a été effectué pour tous les traitements et pour l'entrée d'air principale à l'extérieur du bâtiment. Lors des semaines 3 et 7, aucun échantillonnage n'a été effectué. Pour le deuxième élevage, toutes les chambres, en plus de l'entrée d'air principale, ont été échantillonnées chaque mardi de toutes les semaines de l'élevage. Après la collecte, les sacs ont été envoyés par avion à Edmonton, Alberta, Canada. Les analyses ont été réalisées dans un délai de 24 h à l'Université d'Alberta (Agriculture/Forestry Centre).

Dans le but de garder le niveau d'activité des porcs au minimum durant l'échantillonnage, minimisant ainsi les biais entre les échantillons (Zhu *et al.*, 2000), l'air était récolté avec une longue tige à travers un petit accès dans le haut du mur de chacune des chambres, évitant ainsi d'entrer dans les chambres. Les prélèvements ont été réalisés dans le centre des chambres.

L'échantillonnage a été fait à l'aide d'un tube de Téflon™. L'air a été aspiré par un système à vacuum dans un sac Tedlar™ d'une capacité de 25 L et ce, sur une période de 10 minutes (figure 4). L'échantillon d'air est pris très près du ventilateur de sortie d'air. La séquence des chambres échantillonnées était toujours la même, débutant à la chambre 1 et terminait avec l'entrée d'air extérieure. Cette méthodologie a été suivie dans le but d'échantillonner la même chambre à environ la même heure chaque semaine. Les échantillons d'air ont été pris entre 9h30 et 12h30. Pour prévenir l'échange d'air avec l'extérieur, l'ouverture des portes était proscrite le matin avant l'échantillonnage.

Les émissions d'odeurs sont obtenues en multipliant le débit moyen de l'air de ventilation ( $m^3_{air} s^{-1}$ ) durant la période d'échantillonnage par la concentration d'odeurs (u.o.  $m^3_{air}^{-1}$ ). L'équation (3) présente les différents paramètres pour le calcul des émissions d'odeurs.

$$E_{odeurs} = \frac{C_{odeurs} \times Q \times 3600}{M_{porc}} \quad (3)$$

où  $E_{odeurs}$  représente les émissions d'odeurs (u.o./h  $kg_{porc}$ ),  $C_{odeurs}$  est la concentration d'odeurs de l'air échantillonné (u.o./ $m^3_{air}$ ),  $Q$  est le débit de ventilation dans la chambre ( $m^3_{air}/s$ ),  $M_{porc}$  est la masse totale des porcs dans la chambre (kg) et 3600 égale 60 min/h \* 60 s/min (s/h).

Étant donné que les concentrations d'odeurs ont une distribution géométrique, les données ont dû être soumises d'abord à une transformation logarithmique dans le but de déterminer les émissions moyennes d'odeurs. L'équation (4) a été utilisée pour calculer les émissions moyennes. Les émissions globales d'odeurs par traitement ont également été calculées avec la dernière équation. Les résultats obtenus avec cette équation sont présentés dans les tableaux et graphiques.

$$E_{odeurs} T = \log^{-1} \left[ \frac{\sum (\log C_{odeurs RW} \times Q_{RW})}{\sum Q_{RW}} \right] \times \left( \frac{Z}{\sum M_{porc RW}} \right) \times \left( \frac{\sum Q_{RW}}{Z} \right) \times 3600 \quad (4)$$

$E_{odeurs} T$  représente les émissions globales d'odeurs moyennées aux deux semaines, pour le traitement T (u.o.  $h^{-1} kg_{porc}^{-1}$ ),  $C_{odeurs RW}$  est la concentration d'odeurs dans l'air de sortie pour la répétition R (à chaque deux semaines), semaine W (u.o.  $m^3_{air}^{-1}$ ),  $Q_{RW}$  est le débit de ventilation pour la répétition R, semaine W (moyenne pendant la période d'échantillonnage) ( $m^3_{air} s^{-1}$ ),  $M_{porc RW}$  est le poids total des porcs pour la répétition R, semaine W (kg) et 3600 égale  $60 s/min * 60 min/h$  (s/h).

R = 1, 2, 3, 4      T = PP, S, V, J, F, C      W = 1, 2, ..., 8      Z = Nombre d'observations



**Figure 4. Échantillonnage de l'air pour l'analyse d'odeurs**

Comme le mentionne Lim *et al.* (2001), pour établir l'odeur générée seulement par la chambre, la différence entre la concentration de l'entrée et celle de la sortie doit être mesurée. Par contre, les émissions d'odeurs dans la littérature sont souvent rapportées sous forme d'émissions brutes, soit la concentration d'odeur mesurée dans la chambre (Heber et al., 1998; Verdoes and Ogink, 1997; Mol and Ogink, 2003). En effet, cette concentration est souvent la seule qui soit considérée lors des calculs d'émission. Dans le but de comparer les résultats avec la littérature, les émissions d'odeurs brutes ont donc été calculées. De plus, puisque les chambres avaient la même entrée d'air et qu'elles étaient comparées entre elles, il n'y avait aucun besoin de connaître les émissions d'odeur nettes.

## 2.6 Mesure du caractère hédonique

Le caractère hédonique de l'air se veut le degré d'acceptabilité d'une odeur.

La senteur de chacun des sacs a été évaluée selon une distribution normale. L'échelle pour la présente étude est la suivante : 1=Extrêmement désagréable, 2=Très désagréable, 3=Modérément désagréable, 4=Légèrement désagréable, 5=Neutre, ..., 9=Extrêmement agréable. Les panélistes avaient seulement accès aux mots descripteurs.

## 2.7 Mesure des substances chimiques et des agents biologiques

Les gaz analysés étaient l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). Le méthane, le gaz carbonique et l'oxyde nitreux sont analysés par chromatographie en phase gazeuse (GC) et l'ammoniac est analysé par spectroscopie infrarouge non dispersive (NDIR). Le méthane est quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le gaz carbonique est également quantifié par le FID mais après réduction en méthane avec l'hydrogène sur un catalyseur de nickel. Finalement, le protoxyde d'azote est mesuré avec un détecteur à capture d'électrons (ECD).

Les erreurs instrumentales sur les concentrations en gaz avec le GC sont :  $\text{CO}_2 \pm 30$  ppm;  $\text{CH}_4 \pm 0,5$  ppm;  $\text{N}_2\text{O} : \pm 0,1$  ppm. L'erreur sur la concentration de  $\text{NH}_3$  est  $\pm 1,5$  ppm. Périodiquement, le niveau de sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a été mesuré avec un dispositif portatif constitué d'instruments à lecture directe munis de piles électrochimiques. La limite de détection de ces appareils est de 1 ppm.

La mesure de la concentration des différents gaz pour une chambre est effectuée sur une période de 10 minutes. En effet, l'analyse instantanée avec le GC ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  et  $\text{N}_2\text{O}$ ) est effectuée sur l'échantillon de gaz circulant dans la boucle d'injection du GC à la fin de chaque période de 10 minutes. Différemment, la concentration en  $\text{NH}_3$  est une moyenne des concentrations en  $\text{NH}_3$  dans le gaz circulant dans la cellule d'analyse durant la dernière minute de chaque période de 10 minutes. Le système d'acquisition de données charge les données à chaque 10 secondes et enregistre la moyenne toutes les 10 minutes. Deux fois par heure, l'ordinateur enregistre la moyenne du système d'acquisition de données.

Le débit de la pompe (Model PU356-N05.16, KNF Neuberger, USA) aspirant l'air dans les tubes est de  $\pm 2 \text{ L min}^{-1}$ . Des mesures de concentrations, en ppm, sont prises sans interruption pendant les deux élevages et sont synchronisées avec la mesure du débit de ventilation. Les concentrations des gaz dans l'air entrant dans les chambres sont mesurées à tous les jours à 12h30 AM et PM.

Les tubes de prélèvement de gaz, en Téflon <sup>TM</sup>, sont munis de filtre en fibre cellulosique à l'entrée afin d'empêcher les particules de poussières de s'infiltrer dans les tubes et ainsi d'endommager les équipements d'analyse de gaz. Les tubes acheminant les gaz vers les analyseurs sont placés dans un conduit de PVC conservé à 35°C afin d'empêcher la condensation dans les tubes. Afin d'assurer une lecture avec le même volume d'air pour toutes les chambres, tous les tubes sont de même longueur, soit 15,25 m et un diamètre extérieur de 6,35 mm. Pour

obtenir les émissions, les différentes concentrations de gaz sont multipliées par le débit d'air de ventilation. Pour se faire, l'équation suivante (5) est utilisée :

$$E_{\text{gaz}} = \frac{(C_{\text{gaz sortie}} - C_{\text{gaz entrée}})}{10^6} \times \left( \frac{\beta_{\text{gaz}} \times Q \times 86400}{M_{\text{porc}}} \right) \times 10^6 \quad (5)$$

où  $E_{\text{gaz}}$  représente les émissions du gaz ( $\text{mg}_{\text{gaz}} \text{jour}^{-1} \text{kg}_{\text{porc}}^{-1}$ ),  $C_{\text{gaz sortie}}$  est la concentration du gaz dans l'air à la sortie de la chambre (ppm),  $C_{\text{gaz entrée}}$  est la concentration du gaz dans l'air à l'entrée de la chambre (ppm),  $\beta_{\text{gaz}}$  est la masse de gaz par volume d'air ( $\text{kg}_{\text{gaz}} \text{m}^3_{\text{air}}^{-1}$ ),  $Q$  représente le débit de ventilation dans la chambre ( $\text{m}^3_{\text{air}} \text{s}^{-1}$ ),  $M_{\text{porc}}$  est la masse totale des porcs dans la chambre (kg) et 86400 égale  $24 \text{h} \text{j}^{-1} * 3600 \text{s} \text{h}^{-1}$  ( $\text{s} \text{j}^{-1}$ ).

Les concentrations de poussières totales ont été prélevées en continu pour une période de sept jours dans chacune des chambres. Les débits dans chacune des chambres ont été ajustés avec des rotamètres à 2 L/minute (précision :  $\pm 5\%$  à 5L/min). Les filtres en esters de cellulose 0,8 microns ont été montés dans des cassettes fermées de 37 mm (Pall Gelman Sciences, USA). Les analyses ont été réalisées par l'IRDA selon la méthode de NIOSH.

Pour obtenir les émissions de poussières, l'équation suivante est utilisée :

$$E_{\text{PT}} = 10^3 \times \frac{(\Delta M)}{D_E \times T_E \times M_{\text{porc}}} \times Q \times 86400 \quad (6)$$

où  $E_{\text{PT}}$  représente les émissions de poussières totales ( $\text{mg/d-kg}_{\text{porc}}$ ),  $\Delta M$  représente la masse du filtre après exposition – celle avant (mg),  $Q$  représente le débit moyen de ventilation dans la chambre ( $\text{m}^3_{\text{air}} \text{s}^{-1}$ ),  $D_E$  est le débit d'échantillonnage (L/min),  $T_E$  représente le temps d'échantillonnage (min),  $M_{\text{porc}}$  est la masse totale des porcs dans la chambre (kg) et 86400 égale  $24 \text{h} \text{j}^{-1} * 3600 \text{s} \text{h}^{-1}$  ( $\text{s} \text{j}^{-1}$ ).

Trois échantillons de bioaérosols viables (moisissures et bactéries totales) et trois autres d'endotoxines ont été prélevés sur cassettes, une fois par deux semaines, pour les 16 semaines d'expérimentation. De même, les concentrations de  $\text{H}_2\text{S}$  ont été mesurées à raison d'une lecture par minute, durant la même période. Le tableau 4 résume les méthodes utilisées et leurs limites de détection (IRSST, 1999a, 1999b; IRSST. 1998).

Les émissions des bioaérosols ont été calculées en utilisant l'équation (7) :

$$E_{\text{Bio}} = C_{\text{Bio}} \times \frac{Q}{M_{\text{porc}}} \quad (7)$$

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

**Tableau 4 : Résumé des méthodes**

Agent	Échantillonnage	Analyse	
		Principe	Limite de détection
Bactéries totales	Filtre en polycarbonate 0,8 um, 37 mm+ milieu TSA, 2 L/min, 60 minutes	Extraction dans eau distillée stérile et Tween 20 + incubation 2 jours, 37,5°C + dénombrement	420 UFC/m <sup>3</sup>
Moisissures totales	Filtre en polycarbonate 0,8 um, 37 mm + milieu agar à extrait de malt, 2 L/min, 60 minutes	Extraction eau stérile et Tween 20 + incubation 5-7 jours, 25°C + dénombrement	420 UFC/m <sup>3</sup>
Endotoxines	Filtre en fibre de verre, 1,0 um, 37 mm 2 L/min, 240 minutes	Test LAL + photométrie	4 UE/m <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> S	ILD – dosimètre Toxilog	Pile électrochimique	1 ppm
H <sub>2</sub> S	ILD- dosimeter Toxilog ultra	Pile électrochimique	1 ppm
H <sub>2</sub> S	ILD- PhD ultra	Pile électrochimique	1 ppm

UFC/m<sup>3</sup> = unité formatrice de colonie par mètre cube d'air; UE/m<sup>3</sup> = unité d'endotoxine par mètre cube d'air; LAL = lysat d'améobocyte de limule.

## 2.8 Statistiques

L'analyse de la variance des données est basée sur un modèle en blocs complets avec effet aléatoire (bloc=élevages) et mesures répétées dans le temps. Les effets fixes inclus dans le modèle sont le traitement, la semaine, l'interaction semaine\*traitement alors que les effets aléatoires sont l'élevage et l'interaction élevage\*traitement. Un test de chi-carré sur le « likelihood ratio statistic » (Littell *et al.*, 1996) a été réalisé pour décider si l'interaction élevage\*traitement était conservée dans le modèle.

La procédure « mixed » avec l'option des mesures répétées a été utilisée avec le logiciel SAS (1999). En utilisant ce modèle, l'élevage et l'interaction élevage\*semaine ont été traités comme des effets aléatoires (Littell *et al.*, 1996). Un ajustement de Bonferroni a été fait sur chacune des variables de façon à augmenter la sévérité de l'analyse statistique vu le nombre élevé de comparaisons. Pour les variables n'ayant pas de distribution normale, une transformation logarithmique a été effectuée pour améliorer l'homogénéité de la variance.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Animaux et alimentation (performances zootechniques)

Afin de comparer adéquatement les systèmes de gestion des déjections par rapport à leurs impacts sur l'efficacité de séparation et les émissions de gaz et d'odeurs, les performances zootechniques doivent être analysées afin de déceler tout effet du système en tant que tel sur les performances. Puisque la comparaison des traitements pour certaines variables est basée sur le poids des porcs, une différence entre les traitements due aux performances pourrait induire un biais lors de l'analyse des résultats.

L'analyse statistique n'indique aucun effet de la phase de croissance des porcs sur le gain moyen quotidien (GMQ). Le GMQ obtenu est respectivement de  $1,01 \pm 0,03$  et de  $1,04 \pm 0,03$   $\text{kg}_{\text{gain}} \text{jour}^{-1} \text{porc}^{-1}$  pour les phases de croissance 1 et 2. L'analyse statistique ne démontre aucune évidence de l'effet des traitements sur le GMQ (tableau 5).

La conclusion de Van Kempen et al., (2003) abonde dans le même sens. Comparativement à la littérature, les GMQ obtenus sont plus élevés que la valeur recensée par le CDPQ (2004) ( $0,795 \text{ kg}_{\text{gain}} \text{ jour}^{-1} \text{ porc}^{-1}$ ). Le nombre restreint de porcs dans une même chambre, permettant ainsi un meilleur accès à l'alimentation et une diminution de la compétition entre les porcs, pourrait expliquer cette différence.

De plus, il n'y a pas de différence significative entre les deux types de diètes pour la prise alimentaire (PA). Le PA est  $1,98 \pm 0,04$  et  $2,66 \pm 0,04$   $\text{kg}_{\text{moulée}} \text{ jour}^{-1} \text{ porc}^{-1}$  pour les phases de croissance 1 et 2, respectivement. L'analyse statistique ne démontre aucune évidence de l'effet des traitements sur le PA (tableau 5).

La conversion alimentaire (CA) (gain de poids en fonction de la quantité de moulée ingérée) mesurée est significativement différente ( $p < 0,001$ ) pour les deux diètes, étant  $1,96 \pm 0,11$  et  $2,58 \pm 0,11$   $\text{kg}_{\text{moulée}} \text{ kg}_{\text{gain}}^{-1}$  pour les phases de croissance 1 et 2, respectivement. Toutefois, l'analyse statistique ne démontre pas d'effet des traitements sur la CA (tableau 5). Pour les trois variables précédentes, l'interaction traitement\*semaine est non-significative, c'est-à-dire que les traitements expérimentaux ont le même effet tout au long des différentes semaines. Basé sur ces résultats, il peut être conclu que les traitements expérimentaux n'affectent pas les performances zootechniques des porcs en engraissement-finition puisque le GMQ et la CA ne sont pas été affectés par les traitements.

**Tableau 5 : Gain moyen quotidien (GMQ), consommation moyenne journalière (PA) et conversion alimentaire (CA) en fonction des traitements**

Traitement	GMQ <sup>1</sup> (kg <sub>gain</sub> jour <sup>-1</sup> porc <sup>-1</sup> )	PA <sup>2</sup> (kg <sub>moulée</sub> jour <sup>-1</sup> porc <sup>-1</sup> )	CA <sup>3</sup> (kg <sub>moulée</sub> kg <sub>gain</sub> <sup>-1</sup> )
PP	1,01	2,33	2,29
G	1,04	2,38	2,29
V	0,99	2,25	2,30
VJ	1,02	2,35	2,32
F	1,03	2,36	2,28
C	1,05	2,26	2,15

Erreur standard : <sup>1</sup> : ± 0,04 kg<sub>gain</sub> jour<sup>-1</sup> porc<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> : ± 0,06 kg<sub>moulée</sub> jour<sup>-1</sup> porc<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> : ± 0,11 kg<sub>moulée</sub> kg<sub>gain</sub><sup>-1</sup>.

### 3.2 Efficacité de séparation

Les résultats de l'efficacité de séparation doivent être analysés de deux façons distinctes. De fait, pour certains des paramètres, l'analyse statistique a révélé une interaction entre les traitements et les semaines. Cela signifie que l'effet d'un traitement peut ne pas être le même tout au long des différentes semaines. Dans ces cas, l'analyse statistique des résultats est présentée pour chaque semaine plutôt que pour l'ensemble de l'élevage. Le tableau 6 présente l'efficacité moyenne de séparation des différents traitements pour chacun des éléments.

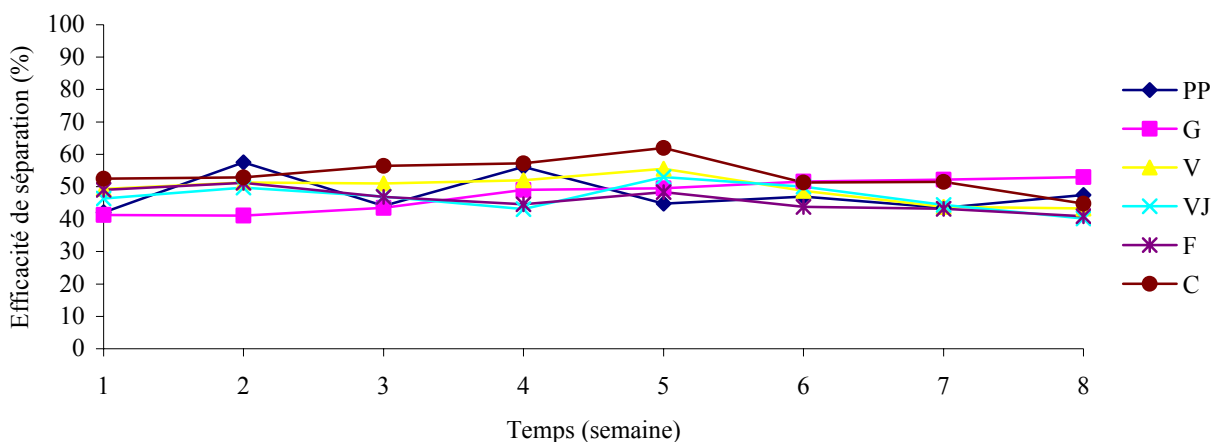
**Tableau 6 : Efficacité moyenne de séparation des différents traitements pour chacun des éléments**

Élément*	Efficacité de séparation (%)					
	PP	G	V	VJ	F	C
N-Total	48,0	47,7	49,4	46,7	46,0	53,4
N-NH <sub>4</sub>	36,8	37,7	25,0	28,8	25,4	34,8
P	82,4	85,5	90,6	91,9	90,9	95,3

\* : Ces données présentent une interaction semaine\*traitement demandant une analyse statistique pour chaque semaine.

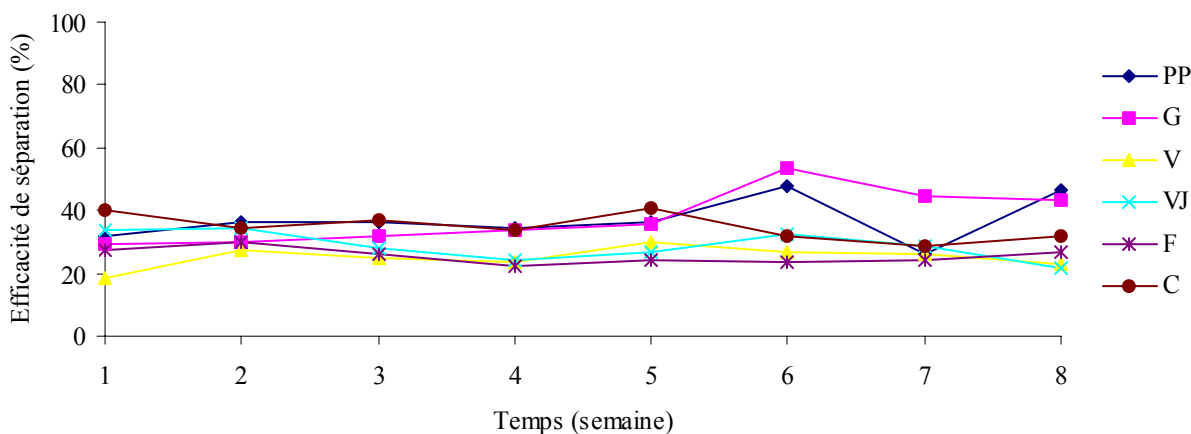
#### 3.2.1 L'azote

L'efficacité de séparation de l'azote total se situe entre 40,2±6,4% à 57,5±4,8%. Les traitements de séparation semblent produire une fraction solide plus riche en azote total, mais l'analyse statistique révèle qu'il n'y a pas de différence significative (p>0,05) entre les six traitements, et ce pour les 8 semaines. Il n'y a donc pas de différence entre les traitements avec séparation à la source et ceux centrifugés. L'évolution de l'efficacité de séparation de l'azote est illustrée à la figure suivante.



**Figure 5 : Évolution de l'efficacité de séparation de l'azote total en fonction des différents traitements**

Il en est de même pour l'efficacité de séparation de l'azote ammoniacal. En effet, il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les traitements pour chacune des huit semaines. La valeur la plus faible a été obtenue pour la gratte en V lors de la première semaine ( $18,6 \pm 5,3\%$ ) alors que la plus élevée résulte de la gratte standard lors de la sixième semaine ( $53,2 \pm 9,7\%$ ). Vu l'interaction traitement\*semaine, ces valeurs ne se comparent pas entre elles. La figure 6 illustre les valeurs obtenues.



**Figure 6 : Évolution de l'efficacité de séparation de l'azote ammoniacal en fonction des différents traitements**

### 3.2.2 Le phosphore

Dans le cas du phosphore, les traitements avec séparation à la source sont tous équivalents et ce, pour toutes les semaines de l'essai. L'efficacité de séparation est effectivement toujours supérieur à 84,7%. Les résultats des efficacités de séparation pour les systèmes de gestion sans

séparation avec le lisier centrifugé se situent entre 77,2% et 88,1%. Par contre, lorsque l'on analyse l'effet des traitements tout au long des 8 semaines, il y a des différences significatives entre les différents traitements lors de la deuxième et de la quatrième semaine de l'élevage. Dans le premier cas, la vidange gravitaire (84,4±1,4%) et la grappe standard (83,8±1,4%) sont tous les deux significativement inférieures ( $p>0,05$ ) à tous les traitements de séparation à la source, le plus proche étant le filet (92,6±1,4%). Dans le deuxième cas, il y a une différence significative seulement entre la courroie (96,1±2,8%) et la vidange gravitaire (78,9±2,8%). La figure 7 illustre l'évolution de l'efficacité de séparation du phosphore en fonction des différents traitements.

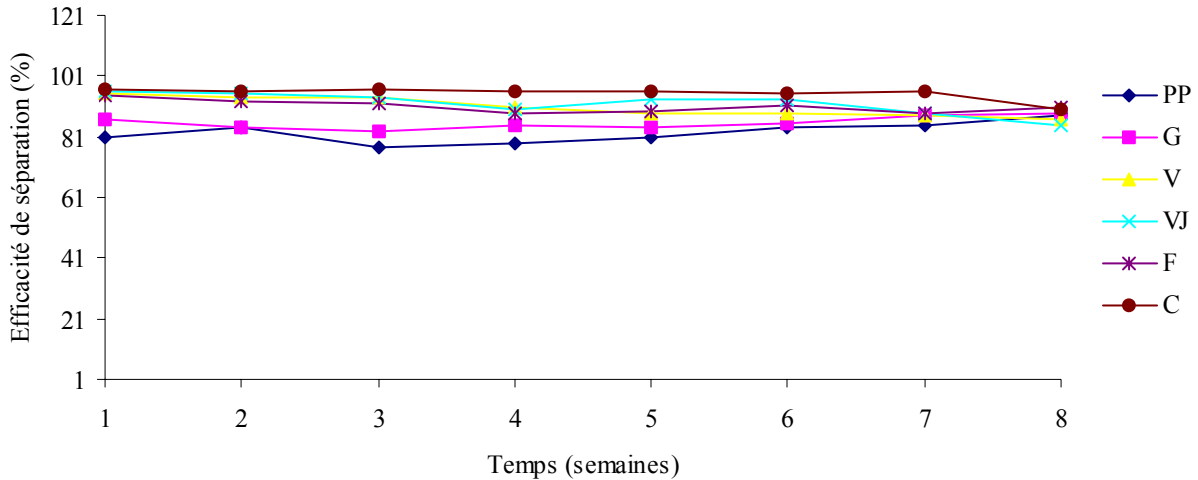


Figure 7 : Évolution de l'efficacité de séparation du phosphore en fonction des différents traitements

L'efficacité de séparation du phosphore est aussi en accord avec les valeurs retrouvées dans la littérature (von Bernuth 2001; Kroodsmas 1986; Marshal 2002; Voermans 1990; Ogink et al., 2000). Pour tous les traitements de séparation à la source, la valeur est toujours supérieure à 84%.

### 3.3 Taux de ventilation

Le tableau 7 présente les débits de ventilation moyens pour les deux élevages, toutes les chambres confondues.

### 3.4 Émissions d'odeurs et caractère hédonique

Les émissions d'odeurs et le caractère hédonique sont des moyennes des données obtenues sur une période de deux semaines. Ceci doit être fait pour des raisons statistiques en raison du nombre inférieur de données pour l'élevage 1.

À la figure 8, il peut être noté que les traitements C, V, F et VJ ont le même patron d'émissions au cours des semaines, augmentant à la période 2 (équivalent aux mesures faites dans les semaines

3 et 4) et diminuant ensuite graduellement. Au contraire, le témoin obtient des émissions d'odeurs inférieures à la période 2 et reste stable ultérieurement.

**Tableau 7. Débits de ventilation moyens (m<sup>3</sup>/sec) pour les deux élevages**

Semaine	Élevage 1	Élevage2
1	0,0333	0,0397
2	0,0473	0,0408
3	0,0486	0,0551
4	0,0534	0,0607
5	0,0578	0,0641
6	0,0482	0,0660
7	0,0628	0,0667
8	0,0629	0,0662
Débits moyens	0,0518	0,0580
Débits moyens pour les 2 semaines	0,0549	

Les analyses statistiques ne démontrent aucune différence significative dans l'effet des traitements. Les émissions d'odeurs pour chacun des traitements sont présentées au tableau 8. Les valeurs varient entre  $206 \pm 32$  et  $269 \pm 32$  u.o. h<sup>-1</sup> kg<sub>porc</sub><sup>-1</sup>. L'interaction traitement\*semaine est non-significative.

Les résultats statistiques pour le caractère hédonique des échantillons d'air ne montrent aucune différence significative dans les traitements. Le caractère hédonique moyen pour chacun des traitements varie entre 2,29 et 2,47 ; les valeurs de ce paramètre présentées pour chaque traitement se retrouvent dans le tableau 8.

Le caractère hédonique pour chaque traitement, pour chaque période est présenté à la figure 9. L'interaction traitement\*semaine est non-significative. à partir de ces caractères hédoniques mesurés, il peut être assumé que l'évacuation fréquente des déjections, avec ou sans séparation de phase, améliore le caractère hédonique et diminue les émissions. Toutefois, les valeurs obtenues étant toutes au-dessous de 5 (neutre) suggèrent que peu importe le traitement, l'air est toujours désagréable.

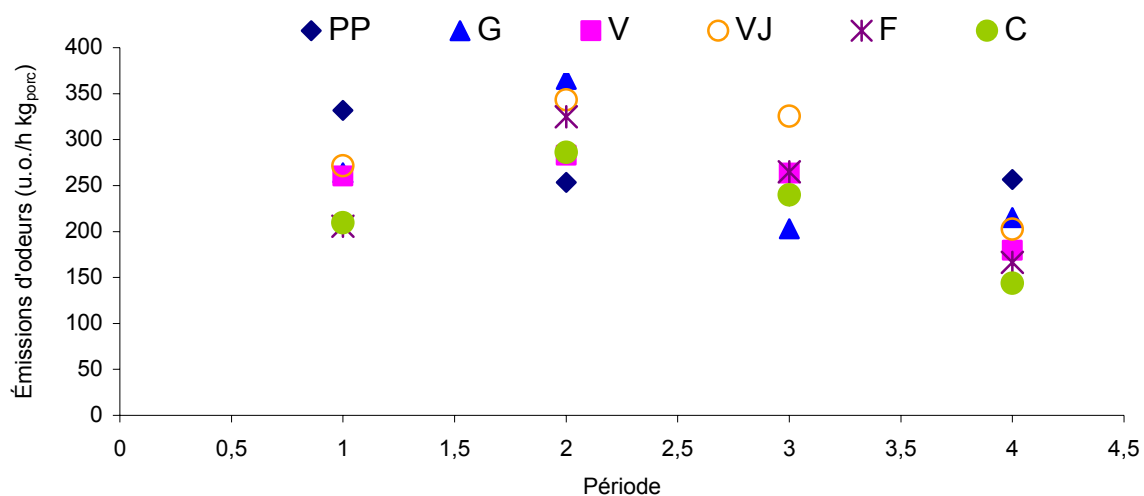
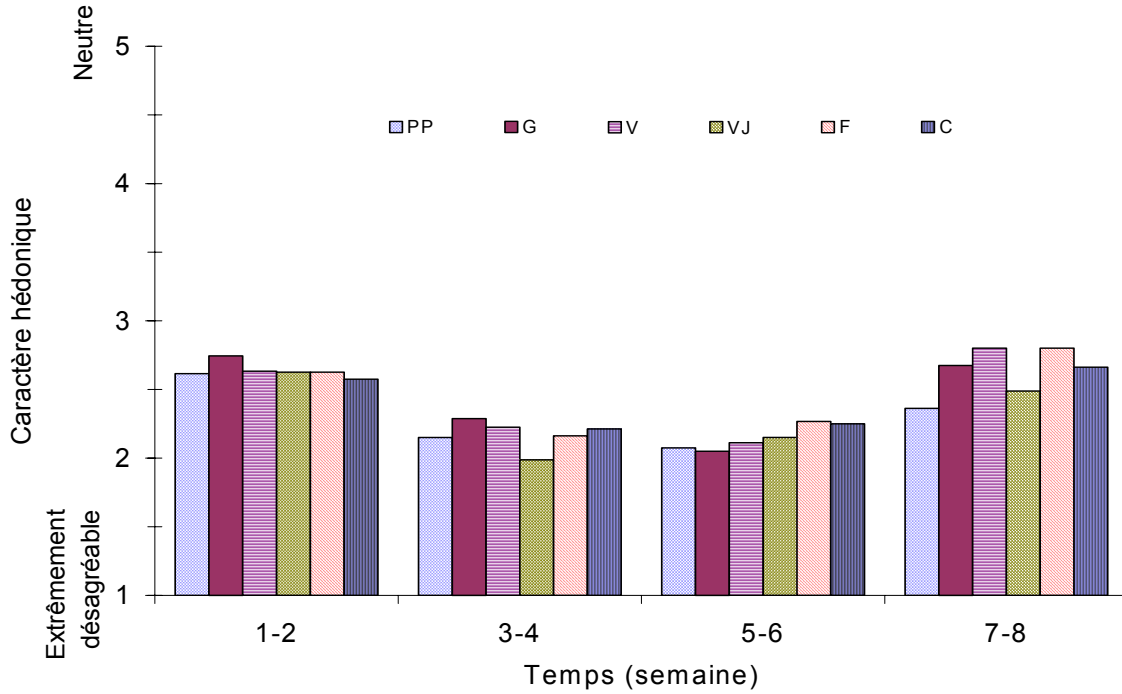


Figure 8 : Émissions d'odeurs en fonction des traitements et des périodes

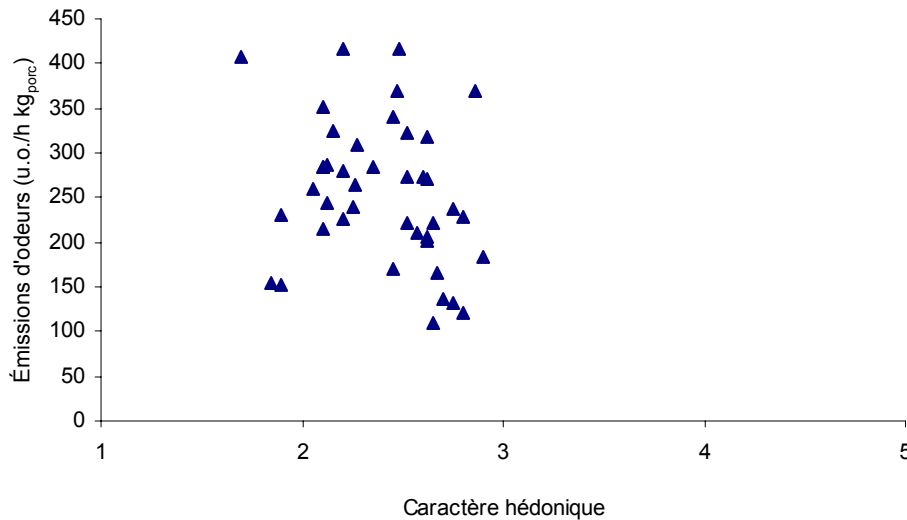
Tableau 8 : Caractère hédonique moyen au cours des semaines en fonction des traitements

Traitement	Émissions d'odeurs (u.o./h kg <sub>porc</sub> )	Caractère hédonique
PP	260	2,30
G	245	2,44
V	242	2,44
VJ	269	2,29
F	228	2,47
C	206	2,43
Entrée d'air principale	—	2,68



**Figure 9 : Caractère hédonique pour chaque traitement en fonction des semaines**

En considérant que le traitement pourrait améliorer le degré d'acceptabilité d'une odeur sans en réduire les taux d'émission, aucune relation entre les émissions d'odeurs et le caractère hédonique n'a été trouvée dans la littérature. Comme suggéré par la figure 10, aucune relation n'existe entre le caractère hédonique et les émissions d'odeurs.



**Figure 10 : Émissions d'odeurs en fonction du caractère hédonique**

### 3.5 Substances chimiques et agents biologiques

La figure 11 illustre les émissions de méthane en fonction des semaines et des traitements. Graphiquement, les émissions restent sensiblement stables pendant la durée de l'essai. Il y a cependant une augmentation soudaine des émissions de CH<sub>4</sub> à 31,8 mg jour<sup>-1</sup> kg<sub>porc</sub><sup>-1</sup> durant la 7<sup>e</sup> semaine.

L'analyse statistique ne démontre aucun effet significatif du traitement sur les émissions de méthane. Aucun traitement ne permet de réduire les émissions de CH<sub>4</sub> (tableau 9). En conséquence, il peut être conclu qu'en l'espace d'une semaine, la fréquence de grattage des déjections n'a pas d'influence sur les émissions de CH<sub>4</sub>. Également, la séparation solide-liquide ne permet pas une diminution des émissions de CH<sub>4</sub> lorsque la vidange des déjections est effectuée dans une période de 7 jours.

La figure 12 présente les émissions d'ammoniac en fonction des semaines et des traitements.

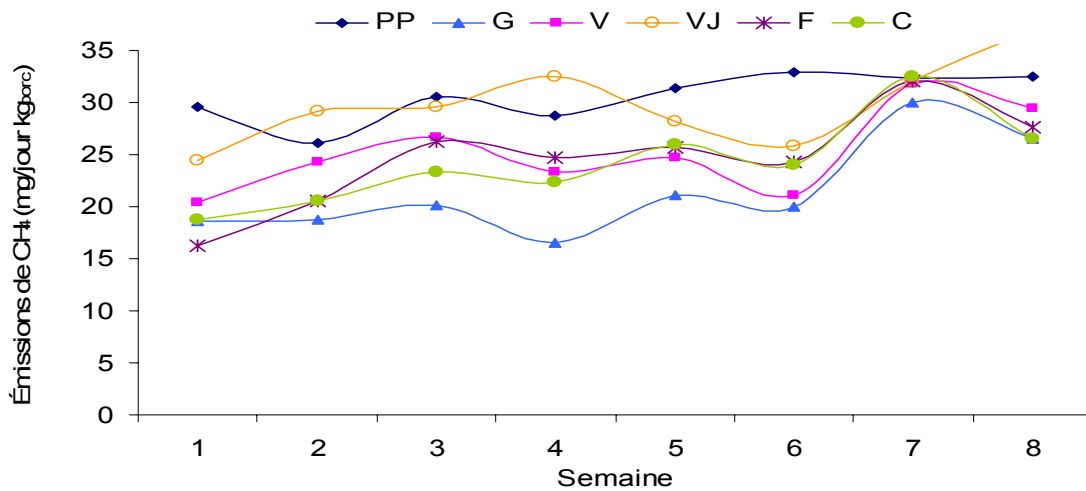
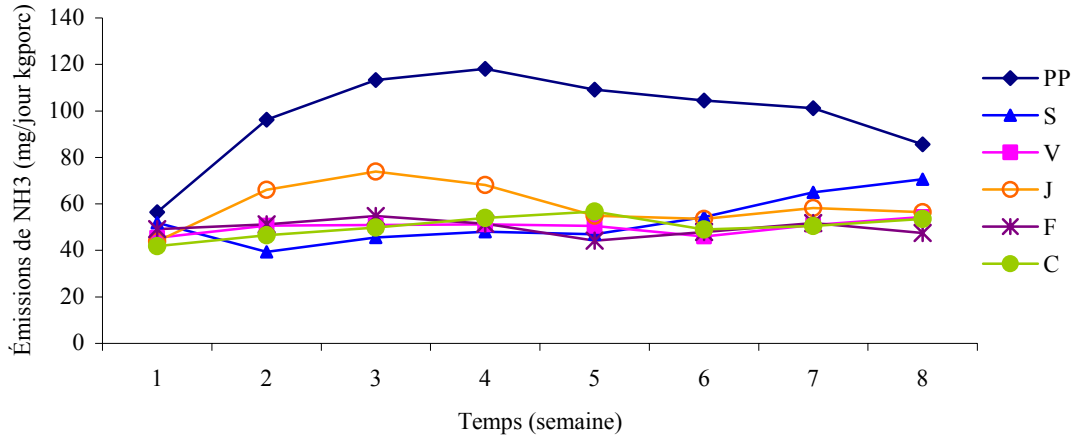


Figure 11. Émissions de méthane pour chaque traitement en fonction des semaines



**Figure 12 : Émissions d’ammoniac pour chaque traitement en fonction des semaines**

L'analyse statistique confirme une différence significative dans les émissions de NH<sub>3</sub> pour l'effet traitement ( $p \leq 0,02$ ). Le tableau 9 présente les émissions d’ammoniac en fonction des traitements. Il y a une fine tendance ( $p = 0,13$ ) pour la gratte en « V » quotidienne d’être significativement plus faible que le témoin (PP). Toutefois, même sans système de séparation (gratte conventionnelle (G)), retirer le lisier à tous les 2 à 3 jours réduit aussi de façon significative les émissions de NH<sub>3</sub> d’environ 50% comparativement au témoin (PP).

L'analyse statistique n’a démontré aucun effet significatif du traitement sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Les émissions sont aussi présentées au tableau 9.

**Tableau 9 : Émissions de méthane moyennes au cours des semaines en fonction des traitements**

Traitement	Émissions de CH <sub>4</sub> <sup>1</sup> (mg/jour kg <sub>porc</sub> )	Émissions de NH <sub>3</sub> <sup>2</sup> (mg/jour kg <sub>porc</sub> )	Émissions de CO <sub>2</sub> <sup>3</sup> (g/jour kg <sub>porc</sub> )
PP	30,5	98,1 a	24,94
G	21,5	52,7 b	20,96
V	25,2	50,0 b	23,46
VJ	29,9	59,4 a b	23,85
F	24,7	49,8 b	21,66
C	24,2	50,2 b	22,30

Erreur standard: <sup>1</sup> : ± 2,4 mg/jour kg<sub>porc</sub>; <sup>2</sup> : ± 9,3 mg/jour kg<sub>porc</sub>; <sup>3</sup> : ± 0,96 g/jour kg<sub>porc</sub>  
Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (LSD) ( $p > 0,05$ ).

Cette observation est en accord avec le fait qu’environ 96% du CO<sub>2</sub> est produit par la respiration des animaux; le restant (4%) provenant de la décomposition des déjections (Marquis et Marchal, 1998).

L'interaction traitement\*semaine est non-significative pour les émissions de méthane, d'ammoniac et de gaz carbonique.

Dû à une lecture de concentration peu élevée (~0,02 ppm) et une erreur instrumentale plus élevée ( $\pm 0,1$  ppm), il peut être conclu que les émissions de N<sub>2</sub>O sont négligeables pour tous les traitements. La même conclusion s'applique pour les 12 480 lectures des concentrations de H<sub>2</sub>S prises lors des 16 semaines d'expérimentation.

Les concentrations et les émissions de poussières sont présentées au tableau 10.

**Tableau 10 : Concentrations moyennes et émissions de poussières**

Traitement	N obs.	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )		Émission (mg/jour-kg <sub>porc</sub> )	
		Moy.	E.T.	Moy.	E.S.
V	32	1,12	0,25	25.38	1.62
VJ	31	0,95	0,26	22.58	1.64
PP	29	1,02	0,21	23.60	1.65
F	31	1,03	0,22	21.41	1.64
G	25	1,25	0,31	25.35	1.72
C	28	1,16	0,24	24.87	1.67

Moy. = Moyenne arithmétique; E.T.= Écart-type; E.S.= Erreur standard

Les concentrations de poussières sont plus basses que celles retrouvées habituellement dans la littérature sur les porcheries (de 1,6 à 8,8 mg/m<sup>3</sup> d'air) (Cormier et al., 1990; Lavoie et Pigeon, 2001; Lavoie et al., 1997; Reynolds et al., 1996). Cette différence peut s'expliquer par le faible nombre de porcs dans la chambre (4 porcs). Le principal facteur affectant les concentrations de poussières étant la façon dont est distribuée la nourriture, moins d'animaux entraînent moins de nourriture et conséquemment des concentrations et émissions plus faibles. Toutefois, les émissions mesurées sont similaires avec celles de Lemay et al. (2003) qui a déjà mesuré 25,6 mg/j-kg<sub>porc</sub> pour un système de contrôle.

Les analyses statistiques ont quant à elles démontré que les traitements n'ont eu aucun effet sur les émissions de poussières.

Les concentrations moyennes et les émissions de bactéries totales viables sont retrouvées au tableau 11.

**Tableau 11 : Concentrations moyennes et émissions de bactéries totales viables**

Traitement	N obs.	Concentration (UFC/m <sup>3</sup> )		Émission (CFU/s kg <sub>porc</sub> )	
		M.G.	E.T.G.	M.G.	E.S.
V	23	125190	3,1	54,99	12,35
VJ	24	59210	3,1	29,96	12,35
PP	24	78890	3,2	33,47	13,80
F	23	42520	3,7	25,21	12,35
G	22	31110	2,8	15,34	12,35
C	24	48960	6,8	44,46	12,35

M.G.= Moyenne géométrique; E.T.G.= Écart-type géométrique ; E.S.= Erreur standard

Les concentrations moyennes de bactéries totales de cette étude sont faibles lorsque comparées à celles normalement mesurées dans l'air ambiant des porcheries (Lavoie et al., 2005 ; Lavoie et Pigeon, 2001). De fait, les concentrations dans ce type d'environnement sont souvent de l'ordre de  $10^{5-6}$  UFC/m<sup>3</sup> d'air (Goyer et al., 2001 ; Lavoie et al., 2005 ; Lavoie et Pigeon, 2001).

La semaine a un effet significatif sur les émissions de bactéries. Pour tous les traitements, les émissions de bactéries augmentent significativement avec le temps. Il y a aussi plus d'émissions de bactéries avec la gratte en V, sans toutefois démontrer de différence significative (test de Bonferroni) entre les traitements. Toutefois, des tendances à être significatives sont observées entre le filet (F) (25,21 UFC/s kg<sub>porc</sub>) et la gratte en V (54,99 UFC/s kg<sub>porc</sub>) et aussi entre la gratte conventionnelle (G) et la gratte en V.

Le tableau 12 présente les concentrations moyennes et les émissions des endotoxines.

**Tableau 12 : Concentrations moyennes et émissions d'endotoxines**

Treatment	N obs.	Concentration (UE/m <sup>3</sup> )		Émission (UE/s kg <sub>porc</sub> )	
		M.G.	E.T.G.	M.G.	E.S.
V	24	2140	2,3	0,824	0,24
VJ	24	1530	2,1	0,646	0,24
PP	23	1720	1,5	0,657	0,25
F	24	1430	2,1	0,528	0,24
G	24	1850	2,0	0,713	0,24
C	24	1850	2,5	0,794	0,24

Les concentrations moyennes d'endotoxines sont plus faibles, d'un ordre de grandeur, que les concentrations habituellement retrouvées dans les parcs de gestation porcine (de l'ordre de  $10^4$  UE/m<sup>3</sup> d'air) (Goyer et al., 2001 ; Lavoie et al., 2005; Lavoie et pigeon, 2001). Toutefois ces concentrations demeurent supérieures aux valeurs limites d'expositions recommandées pour un milieu de travail qui sont d'environ 300 UE/m<sup>3</sup> d'air et demandent donc des améliorations (Donham et al., 2000 ; Heederick et Douwes, 1997; Lavoie et Pigeon, 2001 ; Lavoie et al., 1997).

La semaine a un effet significatif sur les émissions d'endotoxines. Pour tous les traitements, les émissions d'endotoxines augmentent significativement avec le temps. Les émissions la plus faible et la plus élevée ont été mesurées avec le filet et la gratte en V, respectivement. La gratte en V produit 20% plus d'émissions d'endotoxines que le contrôle (PP) et 36% de plus que le filet (F). Cependant ces différences sont non significatives (test de Benferroni).

Le tableau 13 présente les concentrations et les émissions moyennes de moisissures.

**Tableau 13 : Concentrations et émissions moyennes de moisissures**

Traitement	N obs.	Concentration (UFC/m <sup>3</sup> )		Émission (UFC/s kg <sub>porc</sub> )	
		M.G.	E.T.G.	M.G.	E.S.
V	24	1190	6,5	0,938	0,84
VJ	24	1070	4,7	0,903	0,82
PP	24	930	6,3	0,937	0,84
F	24	900	6,0	0,789	0,82
G	22	950	6,4	0,828	0,83
C	24	1020	5,2	0,879	0,82

Les concentrations moyennes de moisissures sont du même ordre de grandeur que celles retrouvées dans l'air de référence extérieur sans couvert de neige (Goyer et al., 2001). De même, les émissions de moisissures ne sont pas significativement affectées par les traitements car la source est habituellement l'air extérieur (ACGIH, 1999).

Pour tous les traitements, les émissions de moisissures augmentent significativement entre les semaines 5 et 7. Encore une fois, comme pour les bactéries et les endotoxines, la gratte en V produit plus de moisissures que les autres traitements. Toutefois, ces différences ne sont pas significatives.

### 3.6 Portées et limites de l'étude

L'évaluation des substances chimiques, des agents biologiques et des caractéristiques physico-chimiques dans cette étude a été réalisée dans le cadre des limites de détection et des précisions citées dans la section méthodologie.

D'une part, il est important de mentionner que les conditions de qualité de l'air des mini-porcheries sont différentes des conditions retrouvées dans les fermes commerciales. Les concentrations de bioaérosols, des odeurs et des substances chimiques sont plus faibles que celles retrouvées en élevage commercial (Lavoie et al., 2005 ; Lavoie et Pigeon, 2001). En outre, les résultats des mesures du H<sub>2</sub>S ne sont pas applicable en ferme commerciale. D'autre part, cette étude a permis de démontrer les bienfaits de la séparation solide-liquide des lisiers et d'entrevoir l'installation de ce système de traitement dans les fermes commerciales, surtout chez les producteurs en zone de surplus de lisier.

## 4. CONCLUSION

Les objectifs de cette activité étaient de trouver une solution agroenvironnementale au surplus des lisiers et aux émissions de gaz, d'odeurs et de bioaérosols provenant des élevages porcins. Plus spécifiquement, l'objectif principal visait à évaluer et à adapter une approche de gestion des déjections sous les animaux facilitant la manutention, le traitement et la valorisation des phases solides et liquides de façon distincte tout en diminuant les émissions et améliorant ainsi la qualité de l'air. Ainsi, suite à cette activité, les constats suivants peuvent être faits :

- La séparation des fèces et de l'urine sous les lattes permet effectivement de concentrer au moins 80% du phosphore dans la partie solide. Les résultats obtenus sont supérieurs à cette valeur.
- Puisqu'il n'y a pas de différence significative entre la gratte en «V» et la gratte en «V» actionnée de façon journalière pour l'efficacité de séparation des différents éléments, il est conclu que la fréquence de grattage de la gratte en «V» n'augmente pas l'efficacité de séparation.
- La séparation de l'urine et des fèces directement sous les lattes n'a aucune influence significative sur les émissions de CH<sub>4</sub> en comparaison avec le témoin.
- Sans séparation de phases, vidanger les déjections aux 2-3 jours n'a pas d'influence sur les émissions de CH<sub>4</sub> comparativement à une vidange effectuée une fois par semaine.
- L'analyse statistique démontre une différence significative pour les émissions de NH<sub>3</sub> dans l'effet traitement ( $p \leq 0,02$ ). Sans séparation de phase avec la gratte conventionnelle, il peut être conclu que limiter la période d'entreposage des déjections sous les porcs à 2-3 jours atténue significativement les émissions de NH<sub>3</sub> de 46%, comparativement au témoin. En conséquence, pour une période d'entreposage de 2-3 jours, la séparation en tant que telle ne permet pas une réduction des émissions d'ammoniac.
- Les différents systèmes de séparation n'ont pas la même capacité de réduction pour le NH<sub>3</sub>.
- Les différents systèmes de gestion des déjections n'ont pas d'impact sur les émissions de CO<sub>2</sub> au bâtiment.
- Les concentrations de H<sub>2</sub>S et de N<sub>2</sub>O étant négligeables, la séparation dans cette étude n'a pas eu d'influence.
- La séparation de l'urine et des fèces directement sous des lattes ne permet pas une diminution des émissions d'odeurs au bâtiment, en comparaison avec le témoin.
- Sans séparation de phases, la vidange aux 2-3 jours ne limite pas les émissions d'odeurs comparativement à une vidange hebdomadaire.
- Les systèmes de gestion des déjections n'ont pas d'impact sur le caractère hédonique. Les valeurs obtenues se trouvant toutes en dessous de 5 suggèrent que peu importe le traitement utilisé, l'air dans les chambres est désagréable.
- Les analyses statistiques des émissions de poussières ont démontré que les traitements n'avaient aucun effet sur leurs émissions.

- Cette dernière constatation est aussi observée pour les émissions des bactéries totales, des endotoxines et des moisissures de l'air.
- La semaine a un effet significatif sur les émissions, peu importe le type de bioaérosols. Pour tous les traitements, leurs émissions augmentent significativement avec le temps.

Les systèmes de séparation à la source sous le caillebotis affectant surtout les contaminants produits sous le plancher, auront peu d'impact sur la qualité de l'air des bâtiments porcins. Toutefois, ils fournissent de nouvelles avenues pour les producteurs en zones de surplus de lisier, donc de phosphore.

## **5. REMERCIEMENTS**

Cette étude a été réalisée grâce au support financier des partenaires suivants : le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ), la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), la COOP fédérée de Québec, le Programme en partenariat d'investissement pour la recherche et le développement en agroenvironnement (PPIRDA), le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ) et le Michigan State University (MSU).

Un remerciement doit être fait au Centre de recherche en science animale de Deschambault (CRSAD) pour avoir fourni l'espace expérimental et à l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) pour les équipements, les installations et les ressources humaines. Nous tenons également à remercier l'Université Laval, le CEMAGREF, le Prairie Swine Centre (PSCI) et les gens de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), l'équipe du laboratoire de microbiologie de l'IRSST et de l'Hôpital Laval de Québec. Finalement, on ne peut passer sous silence l'implication de Robert von Bernuth du MSU et le support technique de François Léveillé et de Michel Côté de l'IRDA.



## 6. BIBLIOGRAPHIE

- ACGIH. 1999. Bioaerosols, Assessment and Control. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, St-Cinnati, Ohio, 322 p.
- ASAE. 2003. ASAE Standards – Standards Engineering Practices Data. 50<sup>th</sup> Edition. American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, St-Joseph, MI 49085-9659, USA.
- Boutin, F. and S. Richard. 2002. Le règlement sur les exploitations agricoles (REA). Porc Québec, 13(4) : p. 28-32.
- Foulds, C. 2001. Flushing par gouttières pour porcherie sans lisier. Réussir Porcs-septembre – No. 75, p. 109–110.
- CDPQ. 2004. Compilation CDPQ – Gestion et exploitation des données, Centre de Développement du porc du Québec inc., communication personnelle.
- Cormier, Y., Tremblay, G., Mériaux, A., Brochu, G. and J. Lavoie. 1990. Airborne Microbial Contents in Two Types of Swine Confinement Buildings in Quebec. American Industrial Hygiene Association Journal 51(6):304-309.
- Donham, K.J., Cumro, D., Reynolds, S.J. and J.A. Merchant. 2000. Dose-response relationship between Occupational Aerosol Exposures and Cross-Shift Declines of Lung Function in Poultry Workers: Recommendations for Exposure Limits. Journal Of Occupational and Environmental Medicine 42:206-209.
- Gilbertson, C.B., D.D. Schulte and C.J. Clanton. 1987. Dewatering Screen for Hydraulic Setting of Solids in Swine Manure. Transactions of the ASAE. 30(1): 202-206.
- Godbout, S., Lemay, Belzile, M., Lachance, I., Marquis, A., Pouliot, F. et J-P. Larouche. 2005. Évaluation technico-économique d'un système de séparation liquide/solide des déjections à la source dans un bâtiment porcin et les impacts sur l'environnement - Volet II. Institut de recherche en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec, Canada, 68 pages.
- Godbout, S., R. Joncas et F. Pouliot. 2002. Séparation des lisiers à la source. Volet I : Voyage au Michigan. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec, Canada, 13 pages.
- Goyer, N., Lavoie, J., Lazure, L. et G. Marchand. 2001. Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention. Études et recherche, guide technique T-23, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec, 84 pages.
- Heber, A.J., Bundy, D.S., Lim, T.T., Ni, J.Q., Haymore, B.L., Diehl, C. and R. Duggirala. 1998. Odor Emission Rates from Swine Finishing Buildings. In Animal Production Systems and the Environment, An International Conference on Odor, Water Quality, Nutrient Management and Socioeconomic Issues, 1:305-310, Des Moines, IA, 20-22 July.
- Heederick, D. and J. Douwes. 1997. Towards an Occupational Exposure Limit for Endotoxins. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 4:17-19.
- Hendriks, H.J.M. and A.M. Weerhof. 1999. Dutch Notes on BAT for Pig and Poultry Intensive Livestock Farming. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, MANMF, 52 p.
- IRSST. 1999a. Méthodes et guides d'étalonnage No 1. Méthode de laboratoire. Méthodes No 3B, 6A, 7B et 39A. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 1999.
- IRSST. 1999b. Dénombrement des bactéries et moisissures viables. . Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode # 264-2, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 8 pages.

- IRSST. 1998. Analyse des endotoxines présentes dans l'air. Notes et rapports scientifiques et techniques, méthode # 332-1, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 8 pages.
- Jongebreur, A.A. 1981. Housing System and their Influence on the Environment. Environmental Aspects of Housing for Animal Production, Butterworths, London, UK : 431-436.
- Kroodsma, W. 1986. Separation and Removal of Faeces and Urine using Filter Nets under Slatted Floors in Piggeries. Journal of Agricultural Engineering Research, 34 : 75-84.
- Lavoie, J., Massé, D., Croteau, F., Masse, L. et E. Topp. 2005. Evaluation of the Impact of Manure Additives on Worker Exposure and Odour Attenuation. Journal of Food, Agriculture and Environment, 3(2):181-190.
- Lavoie, J., Pigeon, S. 2001. Évaluation des agents chimiques et des bioaérosols dans une porcherie utilisant la technique d'élevage sur couche mince. Travail et santé 17(2) :28-31.
- Lavoie, J., Marchand, G. and G. Gingras. 1997. Pit Ventilation in Pig-housing Facilities. Canadian Agricultural Engineering 39(4): 317-326.
- Lavoie, J., Marchand, G., Drolet, J-Y. et G. Gingras. 1995. Biological and Chemical Contamination of the Air in a grower-finisher Pig Building using Deep-litter Systems. Canadian Agricultural Engineering 37(3):195-203.
- Lemay, S.P., Godbout, S., Joncas, R., Larouche, J.P., Rivest, J., Martin, D.Y., Marquis, A., Bernier J.F., Massé, D., Payeur, M., Zijlstra, R., Chénard, L., Barber, E.M. et C. Laguë. 2003. Reduction of Odour and Gas Emissions from Swine Building combining Canola Oil Sprinkling and Dietary Manipulation. Final Report. Prairie Swine Centre inc., August, 102 p.
- Lim, T.T., Heber, A.J., Ni, J.Q., Sutton, A.L. and D.T. Kelly. 2001. Characteristics and Emission Rates of Odor from Commercial Swine nurseries. Transactions of the ASAE, 44(5):1275-1282.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. and R.D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst. Inc., Carey, NC, USA.
- MAPAQ. 2004. Programme Prime-Vert. Ministère de l'Alimentation, des Pêcheries et de l'alimentation du Québec, Publication No. 04-0091 (2004-04), 22 pages.
- Marchal, P. 2002. Le système de séparation liquide-solide sous la queue : un choix technologique raisonné. CRAAQ 2002. 3e Colloque sur les bâtiments porcins – Le bâtiment en évolution! Mercredi 20 mars, pp. 23-36.
- Marquis A. et P. Marchal. 1998. Qualité de l'atmosphère à proximité des bâtiments *d'élevage*. Cahier d'étude et de recherche francophones – Agricultures. 7(5): 377-385.
- Miner, J.R.. 1995. A review of the Literature on the Nature and Control of odors from Pork Production Facilities. Published by the Environmental committee of national pork producers concil. 118 p.
- Mol, G. and N.W.M. Ogink. 2003. The Effects of Three Pig Housing systems on Odour Emission. Proceedings of the Conference on Air Pollution from Agricultural Operations III. Research triangle Park, North Carolina USA. 12-15 October. ASAE. Des Moines, IA, USA :1-8.
- Ndegwa, P. M., J. Zhu, A. Luo. 2002. Effects of Solids Separation and Time on the Production of Odorous Compounds in Stored Pig Slurry. Biosystems Engineering 81(1): 127-133.
- Ogink, N.W.M., H.C. Willers, A.J.A. Aarnink et I.H.G Satter. 2000. Development of a New Pig Production System with Integrated Solutions for Emission Control, Manure Treatment and Animal Welfare Demands. Swine Housing, Proc. of the 1<sup>st</sup> Int. Conference, Oct. 9-11, Des Moines, Iowa, ASAE, St.Joseph, MI 49085-9659 : 253-259.

- Reynolds, S.J., Donham, K.J., Whitten, P., Merchant, J.A., Burmeister, L.F. and W.J. Pependorf. 1996. Longitudinal Evaluation of Dose-response Relationships for Environmental exposures and Pulmonary Function in Swine Production Workers, *American Journal of Industrial Medicine* 29:30-33.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8. SAS Institute INC., Cary, NC, USA.
- Sweeten, J.M., Jacobson, L.D., Heber, A.J., Schmidt, D.R., Lorimor, J.C., Westerman, P.W., Miner, J.R., Zhang, R.H., Williams, C.M. and B.W. Auvermann. 2001. Odour Mitigation for Concentrated Animal Feeding Operations: White paper and Recommendations. *White Papers on Animal Agriculture and the Environment*. October 1, pp.54.
- van Kempen, T., Kaspers, B., Burnette, P., van Kempen, J.B. and J.B. Koger. 2003. Swine Housing with a Belt for Separating Urine and Feces; Key to Flexibility ? In 2<sup>nd</sup> International Swine Housing Conference, 159-165. October 12-15, Durham, North Carolina. ASAE, St-Joseph, Michigan, USA.
- Verdoes, N. and N.W.M. Ogink. 1997. Odour Emission from Pig Houses with Low Ammonia Emission. *Proceedings of the International Symposium – Ammonia and odour Control from Animal facilities*. CIGR, EurAgEng and NVTL, Vinkeloord, The Netherlands, October, Vol. 1:317-325.
- Voermans, J.A.M. and F. Poppel. 1993. Scraper Systems in Pig Houses. *Livestock Environment IV. Proceedings of a Conference Held in Coventry, U.K.* p. 431 – 436.
- Voermans, J.A.M. and M.M.L. van Asseldonk. 1990. Résumé de: *Separation of pig manure under a slatted floor*. Proefverslag-Proefstation-voor-de-Varkenshouderij, No.P1.151, 32 pp.
- von Bernuth, R.D. 2001. Separate Ways/keeping Manure Solids and Liquids apart Benefits Transport. *Resource, Engineering and Technology or a Sustainable World*, September 2001, p. 9-10.
- Zhu, J., P.M. Ndegwaet A. Luo. 2000. Changes in Swine Manure Solids during Storage May Affect Separation Efficiency. *Applied Engineering in Agriculture*. 16(5): 571-575.