

**Réduction des émissions gazeuses et
odorantes aux bâtiments porcins :
techniques simples et efficaces
applicables à la ferme**

Rapport final

Rapport présenté au :
**Conseil pour le développement de
l'agriculture du Québec**



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

Projet CDAQ # : 2249
Projet IRDA # : 200013

Par :

Stéphane Godbout, ing., P.Eng., Ph.D., agr.
Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., Ph.D.
Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.
Martin Belzile, ing., M.Sc.
Jean-Pierre Larouche, chimiste
Lota Tamini, agr. Ph.D.
Joahnn H. Palacios, bacc. génie, M.Sc.
Dan Zegan, ing. M.Sc.

mars 2010

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).



Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités d'acquisition de connaissances, de recherche, de développement et de transfert visant à favoriser le développement durable de l'agriculture.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Godbout S., S.P. Lemay, F. Pelletier, M. Belzile, J.P. Larouche, L.D. Tamini, J. H. Palacios et D. Zegan. 2010. Réduction des émissions gazeuses et odorantes aux bâtiments porcins : techniques simples et efficaces applicables à la ferme. Rapport final. IRDA. 143 pages.

Note importante :

La présente version comporte les modifications apportées lors de la dernière révision réalisée en avril 2011.

**Réduction des émissions gazeuses et odorantes
aux bâtiments porcins : techniques simples et
efficaces applicables à la ferme**

Rapport final

Présenté au :

Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec

Préparé par :

Stéphane Godbout, ing., P.Eng., Ph.D. et agr.
IRDA

Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., Ph.D.
IRDA

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.
IRDA

Lota Tamini, économiste. Ph.D.
IRDA

Martin Belzile, ing., M.Sc.
IRDA

Dan Zegan, ing., M.Sc.
IRDA

Joahnn H. Palacios, bachelier en génie
agricole, M.Sc.
IRDA

Jean-Pierre Larouche, chimiste
IRDA

31 mars 2010

Équipe de réalisation du projet :

Répondant et responsable
scientifique :

Stéphane Godbout ing. P.Eng, agr., Ph.D., IRDA

Chargé de projet :

Frédéric Pelletier, ing. M.Sc.

Collaborateurs :

Stéphane P. Lemay, ing. P.Eng., Ph.D., IRDA

Martin Belzile, ing., M. Sc., IRDA.

Lorie Hamelin, ing. jr, M.Sc., SDU, Danemark

Lota D. Tamini, économiste Ph.D., IRDA

Dan Zegan, ing. M.Sc., IRDA

Joahnn H. Palacios, bacc. en génie, M.Sc., IRDA

Jean-Pierre Larouche, chimiste, IRDA

Lise Potvin, technicienne, IRDA

John Feddes, P.Eng., Ph.D. IRDA

Frédéric Guay, agr. Ph.D., Université Laval

Francis Pouliot, ing. MBA, CDPQ

Jorge Orellana, étudiant gradué, U. Laval

Line Bilodeau, agr. M.Sc., MAPAQ

Marc Trudelle, agr. M.Sc., FPPQ

Michel Côté, technicien, IRDA

Jacques Labonté, technicien, IRDA

Rémi Carrier, technicien, IRDA

Christian Gauthier, ouvrier, IRDA

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Stéphane Godbout

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein

Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 646-1075

Télécopie : 418 644-6855

Courriel : stephane.godbout@irda.qc.ca

Remerciements :

Les auteurs remercient le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec pour sa contribution financière à ce projet de recherche. Des remerciements sont également adressés à l'IRDA pour avoir fourni les ressources humaines nécessaires à la réalisation de l'étude.

Résumé

Il existe plusieurs études traitant des technologies de réduction des émissions, mais très peu ont été réalisées dans le contexte québécois. Également, aucune de ces études n'établit un lien clair entre les méthodes de calcul des distances séparatrices et les efficacités de réduction.

Par conséquent, le présent projet visait à rendre accessible aux intervenants du milieu et aux producteurs porcins une information fiable et des techniques applicables à la ferme pour réduire les émissions gazeuses et odorantes émises par l'unité de production porcine (bâtiment et fosse, principalement). Pour atteindre cet objectif général, huit objectifs spécifiques devaient être rencontrés, soit :

- Mettre à jour les connaissances sur l'ensemble des techniques au bâtiment;
- Cibler les techniques applicables à la ferme les plus prometteuses dans le contexte québécois;
- Réviser et mettre au point s'il y a lieu certaines de ces techniques;
- Tester les techniques ciblées afin d'évaluer et de quantifier leur efficacité;
- Établir le facteur F (facteur d'atténuation) correspondant aux les diverses techniques et la façon de l'intégrer dans l'équation de détermination des distances séparatrices;
- Évaluer la possibilité de transfert de ces techniques vers d'autres productions animales;
- Quantifier le coût de ces techniques;
- Transférer les connaissances aux intervenants et aux producteurs.

Les différentes techniques de réduction des odeurs relevées dans l'inventaire de la littérature sont présentées dans le texte. L'inventaire a également permis d'indiquer des efficacités de réduction pour chaque technologie lorsqu'elles sont implantées au bâtiment. Les techniques les plus prometteuses pour diminuer les odeurs et les gaz au bâtiment porcin peuvent se séparer en cinq groupes principaux : 1- la composition des diètes et additifs alimentaires; 2- la gestion des déjections au bâtiment; 3- le traitement au bâtiment des déjections; 4- le contrôle de la qualité de l'air et 5- la propreté et la gestion. Selon un comité formé d'experts du milieu, les techniques les plus prometteuses sont la modification des diètes, la séparation au bâtiment et le lavage d'air biologique.

Compte tenu de leur potentiel, quatre techniques ont été expérimentées dans un laboratoire spécialisé de l'IRDA. Le protocole prévoyait un témoin (T) (diète commerciale et accumulation du lisier), une diète optimisée (D), la collecte des déjections à l'aide d'un système de grappe en « V » (V), une combinaison de ces deux derniers (V+D) et un système de biofiltration de l'air (B) actuellement en développement à l'IRDA.

Toutes les technologies évaluées ont permis de réduire significativement les émissions d'ammoniac de 36 à 79 %. Selon ces mêmes résultats, le système de biofiltration de l'air et la combinaison des techniques (V+D) ont permis les plus grandes efficacités de

réduction (77 % et 79 % respectivement). La diète et de la gratte en « V » ont aussi permis une réduction significative de 63 % et 36 %.

Parmi les techniques étudiées, seule la biofiltration de l'air a permis une réduction significative des émissions d'odeur offrant une réduction de 59 %. La combinaison « V+D » et de la gratte en « V » ont permis de réductions non significatives statistiquement de 20 et 19 % respectivement. Le tableau A résumé les résultats des émissions pour chaque technique.

Tableau A. Résultats des émissions de gaz et d'odeur.

Traitement	CO ₂	CH ₄	N ₂ O mg/h·kg _{porc}	NH ₃	H ₂ S*	Odeur UO/h·kg _{porc}
T	701 a	1,28 a	0,07 a	3,33 a	0,021* a	141 a
D	652 a	2,82 b	0,07 a	1,22 b	0,023* a	136 a
V	671 a	1,26 a	0,08 a	2,12 c	0,011* b	114 a
V+D	548 a	2,10 b	0,07 a	0,69 b	0,008* b	113 a
B	684 a	1,30 a	0,31 b	0,76 b	0,011 b	58 b

*Valeurs estimées à partir d'une procédure Proc Glimmix dû à la distribution non normale des données. Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas différentes significativement.

Des facteurs d'atténuation (F) respectifs aux technologies de réduction des odeurs évaluées dans le cadre du présent projet (lorsqu'applicable) ont été proposés (tableau B). Toutefois, suite à l'analyse par les experts, il est apparu que l'ensemble de l'approche devrait être revu puisque celle utilisée actuellement ne permet pas une valorisation adéquate des technologies de réduction implantées à la ferme. En effet, l'ajout de techniques de réduction ne semble pas affecter de façon importante les distances séparatrices. Selon les experts, ceci a pour effet de ralentir l'implantation de technologies de réduction des odeurs. Il est donc pertinent d'étudier sérieusement cet aspect et de revoir le calcul du facteur F en reconsidérant le taux de participation aux émissions du bâtiment par rapport à l'entreposage et autres particularités du site.

De plus, il serait très important de déterminer une approche d'évaluation du facteur F appliquant un concept de précaution incluant les aspects santé publique afin de limiter les conflits de cohabitation, et d'assurer la sécurité de la qualité de l'air.

Tableau B. Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.

Technologie	Émission d'odeur UO/h·kg _{porc}	Réduction %	Facteur F
Diète	136	3	1,0
Gratte en « V »	114	19	0,9
Diète + Gratte en « V »	113	20	0,9
Biofiltration de l'air	58	59	0,8

Les mêmes experts ont également étudié la possibilité de transférer ces techniques aux autres productions animales. Il apparaît que plusieurs de ces techniques sont transférables avec des modifications mineures à plusieurs autres productions.

Toutefois, compte tenu de l'interaction de plusieurs facteurs, aucun des résultats (ex. pourcentage de réduction) n'est directement transférable.

Finalement, une étude technico-économique démontre clairement que le taux de réduction et le coût de la technologie sont intimement liés; pour une plus grande efficacité, il en coûtera plus cher. Ce principe est encore plus évident dans le cas de la réduction des odeurs.

Table des matières

Résumé.....	v
Table des matières.....	viii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures.....	xiii
1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	14
1.1 CONTEXTE.....	14
1.1.1 Problématique odeur et gaz émis par les opérations réalisées sur les fermes porcines.....	14
1.1.2 Seuils d'exposition et implantation des bâtiments porcins.....	15
1.2 OBJECTIFS.....	17
1.2.1 Objectif général.....	17
1.2.2 Étapes et objectifs spécifiques du projet.....	17
2 REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES TECHNIQUES VISANT LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS GAZEUSES ET ODORANTES AUX BÂTIMENTS.....	18
2.1 Émissions gazeuses provenant des bâtiments.....	18
2.2 Techniques de réduction des odeurs aux bâtiments.....	19
2.2.1 Sélection préliminaire des grandes catégories.....	19
2.2.2 La formulation de diètes.....	20
2.2.3 La gestion des déjections au bâtiment.....	26
2.2.4 Traitement des déjections.....	36
2.2.5 Contrôle de la qualité de l'air.....	37
2.2.6 Propreté et gestion.....	50
3 IDENTIFICATION ET SÉLECTION DES TECHNIQUES DE RÉDUCTION.....	55
3.1 Méthodologie de sélection des techniques de réduction.....	55
3.2 Résultat de la sélection.....	57
4 ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE DES TECHNOLOGIES.....	59
4.1 Méthodologie.....	59
4.1.1 Les chambres expérimentales.....	59
4.1.2 Dispositif expérimental et description des technologies.....	61
4.1.3 Préparation des chambres.....	65
4.1.4 Animaux et alimentation.....	65
4.1.5 Poids total des porcs et performances.....	65
4.1.6 Contrôle de l'ambiance.....	66
4.1.7 Gestion des déjections.....	66
4.1.8 Mesure des gaz.....	66
4.1.9 Mesure des odeurs.....	67

4.1.10	Calcul des émissions	68
4.1.11	Analyse statistique.....	69
4.2	Résultats et discussion.....	71
4.2.1	Performances zootechniques.....	71
4.2.2	Ventilation.....	72
4.2.3	Observations générales.....	72
4.2.4	Émission de méthane (CH ₄)	73
4.2.5	Émission d'ammoniac (NH ₃)	74
4.2.6	Émission de dioxyde de carbone (CO ₂)	75
4.2.7	Émission d'oxyde nitreux (N ₂ O).....	76
4.2.8	Sulfure d'hydrogène (H ₂ S).....	77
4.2.9	Émission d'odeur.....	77
4.2.10	Résumé des résultats expérimentaux.....	78
5	AVIS DES EXPERTS CONCERNANT LE CALCUL DU FACTEUR F ET DU TRANSFERT DES TECHNOLOGIES ÉVALUÉES VERS D'AUTRES PRODUCTIONS ANIMALES	80
5.1	Le facteur d'atténuation « F »	80
5.1.1	Contexte et objectifs.....	80
5.1.2	Méthodologie	82
5.1.3	Détermination du facteur d'atténuation « F »	82
5.1.4	Résumé et avis des experts.....	83
5.1.5	Recommandations	84
5.2	Transfert des technologies vers d'autres productions animales	84
5.2.1	Contexte et objectif	84
5.2.2	Méthodologie	85
5.2.3	Avis des experts	85
6	ÉTUDE ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE	86
6.1	Méthode d'évaluation.....	86
6.2	Comparaison des investissements	87
6.3	Comparaison des frais variables.....	88
6.3.1	La diète alimentaire.....	88
6.3.2	L'entretien des bâtiments	88
6.3.3	L'entretien des équipements.....	89
6.3.4	Les frais de gestion du lisier.....	89
6.3.5	Autres frais variables.....	89
6.4	Amortissement de l'emprunt.....	90
6.5	Analyse de la trésorerie.....	91
6.6	Quelques analyses de sensibilité.....	93
6.6.1	Le prix des intrants de fabrication de la diète alimentaire expérimentale.....	93

6.6.2	Effet d'un changement des frais d'épandage du lisier sur les frais variables	94
6.6.3	Subvention des investissements par le programme Prime-Vert et le programme de crédit d'impôt.....	95
6.7	Synthèse	96
7	CONCLUSION	98
8	DIFFUSION DES RÉSULTATS.....	100
9	RÉFÉRENCES.....	101
ANNEXE 1 : Documents reliés à l'avis d'experts concernant le calcul du facteur F et du transfert vers d'autres productions animales		116
ANNEXE 2 : Feuilles techniques		141

Liste des tableaux

Tableau A.	Résultats des émissions de gaz.....	vi
Tableau B.	Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.	vi
Tableau 1.	Étapes et objectifs spécifiques du projet.	17
Tableau 2.	Émissions gazeuses annuelles provenant d'un scénario type (Hamelin et al. 2009).	19
Tableau 3.	Réductions d'odeur et d'ammoniac lorsque le contenu en protéine des diètes est réduit.	21
Tableau 4.	Réductions en odeur et en NH ₃ lorsqu'il y a ajout de glucides fermentables.	23
Tableau 5.	Réductions en odeur, NH ₃ et caractère hédonique inventoriées dans la littérature quant à la sélection et à la présentation des aliments.	25
Tableau 6.	Réductions en odeur et NH ₃ lorsqu'il y a ajout d'acidifiants aux diètes.....	25
Tableau 7.	Réduction en odeur, NH ₃ , et en poussière inventoriés dans la littérature quant à la sélection et à la présentation des types de planchers.	29
Tableau 8.	Réductions en odeur, NH ₃ , caractère hédonique, CO ₂ , CH ₄ et H ₂ S inventoriées dans la littérature quant aux systèmes de séparation sous les lattes.	33
Tableau 9.	Réductions en odeur, NH ₃ , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, PM _{2,5} et PM ₁₀ inventoriées dans la littérature relativement au caniveau.	34
Tableau 10.	Réductions des émissions d'odeur, NH ₃ , GES et PM ₁₀ obtenues avec les systèmes de gestion solide recensés.....	36
Tableau 11.	Réductions en odeur, NH ₃ , H ₂ S et composés odorants inventoriées dans la littérature lorsqu'il y a ajout d'additifs au lisier.....	37
Tableau 12.	Méthodes de traitement physico-chimique actuellement disponibles.....	38
Tableau 13.	Réductions en odeur, caractère hédonique, NH ₃ , H ₂ S, GES et particules lorsqu'il y a application d'ozonation.	42
Tableau 14.	Classification des bioréacteurs pour le traitement de l'air.	43
Tableau 15.	Réductions en odeur, NH ₃ , H ₂ S et poussières inventoriées dans la littérature quant aux systèmes de biofiltration.....	48
Tableau 16.	Réduction en odeur, gaz et particules lorsqu'il y a application d'huile dans l'air.	49
Tableau 17.	Comparaison des différentes technologies de contrôle des émissions au niveau du bâtiment.	51
Tableau 18.	Critères et sous-questions utilisés pour la sélection des technologies de réduction des odeurs à implanter lors du projet.	56
Tableau 19.	Résultats de l'évaluation des technologies par le comité d'experts.....	57

Tableau 20. Résultats obtenus pour les trois meilleurs pointages.....	58
Tableau 21. Composition des deux types de diètes qui seront administrées lors de l'expérimentation.	63
Tableau 22. Sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de la première partie.	70
Tableau 23. Sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de la deuxième partie.	70
Tableau 24. Gain moyen quotidien, consommation moyenne journalière et conversion alimentaire en fonction des traitements.....	71
Tableau 25. Résultats des émissions de gaz.....	78
Tableau 26. Liste des paramètres pour le calcul des distances séparatrices.	80
Tableau 27. Facteur d'atténuation (paramètre F).....	81
Tableau 28. Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.	83
Tableau 29. Liste des paramètres du modèle de production.	86
Tableau 30. Investissements.....	87
Tableau 31. Tableau des amortissements.....	88
Tableau 32. Paramètres utilisés pour les frais variables de gestion du lisier.....	89
Tableau 33. Comparaison des frais variables additionnels.....	90
Tableau 34. Tableau d'amortissement de l'emprunt.....	91
Tableau 35. Impacts sur la trésorerie.	92
Tableau 36. Impacts sur la trésorerie par unité de porc produit.....	92
Tableau 37. Contribution du maïs à la diète alimentaire.	93
Tableau 38. Plan de financement en tenant compte de la subvention du programme Prime-Vert.....	95
Tableau 39. Impacts sur la trésorerie (par unité de porc produit) en tenant compte de la subvention du programme Prime-Vert.....	96
Tableau 40. Plan de financement en tenant compte de la subvention par le programme de crédit d'impôt.....	96
Tableau 41. Taux de réduction et coût par porc produit pour les technologies évaluées.	97

Liste des figures

Figure 1.	Le filet - schéma de principe	30
Figure 2.	Gratte en « V » – détail de montage.....	31
Figure 3.	Schéma du convoyeur à courroie	31
Figure 4.	Schéma d'un laveur d'air à contre-courant	39
Figure 5.	Schéma d'un système de biofiltre ouvert	44
Figure 6.	Schéma d'un système de biofiltre fermé.....	45
Figure 7.	Schéma d'un système de lavage d'air biologique (biofiltre percolateur).....	46
Figure 8.	Schéma d'un système de biolaveur	47
Figure 9.	Vue des chambres expérimentales	59
Figure 10.	Vue d'une chambre expérimentale.....	60
Figure 11.	Vue générale de l'aménagement des douze unités expérimentales.....	60
Figure 12.	Circuit de ventilation et de chauffage	61
Figure 13.	Disposition des traitements dans chacune des chambres	62
Figure 14.	La gratte en « V ».....	64
Figure 15.	Unité expérimentale pour le traitement de l'air (UTA).....	65
Figure 16.	Comparaison de la ventilation pour chaque traitement évalué	72
Figure 17.	Émissions de CH ₄ pour les traitements évalués	74
Figure 18.	Émissions de NH ₃ pour les traitements évalués	75
Figure 19.	Émissions de CO ₂ pour les traitements évalués	75
Figure 20.	Émissions de N ₂ O pour les traitements évalués	76
Figure 21.	Émissions de H ₂ S pour les traitements évalués.....	77
Figure 22.	Émissions d'odeur pour les traitements évalués	78
Figure 23.	Comparaison des émissions de CH ₄ , NH ₃ et d'odeur par technologie.....	79
Figure 24.	Évolution des différences de frais variables (par unité de porc produit) en fonction du prix maïs	94
Figure 25.	Effet du changement des frais d'épandage.....	95

1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS

1.1 CONTEXTE

1.1.1 Problématique odeur et gaz émis par les opérations réalisées sur les fermes porcines

Les composés émis par les opérations réalisées sur les fermes porcines sont de différentes natures et incluent des gaz, des particules de poussière, des bioaérosols et plusieurs autres composés volatils. Ces éléments, en plus des odeurs qui leur sont associées, sont souvent perçus par les résidents ruraux comme étant préoccupants pour leur santé et conduisent parfois à des conflits entre producteurs porcins et leurs voisins. Les producteurs de porcs reçoivent d'ailleurs un nombre important de plaintes. De plus, il semble que le nombre de ces plaintes soit proportionnel à l'accroissement de la taille des sites de production animale (Schiffman et Williams, 2005).

Bien qu'il apparaisse évident que les systèmes de production animale émettent des substances mal odorantes et susceptibles d'affecter le bien-être des résidents. Il y a peu d'informations disponibles sur la qualité de l'air à l'extérieur des bâtiments d'élevage (Earth Tech Inc., 2001), sur l'impact réel de la production porcine, sur la qualité de l'air dans une région donnée et sur la santé de la population rurale. Les principaux contaminants, émis par les unités de production animale et identifiés comme pouvant avoir un impact non négligeable sur la santé et le bien-être des populations environnantes sont : l'ammoniac (NH_3), le sulfure d'hydrogène (H_2S), les odeurs, les poussières respirables (PM_{10}) et les poussières contenant des composés d'origine microbiologique (Earth Tech inc., 2001). Parmi ceux-ci, les plus importants sont les bactéries, les endotoxines, les moisissures, les mycotoxines et les allergènes.

Dans un travail réalisé par Hamelin et al. (2009), un état des émissions actuelles de plusieurs contaminants provenant des bâtiments d'élevage a été effectué. Des moyennes ont été calculées à partir de l'information provenant de diverses sources réparties dans le monde (plus de 75 dans le cas du NH_3). Selon la littérature consultée, les émissions moyennes de NH_3 en provenance des élevages de porcs en croissance-finition sont de 6,48 g/jour-porc alors qu'elles sont de 5,54 g/jour-porc pour le méthane (CH_4). Ces mêmes émissions sont de respectivement 1 920 et 0,66 g/jour-porc pour le dioxyde de carbone (CO_2) et le protoxyde d'azote (N_2O).

Les odeurs provenant des porcheries sont produites par les nutriments en excès et les composants qui ne sont pas digérés par le porc et qui sont excrétés par l'urine et les fèces. Le processus de dégradation biologique, débutant dans le système digestif sous conditions anaérobies, persiste après l'excrétion et accélère dans les heures suivant cette excrétion. En gestion liquide, les composés odorants qui sont libérés sont le résultat du métabolisme anaérobie des micro-organismes lorsque tout l'oxygène dissous a été épuisé par la respiration bactériologique (EPA, 2001). Ce processus produit une importante variété de composés chimiques. Dans les laboratoires de recherche de North Carolina State University, Schiffman et al. (2001) ont identifié 331 composés pouvant causer les odeurs. Les émissions d'odeur reportées dans la littérature sont très diverses. Dans Heber et al. (1998), des émissions de 259 UO/h-kg_{porc} ont été mesurées

pour un entreposage à long terme tandis que Verdoes et Ogink (1997) ont mesuré 606 UO/s-UA. Mol et Ogink (2003) ont mesuré des émissions deux fois plus importantes, soit 1318 UO/h-kg_{porc}. Quant à Lim et al. (2002), ils ont obtenu un taux d'émission des odeurs de 238 UO/h-kg_{porc} pour une période d'entreposage de sept jours.

1.1.2 Seuils d'exposition et implantation des bâtiments porcins

Plusieurs agences ou organismes américains ont établi des valeurs seuils pour le NH₃ et le H₂S dans l'air ambiant. La plupart de ces agences ont établi des valeurs d'exposition qu'elles publient dans des articles scientifiques faisant état des liens entre les concentrations gazeuses inhalées par des humains ou des animaux et les problèmes de santé pouvant y être associés. Entre autres, les normes d'exposition au NH₃ de l'U.S EPA (2009) et de l'OEHA (2008) ont été basées sur les travaux de Holness et al. (1989) qui rapportaient une concentration gazeuse au-dessous de laquelle aucun impact sur la santé des humains n'avait été observé. Cette valeur a permis aux agences, après y avoir appliqué des facteurs de pondération, de déterminer les limites d'exposition pour la population.

En moyenne, la limite chronique de l'exposition au NH₃ se situe entre 100 à 300 ppb tandis que la limite aiguë d'exposition s'étend entre 1700 et 4500 ppb. L'ATSDR (2004) recommande que le niveau d'exposition au NH₃ soit maintenu sous 1700 ppb pour de courtes périodes (moins de 14 jours) et sous 100 ppb pour des périodes d'exposition plus longues (plus de 365 jours). L'U.S EPA recommande une exposition maximale au NH₃ à long terme (moyenne d'exposition pour toute une vie) de 140 ppb.

Pour le H₂S, les intervalles pour les limites chroniques, intermédiaires et aiguës sont respectivement de l'ordre de 1,4 à 8,0, de 8 à 50 et de 30 à 200 ppb. L'ATSDR (2004) établit respectivement les limites d'exposition à 200 ppb pour de courtes périodes et à 20 ppb pour des périodes intermédiaires (entre 15 et 364 jours). Les recommandations de l'EPA pour l'exposition au H₂S pendant une longue période sont établies à 1,4 ppb et elles visent à apporter une protection contre d'éventuels effets sur la muqueuse olfactive.

Au Québec, le ministère de l'Environnement (MDDEP, 2002) a publié des critères de qualité d'air pour le NH₃ seulement. L'exposition chronique au NH₃ doit être maintenue au-dessous de 140 ppb, tandis que la concentration ambiante devrait rester en dessous de 4500 ppb pour l'exposition aiguë.

Les émissions de gaz et d'odeur au bâtiment représentent un aspect important lorsqu'il s'agit d'implanter de nouvelles unités d'élevage porcin. D'autre part, les odeurs causent plutôt des problèmes de cohabitation sociale. La Commission de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation est d'avis que le mode le plus opportun pour atténuer les odeurs est de convenir de tableaux qui décrivent les différents paramètres à considérer (nombre d'unités animales, distances de base, charge d'odeur par animal, type de fumier, type de projet, facteur d'atténuation) et d'une formule qui permette de conjuguer ces données dans chaque milieu en tenant compte des particularités de chaque situation (facteur d'usage). L'agencement des facteurs doit être tel qu'il encourage les modèles de gestion systémique des établissements et l'implantation de techniques novatrices.

Dans le cadre de la Loi modifiant celle sur la protection du territoire agricole, la Commission de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation a établi une méthode pour déterminer les distances séparatrices relatives aux odeurs pour favoriser la cohabitation en milieu rural. Les distances séparatrices relatives aux installations d'élevage sont déterminées en fonction de l'équation suivante qui contient sept paramètres :

$$\begin{array}{l} \text{Distance séparatrice} \\ \text{minimale à respecter} \end{array} = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

Parmi ces facteurs, le paramètre F (facteur d'atténuation) tient compte de l'effet atténuant sur les odeurs en fonction de la technologie utilisée au bâtiment et à l'entreposage. Pour obtenir le facteur F, il suffit de multiplier le facteur d'atténuation associé à la structure d'entreposage par celui du bâtiment. Ce dernier peut varier de 1,0 à 0,8 lorsque, par exemple, l'air du bâtiment est traité à la sortie, permettant une réduction de la distance séparatrice. Selon la littérature consultée, il apparaît faisable de diminuer ces émissions à l'aide de techniques de réduction et ainsi réduire les impacts sociaux et environnementaux. Tel que démontré par Godbout et al. (2009), même lorsque les concentrations de gaz dans l'air ambiant sont inférieures aux seuils acceptables pour la santé humaine, les odeurs demeurent un souci pour le milieu. Une meilleure connaissance du lien entre les réductions d'odeur au bâtiment et le facteur de réduction F (référé à la loi) serait donc souhaitable. En effet, des connaissances accrues sur ces techniques permettraient de mieux appliquer le calcul des distances séparatrices.

1.2 OBJECTIFS

1.2.1 Objectif général

Le projet proposé vise à rendre accessibles aux intervenants du milieu et aux producteurs porcins une information fiable et des techniques applicables à la ferme pour réduire les émissions gazeuses et odorantes émises par l'unité de production porcine.

1.2.2 Étapes et objectifs spécifiques du projet

Tableau 1. Étapes et objectifs spécifiques du projet.

Étape	Objectifs spécifiques	Contenu
1	Mettre à jour les connaissances sur l'ensemble des techniques visant à réduire les émissions gazeuses et odorantes aux bâtiments.	Revue de littérature et rédaction du document de synthèse avec les technologies et les réductions de gaz et d'odeur obtenues selon les technologies recensées.
2	Cibler les techniques applicables à la ferme les plus prometteuses dans le contexte québécois pouvant réduire les émissions gazeuses et odorantes sur la base des connaissances acquises.	Évaluation des technologies répertoriées par un comité d'experts. Les technologies ayant le meilleur pointage ont été ciblées : optimisation des diètes, séparation à la source et lavage d'air biologique.
	Révision et mise au point de certaines de ces techniques.	- Optimisation des diètes; spécialiste consulté : M. Frédéric Guay de l'Université Laval; - Lavage d'air biologique : l'équipe du Dr Stéphane P. Lemay de l'IRDA a réalisé l'intégration de trois dispositifs expérimentaux; - Gratte en « V » : le dispositif expérimental (développé par l'IRDA) a été modifié et adapté pour bénéficier de 6 grattes en « V » identiques.
3	Tester les techniques ciblées afin d'évaluer et de quantifier leur efficacité.	Les techniques ciblées ont été évaluées au laboratoire BABE de l'IRDA pendant deux séries d'élevage.
4	Établir le facteur F (facteur d'atténuation) correspondant aux diverses techniques et la façon de l'intégrer dans l'équation de détermination des distances séparatrices.	- Revue de littérature concernant les considérations et les modèles mathématiques pris en compte lors de la détermination des distances séparatrices, à travers le monde; - Rédaction du document de synthèse concernant le calcul du facteur atténuant F correspondant à chacune des techniques appliquées au bâtiment; - Évaluation de la méthodologie de calcul du facteur F par des experts (IRDA, CDPQ, MAPAQ, FPPQ)
	Évaluer la possibilité de transfert de ces techniques vers d'autres productions animales.	Évaluer par des experts la possibilité de transférer les technologies de réduction des odeurs mises de l'avant vers les autres principales productions animales du Québec.
5	Quantifier le coût de ces techniques.	Réalisation d'une analyse technico-économique.
6	Transférer les connaissances aux intervenants et aux producteurs.	- Rédaction du rapport complet (disponible sur le site web de l'IRDA); - Rédaction d'un mémoire de maîtrise (disponible sur le site web de l'Université Laval), des feuillets techniques (site web de l'IRDA) et du CRAAQ (Agri-Réseau). Publication des articles scientifiques (congrès internationaux, colloques organisés par le CRAAQ, revue Porc-Québec).

2 REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES TECHNIQUES VISANT LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS GAZEUSES ET ODORANTES AUX BÂTIMENTS

2.1 Émissions gazeuses provenant des bâtiments

Les principaux gaz émis par la production porcine et susceptibles d'être techniquement réduits sont le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), l'ammoniac (NH_3), les poussières et les particules (PM_{10} et PM_5). Les émissions telles le CH_4 et le N_2O sont visées surtout pour leur contribution importante au réchauffement global de la planète (gaz à effet de serre – GES). Tel que mentionné par Steinfeld et al. (2006), les activités d'élevage animal contribuent pour près de 80 % des émissions de GES issues du secteur agricole. Également, comme indiqué par Aarnink et al. (1996) et Ni et al. (2000), le NH_3 est reconnu pour avoir un impact négatif majeur sur la santé humaine et l'écosystème (acidification, perte de la biodiversité, eutrophisation et divers effets indirects sur les changements climatiques). Au Canada, en 2007, l'agriculture était responsable de 89 % des émissions totales de NH_3 dont 66 % proviennent des productions animales et 23 % des activités de fertilisation (Environnement Canada, 2009).

Bien que le lien entre les émissions d'odeur, la santé et l'environnement ne soit pas clairement établi, les émissions d'odeur sont souvent un frein à l'expansion des activités d'élevage à cause de leur effet dérangeant sur les voisinages (Blanes-Vidal et al., 2009). Par conséquent, des efforts importants ont été consentis dans le développement de technologies de réduction des odeurs.

Les émissions d'odeur sont influencées par plusieurs facteurs (Blanes-Vidal et al., 2008), tels la génétique animale, la diète, le nombre et le stade de croissance, le comportement, la gestion des déjections, le type de plancher, la température, le type et le débit de ventilation. Malheureusement, dans les publications comprenant des mesures d'émission, tous ces facteurs ne sont pas indiqués rendant difficiles les comparaisons (Jungbluth et al., 2001; Arogo et al., 2003).

Hamelin et al. (2009) et Godbout et al. (2011) ont fait une évaluation des émissions actuelles de plusieurs contaminants provenant des bâtiments d'élevage porcin à partir de l'information provenant de diverses sources réparties dans le monde. Selon la littérature consultée, les émissions moyennes de NH_3 en provenance des élevages de porcs en croissance-finition sont de 6,48 g/jour-porc alors qu'elles sont de 5,54 g/jour-porc pour le méthane (CH_4). Ces mêmes émissions sont respectivement de 1 920 et 0,66 g/jour-porc pour le dioxyde de carbone (CO_2) et le protoxyde d'azote (N_2O). Enfin, la moyenne des émissions d'odeur provenant de 57 sources différentes retrouvées dans la littérature serait de 8,02 UO (unité d'odeur)/s-porc. Dans le but de déterminer les émissions provenant des unités de production porcine, les mêmes auteurs ont établi une ferme type afin d'établir les émissions types de référence. Le tableau 2 présente les émissions provenant de la ferme type en 2006.

Tableau 2. Émissions gazeuses annuelles provenant d'un scénario type (Godbout et al., 2011).

Paramètre	Unité	Stade de croissance		
		Maternité	Pouponnière	Croissance - finition
Odeurs	(UOE/s)	12 259 ± 2 573	77 016 ± 51 456	70 284 ± 10 774
NH ₃	(kg/an)	2 173 ± 543	1 300 ± 1 069	20 720 ± 2 767
CH ₄	(kg/an)	7 715 ± 4 361	9 166 ± 12 556	17 728 ± 5 741
CO ₂	(kg/an)	809 299 ± 288 791	1 818 746 ± 117 752	6 135 509 ± 1 394 083
N ₂ O	(kg/an)	0 ± 0	25 ± 17	2 125 ± 4 680
Poussières respirables	(kg/an)	30 ± 84	21 ± 21 ^[c]	530 ± 530 ^[c]
Poussières totales	(kg/an)	184 ± 184 ^[c]	n.d. ^[b]	4 837 ± 787
PM ₁₀	(kg/an)	n.d. ^[b]	n.d. ^[b]	1 762 ± 942 ^[d]

^[a] Paramètre sans unité de mesure

^[b] n.d. : valeur non disponible

^[c] Un facteur = 1 a été appliqué pour l'incertitude, donc incertitude = valeur moyenne x 1

^[d] La conversion en kg/an a été faite en considérant UA = 500 kg/porc

2.2 Techniques de réduction des odeurs aux bâtiments

2.2.1 Sélection préliminaire des grandes catégories

Les différentes techniques de réduction des odeurs relevées dans l'inventaire de la littérature effectué sont présentées brièvement dans cette section, de même que les réductions quant aux émissions de gaz et d'odeur qu'elles permettent d'obtenir lorsqu'elles sont implantées au bâtiment. En ce sens, une technique a été considérée lorsqu'elle permettait une réduction des odeurs à la sortie des ventilateurs (et non à une distance donnée du bâtiment), ce qui permettra de mieux évaluer la composante « autres technologies » du facteur F. De plus, les articles qui présentaient des réductions obtenues pour d'autres types d'élevage que l'élevage porcin, ou encore pour d'autres applications (industrie, etc.) n'ont pas été considérés pour la présente revue. Par contre, tous les stades d'élevage porcin ont été considérés, même si les données rapportées concernent majoritairement les porcs en engraissement.

Les techniques les plus prometteuses afin de diminuer les odeurs et les gaz aux bâtiments porcins peuvent se séparer selon 5 groupes principaux. Il s'agit de :

1. La composition des diètes et additifs alimentaires;
2. La gestion des déjections au bâtiment :
 - planchers (matériaux, aire lattée, espacement entre les lattes);
 - séparation sous les lattes;
 - gestion du dalot (fréquence de vidange, présence de recharge d'eau);
 - litière;
 - système « *high-rise* ».

3. Traitement au bâtiment des déjections :

- électrique (oligolyse);
- refroidissement;
- aération;
- additifs.

4. Contrôle de la qualité de l'air :

- extraction basse;
- ventilation centralisée;
- cheminées hautes;
- traitement physico-chimique;
- traitement biologique;
- application d'huile;
- traitement électrique;
- traitement mécanique.

5. Propreté et gestion (bonnes pratiques, zone séparée de déjections, densité animale).

2.2.2 La formulation de diètes

2.2.2.1 Les stratégies

La sélection judicieuse des diètes comme mode de contrôle des odeurs est considérée comme une solution efficace selon plusieurs sources documentaires. Parmi les différentes stratégies identifiées, l'effet des diètes semble principalement dédié à la réduction des émissions d'ammoniac, son effet sur les émissions d'odeur étant moins documenté (Le et al., 2006).

Les différentes avenues répertoriées dans la littérature pour réduire les émissions sont :

- réduction de la teneur brute en protéine;
- ajout de polysaccharides sans amidon et glucides fermentables;
- modification de la sélection des ingrédients et de la présentation de l'aliment;
- les additifs ou ajouts.

2.2.2.2 Réduire la teneur en protéine brute

Cette stratégie consiste essentiellement à réduire l'azote excrété dans les déjections. Ainsi, les diètes commerciales standard sont habituellement formulées afin de répondre aux exigences minimales quant aux besoins en acides aminés devant être comblés pour obtenir des niveaux de performance visés. Par conséquent, ces diètes sont souvent trop riches en protéine et contiennent des teneurs excessives en certains acides aminés, ce qui contribue à augmenter de façon significative la teneur en azote des déjections. Or, cet azote est un ingrédient clé pour la production de plusieurs composés odorants (Le et al., 2006). Il est généralement reconnu que plus la teneur en azote des déjections est importante, plus le potentiel de production d'odeur est grand (Swine Odor Task Force, 1995).

Afin de pallier ce problème, plusieurs groupes de recherche ont étudié l'effet des diètes faibles en protéine, ce qui permet de réduire l'apport d'azote ingéré. Toutefois, cette option doit être envisagée avec beaucoup de précautions afin de maintenir des performances animales normales (Canh et al., 1998a). Ainsi, les acides aminés essentiels doivent être balancés afin de s'assurer que les besoins nutritionnels des porcs soient comblés, et ce, spécialement pour les acides aminés essentiels limitant comme la lysine (Hobbs et al., 1996). Une solution pratiquée à cette fin est de produire ces acides aminés de façon synthétique et de les ajouter à la diète (Payeur et al., 2002).

Plusieurs études ont démontré que les diètes faibles en protéine n'ont pas d'effet négatif sur les performances animales, pourvu que les besoins en acides aminés essentiels soient comblés (Tuitoeck et al., 1997; Canh et al., 1998b, Grandhi, 2001a, b). D'autres études démontrent même que la teneur en protéine de la diète peut être réduite de 30 à 40 g/kg sans effet sur le taux de croissance ou la conversion alimentaire, lorsque les acides aminés limitants sont ajoutés à la diète (Canh et al., 1998a). Bien que les émissions d'odeur et de NH_3 soient réduites de 4 % en protéine brute par rapport au contenu de la diète standard, des études récentes démontrent que les performances animales diminuent et la teneur en gras dans les carcasses augmente (Heber et al., 1999).

D'après Schmidt et al. (2005), les avantages de cette technique sont de réduire les émissions d'odeur, de H_2S et de NH_3 , en plus de diminuer la quantité d'azote des déjections. Toutefois, ces auteurs soulèvent que des niveaux excessifs en acides aminés pourraient augmenter la concentration en composés odorants de l'urine.

Le tableau 3 présente l'inventaire de littérature qui a été effectué à cet effet. Les réductions qui sont présentées s'appliquent à une diète commerciale pour une expérimentation donnée. Ce tableau démontre que même si l'effet de la réduction de la teneur en protéine brute est généralement significatif pour la réduction des émissions d'ammoniac, l'effet est plus mitigé au niveau de la réduction des émissions d'odeur.

Tableau 3. Réductions d'odeur et d'ammoniac lorsque le contenu en protéine des diètes est réduit.

Réf. ^[a]	Réduction (%) ^[b]		Détails
	Odeurs	NH_3	
4		28 à 45	Rapport d'études dont la provenance n'est pas mentionnée. Pourcentage de réduction des protéines brutes inconnu.
	10	30	Diète « faible » en protéine, en comparaison à une diète dite standard. Porcs en croissance (58-80 kg), sur planchers lattés. Mesures prises à la sortie des ventilateurs.
5	23	45	Diète « faible » en protéine et ajout de glucides digestibles fermentables, en comparaison à une diète dite standard. Porcs en croissance (58-80 kg), sur planchers lattés. Mesures prises à la sortie des ventilateurs.
	50		Porcs en finition. Diète « faible » en protéine et optimisée au niveau des coûts, en comparaison à une diète dite standard. Il s'agit en fait de la réduction moyenne obtenue pour 9 des 10 composés odorants mesurés dans le lisier.
8	45		Porcs en croissance. Diète « faible » en protéine et optimisée au niveau des coûts, en comparaison à une diète dite standard. Il s'agit en fait de la réduction moyenne obtenue pour 5 des 10 composés odorants mesurés dans le lisier.
10		10 à 12,5	Réduction obtenue à chaque réduction de 10 g/kg en protéine brute, pour le NH_3 du lisier. Données originales de Canh et al., 1998a.
		58	Réduction de 60 g/kg en protéine brute pour des porcs en croissance. Données originales de Kay et Lee (1997). NH_3 mesuré au niveau du lisier produit seulement.
		46	Réduction de 65 g/kg en protéine brute, pour des porcs en finition. Données originales de Kay et Lee (1997). NH_3 mesuré au niveau du lisier produit seulement.
		63	Réduction du contenu en protéine de 180 à 142 g/kg. NH_3 mesuré au niveau du lisier produit seulement.
		44	Diète à teneur « moyenne » en protéine, en CaSO_4 et en glucides digestibles fermentables

			(comparé à une diète semblable, mais à « haute » teneur en protéine). NH ₃ mesuré au niveau du lisier produit seulement.
		69	Diète à « faible » teneur en protéine, mais « haute » en CaSO ₄ et en glucides digestibles fermentables (comparé à une diète semblable, mais à « haute » teneur en protéine). NH ₃ mesuré au niveau du lisier produit seulement.
77			Réduction de la teneur en protéine (180 à 120 g/kg).
14	80	63	Réduction de la teneur en protéine brute de 18 à 12 % pour l'expérience où les odeurs ont été mesurées, d'après les données de Le (2006); Réduction de la teneur en protéine brute de 20 à 12 % pour l'expérience où le NH ₃ a été mesuré. Cette réduction fait référence à l'étude de Portejoie et al. (2004), et elle représente la réduction obtenue de l'excrétion, jusqu'à l'application au champ, pour des porcs en finition.
18	+11,3 24,7 31,2	62,4 53 28,8	Réduction de la teneur en protéine brute de 220 à 190 g/kg. Porcs en finition, sur plancher latté. Réduction de la teneur en protéine brute de 220 à 160 g/kg. Porcs en finition, sur plancher latté. Réduction de la teneur en protéine brute de 220 à 130 g/kg. Porcs en finition, sur plancher latté.
20	+136 +0,99 21,34	54 74 64	Réduction de la teneur en protéine brute de 180 à 120 g/kg; avec « haute » teneur en glucides fermentables. Pour des porcs en engraissement, échantillons pris au-dessus du caniveau. Réduction de la teneur en protéine brute de 180 à 120 g/kg; avec « moyenne » teneur en glucides fermentables. Pour des porcs en engraissement, échantillons pris au-dessus du caniveau. Réduction de la teneur en protéine brute de 180 à 120 g/kg; avec « faible » teneur en glucides fermentables. Pour des porcs en engraissement, échantillons pris au-dessus du caniveau.
22	+7 +13 +20 +5	50 83 81 89	Réduction de la teneur en protéine brute de 15 à 12 %. Porcs en croissance. Échantillons pris au-dessus du caniveau. Réduction de la teneur en protéine brute de 15 à 9 %. Porcs en croissance. Échantillons pris au-dessus du caniveau. Réduction de la teneur en protéine brute de 15 à 6 %. Porcs en croissance. Échantillons pris au-dessus du caniveau. Réduction de la teneur en protéine brute de 15 à 0 %. Porcs en croissance. Échantillons pris au-dessus du caniveau.
26	+30 à 89 0 à 34 +50 à 57		Porcheries avec ventilation négative, 1300 truies. Les valeurs de réduction dépendent du stade de production évalué. Tous les stades sont évalués. Protéine brute entre 15 à 21 %, selon le stade. Réductions par rapport à diète commerciale. Porcheries avec ventilation naturelle contrôlée automatiquement, 300 truies. Les valeurs de réduction dépendent du stade de production évalué. Tous les stades sont évalués. Protéine brute entre 15 à 21 %, selon le stade. Réductions par rapport à diète commerciale. Porcheries avec ventilation négative, 568 truies. Les valeurs de réduction dépendent du stade de production évalué. Tous les stades sont évalués. Protéine brute entre 15 à 21 %, selon le stade. Réductions par rapport à diète commerciale.
45	+7	31	Diète « faible » en protéine brute, en comparaison à une diète dite standard. Porcs en finition.
78	58 16	47 53	Réduction de la teneur en protéine brute de 18 à 14,2 %. Croissance et finition. Réduction de la teneur en protéine brute de 18 à 12,3 %. Croissance et finition.
107		43 ^[c] 35 ^[d]	Diète « faible » en protéine brute, en comparaison à une diète dite standard. Pouponnière. Diète « faible » en protéine brute, avec pulpe de betteraves et d'acide benzoïque, en comparaison à une diète dite standard. Pouponnière.

^[a] 4. Heber et al. (1999); 5. Godbout et al. (2001); 8. Hobbs et al. (1996); 10. Aarnink et Verstegen (2007); 14. Dourmad et Jondreville (2007); 18. Hayes et al. (2004); 20. Le et al. (2006); 22. Otto et al. (2003); 26. Hayes et al. (2004); 45. Lyngbye et al. (2006); 78. Aarnink et Verstegen (2007); 107. Godbout et Lemay (2006).

^[b] le signe « + » signifie qu'il y a eu augmentation des émissions et non réduction

^[c] pour cette source, les réductions de CH₄ (8 %), N₂O (+ 8 %) et CO₂ (+10 %) ont aussi été mesurées.

^[d] pour cette source, les réductions de CH₄ (47 %), N₂O (+ 18 %) et CO₂ (+14 %) ont aussi été mesurées.

De plus, parmi la littérature recensée, une seule source permet d'évaluer l'effet de la réduction du contenu en protéine sur les autres gaz, comme le N₂O, le CH₄ et le CO₂. Or, selon cette expérimentation, il semble que le fait de diminuer les émissions d'ammoniac engendre des augmentations de N₂O, ce qui doit être pris en considération dans le choix d'implantation d'une nouvelle technique, étant le potentiel de réchauffement climatique 298 fois plus élevé pour ce gaz que pour le CO₂ (sur une base de 100 ans) (IPCC, 2007).

2.2.2.3 Ajout de polysaccharides sans amidon (NSP) et glucides fermentables

Cette stratégie consiste principalement à augmenter la fraction d'azote qui sera excrétée sous forme solide plutôt que liquide. En effet, plusieurs auteurs ont démontré que l'ajout de NSP aux diètes permet le transfert de l'azote excrété vers les fèces. Cela a un effet direct sur les émissions d'ammoniac, puisque c'est surtout l'azote de l'urée qui est converti en ammoniac suite à l'action de l'enzyme uréase présente dans les fèces.

Les NSP sont en fait des glucides complexes autres que l'amidon. Plusieurs fibres diététiques en font partie comme la cellulose, les pectines, les glucanes, l'inuline (la lignine n'en fait pas partie). Les sources de NSP utilisées pour les diètes porcines comptent entre autres la pulpe de betterave, le tourteau de soya, la farine de noix de coco et la fécule de pomme de terre (Sutton et al., 1999). Cette approche est généralement complémentée par l'ajout de glucides fermentables résistants aux enzymes. Ces dernières constituent une source d'énergie pour la microflore du gros intestin des porcs, et la demande alors créée par cette microflore favorise le transfert de l'urée transportée par le sang vers le gros intestin, afin que la microflore puisse décomposer l'azote de cette dernière (Canh et al., 1997).

Le tableau 4 présente les réductions d'odeur et de NH_3 obtenues par ajout de NSP et/ou de glucides non fermentables. Il est intéressant de constater, à la lumière de ce tableau, l'interaction qu'il semble exister entre la teneur en protéine brute et le niveau de glucides fermentables.

Tableau 4. Réductions en odeur et en NH_3 lorsqu'il y a ajout de glucides fermentables.

Réf. ^[a]	Réductions (%)		Caractère hédonique	Détails
	NH_3	Odeur ^[b]		
4	24			Oligosaccharide.
5	45	15		Comparaison de deux diètes à « faible » teneur en protéine brute, mais dont le traitement contient des glucides fermentables (15 % écaïlle de soya).
10	6			Pour une diète qui a passé de 83 à 104 g/kg en glucides fermentables.
	5,1			Pour chaque 100 g/kg d'ajout de NSP
14	5,4			Pour chaque 100 g/kg d'ajout de NSP
20	38	+3		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est 120 g/kg, et dont la teneur en glucides fermentables a passé de 95,5 à 145,5 g/kg.
	15	+103		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est 120 g/kg, et dont la teneur en glucides fermentables a passé de 95,5 à 195,5 g/kg.
	16	20		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est 180 g/kg, et dont la teneur en glucides fermentables a passé de 95,5 à 145,5 g/kg.
	33	32		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est 180 g/kg, et dont la teneur en glucides fermentables a passé de 95,5 à 195,5 g/kg.
21			5	Écaïlle de soya
78	38	+3		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est de 12 %, et dont le contenu en glucides fermentables est passé de « faible » à « moyen ».
	15	+101		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est de 12 %, et dont le contenu en glucides fermentables est passé de « faible » à « élevé ».
	14	19		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est de 18 %, et dont le contenu en glucides fermentables est passé de « faible » à « moyen ».
	33	33		Pour une diète dont la teneur en protéine brute est de 18 %, et dont le contenu en glucides fermentables est passé de « faible » à « élevé ».
107 ^[c]	26			Pulpe de betterave, en comparaison à une diète dite standard. Porcs en pouponnière.

^[a] 4. Heber et al. (1999); 5. Godbout et al. (2001); 10. Aarnink et Verstegen (2007); 14. Dourmad et Jondreville (2007); 20. Le et al. (2006); 21. Moeser et al. (2003); 78. Aarnink et al. (2007); 107 Godbout et Lemay (2000).

^[b] le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[c] pour cette source, les « réductions » de CH_4 (+24 %), N_2O (+ 16 %) et CO_2 (+146 %) ont aussi été mesurées.

Ainsi, il apparaît que pour obtenir une réduction optimale, tant pour les odeurs que pour l'ammoniac, il convient d'augmenter la teneur en glucides fermentables, mais sans trop diminuer la teneur en protéine brute.

2.2.2.4 Sélection des ingrédients et présentation de l'aliment

La sélection des ingrédients consiste principalement à favoriser les céréales les plus digestibles (Zhang et al., 2002). Plus l'aliment sera digestible, plus les différents nutriments (comme l'azote) seront assimilés par l'animal au lieu d'être excrétés. Par exemple, Garry et al. (2007) ont comparé des diètes semblables sur le contenu en énergie et en protéine, mais dont l'une est à base d'orge et l'autre à base de blé. Les auteurs ont obtenu des émissions d'odeur et d'ammoniac au bâtiment inférieures pour les diètes à base d'orge. Une autre façon de favoriser la digestibilité des aliments est d'offrir de la moulée fine ou de la moulée en cube aux animaux, puisque ces dernières sont plus faciles à digérer que la moulée présentée sous une forme plus brute (Zhang et al., 2002). Toutefois, puisque l'alimentation des porcs avec de la moulée fine a été associée à une augmentation des risques d'ulcères de l'estomac chez les animaux, Zhang et al. (2002) recommandent de considérer avec soin cette solution pour diminuer les odeurs.

Les acides aminés contenant du soufre, comme la Met et la Cys, sont les principaux substrats de synthèse pour les composés sulfureux comme le H₂S et le methanethiol (Mackie et al., 1998). D'autres acides aminés, comme le Tryptophan, le Phe et le Tyr, représentent les principaux substrats pour la synthèse des composés indoliques et phénoliques, lesquels sont aussi des constituants des odeurs. Plusieurs auteurs se sont donc penchés sur l'effet de différents acides aminés quant aux émissions de gaz et d'odeur.

D'autres auteurs ont étudié l'effet de l'ajout d'ingrédients spécifiques (farine de sang, menthe, ail, farine de poissons, farine de plumes) sur l'odeur associée au lisier subséquemment excrété. Ces ingrédients spécifiques sont aussi appelés « additifs alimentaires ».

Le tableau 5 présente les réductions inventoriées dans la littérature sur le plan de la sélection et de la présentation des aliments. Ce tableau met en lumière l'effet négatif d'un haut contenu en soufre sur les émissions d'odeur. Le tableau révèle aussi le potentiel de l'orge pour diminuer les émissions d'odeur et d'ammoniac. De plus, il semble que la valorisation des sous-produits de l'industrie de l'éthanol (*distillers dried grain with soluble*) et de la farine de sang dans l'alimentation des porcs engendre une augmentation des émissions d'odeur.

Tableau 5. Réductions en odeur, NH₃ et caractère hédonique inventoriées dans la littérature quant à la sélection et à la présentation des aliments.

Réf. ^[a]	Réductions (%)			Détails
	Odeur ^[b]	NH ₃ ^[b]	Caractère hédonique ^[b]	
10	25			Augmentation du contenu en soufre sous forme de CaSO ₄ (2,2 à 11,6 g/kg)
14	+700			Ajout d'acides aminés sulfurés
15	34	80		Réduction obtenue en utilisant l'orge au lieu du blé
	2,4	20		Réduction obtenue en utilisant l'orge au lieu du blé, si des enzymes sont ajoutés aux deux rations
16	+30			Ajout de 5 % de « distillers dried grain with soluble » ^[c] (en remplacement du maïs et de la farine de soja)
	+46			Ajout de 10 % de « distillers dried grain with soluble » ^[c] (en remplacement du maïs et de la farine de soja)
	+195			Ajout de 1,5 % de farine de sang (en remplacement de la farine de soja)
	+91			Ajout de 3 % de farine de sang (en remplacement de la farine de soja)
19	+621	14		Diète avec 15 % de protéines brutes, avec addition de 3 fois la quantité nécessaire en méthionine et en cystéine (contenu sulfuré)
	+30	+7		Diète avec 15 % de protéines brutes, avec addition de 2 fois la quantité nécessaire en tryptophane, phénylalanine et tyrosine.
21 ^[d]			+20	Ajout de 1 % d'oignon
			+40	Ajout de 1 % d'ail
			+30	Remplacement de la farine de soja par de la farine de poisson
			+33	Contenu augmenté en soufre
			10	Diète « purifiée » (hautement digestible : avec amidon de maïs et caséine)
45			2,5	Ajout de 1 % de menthe
	20	+29		Moulée en farine, dont la mouture est grossière (comparé au témoin granulé avec mouture fine) (essai 1)
	10	+18		Moulée en farine, dont la mouture est grossière (comparé au témoin granulé avec mouture fine) (essai 2)

[a] 10. Aarnink et Verstegen (2007); 14. Dourmad et Jondreville (2007); 15. Garry et al. (2007); 16. Gralapp et al. (2002); 19. Le et al. (2006); 21. Moeser et al. (2003); 45. Lyngbye et al. (2006).

[b] le signe « + » indique une augmentation des émissions

[c] Sous-produit de l'industrie d'éthanol.

[d] L'évaluation des odeurs s'est faite à partir d'échantillons de lisier provenant de porcs soumis aux différentes diètes, et non du bâtiment.

2.2.2.5 Les additifs alimentaires

L'acidité de la ration influence le pH, lequel a un effet direct sur les émissions d'ammoniac. En effet, Cortus (2006) a démontré que le pH de l'urine a un impact majeur sur le potentiel de volatilisation de l'ammoniac, un pH bas (conditions acides) favorisant le maintien de l'azote sous la forme de NH₄⁺ dans la phase liquide (au lieu que celui-ci se volatilise en NH₃ dans la phase gazeuse). Le tableau 6 présente les réductions inventoriées dans la littérature quant aux effets de l'ajout d'acidifiants sur les émissions d'ammoniac, d'odeur et de certains gaz à effet de serre.

Tableau 6. Réductions en odeur et NH₃ lorsqu'il y a ajout d'acidifiants aux diètes.

Réf. ^[a]	Réductions %		Détails
	NH ₃ ^[b]	Odeurs ^[b]	
14	40		Ajout de 1 % d'acide benzoïque (données originales de Guizou et al., 2006)
	25		Ajout de 1 % d'acide adipique (données originales de van Kempen, 2001)
45	+10	18	Ajout de 1 % d'acide benzoïque (essai 1)
	5	+6	Ajout de 1 % d'acide benzoïque (essai 2)
	61	+30	Ajout de 3 % d'acide benzoïque (essai 1)
	55	+18	Ajout de 3 % d'acide benzoïque (essai 2)
107 ^[c]	5		Ajout de 10 kg d'acide benzoïque

[a] 14. Dourmad et Jondreville (2007); 45. Lyngbye et al. (2006); 107 Godbout et Lemay (2006).

[b] le signe « + » indique une augmentation des émissions

[c] pour cette source, les réductions de CH₄ (+11 %), N₂O (+ 2 %) et CO₂ (+1 %) ont aussi été mesurées.

Le cuivre est utilisé dans les diètes porcines pour ses effets antimicrobiens (Zhang et al., 2002) et pour ses effets stimulants sur la croissance (Cromwell et al., 1999). Certains auteurs ont donc examiné l'effet de la bonification de la dose de cuivre actuelle sur les émissions d'odeur. Armstrong et al. (2000), par exemple, ont démontré une amélioration significative des émissions d'odeur provenant des déjections lorsque d'importantes concentrations de cuivre étaient ajoutées aux diètes (225 vs 100 ppm; pour du cuivre ajouté sous la forme de citrate).

2.2.3 La gestion des déjections au bâtiment

2.2.3.1 Aspects généraux

Les odeurs provenant des porcheries sont produites par les nutriments en excès et les composants qui ne sont pas digérés par le porc et qui sont excrétés par l'urine et les fèces. Le processus de dégradation biologique, débutant dans le système digestif sous conditions anaérobies, persiste après l'excrétion et accélère dans les heures suivant cette excrétion. En gestion liquide, les composés odorants qui sont libérés sont le résultat du métabolisme anaérobie des micro-organismes lorsque tout l'oxygène dissous a été épuisé par la respiration bactériologique (EPA, 2001). Ce processus produit une importante variété de composés chimiques. Dans les laboratoires de recherche de North Carolina State University, Schiffman *et al.* (2001) ont identifié 331 composés pouvant causer des odeurs. Lorsque ces composés sont mélangés avec les particules de poussière, ils sont transportés dans le bâtiment, propageant ainsi les odeurs.

Porkboard (2004) suggère que le fait de vidanger fréquemment les déjections (moins de 5 jours) diminue les émissions d'odeur par rapport aux déjections entreposées sur une longue période. Plusieurs études ont démontré que les émissions de composés sulfurés provenant des porcheries augmentent rapidement après 4-5 jours suivant la dernière vidange. Si les déjections s'accumulent dans la bâtisse pour une période de plus de 3 à 5 jours, dû à la décomposition anaérobie, une quantité plus élevée d'odeur et de gaz offensants sont générés et le caractère hédonique de l'air devient beaucoup moins agréable (Jacobson et al., 1998; Veenhuizen, 1996 cité par U.S EPA, 1996).

Sous gestion liquide, les émissions de N_2O sont infimes puisqu'elles sont étroitement liées au processus de nitrification-dénitrification se produisant principalement en gestion solide. Fortement toxique pour les humains et les animaux, le H_2S est libéré par la décomposition bactériologique des déjections (Bicudo et al., 2002). L'agitation des déjections après une période de stockage excédant dix jours dans un espace clos crée une production de H_2S (Pouliot et Lemay, 2004). Le principal paramètre affectant les émissions de CH_4 est la quantité et la proportion des déjections en décomposition anaérobie. Sous gestion liquide, une importante quantité de méthane est créée par la fermentation anaérobie des déjections. La plus considérable source de CO_2 (96 %) étant la respiration des animaux, la production de CO_2 dépend essentiellement de la masse de l'animal (Marquis et Marchal, 1998). Dans leur rapport de 2002, le CIGR (2002) relate que la production de CO_2 est liée à la production de chaleur totale, à raison de 0,185 m³/h hpu (1 hpu = 1000 W de chaleur totale à 20 °C). Le CO_2 est contrôlé par le système de ventilation du bâtiment.

L'ammoniac est produit par la décomposition microbienne et enzymatique des composés azotés contenus dans les fèces et l'urine (Hartung et Phillips, 1994). En d'autres mots, le NH_3 est produit en majorité par le contact entre l'urée dans l'urine et l'uréase contenue dans les fèces (Aarnink et al., 1995; Robertson, 1994). Bien que plusieurs facteurs soient responsables du NH_3 retrouvé dans les bâtiments porcins (comme le climat dans le bâtiment, le mouvement de l'air près des déjections, le pH des déjections, la composition de l'alimentation et la conception du bâtiment), la stratégie de gestion des déjections est certainement un des aspects les plus importants à considérer pour limiter la production et volatilisation de l'ammoniac.

La littérature a démontré que la production d'ammoniac provenant des déjections entreposées atteint son maximum à 3 jours et à 21 jours (Heber et al., 2001; Veenhuizen, 1996 cité par l'USEPA, 1996). Meyer et Converse (1981) cités par Barker (1996) ont remarqué que le NH_3 commençait à augmenter à la 3^e journée d'entreposage. Les résultats préliminaires obtenus par Guingand (2000) ont démontré que la vidange des dalots aux deux semaines, comparativement à un entreposage durant l'entière période d'engraissement, permettait une réduction des émissions d'ammoniac. Osada et al. (1998) ont conclu qu'une vidange hebdomadaire des déjections diminue les émissions de NH_3 ($p < 5\%$) comparativement à un entreposage de 8 semaines. Cette conclusion est en accord avec la littérature qui rapporte que la volatilisation de l'ammoniac diminue lorsque la fréquence de vidange des dalots augmente (Guingand, 2000; Hoesksma *et al.*, 1992; Voermans et van Poppel, 1993).

O'Neill et Phillips (1991) mentionnent que, dû aux similarités physicochimiques, on pourrait avancer que tout changement au bâtiment fait dans le but de réduire les émissions d'ammoniac réduirait assurément les émissions d'odeur dans le même ordre de grandeur. Les aspects relatifs à la gestion des déjections et permettant de diminuer les odeurs concernent principalement les planchers, la séparation à la source et les aspects relatifs au caniveau.

2.2.3.2 Planchers

Les planchers représentent le premier lieu de contact entre la phase solide et la phase liquide des déjections, en ce sens, ils sont donc le premier lieu des processus de génération des émissions de gaz et d'odeur. De plus, ils constituent une interface entre les animaux et les déjections. Le plancher va donc influencer la surface air-lisier et le temps de contact air-lisier, ce qui aura une influence sur le potentiel de génération d'odeur. Bien que quelques travaux aient été conduits quant à l'effet des planchers sur les émissions d'ammoniac, les odeurs associées à ces derniers ont été beaucoup plus rarement mesurées.

Les principaux aspects étudiés afin de réduire les émissions de gaz et d'odeur en regard aux planchers touchent le pourcentage d'aire lattée versus la surface pleine, l'espacement entre les lattes, de même que les matériaux. Plus précisément, les paramètres qui ont une influence sur les émissions de gaz et d'odeur au niveau des planchers sont la largeur des lattes, la texture de surface (lisse vs rugueuse), la porosité

du matériau utilisé et le profilé des lattes. Il convient toutefois de rappeler que les émissions de gaz et d'odeur en provenance des planchers seront grandement affectées par le degré de souillure de ceux-ci. Conséquemment, le bien-être animal doit être pris en compte dans le choix du plancher (un plancher plus souillé est associé à une dégradation du bien-être animal, tel que démontré par Aarnink, 1995).

Les travaux menés par l'ITP (1998) expliquent que l'émission d'odeur est généralement supérieure pour des bâtiments avec caillebotis intégral (100 % latté) puisque la surface totale de contact entre le lisier et l'air est augmentée. Aarnink et al. (1997) ont également étudié l'effet du comportement des animaux sur la distribution des aires souillées. Lorsque la température du bâtiment est élevée, les porcs préfèrent utiliser la portion lattée, plus fraîche, pour le repos et la partie solide comme aire de déjections, ce qui a un effet négatif sur les émissions. Une densité animale importante engendre aussi ce phénomène. Pour remédier à cette situation, les auteurs ont mis en place une aire lattée parsemée de goujons, décourageant ainsi les porcs à utiliser cette aire comme aire de repos. Les auteurs ont mesuré des réductions d'ammoniac de 27 % avec ce système par rapport à un plancher latté conventionnel, mais n'ont pas mesuré les odeurs.

La littérature ne semble pas catégorique quant au ratio optimal de la surface lattée vs la surface pleine à préconiser sur le plan des odeurs. Les recherches effectuées au plan de l'ammoniac ne semblent toutefois pas concorder. Par exemple, alors que les travaux de Aarnink et al. (1996) démontrent que les systèmes avec 25 % de surface lattée émettent moins de NH_3 que les systèmes avec 50 % de surface lattée, les travaux de Courboulay et Guingand (2007) ont mesuré moins d'émission avec un plancher entièrement latté (comparativement à un système avec 1/3 de la surface lattée). Toutefois, les travaux de ces derniers ont aussi mesuré les émissions d'odeur, lesquelles ont été plus faibles dans le système partiellement latté.

Le tableau 7 présente les émissions d'odeur, de NH_3 et de poussière recensées dans la littérature concernant les systèmes de mitigation applicables aux planchers. L'observation de ce tableau indique que la densité animale ne semble pas affecter les émissions d'odeur. L'effet de l'aire optimale de surface lattée semble mitigé puisque les résultats obtenus dans la littérature ne concordent pas entre eux.

Tableau 7. Réduction en odeur, NH₃, et en poussière inventoriés dans la littérature quant à la sélection et à la présentation des types de planchers.

Réf. ^[a]	Réductions (%)			Détails
	Odeurs ^[b]	NH ₃ ^[b]	Poussières ^[b]	
47				Les réductions sont par rapport à 100 % latté, 0,68 m ² /porc, 0,3 m au-dessus du sol, 47% latté, 0,85 m ² /porc
	Moy. +32	+125		
		+147		1,0 m au-dessus du sol, 42% latté, 0,85 m ² /porc
		+62		0,3 m au-dessus du sol, 47% latté, 0,85 m ² /porc,
82	Moy. +19	+76		1,0 m au-dessus du sol, 42% latté, 0,85 m ² /porc
	2	+7	+55	(1/3 latté vs 100 % latté), période chaude
86	9	+32	+18	(1/3 latté vs 100 % latté), période froide
	84			30 % latté, été vs 100 % latté, été
	35			60 % latté, été vs 100 % latté, été
	0			100 % latté, été vs 100 % latté, été
	83			30 % latté, hiver vs 100 % latté, hiver
	48			60 % latté, hiver vs 100 % latté, hiver
89	0			100 % latté, hiver vs 100 % latté, hiver
				Les réductions sont en comparaison avec le béton 30 MPa
	+165			Platisol
	+48			Bois contreplaqué
	+23			HDPE
	2			HDPE sur carton-bois
	4			Béton 60 MPa + 8 % microsilica
	14			Béton 30 MPa + polyépoxy (lisse)
	18			Béton 30 MPa + polyépoxy (rugeux)
	22			P VC (polychlorure de vinyle)
	27			70 MPa béton coulé + 8 % microsilica
	37			Acier galvanisé
	61			Fonte

^[a] 47. Guingand (2003); 82. Courboulay et Guingand, (2007); 86. Pedneault et al. (2002); 89. Pelletier et al. (2005).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions

2.2.3.3 Séparation sous les lattes

La séparation sous les lattes consiste à séparer immédiatement les déjections solides et liquides au moment où celles-ci tombent sous le caillebotis. Ce concept permet de diminuer le temps de contact entre ces 2 phases, et par conséquent, de diminuer le potentiel d'émission. Cette approche comporte également des avantages sur le plan agronomique, car elle permet un meilleur contrôle des nutriments en azote et phosphore, alors concentrés dans la phase liquide et solide respectivement.

L'objectif principal de la séparation à la source est d'éviter le contact entre les fèces et l'urine afin de permettre une gestion distincte aux fractions liquide et solide (Marchal, 2002) et de réduire les émissions de gaz et d'odeur. Différents systèmes de séparation à la source ont été développés et expérimentés au cours des dernières années quant à leurs émissions de gaz et d'odeur au bâtiment porcin : filet, gratte en « V » et courroie.

Le filet est composé d'un maillage au travers lequel l'urine peut s'écouler. Il est tendu sous les lattes pour recueillir les fèces. Le solide qui est demeuré sur le filet est récupéré à l'aide d'une gratte. Lorsque ce système de séparation est mécanisé, le filet est mobile et il est posé sur des rouleaux qui permettent son déplacement. Les rouleaux sont actionnés au besoin par un moteur. À ce moment, une gratte fixe permet de récupérer le solide (figure 1). Un des premiers essais concernant la séparation à la source des déjections porcines a été réalisé par Kroodsmas (1980). Différentes grosseurs de maillage ont été évaluées. Les résultats obtenus démontrent que plus le

filet à un maillage serré, plus la partie solide résultante possède un pourcentage de matière sèche élevé. Cependant, la variation du pourcentage de matière sèche est faible, passant de 33,2 % pour la porosité la moins efficace à 35,0 % pour la plus efficace. Kroodsma (1980) et Jongebreur (1981) affirment que l'air dans le bâtiment est beaucoup plus agréable lorsqu'un système de filet est utilisé, comparativement à l'utilisation du système de vidange gravitaire. Le même auteur a obtenu une réduction de la quantité d'acides gras volatils et de phénol de 53 % et de 55 %, respectivement.

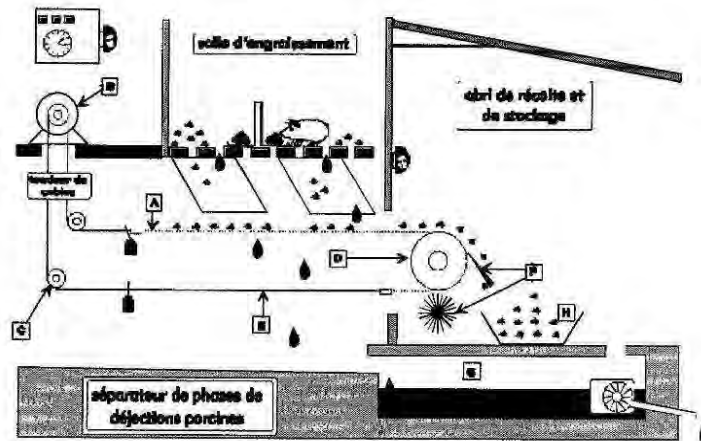


Figure 1. Le filet - schéma de principe

Source : Marchal (2002)

Selon Kroodsma (1986), l'installation d'un système de séparation des déjections réduit les émissions d'odeur de 40 à 50 % comparativement à un système conventionnel (100 % latté et gravitaire).

La gratte en « V » est constituée d'un dalot avec deux plans inclinés de chaque côté d'une gouttière centrale. Par gravité, le liquide s'écoule vers la gouttière avant d'être acheminé à l'extérieur du bâtiment. Le solide demeure sur le plan incliné avant d'être raclé à une certaine fréquence à l'aide d'une gratte actionnée mécaniquement (figure 2). L'étude complétée par Voermans et van Asseldonk (1990) a démontré que malgré des planchers pleins et malpropres, la réduction d'ammoniac atteignait 40 % comparativement au système par gravité. Ces valeurs ont été obtenues pour des porcs en engraissement en période hivernale. Également, Voermans et van Poppel (1993) affirment que plusieurs résultats démontrent des réductions d'ammoniac de l'ordre de 80 % en pouponnière, comparativement à l'entreposage des déjections sous les animaux avec un plancher complètement latté.

Dans le même ordre de grandeur, Hendriks et van de Weerdhof (1999) affirment que, comparativement à un système conventionnel (vidange gravitaire, 100 % latté), l'utilisation d'une gratte en « V » permet une réduction des émissions d'ammoniac de l'ordre de 50 et de 70 %, pour la mise bas et la pouponnière, respectivement. Les résultats de Hagens (1992) ont démontré une réduction d'approximativement 80 %

comparativement à une gestion avec entreposage sous les animaux, en pouponnière avec plancher complètement latté.

Peu d'études ont porté sur l'impact du système de gratte en « V » dans un contexte québécois. Toutefois, dans leur mémoire remis à la Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec, Bernard *et al.* (2003) prétendent que la réduction des odeurs peut atteindre 45 % avec un tel système. De plus, on note un potentiel de réduction des odeurs lors de l'épandage de la fraction liquide.

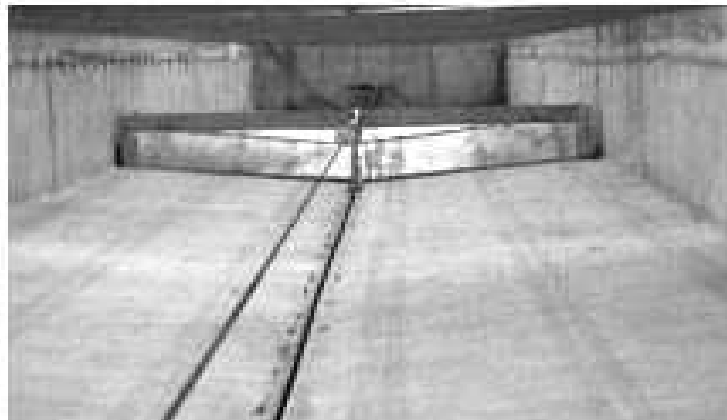


Figure 2. Gratte en « V » – détail de montage

Source : von Bernuth, 2001

Le système avec courroie est utilisé avec succès dans l'industrie avicole depuis de nombreuses années (Kasper *et al.*, 2002). Ce système de séparation à la source implique l'utilisation d'une courroie inclinée sous les lattes. Puisque la courroie est légèrement inclinée, le liquide s'écoule par gravité vers une gouttière située le long de la courroie alors que le solide demeure sur la courroie et est gratté (figure 3).

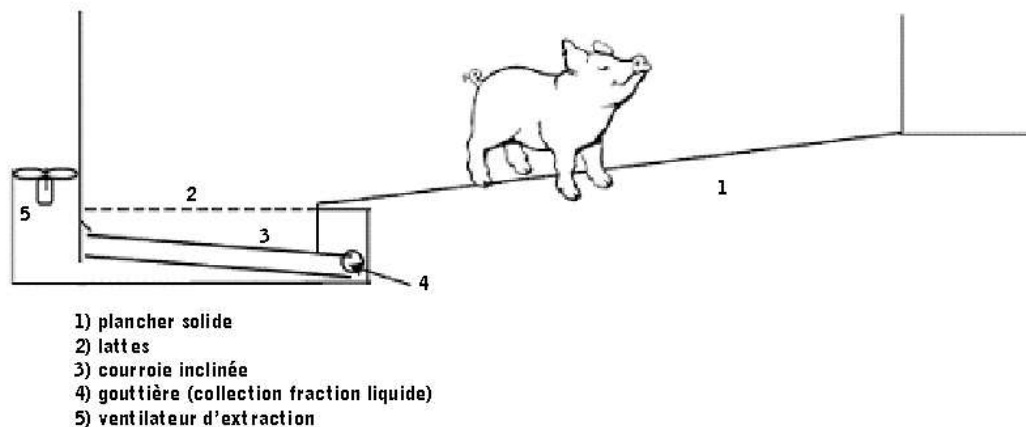


Figure 3. Schéma du convoyeur à courroie

Source : van Kempen *et al.* (2003)

Avec un tel système, Kaspers *et al.* (2002) ont déterminé que cette méthode de séparation pouvait réduire de 65 % les émissions d'ammoniac provenant du bâtiment en comparaison avec les valeurs retrouvées dans Arogo *et al.* (2001) et Aarnink *et al.*, (1995). Ces mêmes travaux suggèrent que la production de méthane soit constante, peu importe la quantité de lisier sur la courroie.

Van Kempen *et al.* (2003) ont aussi démontré une constance dans les émissions de méthane. La moyenne des émissions était de 0,8 (0,2 kg porc⁻¹ an⁻¹). De plus, ils avancent que les fèces ne contribueraient pas quantitativement aux émissions d'ammoniac présentes dans la pièce. Les auteurs prétendent en effet que les résultats concordent avec les données *in vitro* suggérant que les fèces contaminées avec une petite quantité (< 30 %) d'urine ne présentent qu'une part minimale de source d'ammoniac. Les valeurs obtenues pour leurs tests démontrent que les émissions d'ammoniac sont réduites à $1,0 \pm 0,2$ kg porc⁻¹ an⁻¹. Des observations ont aussi démontré que ces émissions proviennent largement de la partie solide du plancher. Selon les auteurs, la courroie aurait permis une séparation solide et liquide ayant une fraction solide contenant plus de 50 % de matière sèche.

Un second article de van Kempen (2003) révèle des résultats tout aussi intéressants; les expériences effectuées avec le système de courroie ont permis des réductions d'ammoniac de 65 à 80 % dépendamment du degré de souillure des enclos. Avec un taux de ventilation de 50 m³/h porc_{place}, une concentration de 2-3 ppm a été atteinte.

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Koger *et al.* (2002) qui affirment que les émissions d'ammoniac provenant du bâtiment étaient réduites de 60 % comparativement aux valeurs trouvées dans la littérature. Les chercheurs estiment une réduction des émissions malodorantes du même ordre de grandeur.

Ogink *et al.* (2000) rapportent l'utilisation du même type de procédé de séparation, mais avec une courroie convexe plutôt qu'inclinée. Le liquide s'écoule vers deux gouttières situées sur les côtés alors que les fèces demeurent sur la courroie.

Le tableau 8 présente une synthèse des résultats obtenus. L'observation de ce tableau indique que la séparation des déjections liquides et solides sous les lattes apparaît comme une solution efficace pour réduire tant les odeurs que les gaz (NH₃, CO₂, CH₄, H₂S). Par contre, curieusement, le caractère hédonique n'est pas amélioré, en ce sens que pour la majorité des expérimentations recensées, l'air du traitement témoin était qualifié d'un caractère hédonique moins négatif que l'air de la technologie de séparation sous les lattes.

Tableau 8. Réductions en odeur, NH₃, caractère hédonique, CO₂, CH₄ et H₂S inventoriées dans la littérature quant aux systèmes de séparation sous les lattes.

Réf. ^[a]		Réductions (%) ^[b]					Détails
	Odeur	Caractère hédonique	NH ₃	H ₂ S	CO ₂	CH ₄	
38 ^[e]	6	+6,1	46		16	30	Gratte (2-3 j) ^[f]
	7	+6,1	49		6	17	V (2-3 j)
	+3	0,4	39		4	2	V (1j)
	21	+5,7	49		11	21	Courroie
	12	+7,4	49		13	19	Filet
68	19		25	28			Séparation, gaspillage d'eau et lavage des déjections sous les lattes ^[g] . Le caniveau est séparé en 2 compartiments par un muret de béton.
103	4,9 ^[h]	+4,3 ^[h]	+0,7 ^[i]		6,1 ^[i]		Enclos sans lattes (comparé à porcs sur lattes). Porcs au PSCI.
109	50		52		30	58	Été (gratte en « V » St-Louis vs porcherie standard Ste-Séraphine)
	51		66		41	57	Automne (gratte en « V » St-Louis vs porcherie standard Ste-Séraphine)
	10		29		38	36	Hiver (gratte en « V » St-Louis vs porcherie standard Ste-Séraphine)

^[a] 38. Belzile et al. (2006); 68. Zhang et al. (2002); 103. Predicala et al. (2007); 109. Guimont et al. (2007).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[e] Réductions en comparaison à un système de vidange sans séparation (par gravité, vidé 1 fois par semaine).

^[f] Ce système ne sépare pas les phases.

^[g] Les résultats sont calculés pour la moyenne des émissions mesurées (dans la chambre et aux ventilateurs). Les réductions correspondent à celles obtenues par rapport au système sans séparation.

^[h] Moyenne de 4 essais, N = 14. Réductions présentées à partir des moyennes fournies par les auteurs pour les 4 tests.

^[i] Résultats pour 4 tests. Réductions présentées à partir de moyennes qui ont été calculées d'après les résultats fournis par les auteurs pour les 4 essais.

^[j] Réductions calculées pour la moyenne obtenue sur les 6 semaines d'essais.

2.2.3.4 Gestion du dalot

Les mesures permettant de diminuer les odeurs en gestion liquide s'appliquant au caniveau concernent principalement la fréquence de vidange. Certaines concernent également la présence ou non d'une recharge d'eau dans le caniveau afin de faciliter l'enlèvement complet du lisier sédimenté au fond de ce dernier.

Le tableau 9 présente une synthèse des résultats compilés de la littérature.

Tableau 9. Réductions en odeur, NH₃, CO₂, CH₄, N₂O, PM_{2,5} et PM₁₀ inventoriées dans la littérature relativement au caniveau.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]							Détails
	N ₂ O	NH ₃	H ₂ S	CO ₂	CH ₄	PM _{2,5}	PM ₁₀	
	Odeur							
40		+15						“Gratte (fumier retire tous les jours) vs vidange gravitaire ou « <i>pull plug</i> » (vidé aux 2 ou 3 semaines)”. Porcs en croissance-finition. Mesuré au milieu du caniveau. Mesuré directement au-dessus du bouchon (<i>plug</i>) du caniveau Gratte : fonctionnement avec liquide maintenu « <i>pit recharge effect</i> » (ascendant) vs fonctionnement normal (descendant).
48	+206	25		+21	0,75	36 (été) +893 (automne) 68 (hiver)	+28 (été) +446 (automne) 60 (hiver)	Système de vidange gravitaire ou « <i>pull plug</i> » avec évacuation 1 fois par semaine vs système d'écoulement (<i>overflow</i>) avec maintien de la phase solide dans le caniveau après l'engraissement (témoin : système conventionnel)
55[c]	41 7 76	42 4 75	+60 +60 68					Vidange au 1 j Vidange aux 14 j Vidange aux 7 j avec liquide maintenu Vidange aux 14 j avec liquide maintenu Vidange aux 42 j avec liquide maintenu
58	54	22	+42				+196	Vidange gravitaire (<i>pull plug</i>) vs fosse profonde Réductions obtenues avec la vidange gravitaire par rapport à la fosse profonde. (porcs en finition)
71	45 21							Système de gouttière triangulaire (en « V ») et système de nettoyage à grande eau (<i>flushing</i>) 2 fois par jour à l'aide de la phase liquide vs système conventionnel (lisier accumulé sous les lattes; fréquence d'enlèvement non spécifiée) En engraissement (finition) En pouponnière
84[d]	+23	17 4						Vidange aux 15 j Vidange 1 fois durant l'élevage

^[a] 40. Predicala et al. (2007); 48. Guarino et al. (2003); 55. Jacobson et al. (2006); 58. Jacobson et al. (2006); 71. Mol et Ogink (2003); Guingand (2000).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions

^[c] Les réductions indiquées sont en comparaison avec un système de vidange 1 fois aux 7 jours. Porcs en finition.

^[d] Les réductions indiquées sont en comparaison avec un système sans vidange (lisier gardé dans le caniveau) pour toute la durée de l'élevage. Porcs en finition.

2.2.3.5 Litière

Les systèmes d'élevage sur litière permettent de gérer les déjections sous la forme solide et s'appliquent généralement aux porcs en engraissement. La litière est généralement changée entre les élevages successifs (Zhang et al., 2002). Ce système implique un mécanisme de réduction des odeurs qui consiste à mélanger de faibles quantités de déjections avec d'importants volumes d'absorbants (la litière). Cela permet de créer un environnement où les bactéries anaérobiques sont inhibées et où les bactéries aérobiques peuvent prospérer. Miner (1999) explique que cela engendre des conditions propices pour le compostage aérobique, lequel génère peu d'odeur (tableau 10).

Afin de maintenir les conditions aérobiques essentielles à la fermentation (compostage), une demande additionnelle peut être envisagée quant aux besoins de chauffage et de ventilation (Pednault et al., 2002). Aussi, le surplus de travail généré par ce système ne doit pas être négligé, de même que la disponibilité de la litière (paille ou autre). Zhang et al. (2002) mentionnent également que la paille peut être une source de poussière et de micro-organismes.

2.2.3.6 Système *high-rise*

Le système *high-rise* consiste en un bâtiment en 2 étages. Les porcs sont logés sur un plancher latté à l'étage supérieur. L'étage inférieur consiste en une cave profonde au fond de laquelle une couche de matériau absorbant (paille ou autre) est maintenue. De plus, l'air est extrait de la porcherie à l'aide d'un système de ventilation par extraction basse. Cette configuration permet de créer un espace favorisant le séchage des déjections liquides et solides qui sont absorbées par la litière.

Au Minnesota, Jacobson et al. (2007) ont mesuré les émissions d'odeur, d'ammoniac, de H_2S et de PM_{10} pour une porcherie de croissance-finition comprenant un système *high-rise*, de même que des ventilateurs muraux. Les auteurs ont aussi mesuré les émissions de gaz, odeurs et poussières auprès des ventilateurs du caniveau et du mur, pour des saisons et des débits de fonctionnement différents. Comme les auteurs présentent leurs résultats sous forme de graphiques difficilement interprétables avec précision, les grandes conclusions tirées par les auteurs seront présentées. D'une part, les auteurs concluent que la concentration d'odeur était plus importante lorsque prélevée au niveau des ventilateurs du caniveau par rapport à l'air prélevé auprès des ventilateurs muraux. D'autre part, les concentrations de NH_3 et de H_2S mesurées à l'intérieur du bâtiment ne semblent pas influencées par l'augmentation du débit de la ventilation par extraction basse, ce qui fait douter les auteurs de l'efficacité du système relativement à ces 2 gaz. Quant aux concentrations de poussière, les auteurs concluent qu'elles sont inférieures pour l'extraction basse que l'extraction murale (tableau 10).

Tableau 10. Réductions des émissions d'odeur, NH₃, GES et PM₁₀ obtenues avec les systèmes de gestion solide recensés.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]							Détails
	Odeur	N ₂ O	NH ₃	H ₂ S	CO ₂	CH ₄	PM _{2,5} PM ₁₀	
57								Litière profonde vs plancher latté avec cave profonde. Croissance-finition.
	89 +57		+269 +29	65 95			+17,6 +230	Hiver Été
106		+1,5	+167		+10	42		Litière de paille (34 kg/porc) vs entièrement latté. Engraissement.
81	Voir texte 6,2		Voir texte 6,2	Voir texte 6,2			Voir texte 6,2	Système <i>high-rise</i> . Émissions au ventilateur du caniveau vs émissions au ventilateur du mur, à divers débits. Porcs en finition.

^[a] 57. Jacobson et al. (2001); 106. Philipps et al. (1995); 81. Jacobson et al. (2006)

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions

2.2.4 Traitement des déjections

L'**oligolyse** consiste à placer 2 électrodes dans le lisier et à appliquer un voltage à travers ces dernières. Le potentiel électrique fera en sorte que des ions ferreux (Fe²⁺) seront libérés par l'anode pour aller dans le lisier. Ces ions Fe²⁺ se combineront avec des ions S²⁻ libres présents dans le lisier afin de former du sulfide ferreux (FeS), un précipité insoluble. Ainsi, le potentiel des ions S²⁻ à former des composés odorants ou toxiques (H₂S) est diminué. Feddes et al. (1998) expliquent que le voltage appliqué à travers les électrodes influence significativement le procédé. D'après les expérimentations effectuées par ces mêmes auteurs, il est possible de réduire jusqu'à 90 % le H₂S du lisier grâce à ce système. Les auteurs n'ont toutefois pas mesuré de différences significatives sur le plan des odeurs.

Le refroidissement de la couche supérieure du lisier vise d'abord à diminuer les émissions d'ammoniac. Il a entre autres été expérimenté par Mol et Ogink (2003) en engraissement et en pouponnière. En engraissement, les auteurs ont obtenu une réduction de 19 % par rapport à un agencement témoin sans refroidissement du lisier. Toutefois, en pouponnière, cette technique a fait augmenter les émissions d'odeur de 46 % par rapport au système témoin.

Il y a également l'**aération** qui consiste à oxygéner le lisier sous les lattes afin de prévenir la formation de conditions anaérobiques.

Plusieurs produits chimiques et biologiques sont également disponibles afin de contrôler les odeurs du lisier. Ces produits permettent l'élimination des odeurs selon divers mécanismes dont les principaux sont les masquants d'odeur, les procédés de dégradation biologique (avec bactéries ou enzymes) où les composés odorants seront digérés par les microorganismes ajoutés, l'adsorption qui empêche les composés odorants d'être relâchés vers la phase gazeuse et l'oxydation chimique qui altère ou élimine la flore biologique responsable de la génération des odeurs (Zhang et al., 2002; McCrory et Hobbs, 2001).

La dénomination « **additif** » est généralement utilisée pour désigner ces produits. Zhang et al. (2002), de même que McCrory et Hobbs (2001), mentionnent que différentes recherches menées à ce jour ont démontré des résultats conflictuels quant à l'efficacité des additifs. Zhang et al. (2002) précisent toutefois que cela serait en partie dû à l'absence de protocoles universellement acceptés pour mesurer l'effet spécifique de ces additifs sur la réduction des odeurs aux bâtiments. Le tableau 11 présente quelques résultats qui ont été recensés dans la littérature à cet effet. À la lumière de ce tableau, il semble que l'effet sur les odeurs et les gaz est plutôt variable.

Tableau 11. Réductions en odeur, NH₃, H₂S et composés odorants inventoriées dans la littérature lorsqu'il y a ajout d'additifs au lisier.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]				Détails
	Odeurs	NH ₃	H ₂ S	Composés	
11	9	+22			Avec De-Odorase®
35				25 à 84	Pour différents acides, p-crésol et indole.
85	20				Additifs biologiques
	16				Additifs chimiques
86	58 à 87				Additifs commerciaux (MPC, Bio-Safe, Shac, X-Stink et CPPD).
95	27		47		Alken-Murray Clean-Flo®
	25	5			Traitement biologique
	32		37		Contrôle d'odeur microbien
	28	27			Zymplex

^[a] 11. Amon et al. (1995); 35. Oehrl et al. (2001); 85. CRIQ (1994); 86. Valeurs originales de Zhu et al. (1997) cités par Pedneault et al. (2002); 95. Vansickle (2001).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[c] Préparation commerciale présentée sous forme de poudre à base d'extraits de *Yucca shidigera*.

2.2.5 Contrôle de la qualité de l'air

2.2.5.1 Systèmes de ventilation

Comme l'air des bâtiments est évacué par le système de ventilation, ce dernier représente le principal vecteur d'émission des odeurs des bâtiments porcins. Bien entendu, il ne peut être envisagé de réduire le débit de ventilation afin de réduire les émissions d'odeur et de gaz. Il existe toutefois des systèmes de ventilation distincts de ceux utilisés traditionnellement sur les fermes du Québec (ventilation naturelle et ventilation mécanique) qui pourraient avoir un effet sur les émissions d'odeur.

L'extraction basse a pour avantage d'améliorer la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment puisque l'air vicié ne remonte pas au niveau des animaux et des travailleurs. Toutefois, les mouvements d'air ainsi générés pourraient favoriser le passage de l'ammoniac de la phase liquide vers la phase gazeuse, augmentant ainsi le potentiel d'émission d'ammoniac.

Une autre approche est celle de la cheminée permettant de diluer les odeurs dans l'atmosphère. Toutefois, la vitesse de sortie de l'air vicié ne doit pas être inférieure à 7 ms⁻¹ en été et à 3 ms⁻¹ en hiver (VDI, 1986), ce qui implique que des mesures doivent être prises afin d'augmenter la vitesse de l'air (restreindre l'aire de la conduite, ajout de déflecteurs, etc.).

2.2.5.2 Systèmes de traitement de l'air

2.2.5.2.1 Classification

Les systèmes de traitement de l'air pour le contrôle des odeurs se classifient en deux grandes catégories soit les systèmes de traitement non biologique (physico-chimique) et les systèmes de traitement biologique (Manuzon et al., 2007; Sheridan et al., 2002; Kim et al., 2000; Revah et Morgan-Segastume, 2005). L'industrie utilise soit des méthodes de traitement physico-chimique, soit des méthodes de traitement biologique ou encore une combinaison des deux (Devinny et al., 1999; Revah et Morgan-Segastume, 2005). La gamme des contaminants (composés inorganiques, composés organiques volatils, odeurs) est très vaste, les débits d'air à traiter atteignent des valeurs extrêmement élevées et les conditions de température et de pression des gaz à traiter sont très souvent différentes des conditions atmosphériques (hautes pressions et températures).

Les applications agricoles, notamment les bâtiments d'élevage, nécessitent le développement de solutions particulières pour le traitement de l'air émis. Les débits d'air sont importants, mais les concentrations de polluants sont plus faibles comparativement aux applications industrielles. De plus, les systèmes de traitement doivent être simples, faciles à exploiter et à entretenir et doivent rencontrer des coûts d'investissement et d'exploitation inférieurs à ceux du domaine industriel (Devinny et al., 1999). Dans ce cas, le principal objectif réalisable par l'application des traitements de l'air est l'abattement des odeurs, du NH_3 , du H_2S et des poussières. Les conditions de température et de pression de l'air à traiter sont similaires à celles des conditions de l'air ambiant, mais le facteur climatique constitue parfois un élément important à prendre en considération. Les systèmes de traitement de l'air pour les bâtiments d'élevage exploitent les mêmes méthodes de traitement que celles disponibles pour les applications industrielles (traitement physico-chimique, traitement biologique ou solution combinée), mais un grand nombre de solutions sont prohibitives pour l'application agricole (Manuzon et al., 2007).

2.2.5.2.2 Méthodes de traitement physico-chimique

Le choix de la méthode de contrôle des odeurs repose d'abord sur les propriétés physiques, thermodynamiques et chimiques des gaz et des composantes à traiter. Actuellement, plusieurs méthodes physico-chimiques (tableau 12) sont disponibles pour réduire les odeurs et les polluants de l'air (Devinny et al., 1999; Revah et Morgan-Segastume, 2005).

Tableau 12. Méthodes de traitement physico-chimique actuellement disponibles.

Méthodes	Méthodes (suite)
Condensation	Oxydation UV
Oxydation chlorique	Ozonation
Oxydation au permanganate de potassium	Traitement au plasma non thermique
Oxydation catalytique avec Fe^{3+}	Adsorption
Oxydation avec FeO	Absorption chimique/lavage d'air à solution acide ou basique (<i>scrubbing</i>)
Oxydation à peroxyde d'hydrogène	Systèmes à membrane
Précipitation chimique	Incinération thermique et combustion catalytique

La revue de littérature démontre l'intérêt des chercheurs pour certaines méthodes physico-chimiques appliquées individuellement pour traiter les odeurs émises par les bâtiments d'élevage. Les méthodes non biologiques sont citées dans les revues de littérature de plusieurs des articles étudiés et leurs caractéristiques et performances sont utilisées dans le cadre de ces études aux fins de comparaison avec les méthodes biologiques (Devinny et al., 1999; Manuzon et al., 2007; Revah et Morgan-Segastume, 2005).

L'absorption chimique (*scrubbing*) est la plus utilisée des méthodes non biologiques permettant le traitement de l'air. Il s'agit d'une technologie mise au point pour de nombreuses applications industrielles. L'absorption ou le lavage de l'air consiste à mettre en contact le gaz polluant avec un liquide dans lequel il est soluble. Le transfert de masse du gaz au liquide est réalisé par l'utilisation d'un matériau de remplissage qui constitue le filtre de l'appareil (Devinny et al., 1999). L'eau est souvent utilisée comme solution de lavage et le pH peut être ajusté (basique ou acide) afin d'augmenter la solubilité des gaz contenus dans l'air vicié.

Le système non biologique le plus habituel est de type « tour de lavage », soit un réacteur vertical rempli avec un matériau inorganique ou inerte (figure 4). Ce matériau doit présenter une grande porosité et une grande surface spécifique (souvent entre 100 et 200 m² m⁻³). La solution utilisée est pulvérisée à partir de la partie supérieure de l'appareil afin d'humidifier uniformément et continuellement le médium. L'air vicié peut circuler soit horizontalement dans l'appareil (courant croisé), soit à partir du bas vers le haut (contre-courant). Le contact entre l'air et l'eau assure le transfert de masse des polluants provenant du gaz vers le liquide. Une fois le traitement par lavage réalisé, un traitement du liquide pourrait être nécessaire et des mesures pour sa disposition devraient être prévues une fois qu'il est évacué de l'appareil (Devinny et al., 1999).

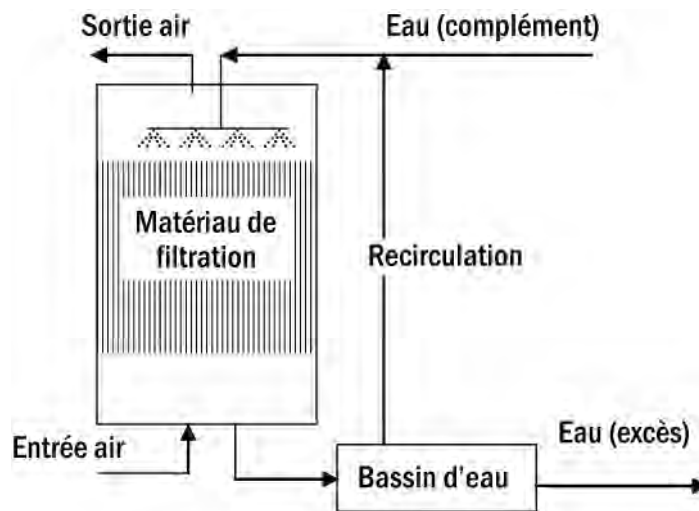


Figure 4. Schéma d'un laveur d'air à contre-courant

Adapté de Melse et Oginik (2005)

Les principaux avantages des laveurs d'air sont leur structure compacte, le contrôle facile du pH et de la température, l'utilisation des matériaux inertes et leur adaptation assez rapide au changement de la composition de gaz.

Selon Melse et Ogink (2005), les laveurs d'air à l'acide sont reconnus comme des installations offrant une très bonne efficacité pour l'enlèvement de l'ammoniac (> 90 %) lors de temps de résidence réduits (de 0,5 à 1,0 s). Par contre, l'efficacité de réduction des odeurs est faible (< 30 %) tout en présentant une consommation d'eau élevée.

Revah et Morga-Segastume (2005) mentionnent que d'autres méthodes physico-chimiques peuvent être utilisées pour l'abattement du H_2S , soit l'utilisation de Fe^{2+} (H_2S précipite en FeS), l'oxydation chlorique à l'aide d'hypochlorite de sodium, l'oxydation au permanganate de potassium, l'oxydation catalytique avec Fe^{3+} , l'oxydation à peroxyde d'hydrogène et l'oxydation au FeO .

L'adsorption sur charbon activé ou à la zéolite constitue une autre possibilité intéressante pour le traitement de l'air, surtout à des concentrations très faibles de gaz. L'efficacité d'un système à adsorption pour l'abattement d'un polluant donné est fonction du débit de l'air à traiter, de la charge en composés organiques volatils (COV) et des composantes individuelles des COV (Devinny et al., 1999). Manuzon et al. (2007) citent l'utilisation fréquente de l'adsorption sur charbon activé pour la capture des composantes organiques volatiles et des odeurs dans l'industrie. Shah et al. (2007) ont répertorié des essais qui ont permis une réduction des odeurs de 26,2 % dans un bâtiment porcin, mais dont le mécanisme de réduction de l'ammoniac est mis en doute. Les coûts élevés d'implantation et d'exploitation empêchent présentement l'application commerciale de cette méthode.

Les plasmas non thermiques (PNT) sont des radicaux, des atomes, des électrons de plasma et des ions hautement réactifs générés par une décharge électrique dans l'air (Ruan, 2000). Ces plasmas peuvent réagir avec les gaz odorants émis dans le lisier et les convertir en gaz non odorants. Les PNT peuvent être créés à partir de décharges électriques dans les gaz. En PNT, les électrons ne sont pas en équilibre thermique avec les autres gaz. Ces électrons agissent ensuite selon le même principe que l'ozone, en réagissant ou en détruisant certains composés chimiques et/ou odorants (Ruan et al., 1999). Ruan (2000) rapporte que l'avantage de ce système est de ne pas générer de pollution secondaire. Toutefois, Goodrich et Wang (2001) mentionnent l'ozone comme un coproduit généré lors de la réaction, lequel est par ailleurs nécessaire afin d'assurer un potentiel optimal d'abattement des odeurs. Toutefois, si cet ozone supplémentaire est rejeté dans l'atmosphère, un polluant est alors créé, et c'est pourquoi les auteurs recommandent de récupérer l'ozone généré. Goodrich et Wang (2001) ont implanté ce système à l'échelle de laboratoires avec du lisier de porcs. L'efficacité maximale a été obtenue lorsque le débit du lisier à travers le réacteur s'élevait à $5,7 \text{ m}^3/\text{min}$. À ce débit, pour une concentration initiale de 50 ppm en H_2S , un abattement de plus de 95 % a été réalisé. Pour du NH_3 , dont la concentration de départ s'élevait à 27 ppm, plus de 85 % d'efficacité d'enlèvement a été atteinte.

L'ozone (O_3) est un composant retrouvé dans l'atmosphère et il est produit naturellement par les décharges électriques à partir de l'oxygène de l'air lors des orages

(ITP, 1998). Au niveau du sol, ce gaz est très instable et se décompose rapidement en une molécule d'O₂ et un atome de O, ce qui en fait un oxydant puissant. Pour le produire, la technique la plus utilisée est l'irradiation de l'air (ou de l'O₂) via des rayons UV ou des décharges électriques. L'ozone permet donc d'oxyder chimiquement les composés odorants et d'inactiver les microorganismes en attaquant la membrane cytoplasmique des cellules, ce qui permet de contrôler le taux de production de composés odorants par ces derniers (Wu et al., 1999). Pour être efficace, Fitamant et al. (2000) soutiennent que l'ozone doit être transféré dans le milieu liquide. L'ITP (1998) soutient qu'un abattement de 50 % des odeurs émises peut être atteint grâce à cette technologie.

Fitamant et al. (2000) ont implanté ce système en engraissement où l'air ozoné était produit à partir de l'oxygène de l'air à l'aide de 4 ozonateurs. L'air ozoné était introduit dans des tubes de PVC percés placés sous le caillebotis, parcourant le caniveau en entier, permettant ainsi la diffusion de l'ozone à la surface du lisier. Les performances zootechniques obtenues pour les animaux élevés sous ce système versus ceux élevés sans le système d'ozone ne présentent pas de différences significatives. Le tableau 13 présente les réductions recensées dans la littérature à l'aide de cette technique.

Tableau 13. Réductions en odeur, caractère hédonique, NH₃, H₂S, GES et particules lorsqu'il y a application d'ozonation.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]		Détail	
	odeur	Caractère hédonique	NH ₃	Poussière
30				Ozone faible : 0,057 m ³ /h
	11			Acides gras volatiles totaux
	12			Phénol
	14			Crésol
	7			p-éthylphénol
	68			Indole
	73			Skatole
				Ozone moyen : 0,11 m ³ /h
	6			Acides gras volatiles totaux
	14			Phénol
	28			Crésol
	8			p-éthylphénol
	90			Indole
	93			Skatole
				Ozone élevé : 0,17 m ³ /h
	7			Acides gras volatiles totaux
	21			Phénol
	41			Crésol
	15			p-éthylphénol
	100			Indole
	100			Skatole
31	32			Ozonisation avec une concentration de 0,1 ppm
	66			
	59			
	69			
32		0		Réduction d'odeur obtenue après l'ozonation de fumier frais :
		0		Fumier frais
		33		0,25 g / l ozone
		44		0,5 g / l ozone
		44		0,75 g / l ozone
34				1 g / l ozone
		3.8	0	+12.9
		29	41	10,9
		6.6	41	23,3
35				Réductions comparées à un traitement témoin sans ozone
				Cas B (28m ³ /s, 100 UA) ^[c]
				Cas C (14m ³ /s, 160 UA)
				Cas D (17m ³ /s, 176 UA)
				Mesures prises au ventilateur. Réductions par rapport à une
				porcherie témoin (sans ozone) (porcs en finition).
	53,4			Acide acétique
	49,8			Acide propénoïque
	54,7			Acide isobutyrique
	60,1			Acide butyrique
	62,2			Acide isovalérique
	42,5			Acide valérique
	-8,2			Acide caproïque
	1,6			Acide heptatonique
	-39,7			Acide caprylique
	-41,0			Acide pèlargonique
	49,2			p-crésol
79	16		21	Engraissement. Réductions moyennes obtenues par rapport à un système sans ozone.
80			37,5	Engraissement. Réductions obtenues par rapport à un système sans ozone.

^[a] 30. Kim-Yang et al. (2005); 31. Elenbaas-Thomas et al. (2005); 32. Wu et al. (1999); 34. Bottcher et al. (2001); 35. Oehrl et al. (2001); 79. Fitamant et al. (2000); 80. Priem (1977).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[c] UA : 500 kg de masse animale.

2.2.5.2.3 Méthodes de traitement biologique

Des analyses détaillées réalisées à partir de revues de littérature portant sur les méthodes biologiques pour le contrôle des odeurs et des COV ont été effectuées par plusieurs groupes de scientifiques tels que Devanny et al. (1999), Revah et Morgan-Segastume (2005), Deshusses et Shareefdeen (2005), Singh et al. (2005) et Iranpour et al. (2005). Ces travaux ont synthétisé les connaissances acquises dans le domaine du traitement de l'air par voie biologique et ils ont contribué à la promotion d'un nombre important de solutions pour des applications industrielles. Malgré le nombre réduit de références concernant les applications agricoles, ces études apportent des informations intéressantes sur une problématique assez vaste, soit la définition et la classification des méthodes biologiques de traitement de l'air, la classification des réacteurs biologiques, l'analyse des mécanismes de traitement biologique, le design des bioréacteurs et l'analyse des performances des systèmes pour le contrôle des odeurs.

Le traitement biologique de l'air est basé sur la capacité des microorganismes à transformer certains polluants organiques et inorganiques en des composés non toxiques et sans odeurs (Devanny et al., 1999; Hartung et al., 2001; Revah et Morgan-Segastume, 2005). Les réacteurs biologiques en phase gazeuse utilisent les réactions métaboliques microbiennes pour traiter l'air contaminé. Le traitement biologique est efficace et économique pour des concentrations réduites de contaminants et pour de grands débits d'air à traiter. Le contaminant est absorbé à partir du gaz vers la phase liquide où la dégradation biologique est amorcée. Des réactions d'oxydation, et parfois de réduction, transforment le contaminant en un mélange de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et de biomasse. Les polluants de l'air (vapeurs organiques ou inorganiques) sont utilisés comme énergie et parfois comme source de carbone pour le maintien et le développement de la population microbienne.

Les mécanismes de base sont identiques pour tous les systèmes de traitement biologique de l'air, mais il existe différentes configurations d'équipement permettant de réaliser le transfert entre le gaz et le liquide et le processus de biodégradation du polluant (Devanny et al., 1999; Revah et Morgan-Segastume, 2005).

Trois types principaux de réacteurs biologiques sont utilisés présentement pour le traitement de l'air, soit les biofiltres, les biofiltres percolateurs (*biotrickling filters*) et les biolaveurs (*bioscrubbers*). Ces équipements diffèrent de par la nature de leur phase microbiologique (microorganismes fixés au matériau de remplissage ou en suspension dans le liquide) et la circulation du liquide (stationnaire ou en écoulement). Le tableau 14 présente la classification des bioréacteurs en fonction de ces critères.

Tableau 14. Classification des bioréacteurs pour le traitement de l'air.

Type de réacteur	Microorganismes	Régime d'écoulement d'eau
Biofiltre	Fixés	Stationnaire
Laveur biologique (Biofiltre percolateur)	Fixés	En écoulement
Biolaveur	En suspension	En écoulement

Source : Devanny et al., 1999

Dans un biofiltre, l'air contaminé passe à travers un matériau de filtration ou un lit filtrant (sol, tourbe, compost, écorces ou copeaux de bois) qui est capable de retenir l'eau et qui contient certains nutriments minéraux. Dans plusieurs cas, différents matériaux structurants y sont ajoutés pour améliorer la porosité du filtre. Les microorganismes vont croître et se fixer sur le matériau, formant ainsi un biofilm humide dans lequel les polluants de l'air sont absorbés, puis dégradés par les microorganismes. L'activité du biofilm est déterminée par la densité en microorganismes et les conditions environnementales tels la température, l'humidité relative, la disponibilité en nutriments et le pH (Revah et Morgan-Segastume, 2005). Pour maintenir les performances de l'appareil, l'air est en général humidifié préalablement au traitement et des systèmes intermittents de pulvérisation sont également utilisés à l'intérieur du biofiltre. Le taux d'humidité du matériau de filtration et le maintien du biofilm sont des éléments essentiels permettant de maintenir les performances de purification biologique. L'activité biologique est fortement dépendante de l'activité de l'eau dans le système. L'utilisation de différents matériaux inertes naturels ou synthétiques a été explorée pour la réalisation du lit filtrant (perlite, vermiculite, mousse en polyuréthane). Par contre, ces substances nécessitent l'ajout périodique de nutriments.

L'application la plus connue de ce type de traitement est le biofiltre de type ouvert (figure 5). Ses particularités en font un équipement qui peut être exposé aux conditions atmosphériques, qui peut être installé au niveau du sol et qui utilise en général des matériaux de remplissage facilement disponibles et dont le prix est réduit (sol, compost).

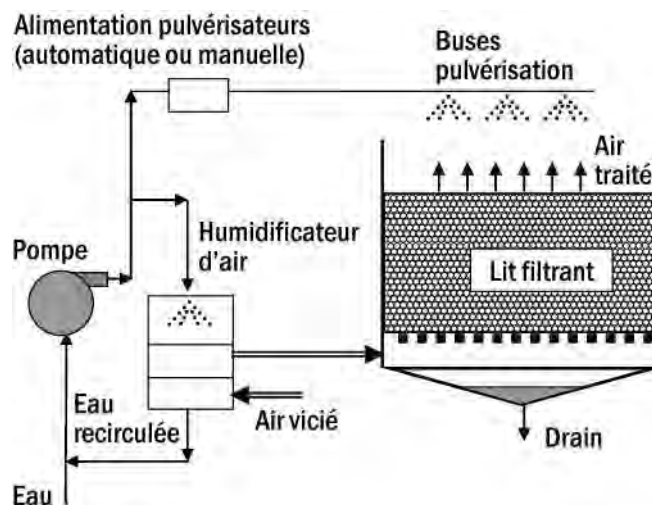


Figure 5. Schéma d'un système de biofiltre ouvert

Adaptée de R et Morgan-Segastume (2005)

L'épaisseur habituelle du lit de filtration d'un biofiltre ouvert se situe entre 1,0 et 1,5 m. Les systèmes ouverts sont idéals pour des applications où l'espace n'est pas une contrainte et ils sont reconnus comme étant les solutions les moins dispendieuses pour le contrôle des odeurs (Devinny et al., 1999).

Les biofiltres fermés (figure 6) sont généralement plus complexes et peuvent présenter une section circulaire ou rectangulaire. Ces systèmes de traitement de l'air permettent de mieux contrôler certains paramètres d'opération (température, humidité, nutriments, pH), tout en étant moins sensibles aux facteurs climatiques.

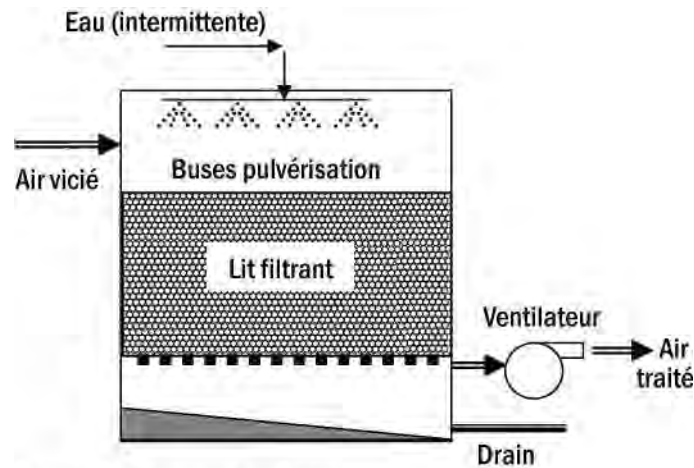


Figure 6. Schéma d'un système de biofiltre fermé

Adaptée de Devinny et al. (1999)

Le lit de filtration utilisé dans les biofiltres fermés a généralement une épaisseur qui varie entre 1,0 et 1,5 m et il est composé de matériaux organiques et/ou inorganiques. Un plénum d'entrée et un plénum de sortie facilitent la distribution uniforme de l'air dans l'appareil. Pour la majorité des applications avec biofiltre fermé, la circulation descendante de l'air s'avère plus performante que la circulation ascendante, car le contrôle de l'humidité du matériau de filtration est meilleur dans le premier cas (Revah et Morgan-Segastume, 2005).

Deshusses et Shareefdeen (2005) considèrent que les biofiltres percolateurs (*biotrickling filters*) constituent l'une des techniques biologiques les plus prometteuses pour le contrôle des odeurs et des COV. Contrairement aux biofiltres qui utilisent en majorité des matériaux organiques pour le lit filtrant et qui opèrent avec un minimum d'écoulement d'eau, les biofiltres percolateurs utilisent exclusivement des matériaux inorganiques et l'écoulement de l'eau se fait en continu par percolation. Dans les biofiltres percolateurs, l'air vicié passe à travers un matériau filtrant inerte dans lequel le liquide est recirculé en continu (figure 7). Le matériau filtrant est similaire à celui utilisé dans les laveurs chimiques et doit avoir une grande porosité et une grande surface spécifique (de 100 à 400 m² m⁻³). Le temps de résidence est de l'ordre de 30 secondes, mais il peut être réduit à des valeurs plus basses, notamment dans le cas de traitements pour l'enlèvement de H₂S (1,2 s; Revah et Morgan-Segastume, 2005).

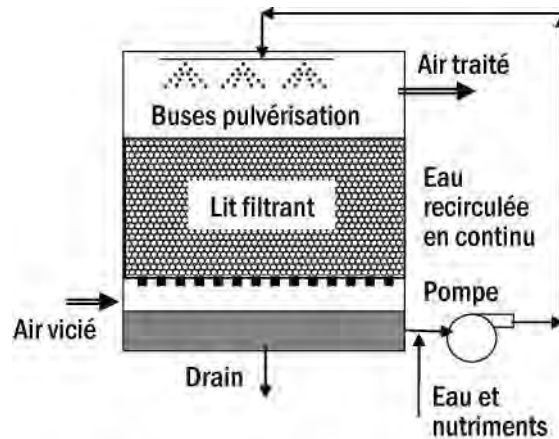


Figure 7. Schéma d'un système de lavage d'air biologique (biofiltre percolateur)

Adaptée de Revah et Morgan-Segastume (2005)

Les biofiltres percolateurs nécessitent un écoulement d'eau en continu puisque le matériau synthétique du lit filtrant ne présente habituellement pas une capacité de saturation suffisante et que sa capacité de rétention est faible ou absente. Par contre, un écoulement de liquide en continu réduit l'excès de biomasse par un effet de lavage et permet l'ajout de nutriments tels l'azote ou le phosphore qui sont nécessaires pour la biodégradation et qui facilitent l'équilibre et le contrôle du pH. Le biofilm qui se développe à la surface du matériau inerte peut atteindre plusieurs millimètres d'épaisseur. Pour une efficacité identique, le volume occupé par ce type de biofiltre est généralement moindre que celui d'un biofiltre conventionnel.

Les filtres biolaveurs (*bioscrubber filters*) utilisent un schéma de principe qui comprend un absorbeur dans lequel a lieu le transfert du polluant du gaz vers le liquide et un bioréacteur où la dégradation biologique se poursuit dans la masse de liquide.

Selon un schéma présenté à la figure 8, l'absorption est effectuée dans une tour de lavage à pulvérisation et la biodégradation est effectuée dans un bassin d'activation (bioréacteur) contenant la biomasse en suspension (boues activées). Singh et al. (2005) ont répertorié plusieurs variantes d'absorbeurs tels que la tour avec un matériau de remplissage, le cyclone à voie humide, la tour de pulvérisation et le scrubber de type venturi.

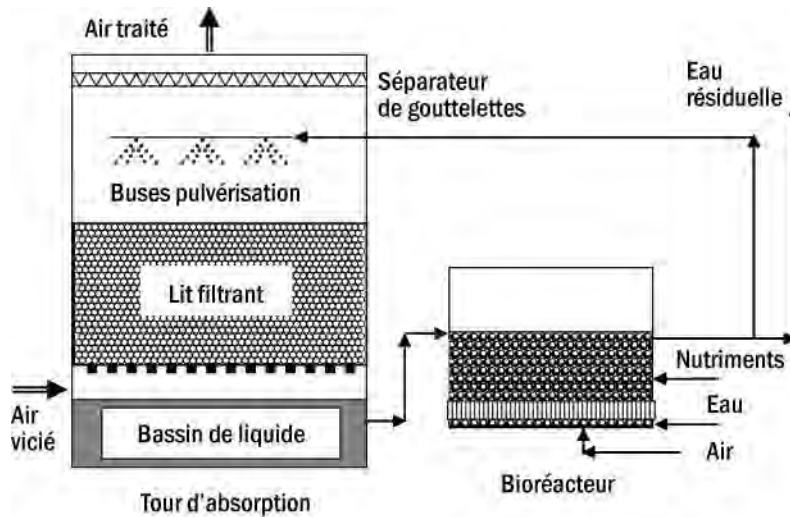


Figure 8. Schéma d'un système de biolaveur

Adaptée de Revah et Morgan-Segastume (2005)

L'écoulement des flux d'air et celui de l'eau dans un biolaveur peuvent se réaliser soit en contre-courant, co-courant ou encore en courant croisé. La vitesse de l'air peut varier entre 1,5 et 20 m s⁻¹ dans les variantes avec tour, elle peut atteindre 25 m s⁻¹ pour la variante cyclone alors qu'elle se situe entre 40 et 50 m s⁻¹ pour la variante venturi. Les biolaveurs ont les mêmes avantages d'encombrement, de flexibilité et de contrôle que les filtres percolateurs et ils offrent la possibilité de traiter des composés peu solubles dans l'eau (coefficients d'Henry $H < 0,01$) ou toxiques pour les microorganismes. Le tableau 15 présente les réductions répertoriées dans la littérature pour les systèmes de lavage d'air biologiques.

2.2.5.2.4 Application d'huile

L'une des techniques fréquemment utilisées relativement au contrôle des poussières consiste à appliquer de l'huile dans le bâtiment selon une certaine dose d'application. L'huile absorbe ainsi les poussières qui ne sont alors plus en suspension dans l'air. Kim et al. (2008) rapportent que cette technique est appréciée pour sa non-toxicité pour les travailleurs et les animaux, de même que pour sa facilité d'accès (technique et économique).

Les résultats recensés dans la littérature sur l'application d'huile comme système de mitigation pour réduire les odeurs aux bâtiments porcins sont présentés au tableau 16.

Tableau 15. Réductions en odeur, NH₃, H₂S et poussières inventoriées dans la littérature quant aux systèmes de biofiltration.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]			Détails
	Odeur	NH ₃	H ₂ S	Poussières
7	90	74	90	
45	49 à 95			Filtre de SKOV A/S et Perstrup Beton Industri A/S contre contrôle avant le filtre Le filtre a été testé sur une période de six mois
	50 à 60			Filtre d'Oldenburg contre contrôle avant filtre.
60	51.7 90.1 79			6 jours de fonctionnement 16 jours de fonctionnement 35 jours de fonctionnement
	73.6 ^[c] , 79 ^[d]			Moyenne expérience
62	79.5 ^[c] 62.8 ^[c] , 60 ^[d]	26 ^[c]		Deux biofiltres parallèles pour la première période de mesure. Deux biofiltres parallèles pour la deuxième période de mesure (l'utilisation de nouveaux matériaux filtrants).
63	50 86	0 75	74 98	
70				Mélanges pour biofiltration ont été comparés (biofiltres traitement de gaz) pour une installation porcine. Comparaison de six mélanges : compost et les copeaux de bois, taux de 0:100 à un compost 50:50: ratio de copeaux de bois dans 10 %.
	67.5 67.2 84.3 82.6 81.6 83.2			% du compost dans les médias 0 % du compost dans les médias 10 % % du compost dans les médias 20 % % du compost dans les médias 30 % % du compost dans les médias 40 % % du compost dans les médias 50 %
94	78	50	86	
100				Spécification de conception pour un lit vertical (3 filtres 12 po 3 filtres 24 po).
	65 70 60		70 75 65	Toutes les cellules 24 po d'épaisseur des cellules de base 12 po d'épaisseur des cellules de base

^[a] 7. Powers (1999) rapporté d'études de Nicolai et Janni (1997); 45. Lyngbye et al. (2006); 60. Hoff et Harmon (2006); 62. Hartung et al. (2001); 63. Irampour et al. (2005); 70. Nicolai et Janni (2001); 94. Nicolai et Janni (1997); 100. Nicolai et Janni (2001).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[c] Moyenne de la réduction expérience.

^[d] Médiane.

2.2.5.2.5 Traitement électrique (précipitation électrostatique)

Le traitement électrique pour le contrôle des poussières comprend la précipitation électrostatique. Le principe de fonctionnement de la précipitation électrostatique consiste à forcer l'air de l'édifice pour le faire passer à travers le précipitateur électrostatique afin que les particules de poussière soient ionisées par le champ électrique et acquièrent une charge positive. Elles sont ensuite attirées et précipitées sur des plaques collectrices chargées négativement (ITP, 1998; Zouzou et al., 2005). L'ITP (1998) soutient qu'il est possible d'atteindre un taux d'abattement des odeurs de l'ordre de 50 % avec cette méthode.

Tableau 16. Réduction en odeur, gaz et particules lorsqu'il y a application d'huile dans l'air.

Réf. ^[a]	Réductions (%) ^[b]									Détail
	odeur	P.I. ^[c]	P.R. ^[d]	P.T. ^[e]	H ₂ S	NH ₃	CO ₂	CH ₄	PM ₁₀	
1	50	85	80		27	30	3			Huile végétale
2	28	79	65	59	18	36				Huile végétale. Moyennes obtenues sur une période de 10 mois.
5	20					10				Diète commerciale standard, avec 10 ml/m ² *j d'huile de canola.
	7					20				Diète commerciale standard, avec 20 ml/m ² *j d'huile de canola.
	13					10				Diète commerciale standard, avec 30 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+41					0				Diète faible en protéine, avec 10 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+11					0				Diète faible en protéine, avec 20 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+33					+71				Diète faible en protéine, avec 30 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+30					0				Diète faible en protéine et avec des glucides fermentables, avec 10 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+43					+18				Diète faible en protéine et avec des glucides fermentables, avec 20 ml/m ² *j d'huile de canola.
	+30					9				Diète faible en protéine et avec des glucides fermentables, avec 30 ml/m ² *j d'huile de canola.
				86						Moyenne pour les différentes diètes, avec aspersion de 10 ml/m ² *j d'huile de canola.
				92						Moyenne pour les différentes diètes, avec aspersion de 20 ml/m ² *j d'huile de canola.
				95						Moyenne pour les différentes diètes, avec aspersion de 20 ml/m ² *j d'huile de canola.
29	60				+83	+8	3,5	+33	68	Aspersion d'huile de soya.
	+34				33	16	10	31	77	Aspersion d'huile de soya, essai 2.
	+7				+58	13	9	19	+4	Brume d'huile essentielle.
	51					24	36	0	31	Brume d'huile essentielle diluée avec de l'eau.

^[a] 1. Zhang and Westerman (1997); 2. Paszek et al. (2001); 5. Godbout et al. (2001); 29. Heber et al. (2004).

^[b] Le signe « + » indique une augmentation des émissions.

^[c] Poussières inhalables.

^[d] Poussières respirables.

^[e] Poussières totales.

2.2.5.2.6 Traitement mécanique

Le traitement mécanique pour le contrôle des poussières comprend le dépoussiéreur aérodynamique et les filtres à poussière. Il repose surtout sur le phénomène d'adsorption (grande surface spécifique) et utilise des matériaux comme le charbon. Mutlu et al. (2003) ont obtenu une réduction de 26,2 % d'odeur dans un bâtiment porcin à l'aide d'un filtre au charbon activé appliqué à la sortie des ventilateurs.

2.2.6 Propreté et gestion

La propreté et la bonne gestion du bâtiment, des conditions d'ambiance et des animaux sont souvent rapportées comme étant la façon la plus efficace de prévenir les odeurs. Les bonnes pratiques à cet égard consistent par exemple à :

- nettoyer les planchers sous les trémies afin de prévenir l'accumulation de résidus de moulée-lisier;
- garder les animaux propres;
- s'assurer de l'étanchéité des abreuvoirs;
- éviter que les animaux soient stressés.

Les pratiques de gestion, telles qu'abordées dans le présent document, réfèrent à tout ce qui touche les opérations quotidiennes au bâtiment. Cela vise donc tout ce qui permet de générer moins de poussière au bâtiment, de même que tout ce qui peut contribuer à diminuer le contact des animaux avec leurs déjections.

Lemay et al. (2000) ont tenté de réduire les différentes sources d'émission d'odeur du système de production porcine en créant une zone de déjections fermée pour les porcs en croissance-finition. Selon les auteurs, la façon la plus prometteuse d'isoler cette zone de l'aire d'activité des porcs est l'utilisation d'un rideau de languettes de caoutchouc de 0,4 m. Les auteurs suggèrent aussi que l'air de cette zone soit traité par un biofiltre avant d'être évacué. C'est ce que Feddes et al. (2006) ont expérimenté. Les auteurs ont obtenu une réduction moyenne des odeurs de 16 % pour la chambre avec une zone de déjections fermée. De plus, les auteurs ajoutent que l'air de la zone de déjections fermée doit être traité avec un laveur d'air biologique afin d'enlever l'ammoniac avant de passer l'air vers le biofiltre (pour diminuer la charge d'odeur).

Dans un autre ordre d'idées, Guingand (2007) a observé l'effet de la réduction de la densité animale sur les émissions d'odeur et d'ammoniac. Les émissions d'odeur se sont avérées équivalentes pour les 2 modalités étudiées ($1,43 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ versus $1 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$). De plus, le fait de réduire la densité de 30 % a amené une augmentation moyenne des émissions de NH_3 de 28 %. En ce qui concerne les poussières, l'auteure a observé que la concentration était réduite de manière quasi proportionnelle à l'effectif animal.

Le tableau 17 présente les avantages et les inconvénients reliés aux technologies de contrôle des émissions au niveau du bâtiment.

Tableau 17. Comparaison des différentes technologies de contrôle des émissions au niveau du bâtiment.

Processus	Avantages (+)	Inconvénients (-)	Commentaires	Coût
1. Aspects relatifs à la propreté et à la gestion du bâtiment	Réduit efficacement les émissions de NH ₃ , la poussière. Pratiques plus efficaces.	Pas de réduction caractère hédonique et concentrations de CO ₂ .	Dépend de la mise en œuvre des technologies.	
2. Aspects relatifs aux diètes animales	Basse teneur en azote dans le fumier, réduit le H ₂ S et le NH ₃ .	Augmentation des coûts reliés à l'alimentation.		0,5 \$/porc au total des coûts de production (basse CP, faible teneur en soufre, alimentation, formulation de précision alimentation, granulation alimentation). Granulation alimentation (\$ 10/t pour le mélange, ce coût compensé par une augmentation de la digestibilité des éléments nutritifs).
3. Aspects relatifs aux additifs ajoutés dans le lisier	Réduire la poussière, H ₂ S et les émissions de NH ₃ .	*Augmentation NH ₃ . Difficultés de pompage du fumier.	Beaucoup de ces produits commerciaux sur le marché pour contrôler les odeurs ont été décevants. * DE-ODORASE ®	1,5 \$/porc croissance-finition . 0,11 BEF/kg carcasse (Degré et al., 2001) 0,76 BEF/kg carcasse (Degré et al., 2001) 0,25 \$ US/porc (Jacobson et al., 1998) 1 \$ US/porc (Jacobson et al., 1998) 0,6 \$/place porc (Zhang et al., 2002) 1 \$/place (Zhang et al., 2002)
4. Aspects relatifs à la gestion liquide				
4.1. Planchers	* Réduire les émissions de NH ₃ .	Augmentation de NH ₃ et poussière (Courboulay et Guingand, 2007). Augmentation d'odeur. (Guingand, 2003).	Les modifications du plancher impliquent des interactions avec le bien-être animal. *Disparité dans la littérature quant à l'effet sur la réduction des odeurs, NH ₃ .	
4.2. Séparation sous les lattes	Réduit les émissions de NH ₃ .	Augmentation des coûts.	*Disparité dans la littérature quant à l'effet sur la réduction des odeurs, NH ₃ .	Grange existante (coût initial) 2,51 \$ CAN/porc (coût d'exploitation annuel) 0,39 \$ CAN/porc vendu, Nouvelle installation (coût initial) 1,49 \$ CAN/porc vendu (coût annuel d'exploitation) 0,39 \$ CAN/porc vendu (Predicala et al., 2007).
4.3. Caniveau	Réduire les émissions de NH ₃ , caractère hédonique, CO ₂ , la poussière.	Augmentation des coûts		
5. Aspects relatifs à la gestion solide				
5.1. Litière	Amélioration du bien-être animal. Sans production de lisier.	Augmentation de l'humidité. Complique le contrôle de la température.	*Disparité dans la littérature quant à l'effet sur la réduction des odeurs, NH ₃ , GES.	\$ 3/espace de porc (MWPS-18).

	Réduction du volume total déjection à gérer. *Diminution des odeurs.	La volatilisation d'une grande partie de l'azote pendant les processus de compostage dans la porcherie. Acquisition de stockage et de paille.	
5.2. Système <i>High-Rise</i>	Pourrait réduire la poussière, H ₂ S et les émissions de NH ₃ .	Coût élevé de la construction.	Une estimation de 280 \$ (180 \$ US) par porc a été définie, ce qui représente en moyenne une augmentation des coûts d'environ 30 % par rapport à un bâtiment sur fosse profonde conventionnelle. Les coûts d'opération sont d'environ 6 300 \$ (4 000 \$ US) par année, ce qui comprend l'électricité, le chauffage et autres activités. Une différence de 3 100 \$ (2 000 \$ US) par rapport au bâtiment conventionnel (Pednault et al., 2002).
6. Lavage d'air physico-chimique	Réduction de NH ₃ et H ₂ S.		0,64 à 1,28 \$ (1 à 2 Dfl) par m ³ d'air/h (capacité de ventilation maximale). Le coût d'entretien est d'environ 0,32 \$ (0,5 Dfl) par m ³ d'air/h (capacité maximale de ventilation) (Pednault et al., 2002).
6.1. Laveurs d'air (scrubbers)	Structure compacte, contrôle facile du pH et de la température, utilisation d'un matériau inerte, adaptation plus ou moins rapide au changement de la composition des gaz. Solution fortement alcaline (pH >12); assez évolué et performant pour contrôler les émissions de H ₂ S	Lavage d'air pour les bâtiments d'élevage reste encore limité pour des considérations de coûts et de problèmes techniques tels que la consommation d'eau et les exigences de nettoyage.	
6.2. Lavage biologique de l'air (Biofiltres, biofiltres percolateurs (<i>biotrickling filters</i>), biolaveurs (<i>bioscrubber</i>))	Réduit la poussière, H ₂ S, les émissions de NH ₃ et les COV.		<i>Biotrickling</i> (industriel). 0,05 -1,5 \$ par 1000 m ³ d'air traité sans compter les coûts en capital 0,1 - 3 \$ pour 1000 m ³ de capital lorsque l'amortissement est inclus (Deshusses et Cox., 2002) Le coût estimé de construction et d'opération pour un biofiltre traitant tout l'air d'extraction d'un bâtiment de 700 truies (sections mise bas et gestation incluses) a été estimé à 0,44 \$ (0,28 \$ US) par porcelet produit (Pednault et al., 2002). Le médium du biofiltre était constitué de tourbe de bruyère. Le coût d'investissement calculé par l'auteur est d'environ 43 \$ (60 DM) par porc sans compter les frais de fonctionnement et de main-

				d'œuvre (Pednault et al., 2002). Biofiltre allemand conçu pour une unité de 160 porcs d'engraissement. Le coût d'investissement de ce système était d'environ 74 \$ (100 DM) par porc (Norén, 1985). Son coût d'opération (électricité, entretien et réparations) était de 2,22 \$ (3 DM) par porc produit (Pednault et al., 2002).
Biofiltres	Très efficace	Dégradation relativement rapide du matériau de filtration. Problèmes d'encrassement du filtre.		
Biofiltres percolateurs	Population bactérienne pourrait être modifiée directement à l'aide de ce liquide.	Problèmes d'encrassement du filtre.		
Biolaveurs	Réduire NH_3 , le H_2S et plusieurs autres composés sulfurés. Plus grande durabilité.	Des équipements complexes, composés de deux équipements distincts.		
7. Contrôle des poussières				
7.1. Application d'huile	Contribue à la réduction des poussières, H_2S et NH_3 .	Crée un environnement huileux et gras de résidus sur le sol.		1 \$ par porc-place - 0,4 \$ par porc (Heber et al., 2004). 1,15 \$/porc (Heber et al., 1999). 1 \$ US/porc (Jacobson, 1998). 0,50 -1,50 \$/GF porc.
7.2. Traitement électrique (précipitation électrostatique, ozonation)	Réduire la concentration de poussière. S'encrasse moins vite et permet de retenir des particules plus fines que les systèmes à filtres. Diminue la charge bactériologique de l'air évacué.	L'ozone peut être toxique pour les humains et les animaux à 0,1 ppm pour 8 heures période d'exposition. Distribution homogène de l'ozone.	Recommandation pour précipitation électrostatique, la vitesse de l'air se situe entre 0,3 et 6m/s.	
7.3. Traitement mécanique (dépoussiéreur aérodynamique, filtres)	Contribue à la réduction des poussières.			
8. Traitement par plasma non thermique	Réduit les émissions de H_2S et NH_3 (de l'échelle du laboratoire).			

9. Traitement du lisier
accumulé dans une cave
à lisier

9.1. Électrique (oligolyse)	Réduction des odeurs, poussière, H ₂ S et NH ₃ .		
9.2. Refroidissement	Réduit les émissions de NH ₃	Augmentation d'odeur (porcelets sevrés) (Mol et Ogink, 2003).	
9.3. Aération	Prévenir la formation de conditions anaérobiques.		
10. Système d'évacuation de l'air des bâtiments	L'extraction basse, qui centralise l'extraction d'air, améliore la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment puisque l'air vicié ne remonte pas au niveau des animaux et des travailleurs. Les cheminées favorisent la dilution.	Ce système augmente les mouvements d'air près du lisier, ce qui aurait tendance à hausser l'émission d'ammoniac.	Soit de 15 \$ (7 £) par porc produit en engraissement. Les auteurs citent un coût de 1,40 \$ (0,61 £) par m ³ d'air/h et un coût d'entretien annuel de 0,30 \$ (0,13 £) par m ³ d'air/h (O'Neil et al., 1992).

3 IDENTIFICATION ET SÉLECTION DES TECHNIQUES DE RÉDUCTION

3.1 Méthodologie de sélection des techniques de réduction

L'étape 2 du projet visait à évaluer de façon critique les connaissances recensées et à cibler les techniques les plus prometteuses dans le contexte québécois. Les techniques ciblées seront celles qui seront implantées et testées dans un contexte expérimental.

Pour parvenir à sélectionner les techniques les plus prometteuses, un système de pointage prenant en compte six grands critères de sélection a été mis au point. Ces six grands critères sont :

- i. Sociaux et santé;
- ii. Environnement;
- iii. Utilisation des ressources;
- iv. Technique;
- v. Économique;
- vi. Agronomique.

Chacun de ces critères comportait un certain nombre de sous-questions (de deux à sept) dont la prise en compte a été jugée essentielle à la sélection (ou non-sélection) d'une technique de mitigation des odeurs au bâtiment porcin.

La grille de critères mise au point est présentée au tableau 18. Il est à noter que cette grille a été bâtie à la lumière des travaux réalisés par d'autres experts où une grille similaire devait être mise au point dans un contexte agricole (FPPQ, 2005; Laguë, 2002; Phillips et al., 1999; Rodrigues et al., 2003).

Cette grille, de même que la revue de littérature produite lors de l'étape 1, a été remise à un comité composé de cinq experts et de l'étudiant gradué affecté au projet. Ces derniers avaient pour mandat de donner une note de 1 à 5 (nombre entier) à chacune des technologies, en fonction des six grands critères établis. La note attribuée pour un critère donné devait l'être à la lumière de sous-questions spécifiques propres à chacun des critères (S1 à S5; Env1 à Env2; R1 à R3, etc.). La note a fait l'objet d'un consensus entre tous les membres du comité avant d'être fixée.

Tableau 18. Critères et sous-questions utilisés pour la sélection des technologies de réduction des odeurs à implanter lors du projet.

	Sociaux et santé	Environnement	Utilisation des ressources	Technique	Économique	Agronomique
	(S)	(Env)	(R)	(T)	(Ecn)	(A)
1	Ampleur de la réduction des odeurs au bâtiment	Impact global sur la pollution de l'air (GES, NH ₃ , H ₂ S et PM).	Ajout d'eau nécessaire?	Adaptabilité à un bâtiment et une gestion existante	Sensibilité aux coûts (main-d'œuvre, intrants, transport).	Impact sur la performance animale?
2	Possibilité (et ampleur) de la réduction des odeurs au-delà du bâtiment	Impact global sur la pollution de l'eau et du sol (charge N, P, produits chimiques, charge de bactéries, métaux lourds, etc.).	Ajout d'intrants nécessaire?	Disponibilité des équipements et infrastructures	Ampleur des coûts d'investissement, d'opération et d'entretien annuel.	Impact sur la qualité du fertilisant?
3	Ampleur pouvant être anticipée sur l'acceptabilité de la production porcine pour la population avoisinante		Ampleur des besoins en énergie non renouvelable.	Disponibilité des intrants	Durée de vie utile.	Impact sur la santé et le bien-être des animaux?
4	Impact sur la santé des travailleurs			Besoin de soutien technique		
5	Impact sur la santé de la population avoisinante			Adaptabilité à une augmentation du cheptel		
6				Facilité d'utilisation		
7				Stade de développement		

3.2 Résultat de la sélection

Les pointages moyens des experts par catégorie sont présentés au tableau 19.

Tableau 19. Résultats de l'évaluation des technologies par le comité d'experts.

Critère	Diètes	Additifs	Gestion liquide			Gestion solide		Lavage d'air		Contrôle des poussières					Traitement lisier accumulé dans cave			Propreté & Gestion	Système évacuation de l'air		
			Plancher	Sép. sous les lattes	Caniveau	Litière	High-Rise	Abs. chimique	Biologique	Huile	Trait. électrique	Trait. mécanique			Électrique (oligolyse)	Refroidissement ^[a]	Aération		Extr. basse	Centralisé	Cheminée haute
Soc.	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2
Env.	4	2	2	4	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Res.	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	1
Tech.	5	4	3	2	2	1	2	2	3	3	2	2	1	2	1	3	2	4	4	2	2
Ecn.	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	4	3	3
Agr.	2	2	3	4	2	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
TOTAL	18	15	15	17	13	14	14	13	16	14	12	12	12	12	11	14	11	16	16	15	12

^[a] En considérant un refroidissement passif

Le tableau de réponse a été rempli de façon horizontale, c'est-à-dire qu'en démarrant avec un critère donné, les technologies ont été évaluées l'une après l'autre. Cette méthode a été retenue puisqu'elle permet une évaluation relative entre les technologies. Pour chaque critère, l'évaluation s'est faite en définissant un statu quo. Le statu quo a été défini à la note 2 pour les critères « sociaux et santé », « environnement », « utilisation des ressources » et « agronomique ». Une note de 1 signifiait donc que le fait d'implanter la technologie est pire que le statu quo, et les notes 3, 4 et 5 représentent une amélioration graduelle par rapport au statu quo. Pour le critère « économique », le statu quo a été fixé à 4, puisque le fait d'appliquer une technologie coûte logiquement plus cher que de ne pas en implanter. Le critère « technique » a quant à lui été évalué en absolu, donc sans référence à un statu quo. Les trois meilleurs résultats obtenus suite à l'application de cette méthodologie sont présentés au tableau 20.

Tableau 20. Résultats obtenus pour les trois meilleurs pointages.

Pointage (sur 30)	Technologie(s)
18	Diètes
17	Séparation à la source
16	Lavage d'air biologique/propreté & gestion/ventilation par extraction basse

Le lavage d'air biologique, la propreté et la bonne gestion de même que la ventilation par extraction basse ont obtenu le même pointage. Or, le comité d'experts a jugé que le lavage d'air biologique était une technologie plus prometteuse et qu'elle devait par conséquent être favorisée par rapport aux deux autres techniques qui ont cumulé le même pointage.

À la lumière de ces résultats et des contraintes expérimentales, il a été décidé que les scénarios suivants seraient implantés en conditions d'élevage expérimental :

- Porcs alimentés par une diète dont la composition favoriserait une réduction des odeurs et des gaz (D);
- Séparation sous les lattes (gratte en « V ») (V);
- Lavage d'air biologique (B);
- Combinaison des traitements D et V;
- Témoin (conditions d'élevage standard) (T).

4 ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE DES TECHNOLOGIES

4.1 Méthodologie

4.1.1 Les chambres expérimentales

Le dispositif expérimental utilisé pour cette expérimentation est 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 sciences animales de Deschambault (CRSAD).

Le laboratoire BABE est composé de locaux permettant de mener à bien des expérimentations à échelle réduite avec des animaux. Il consiste principalement en douze chambres expérimentales (figure 9) complètement indépendantes les unes des autres et de même dimension (1200 mm de largeur, 2440 mm de profondeur et 2440 mm de hauteur).



Figure 9. Vue des chambres expérimentales

Chacune des chambres est hermétique afin de prévenir l'échange d'air entre les différentes pièces. Chaque chambre est ventilée, chauffée et éclairée séparément. Le revêtement intérieur des chambres est fait de contreplaqué peint qui est recouvert d'une feuille de polyéthylène sur la demie inférieure du mur afin de protéger les surfaces du lisier. Chaque chambre possède son propre dalot aménagé selon le traitement alloué à la chambre. Le plancher est composé de lattes de béton de type commercial et chacune des chambres possède son propre système de gestion du lisier. Une photo de l'intérieur se trouve à la figure 10.



Figure 10. Vue d'une chambre expérimentale

La biosécurité est assurée par une entrée de type danois 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. De plus, les produits de nettoyage, de même que le matériel nécessaire à l'alimentation et aux soins des animaux sont entrés dans le laboratoire avant le début de l'élevage de sorte qu'il n'y ait pas de nouveaux matériels qui entrent dans le laboratoire en cours d'élevage.

Enfin, une salle d'acquisition de données et une aire de manutention sont intégrées au laboratoire. Les différents espaces sont illustrés à la figure 11.

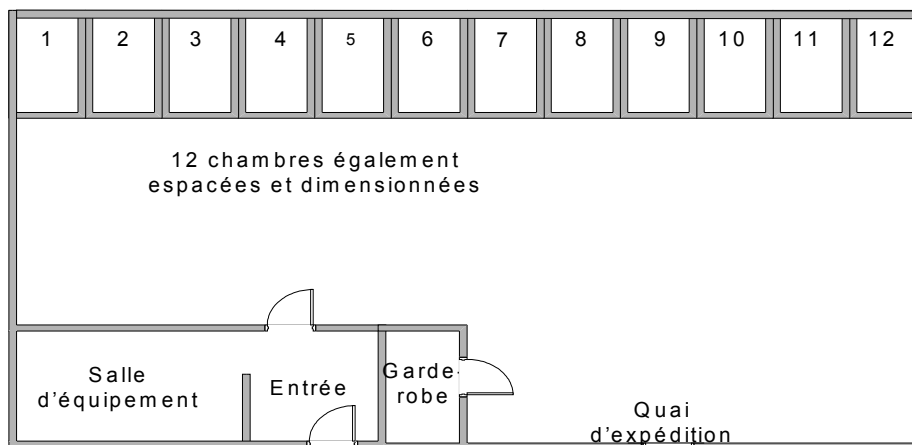


Figure 11. Vue générale de l'aménagement des douze unités expérimentales



Figure 12. Circuit de ventilation et de chauffage

4.1.2 Dispositif expérimental et description des technologies

4.1.2.1 Mise en place des technologies

L'étape 2 du projet a permis de sélectionner les technologies de réduction les plus prometteuses devant faire l'objet d'essais en porcherie expérimentale.

No	Traitement	Sigle	Description
1	Diète	D	Porcs alimentés par une diète optimisée afin de réduire les odeurs.
2	Séparation sous les lattes avec gratte en « V »	V	Gratte en « V » permettant de séparer les phases solides et liquides sous les lattes.
3	Séparation sous les lattes avec gratte en « V » et diète	V+D	Porcs alimentés par une diète optimisée afin de réduire les odeurs et séparation sous les lattes par une gratte en « V » permettant de séparer les phases solides et liquides sous les lattes.
4	Biofiltration de l'air	B	Biofiltre percolateur dont le lit filtrant est un matériau inorganique. L'air contaminé des chambres témoins sera dirigé à travers ce biofiltre situé à l'extérieur de ces chambres.

Un traitement témoin (aucune technologie implémentée) qui utilise un système d'évacuation des déjections de type « *pull plug* » (vidange une fois par semaine) sert de référence.

Douze chambres d'élevage étaient disponibles pour cette expérience. Les trois traitements et les traitements témoins ont été assignés de façon complètement aléatoire. La structure des traitements est donc qualitative. L'expérimentation comprend deux blocs, c'est-à-dire que l'élevage de porcs a été répété pour deux élevages successifs. La disposition des traitements pour l'élevage 1 et 2 est présentée à la figure 13.

Élevage 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T+B	D	V	V+D	V+D	V	V	V+D	T+B	D	D	T+B

Élevage 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T+B	D	V+D	V+D	V	V+D	V	V	T+B	D	D	T+B

Figure 13. Disposition des traitements dans chacune des chambres

4.1.2.2 Description des technologies expérimentales

4.1.2.2.1 Diète (D)

Six chambres ont reçu la diète commerciale et six chambres la diète « traitement ». Dans les deux cas, les porcs ont été nourris ad libitum et la moulée a été administrée selon la procédure établie. La composition des deux types de moulée (moulée commerciale et moulée « traitement ») est présentée au tableau 21.

Le maïs grain de la diète optimisée a été réduit étant donné l'ajout de coque de soya. L'ajout de coque de soya, quant à lui, se justifie parce qu'il s'agit d'une source de fibres diététiques (différente de l'amidon) (NSP) qui favorise le passage de l'azote vers les fèces plutôt que vers l'urine, ce qui diminue le potentiel de génération d'ammoniac, entre autres choses. Toutefois, comme la coque de soya est moins énergétique que le maïs grain, du gras animal a été ajouté afin de balancer le contenu énergétique.

Tableau 21. Composition des deux types de diètes qui seront administrées lors de l'expérimentation.

Ingrédients	Quantité (%)	
	Type de diète	
	Diète commerciale (témoin)	Diète traitement (optimisée pour la réduction d'odeur)
Maïs grain	67,690	54,240
Tourteau soya	15,000	8,000
Blé	15,000	15,000
Gras animal	0,000	5,000
Coques de soya	0,000	15,000
Pierre à chaux	0,850	0,700
D. Phosphate	0,400	0,400
Chlorure de calcium	0,000	0,150
Lysine - HCL	0,150	0,350
DL - Méthionine	0,000	0,030
L - Tryptophane	0,000	0,030
L - Thréonine	0,000	0,150
NatuPhos5000 liquide (phytase)	0,015	0,015
Porzyme9310 granulaire	0,000	0,040
Choline 60	0,095	0,095
Prémix (Vitamine et minéraux)	0,500	0,500
NaCl	0,300	0,300
TOTAL (%)	100,0	100,0
Contenu en protéine (%)	15	12
TOTAL (tonnes)	3,0	3,0

Le tourteau de soya constitue une source de protéine permettant la réduction de la teneur en protéine brute. Selon la littérature consultée, cette réduction de protéine devrait permettre de limiter les émissions d'odeur.

La lysine de la diète optimisée est complémentée de HCl afin de réduire le pH. En effet, un pH plus faible permet de maintenir l'ammoniac sous la forme de NH_4^+ limitant ainsi sa volatilisation en NH_3 dans l'air. Des acides aminés synthétiques, méthionine et tryptophane ont été ajoutés dans la diète optimisée afin de compenser le manque en acide aminé occasionné par la diminution de la teneur en protéine. Toutefois, ils ont été ajoutés seulement pour satisfaire les besoins minimaux et pas davantage, car ces acides aminés sont soufrés, ce qui a un effet négatif sur les odeurs. De plus, l'enzyme commercial *Porzyme* a été

ajouté à la diète afin d'améliorer la digestibilité de la ration, ce qui devait avoir un effet positif sur la diminution des émissions d'odeur.

4.1.2.2 Gratte en « V »

Ce système est composé d'une gratte et d'un dalot 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 » (figure 14). Six chambres ont été aménagées avec une gratte en « V ». La gratte était actionnée une fois par jour, et ce, tous les jours.



Figure 14. La gratte en « V »

4.1.2.3 Biofiltre percolateur

Trois unités de traitement de l'air (UTA 1, 2 et 3) ont été développées par une équipe de recherche de l'IRDA (Belzile et al., 2010) afin de les connecter aux trois chambres témoins. Chaque unité (figure 15) a un volume de traitement de 0,8 m³ et utilise un matériau synthétique comme média de filtration. Un système de recirculation du liquide assure le taux d'humidification nécessaire à la masse biofiltrante. Le débit d'air traité a varié entre 14 et 75 l/s.



Figure 15. Unité expérimentale pour le traitement de l'air (UTA)

4.1.3 Préparation des chambres

Une procédure de préparation des chambres a été mise au point en considérant les aspects suivants :

- Lavage complet des chambres, de la grande salle et fumigation;
- Nettoyage des lignes d'eau d'alimentation (vidange prolongée);
- Nettoyage des lignes pour l'échantillonnage d'air;
- Nettoyage des conduites de ventilation;
- Mesure du bruit de fond;
- Installation des sondes et des cassettes de poussière.

4.1.4 Animaux et alimentation

Une procédure et un cahier de charge concernant les animaux et l'alimentation ont été élaborés en tenant compte des points suivants :

- Arrivée des animaux;
- Alimentation des animaux;
- Abreuvement des animaux.

4.1.5 Poids total des porcs et performances

Les porcs ont été pesés chaque semaine. La précision de 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. Ceci a été fait dans le but d'évaluer les émissions quotidiennes par kilogramme de porc et d'analyser les performances zootechniques.

4.1.6 Contrôle de l'ambiance

- **Température.** La température de consigne a été fixée à 21 °C en début d'élevage, et diminuée de 0,3 °C deux fois par semaine jusqu'à l'atteinte de 18 °C. La température était alors maintenue à 18 °C jusqu'à la fin d'élevage. La température et l'humidité relatives ont été mesurées grâce à des sondes (Model CS500, Campbell Scientific inc., Canada Corp.) installées dans chacune des chambres, près des sorties d'air. Ces dernières sont reliées à un système d'acquisition de données, lequel prend les mesures en continu et fournit une moyenne toutes les quinze minutes.
- **Ventilation.** Le système de ventilation est indépendant pour chaque chambre et comprend un ventilateur d'extraction à vitesse variable pour chacune d'elles. L'entrée d'air principale est commune pour toutes les chambres, puis se subdivise en 12 afin d'alimenter chacune d'entre elles en air frais. Avant cette subdivision, une unité centrale de chauffage permet de chauffer l'air en période froide. Une seconde unité de chauffage est installée pour chacune des subdivisions afin de permettre un ajustement optimal de la température de chacune des chambres. Le débit de ventilation est calculé en mesurant la différence de pression statique de l'air qui se trouve dans le conduit en aval de chaque chambre. Pour ce faire, une sonde à pression était combinée à un diaphragme à orifice contrôlé (*Iris Damper*, 204 mm de diamètre, *Continental fan manufacturer inc.*, modèle 200 original, précision 5 %), et ce, pour chacune des chambres. Les sondes mesurant la pression statique sont reliées au système d'acquisition de données et la moyenne était fournie aux quinze minutes.
- **Luminosité.** Le système d'éclairage fournit une intensité de 70 lux. La période d'éclairage a été de douze heures, soit de 7 h à 19 h.

4.1.7 Gestion des déjections

Il y a deux types de gestion des déjections : avec et sans séparation. Les six systèmes avec séparation sont ceux comportant la gratte en « V ». Les systèmes avec la gratte en « V » ont été raclés chaque jour, une fois par jour. La vidange pour les systèmes avec gratte en « V » a été faite tous les lundis, mercredis et vendredis. La vidange pour les systèmes sans séparation a été faite une seule fois par semaine, soit le mercredi.

4.1.8 Mesure des gaz

La mesure des gaz a été effectuée à l'aide du laboratoire mobile MESANGES^{MC}. L'unité mobile permet la mesure en continu de différents gaz. Les gaz mesurés étaient le NH₃, H₂S, CO₂, CH₄ et le N₂O. Des tubes d'échantillonnage en Téflon

relient chacune des chambres du BABE au laboratoire mobile. Dans chacune des chambres, un filtre en fibre cellulosique a été apposé à l'extrémité de ces tubes afin d'éviter que des particules de poussière s'infiltrant et qu'elles endommagent les équipements d'analyse de gaz. Dans les chambres, les tubes ont été aménagés de façon à ce que le point de prélèvement soit identique dans chacune des chambres, soit près de la sortie d'air. Ces tubes sont placés dans un conduit de PVC qui est gardé à 35 °C afin d'empêcher la condensation pouvant se produire en période froide.

Les échantillons ont été prélevés séquentiellement et acheminés en continu jusqu'au système d'analyse. Une valve rotative à seize positions permettait de sélectionner la source de gaz à analyser. Un système d'acquisition de données permettait d'enregistrer les concentrations mesurées en continu.

Le CO₂, CH₄ et N₂O ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse (Varian, modèle 3600, Walnut Creek). La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique a été la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q. Le méthane a été quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le gaz carbonique a été également quantifié par le FID mais après réduction en méthane avec l'hydrogène sur un catalyseur de nickel. Finalement, le protoxyde d'azote a été mesuré avec un détecteur à capture d'électrons (ECD). L'ammoniac (NH₃) a été analysé par spectroscopie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR, Seimens, modèle Ultramat 6E, Munich, Allemagne, précision 1 %).

Le H₂S a été mesuré par un analyseur M101E de Teledyne API (USA). Cet instrument mesure, par fluorescence ultraviolette, le dioxyde de soufre (SO₂) produit par l'oxydation sélective du H₂S avec un convertisseur catalytique à 315 °C. Une unité de dilution (M700, Teledyne API, USA) a été connectée à une bonbonne de H₂S de concentration certifiée (1,01 ppm) et à un tube de diffusion (210 ng min⁻¹ d'ammoniac; WD633, VICI Metronics, USA). L'appareil permettait de mesurer des concentrations de H₂S précises à l'intérieur de l'intervalle 15 à 2000 ppb. L'air sec requis pour le mélange provenait d'un réservoir séparé (Zero 2.0, BOC, Canada). L'erreur instrumentale pour la concentration des gaz mesurés par le chromatographe en phase gazeuse était : pour le CO₂ : ± 30 ppm; CH₄ : ± 0,5 ppm; N₂O : ± 0,1 ppm. L'erreur instrumentale pour la concentration de NH₃ était de ± 1,5 ppm.

4.1.9 Mesure des odeurs

Les concentrations en odeur ont été mesurées à partir d'un olfactomètre à dilution dynamique à choix forcé conformément au Standard européen NF EN 13725 (European Committee for Standardization, 2003). Pour ce faire, le laboratoire mobile d'olfactométrie de l'IRDA sera utilisé. Ce dernier consiste en un olfactomètre à dilution dynamique comptant six postes de flairage installé dans une remorque fermée de 7,32 m de longueur. L'échantillonnage des odeurs

qui ont fait l'objet d'une évaluation par les panélistes a été réalisé dans des sacs de TedlarTM remplis de l'air des différentes chambres. L'échantillonnage dans les sacs TedlarTM a été possible grâce à un poumon à pression négative.

4.1.10 Calcul des émissions

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

$$E_{\text{gaz}} = \frac{\Delta C_{\text{gaz}} \times \rho_{\text{gaz}} \times Q}{m_{\text{porc}}} \quad (1)$$

où E_{gaz} représente les émissions du gaz ($\text{kg}_{\text{gaz}}/\text{min}-\text{kg}_{\text{porc}}$), ΔC_{gaz} est la différence en concentration du gaz dans l'air à la sortie de la chambre avec celle à l'entrée de la chambre (ppmv), ρ_{gaz} est la masse de gaz par volume d'air ($\text{m}^3_{\text{gaz}}/\text{m}^3_{\text{air}}$), Q représente le débit de ventilation dans la chambre ($\text{m}^3_{\text{air}}/\text{min}$) et m_{porc} est la masse totale des porcs dans la chambre. En prenant en compte la variation de la densité par rapport à la pression et à la température (eq. 2), l'équation 1 devient (eq. 2) :

$$V_{S\text{air}} = \frac{287T}{P_{\text{atm}} - P_v} \quad (2)$$

$$E_{\text{gaz}} = \frac{\Delta C_{\text{gaz}} \times V_{S\text{air}} \times \frac{m_{\text{gaz}}}{m_{\text{air}}} \times Q}{m_{\text{porc}}} \quad (3)$$

où $V_{S\text{air}}$ est le volume spécifique du gaz ($\text{m}^3_{\text{gaz}}/\text{kg}_{\text{gaz}}$), P_{atm} représente la pression atmosphérique (Pa), P_v est la pression de vapeur (Pa), T représente la température (Kelvin), m_{gaz} est la masse du gaz (kg_{gaz}) et m_{air} est la masse de l'air.

Les émissions d'odeur ont été obtenues à partir de l'équation 4. Où E_{odeur} représente l'émission d'odeur ($\text{UO}/\text{h}-\text{kg}_{\text{porc}}$), C_{odeur} est la concentration d'odeur de l'échantillon d'air et 60 égale $1/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h}$ (1/h)

$$E_{\text{odeur}} = \frac{C_{\text{odeur}} \times Q \times 60}{m_{\text{porc}}} \quad (4)$$

4.1.11 Analyse statistique

L'analyse de la variance est basée sur un modèle complètement aléatoire. Cependant, il faut préciser que dû à ce que les trois unités de filtration de l'air (B) ont été installées côte à côte à la sortie des trois dernières chambres, seuls les traitements D, V et V+ D ont été assignés de façon complètement aléatoire aux neuf premières chambres.

La régie conventionnelle (T) a été assignée aux trois dernières chambres de sorte que les émissions de gaz avant le passage dans le biofiltre représentent les valeurs de la chambre témoin. Deux élevages de porcs ont été installés successivement dans les chambres pendant quatre semaines en s'assurant que le poids total des animaux était uniforme dans toutes les chambres. Ce qui a permis d'avoir six répétitions par traitement.

L'analyse statistique a été réalisée en deux parties. La première permet de comparer les traitements D, V et V+D à la régie conventionnelle (T) et la deuxième permet de comparer les émissions de gaz des chambres témoins avant et après le passage dans le biofiltre (B).

Selon le dispositif de la première partie, les effets fixes du modèle sont le traitement (T, D, V, V+D), la semaine (1, 2, 3, 4) et l'interaction traitement×semaine. Les effets aléatoires sont l'élevage, l'interaction élevage×traitement×répétition due à la variation entre les chambres pour chaque élevage et l'erreur résiduelle. Il a été supposé que les effets aléatoires sont mutuellement indépendants et obéissent à une loi normale de moyenne 0. Il a également été supposé que les deux élevages ainsi que les observations des différentes chambres sont indépendants mais que les mesures successives (à chaque semaine) sur une même chambre pour un même élevage sont corrélées. Une matrice de variance-covariance de type CS (*compound symmetry*) a donc été ajustée pour modéliser la structure des corrélations entre ces observations. Les degrés de liberté ont été calculés à l'aide de l'approximation de Satterthwaite qui tient compte des estimateurs des composantes de variance et des données manquantes. Le tableau 22 présente les sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de cette partie.

Tableau 22. Sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de la première partie.

Source de variation	Effet	Degrés de liberté au numérateur	Degrés de liberté au dénominateur pour les tests sur les effets fixes
Élevage	Aléatoire	1	
Traitement	Fixe	3	19
Élevage*trait*rep (erreur A)	Aléatoire	19	
Semaine	Fixe	3	60
Semaine*traitement	Fixe	9	60
Erreur résiduelle	Aléatoire	59	
Total		95	

Pour comparer les émissions de gaz des chambres témoins avant et après le passage dans le biofiltre (deuxième partie), un modèle avec effets fixes et effets aléatoires a été considéré comme dans la première partie, sauf que le traitement ne comporte que deux modalités, soit avec biofiltre et sans biofiltre (témoin). De plus, l'hypothèse que les mesures avant et après le passage des gaz d'une même chambre dans le biofiltre sont corrélées a été supposée. La structure de ces corrélations peut être différente de celles qui existent entre les mesures d'une même chambre et d'un même traitement d'une semaine à l'autre. Le tableau 23 présente les sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de cette partie.

Tableau 23. Sources de variation et degrés de liberté pour l'analyse de variance de la deuxième partie.

Source de variation	Effet	Degrés de liberté au numérateur	Degrés de liberté au dénominateur pour les tests sur les effets fixes
Élevage	Aléatoire	1	
Traitement	Fixe	1	9
Élevage*trait*rep (erreur A)	Aléatoire	9	
Semaine	Fixe	3	30
Semaine*traitement	Fixe	3	30
Erreur résiduelle	Aléatoire	30	
Total		48	

4.2 Résultats et discussion

4.2.1 Performances zootechniques

Afin de comparer adéquatement les traitements par rapport à leurs impacts sur l'efficacité des émissions de gaz et d'odeur, 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 les émissions 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.

Le poids initial et le poids final des cochons ont été 60,4 kg et 90,25 kg respectivement. Le tableau 24 présente les résultats des performances zootechniques soit, le gain moyen quotidien (GMQ), la prise alimentaire (PA) et la conversion de l'aliment (CA). Puisque les données concernant les performances zootechniques du traitement « biofiltre » proviennent de la même chambre que le traitement témoin, les résultats des performances pour le biofiltre sont identiques et ne sont pas inclus dans le tableau 24.

Tableau 24. Gain moyen quotidien, consommation moyenne journalière et conversion alimentaire en fonction des traitements.

Traitement	GMQ		PA		CA	
	kg _{gain} /j-porc	Pr > t	kg _{moulée} /j-porc	Pr > t	kg _{moulée} /kg _{gain}	Pr > t
Témoin	1,01 a	0,005	3,07 a	0,0022	3,1 a	<,0001
Diète	1,03 a	0,005	2,58 b	0,003	2,6 b	<,0001
Gratte en « V »	1,05 a	0,004	2,72 b	0,0028	2,6 b	<,0001
Diète + Gratte en « V »	0,99 a	0,005	2,68 b	0,0028	2,8 a,b	<,0001

GMQ, gain moyen quotidien; PA, prise alimentaire; CA, conversion de l'aliment

L'analyse statistique n'indique aucun effet de la phase de croissance des porcs sur le gain moyen quotidien, ce qui garantit l'absence d'effets préjudiciables des traitements sur la performance des animaux. Néanmoins, les GMQ moyens obtenus (0,99 – 1,01 kg_{gain}/j-porc) sont légèrement plus grands que la valeur moyenne du Québec (0,795 kg_{gain}/j-porc). Cette différence pourrait être expliquée par le nombre restreint de porcs dans une même chambre permettant un meilleur accès à l'alimentation et une diminution de la compétition entre les porcs.

La conversion d'aliments chez les porcs de la présente étude a été représentative de la moyenne recensée à Québec (2,66 kg_{aliment}/kg_{gain}). Cependant, les porcs du traitement témoin ont présenté significativement une efficacité plus petite au moment de la conversion de l'aliment. Cette différence est aussi significative dans la prise alimentaire. Toutefois, étant donné que le taux de gain quotidien est non significatif, il a été considéré que les traitements n'ont pas d'effet sur les performances.

Il est à noter qu'il n'y a pas eu de différences significatives dans l'interaction traitement*semaine pour les trois variables précédentes.

4.2.2 Ventilation

Le débit de ventilation a été calculé pour chacune des chambres. Le débit moyen pour chaque semaine et chaque traitement est présenté à la figure 16.

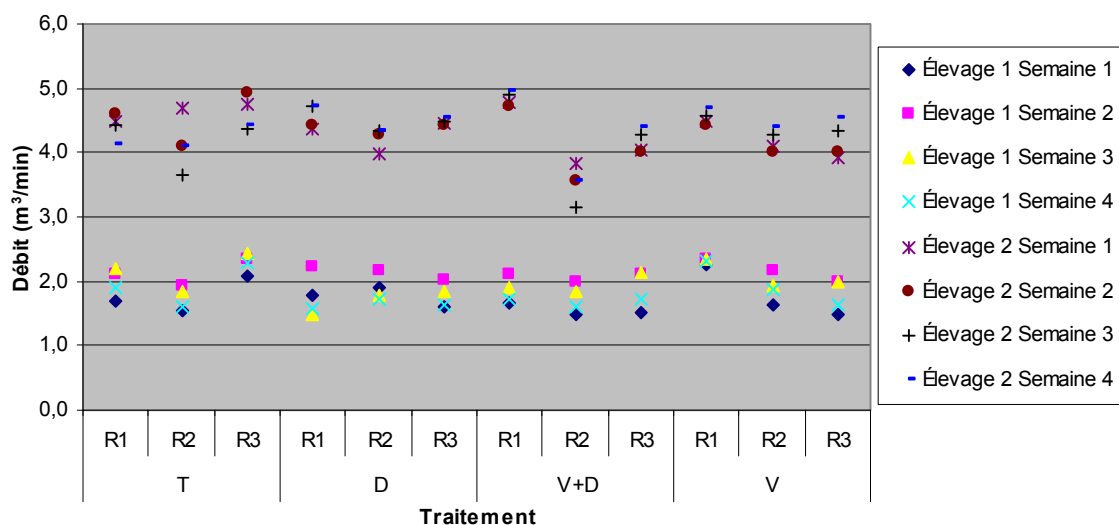


Figure 16. Comparaison de la ventilation pour chaque traitement évalué

La ventilation a été similaire pour tous les traitements de chacun des élevages. Le débit moyen a été de $1,9 \pm 0,08$ et de $4,3 \pm 0,11$ m³/min pour le premier et le deuxième élevage respectivement. Un seul groupe a eu une tendance atypique, soit la répétition 2 du traitement V+D au deuxième élevage. Toutefois, étant donné que les valeurs d'émission calculées sont basées sur six répétitions au total, cet effet n'a pas de répercussions affectant les résultats finaux. Basé sur ces constats, il peut être conclu que la ventilation des chambres n'a pas affecté les traitements expérimentaux.

4.2.3 Observations générales

Les émissions de gaz ont été mesurées de façon continue pendant les quatre semaines de chaque élevage. Ces mesures ont été compilées pour avoir une mesure cumulative unique par chambre, par semaine, dans l'analyse statistique.

Un modèle linéaire mixte a d'abord été ajusté à l'aide de la procédure PROC MIXED de SAS pour analyser les effets des traitements sur les émissions de gaz et d'odeur. Les effets fixes du modèle sont le traitement (T, D, V, V+D), la semaine (1, 2, 3, 4) et l'interaction traitement×semaine. Les effets aléatoires sont l'élevage, l'interaction élevage×trait×rep due à la variation entre les chambres pour chaque élevage et l'erreur résiduelle.

Il a été supposé que les effets aléatoires sont mutuellement indépendants et obéissent à une loi normale de moyenne 0. Il a également été supposé que les deux élevages ainsi que les observations des différentes chambres sont indépendants mais que les mesures successives (à chaque semaine) sur une même chambre pour un même élevage sont corrélées. Une matrice de variance-covariance de type CS (*compound symmetry*) a donc été ajustée pour modéliser la structure des corrélations entre ces observations.

Les degrés de liberté ont été calculés à l'aide de l'approximation de Satterthwaite qui tient compte des estimateurs des composantes de variance et des données manquantes.

La distribution des observations n'était pas normale pour tous les types d'émission mesurés selon les graphiques, à savoir, le sulfure d'hydrogène (H₂S). L'analyse statistique des émissions de H₂S a alors suivi la procédure GLIM MIX.

Pour comparer les émissions de gaz des chambres témoins avant et après le passage dans le biofiltre, il a été considéré un modèle avec effets fixes et effets aléatoires où le traitement ne comporte que 2 modalités, soit avec biofiltre et sans biofiltre (témoin). De plus, l'hypothèse considérant que les mesures avant et après le passage des gaz d'une même chambre dans le biofiltre sont corrélées a été assumée. La structure de ces corrélations peut être différente de celles qui existent entre les mesures d'une même chambre et d'un même traitement d'une semaine à l'autre.

Il est à noter que, pour chacun des gaz analysés, les émissions par élevage correspondent à la moyenne arithmétique des données, tandis que la valeur moyenne des élevages est calculée suite à l'analyse statistique.

4.2.4 Émission de méthane (CH₄)

La figure 17 présente la valeur moyenne des émissions de CH₄ de chaque élevage et de chaque technologie évaluée. L'émission moyenne de CH₄ du traitement témoin (1,28 mg/h·kg_{porc}) correspond à la valeur moyenne pour le Québec, cité par Hamelin et al. (2009) (1,16 mg/h·kg_{porc}¹).

¹ Selon Hamelin et al. (2009) l'émission moyenne de CH₄ au Québec est de 2,26 g/jour-porc pour des porcs à l'étape croissance-finition.

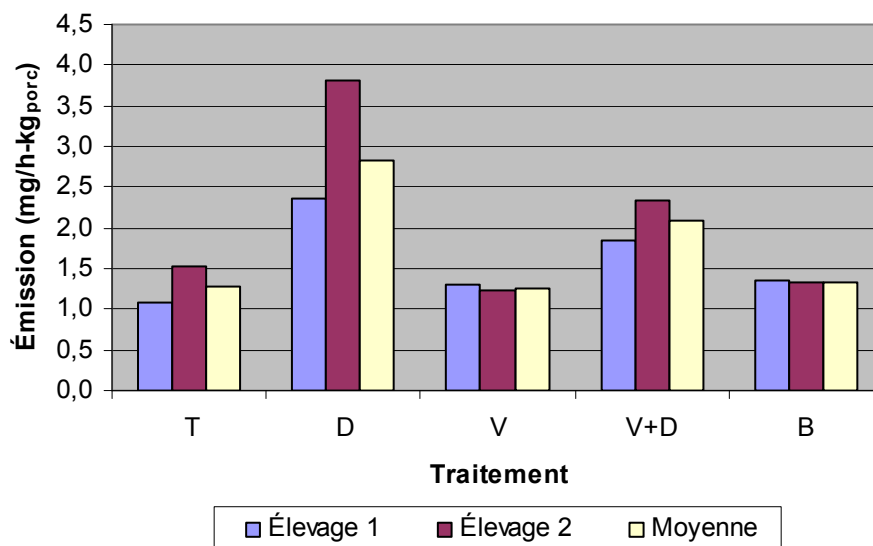


Figure 17. Émissions de CH₄ pour les traitements évalués

Dans ce cas, aucun des traitements n'a réduit les émissions de CH₄, au contraire, elles ont augmenté. En effet, les résultats obtenus concernant l'émission de CH₄ pour la diète (2,8 mg/h-kg_{porc}) et pour la combinaison « V+D » (2,1 mg/h-kg_{porc}) sont plus élevés et significativement différents ($P < 0,05$) que ceux du traitement témoin (1,28 mg/h-kg_{porc}). Quoique plus élevées que les autres traitements, ces valeurs sont dans le même ordre de grandeur que celles retrouvées dans la littérature (2,42 mg/h-kg_{porc} (Gallman et Hartug, 2000)), cette différence est donc difficile à expliquer.

Lors de l'analyse de l'évolution des émissions de CH₄, tous les traitements montrent le même patron avec peu de différences au cours des semaines. En effet, l'effet « traitement × semaine » est non significatif.

4.2.5 Émission d'ammoniac (NH₃)

Dans le cas de l'ammoniac (figure 18), contrairement au méthane, les technologies évaluées ont toutes présenté des réductions significatives ($P < 0,05$) se situant entre 36 et 79 % par rapport au traitement témoin. La gratte en « V » a été la technologie ayant la réduction la moins importante (36 %), tandis que les technologies restantes (D, V+D et B) ont présenté des atténuations d'odeur de 63, 79 et 77 % respectivement, sans différences significatives.

Similairement aux émissions de CH₄, l'évolution du dégagement de NH₃ suit un patron caractérisé par la présence de valeurs homogènes tout au long de la période d'expérimentation, sauf à la semaine 4, où une légère augmentation des émissions peut être observée pour toutes les technologies.

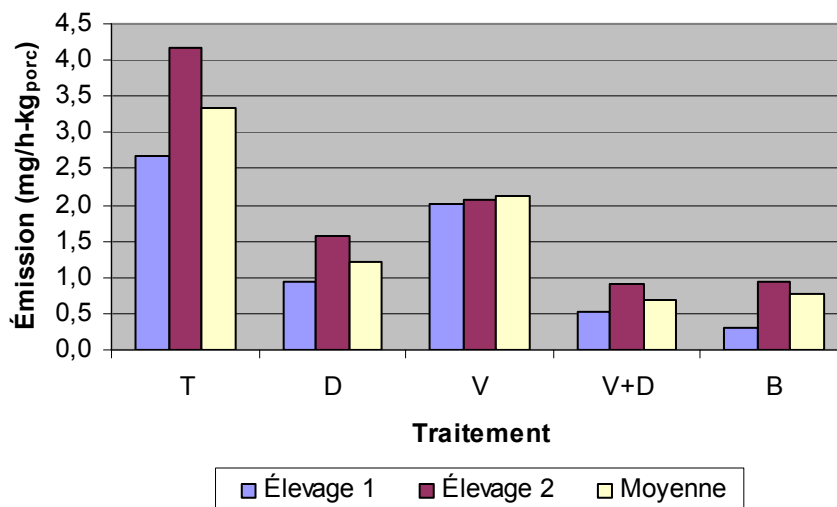


Figure 18. Émissions de NH_3 pour les traitements évalués

4.2.6 Émission de dioxyde de carbone (CO_2)

La figure 19 illustre les valeurs obtenues relativement aux émissions de CO_2 qui se situent entre 548 et 701 mg/h/kg_{porc}. Il est à noter que les émissions issues du traitement témoin sont dans le même ordre de grandeur que les émissions moyennes au Québec obtenues par Hamelin et al. (2009) (720 mg/h/kg_{porc}).

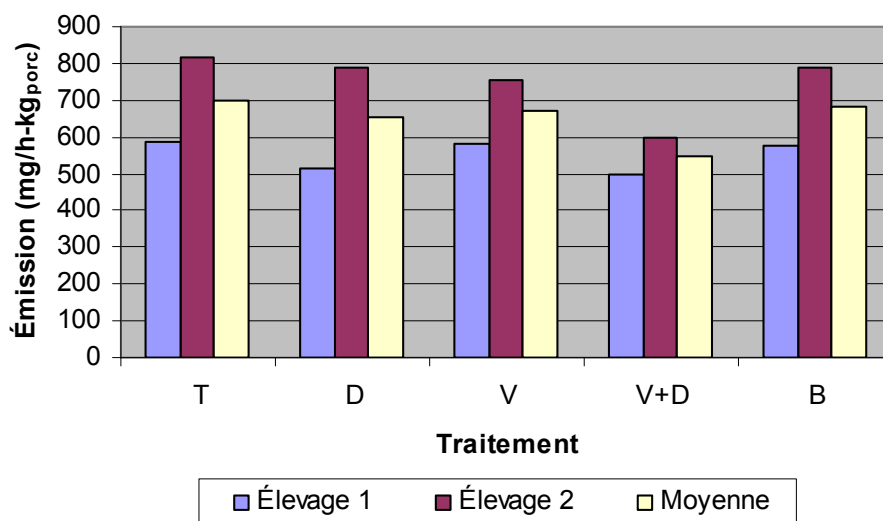


Figure 19. Émissions de CO_2 pour les traitements évalués

Les technologies ici évaluées n'ont pas réduit les émissions de CO₂. En effet, les différences entre les traitements, suite à l'analyse statistique, ne sont pas significatives ($P > 0,05$). Ce résultat est tout à fait normal dû au fait que 96 % du dégagement de CO₂ provient de la respiration des animaux et le 4 % restant est produit par la décomposition des déjections (Marquis et Marchal, 1998). En conséquence, les effets d'atténuation des traitements n'affectent pas les émissions de ce gaz.

L'évolution des émissions de CO₂ suit un patron caractérisé par des émissions plus importantes dans la semaine 2 et moins considérables dans la semaine 3.

4.2.7 Émission d'oxyde nitreux (N₂O)

Les émissions de N₂O issues du biofiltre percolateur (0,31 mg/h·kg_{porc}) sont significativement différentes du traitement témoin (0,07 mg/h·kg_{porc}) et des autres technologies évaluées (entre 0,07 et 0,08 mg/h·kg_{porc}). La figure 20 illustre cet effet. Cette augmentation pourrait être associée à une amplification des phénomènes de nitrification-dénitrification dans les unités de traitement de l'air.

Les émissions de N₂O ont suivi un patron caractérisé par l'augmentation notable à la fin de la période de l'élevage (semaine 4). Cependant, pour le biofiltre, les émissions les plus importantes se sont présentées à la deuxième semaine,

La diète, la grappe en « V » et la combinaison de ces deux derniers traitements ont présenté des réductions d'émission de N₂O respectivement de 64, 49 et 67 % par rapport au témoin. Toutefois, étant donné que les lectures de concentrations sont peu élevées (~0,02 ppm) et que l'erreur instrumentale est plus grande ($\pm 0,1$ ppm), il peut être conclu que les émissions de N₂O sont négligeables pour tous les traitements.

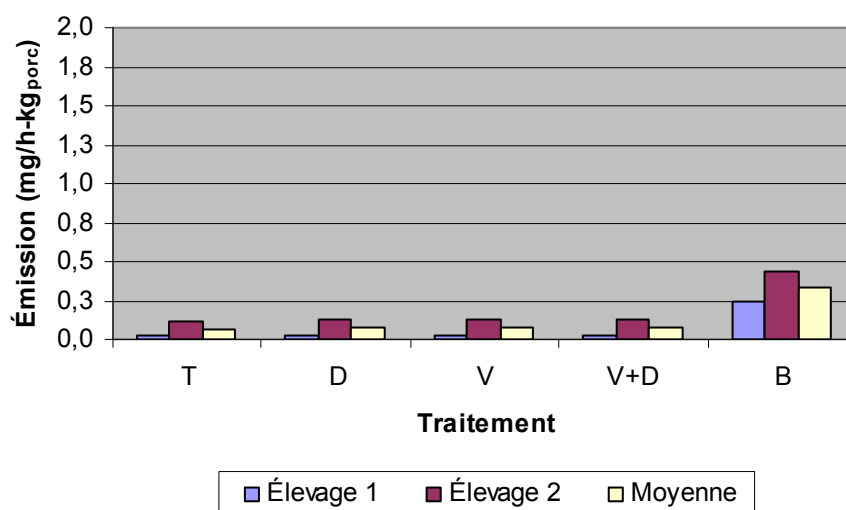


Figure 20. Émissions de N₂O pour les traitements évalués

4.2.8 Sulfure d'hydrogène (H₂S)

Les émissions de H₂S obtenues sont présentées à la figure 21. La gratte en « V », la combinaison V+D et le biofiltre percolateur ont apporté des réductions significatives se situant entre 47 et 62 % par rapport aux émissions du traitement témoin, contrairement aux réductions de la diète qui ne sont que de 3 %.

Les traitements ne montrent pas de patron commun d'émission de H₂S tout au long des quatre semaines d'expérimentation à l'exception de la gratte en « V » et de la combinaison V+D, qui partagent le même patron. Ce dernier effet peut être dû à une action de réduction dominante de la gratte en « V » pour les émissions de H₂S du traitement V+D.

Il est à noter que la moyenne des émissions de H₂S est encore plus faible que celle du N₂O, se situant entre 0,008 et 0,023 mg/h·kg_{porc}. De plus, les données n'ont pas montré une distribution statistique normale, ce qui pourrait être expliqué par le faible ordre de grandeur des données recueillies.

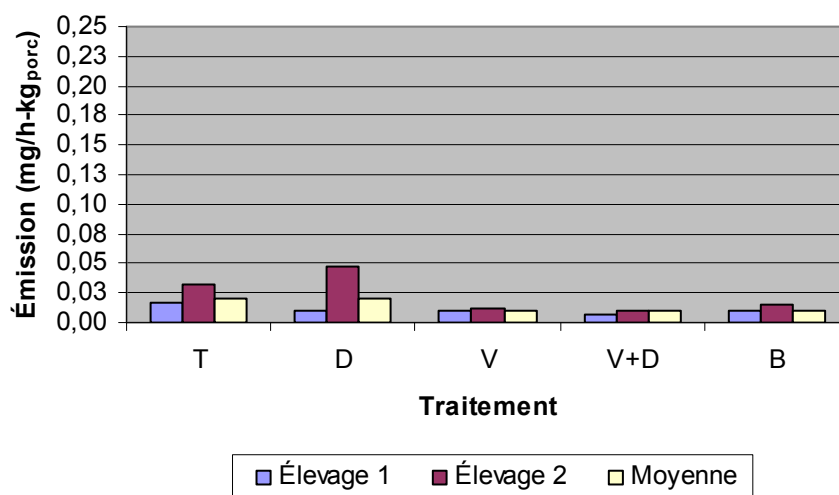


Figure 21. Émissions de H₂S pour les traitements évalués

4.2.9 Émission d'odeur

Selon la figure 22, le traitement avec le filtre percolateur a été la technique offrant la plus grande réduction d'odeur (59 %), suivi de la combinaison « V+D » et de la gratte en « V » (20 et 19 % respectivement). Cependant, le biofiltre a été la seule technique en réduire les émissions d'odeur de façon significative (P<0,05). La réduction d'émission d'odeur pour la diète n'a été que de 3 %. Ces résultats confirment les observations apportées par Le et al. (2006) concernant

l'effet de la diète sur la réduction des odeurs. D'ailleurs, il est démontré à nouveau que les émissions de NH_3 ne sont pas en lien direct avec les émissions d'odeur.

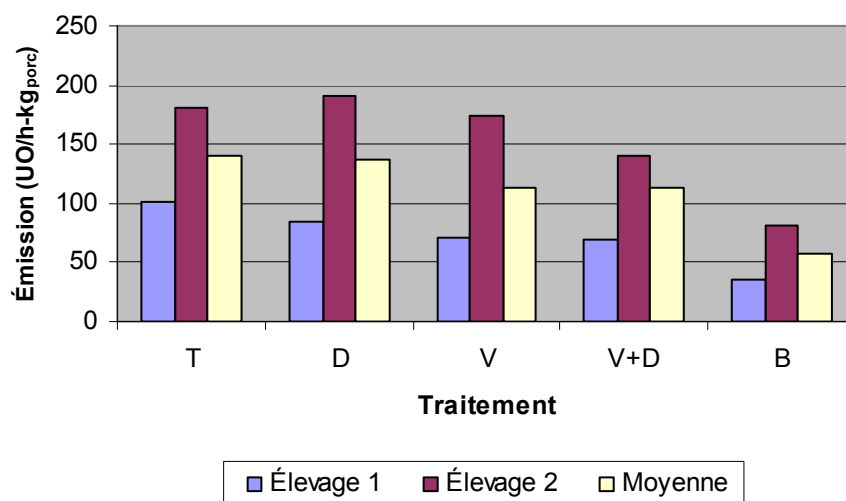


Figure 22. Émissions d'odeur pour les traitements évalués

4.2.10 Résumé des résultats expérimentaux

Le tableau 25 résume les émissions de gaz et d'odeur obtenues. Suite aux résultats et discussions présentés précédemment, il peut être conclu que dans le cadre de l'implantation de technologies de réduction des émissions de gaz et d'odeur, l'impact est plus important sur le CH_4 , le NH_3 et les odeurs. En effet, l'ordre de grandeur des émissions de N_2O et H_2S est très faible et les émissions de CO_2 ne sont pas reliées principalement qu'à la respiration des animaux.

Tableau 25. Résultats des émissions de gaz et d'odeur.

Traitement	CO_2	CH_4	N_2O mg/h·kg _{porc}	NH_3	H_2S^*	Odeur UO/h·kg _{porc}
T	701 a	1,28 a	0,07 a	3,33 a	0,021* a	141 a
D	652 a	2,82 b	0,07 a	1,22 b	0,023* a	136 a
V	671 a	1,26 a	0,08 a	2,12 c	0,011* b	114 a
V+D	548 a	2,10 b	0,07 a	0,69 b	0,008* b	113 a
B	684 a	1,30 a	0,31 b	0,76 b	0,011 b	58 b

*Valeurs estimées à partir d'une procédure Proc Glimmix dû à la distribution non normale des données. Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas différentes significativement.

Les émissions de CH_4 , NH_3 et d'odeur pour chaque technologie sont présentées à la figure 23. Celle-ci montre que les réductions les plus importantes ont été obtenues au niveau de l'ammoniac, avec les techniques les plus efficaces étant la diète, la combinaison « V+D » et le biofiltre.

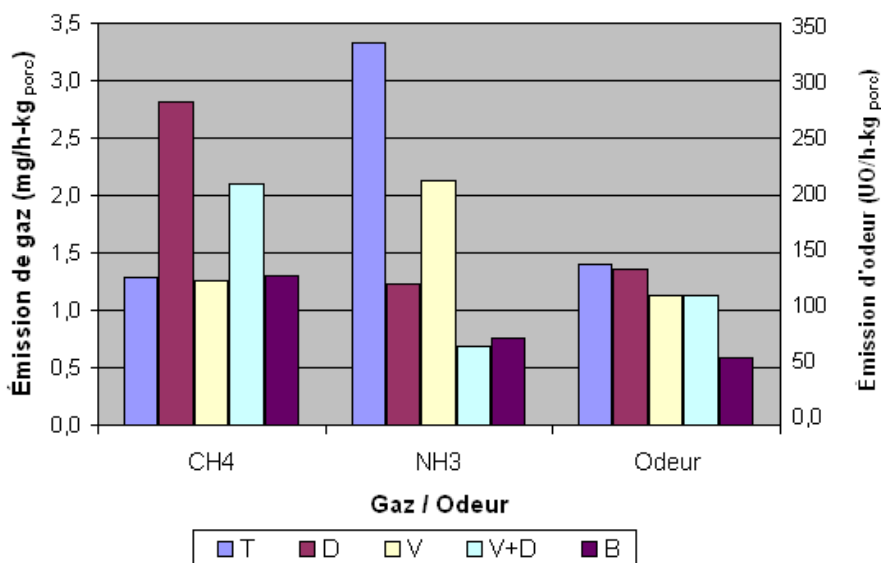


Figure 23. Comparaison des émissions de CH₄, NH₃ et d'odeur par technologie

La diète n'a pas amené une réduction significative des émissions d'odeur, et dans le cas du méthane, celle-ci a plutôt favorisé son augmentation.

La gratte en « V » a réduit significativement les émissions d'ammoniac ($P < 0,01$), même si elle ne les a pas réduites aussi efficacement que les autres techniques étudiées (tableau 25). Néanmoins, cette technique n'a pas réduit significativement les émissions d'odeur ni de méthane.

Lorsque le système de gratte en « V » a été combiné avec la diète, des résultats similaires à la diète seule ont été obtenus. En effet, les émissions de méthane ont augmenté, celles d'ammoniac ont diminué et celles d'odeur sont restées constantes. Cet effet peut être causé, en ce qui concerne les émissions analysées, par la domination de la diète sur la gratte en « V ».

Le biofiltre d'air a été la seule technologie à réduire significativement les émissions de NH₃ et d'odeur simultanément. Aucune réduction significative s'est présentée sur les émissions de CH₄ (tableau 25).

5 AVIS DES EXPERTS CONCERNANT LE CALCUL DU FACTEUR F ET DU TRANSFERT DES TECHNOLOGIES ÉVALUÉES VERS D'AUTRES PRODUCTIONS ANIMALES

5.1 Le facteur d'atténuation « F »

5.1.1 Contexte et objectifs

L'ensemble des composés émis par les activités de production sur les fermes porcines peut affecter les humains de quatre façons différentes (Schiffman, 1998). Tout d'abord, les composés organiques volatils peuvent produire des effets liés à leur toxicité. Ensuite, les composés odorants peuvent causer l'irritation de certains organes tels que les yeux, le nez et la gorge. Également, les composés organiques volatils peuvent produire des changements de type neurochimique qui peuvent avoir des conséquences sur la santé. Finalement, les odeurs peuvent produire des effets dus à des facteurs cognitifs et émotionnels. Alors que les trois premiers types d'effets sont d'ordre physiologique, le dernier est d'ordre psychologique. Les effets physiologiques des odeurs les plus fréquents sont la présence plus élevée d'épisodes de tension, de dépression, de colère, de fatigue et de confusion que chez une population non exposée (Schiffman et al., 1995).

Le gouvernement du Québec a établi une approche pour déterminer des distances séparatrices relatives aux installations d'élevage afin de favoriser une cohabitation harmonieuse en zone agricole (Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles, L.R.Q., c. P-41.1, dans la Directive sur les odeurs causées par les déjections animales provenant d'activités agricoles, c. P-41.1, r.3.02). Cette distance séparatrice, dans un cas donné, est obtenue en multipliant les paramètres B, C, D, E, F et G présentés ci-après (tableau 26).

Tableau 26. Liste des paramètres pour le calcul des distances séparatrices.

Paramètre	Identification
A	Nombre d'unités animales
B	Distances de base
C	Charge d'odeur
D	Type de fumier
E	Type de projet
F	Facteur d'atténuation
G	Facteur d'usage ou type d'unité de voisinage considéré

Comme indiqué précédemment, le facteur d'atténuation ou « facteur F » est le facteur permettant d'intégrer l'effet de l'atténuation des odeurs en fonction de la technologie adoptée par une installation agricole pour réduire les émissions odorantes et ainsi favoriser ainsi la cohabitation. Selon la directive, ce facteur est

composé de trois sous-facteurs correspondant à des sous-blocs impliquant le type de toiture du lieu d'entreposage (F_1), le type de ventilation du bâtiment (F_2) et d'autres technologies adoptées pour la réduction de l'émission d'odeur (F_3). Les technologies et leurs facteurs stipulés actuellement dans la législation sont détaillés au tableau 27.

Tableau 27. Facteur d'atténuation (paramètre F).

Technologie	Paramètre F
Toiture sur lieu d'entreposage	F_1
- absente	1,0
- rigide permanente	0,7
- temporaire (couche de tourbe, couche de plastique)	0,9
Ventilation	F_2
- naturelle et forcée avec multiples sorties d'air	1,0
- forcée avec sorties d'air regroupées et sorties d'air au-dessus du toit	0,9
- forcée avec sorties d'air regroupées et traitement de l'air avec laveurs d'air ou filtres biologiques	0,8
Autres technologies	F_3
- les nouvelles technologies peuvent être utilisées pour réduire les distances lorsque leur efficacité est éprouvée	facteur à déterminer lors de l'accréditation

Lorsqu'une installation d'élevage utilise une combinaison de technologies, le facteur F total est déterminé à partir de la multiplication de chaque sous-facteur, c'est-à-dire : $F = F_1 \times F_2 \times F_3$. L'adoption d'une technologie procurant des réductions des émissions d'odeur permet ainsi la réduction des distances minimales à respecter entre les bâtiments et leurs abords immédiats. Cependant, dans le texte de loi, il peut être constaté que le paramètre dénommé « autres technologies (F_3) » n'est pas quantifié. Dans cet ordre d'idées, il est donc indispensable de bien déterminer le facteur pour les nouvelles technologies ou pratiques de gestion devenant disponibles. Ce facteur technique relatif à l'élevage doit agir suffisamment sur la distance pour inciter la pratique d'un élevage minimisant les odeurs.

Il est important de mentionner que le facteur F s'applique pour le site complet comprenant le bâtiment d'élevage et la structure d'entreposage localisée à moins de 150 m du bâtiment. Dans le libellé de la législation, il n'y aucune information sur l'importance relative de la contribution de chacune de ces deux sources. De plus, la durée ou la fréquence des émissions d'odeur ne sont pas documentées dans la législation.

À ce stade, deux objectifs étaient poursuivis :

- Détermination du facteur d'atténuation (F) respectif aux technologies de réduction des odeurs évaluées dans le cadre du présent projet (lorsqu'applicable);
- Validation de la méthodologie et des valeurs calculées du facteur F.

5.1.2 Méthodologie

À cette étape, le facteur d'atténuation (F) respectif aux technologies de réduction des odeurs évaluées dans le cadre du présent projet a été déterminé selon une méthode de calcul élaborée par l'IRDA. Afin de valider les valeurs résultantes et la méthode utilisée, une approche de type consultation d'experts a été adoptée. Le comité avait à répondre à l'objectif basé sur des documents préalablement acheminés lesquels sont présentés à l'annexe 1. Le comité était formé de :

- Line Bilodeau, agr. M.Sc., MAPAQ;
- Marc Trudelle, agr. M.Sc., FPPQ;
- Francis Pouliot, ing., CDPQ;
- Stéphane P. Lemay, ing. P.Eng., Ph.D., IRDA;
- Frédéric Pelletier, ing. M.Sc., IRDA;
- Joahnn Palacios, étudiant gradué; IRDA;
- Dan Zegan, ing. M.Sc., IRDA;
- Stéphane Godbout, ing., P.Eng., agr., Ph.D., IRDA.

5.1.3 Détermination du facteur d'atténuation « F »

Suite à la détermination du pourcentage de réduction des émissions d'odeur des technologies évaluées, le calcul du facteur « F » est basé sur deux aspects, soit :

- le facteur actuellement en vigueur établi par la loi (L.R.Q., c. P-41.1) pour un traitement de l'air avec filtres biologiques ($F = 0,8$) et considéré comme référence principale;
- le pourcentage de réduction d'odeur obtenu par le biofiltre évalué dans le cadre de ce projet a été comparé aux efficacités relevées dans la littérature scientifique.

L'efficacité de réduction moyenne des émissions d'odeur obtenue par les biofiltres percolateurs testés a été de 59 % (tableau 28). Cette valeur a été représentative des réductions identifiées dans la littérature. Le facteur F correspondant à chaque technologie a été calculé à partir de l'interpolation de la

réduction de l'odeur obtenue par le biofiltre (59 %) et la valeur du facteur F (0,8) par rapport au pourcentage de réduction de chaque technologie évaluée. Le tableau 28 présente les réductions des émissions d'odeur et le respectif facteur « F » calculé pour chaque technologie.

Tableau 28. Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.

Technologie	Émission d'odeur UO/h·kg _{porc}	Réduction %	Facteur F
Diète	136	3	1,0
Gratte en « V »	114	19	0,9
Diète + Gratte en « V »	113	20	0,9
Biolaveur d'air	58	59	0,8

En accord avec Pigeon (2006), le facteur d'atténuation des odeurs pour deux technologies est obtenu en faisant la multiplication du facteur de chaque pratique ou technologie appliquée. Elle traduit globalement le niveau d'odeur résultant des interventions apportées. Cette estimation sous-tend que les interventions sont mutuellement indépendantes. Ainsi, l'application de deux pratiques ayant des facteurs respectifs de 0,9 et 0,8 résultera en un facteur F global de 0,72.

5.1.4 Résumé et avis des experts

Suite à l'étude des différents documents et selon le comité d'experts, il serait pertinent de mieux connaître la procédure mathématique utilisée dans la détermination des facteurs d'atténuation stipulés dans la loi L.R.Q., c. P-41.1, spécialement la valeur attribuée au filtre biologique (0,8) vu que l'approche proposée est basée sur cette valeur.

Dans la même foulée, il serait de mise de revoir les hypothèses de détermination des facteurs F1 (entreposage) et F2 (ventilation et lavage d'air) précisées dans la norme actuelle. En effet, il n'est pas évident que l'ajout d'un toit sur un réservoir permette une réduction plus importante ($F = 0,7$) que le lavage de l'air à la sortie des ventilateurs ($F = 0,8$). Ce questionnement est également relié au fait que dans le contexte québécois, la surface du réservoir étant gelée durant une bonne partie de l'année, il a été démontré à plusieurs reprises qu'aucune émission ne provenait de cette source au cours des mois d'hiver tandis que les émissions provenant du bâtiment sont présentes tout au cours de l'année.

Selon les mêmes experts, il serait très important de déterminer une approche d'évaluation du facteur F appliquant un concept de précaution afin de limiter les conflits de cohabitation. De plus, il apparaît évident que les nouvelles approches pour le calcul de ces facteurs et de la distance séparatrice devraient prendre en compte l'ensemble des contaminants afin d'assurer, en plus de la cohabitation, la sécurité de la santé publique. En effet, comme souligné dans la littérature, les

habitants dans les zones à forte concentration d'élevage sont parfois inquiets par rapport à leur santé.

Également, en lien avec le calcul et la détermination dans la forme actuelle, l'ajout de techniques de réduction ne semble pas affecter de façon importante les distances séparatrices. Selon les experts, ceci a pour effet de ralentir l'implantation de technologies de réduction d'odeur. Cet aspect devrait être sérieusement étudié.

5.1.5 Recommandations

À la lumière des différentes discussions, les membres du comité recommandent :

- De revoir l'approche théorique de calcul du facteur F de façon à ce que le facteur soit davantage en accord avec la réalité québécoise. Cette approche devrait tenir compte de l'impact des éléments telles la source d'émission (le bâtiment et le lieu d'entreposage), la contribution, la durée et la fréquence respectives;
- Qu'étant donné la croissante conscientisation de la population face à un environnement plus propre et les démarches durables incontournables dans les systèmes de production agricole, un autre élément « Qualité de l'air » pourrait être ajouté dans une nouvelle approche de calcul du facteur F. Cet élément pourrait tenir compte des effets des émissions de gaz nocifs issues des productions porcines (CH_4 , N_2O , NH_3 et H_2S) sur la santé publique et l'environnement.

5.2 Transfert des technologies vers d'autres productions animales

5.2.1 Contexte et objectif

Il y a un potentiel intéressant de transférer les technologies de réduction des odeurs vers d'autres productions animales. Cette démarche est en lien direct avec le plan stratégique de l'IRDA. En effet, les orientations 1 et 2 de ce plan prévoient d'étudier l'adaptabilité aux autres productions animales des stratégies d'élevage porcin réductrices d'odeur. L'objectif du présent stade est donc d'émettre un avis critique sur la possibilité et l'intérêt du transfert des techniques vers les autres productions à l'aide de l'information recueillie et de l'avis des experts impliqués dans le projet.

5.2.2 Méthodologie

La méthodologie a consisté à obtenir l'avis du comité d'experts quant à la possibilité d'utiliser les techniques et technologies ciblées dans d'autres productions animales. Lors de la réunion du comité d'évaluation des facteurs F, on a aussi estimé la possibilité de transférer les technologies de réduction des odeurs mises de l'avant vers les autres principales productions animales du Québec.

5.2.3 Avis des experts

5.2.3.1 Diète

L'approche basée sur une stratégie alimentaire peut être applicable à toutes les productions. Il est à noter qu'il s'agirait d'une diète spécifique à chaque espèce animale.

Comme il n'est pas possible de transférer directement les résultats obtenus à une autre production animale, la réduction d'odeur reliée à la diète doit être assujettie à une validation.

5.2.3.2 Gratte en « V »

Le mécanisme de gratte en « V » peut être utilisé dans les systèmes de production de lapins, bovins laitiers et de boucherie. Il n'est pas possible de l'implanter dans la production de poules.

Bien que les grands principes d'émission s'appliquent à l'ensemble, les effets obtenus dans le présent projet ne doivent pas être extrapolés.

5.2.3.3 Biofiltre percolateur

Cette technologie peut être adoptée par toutes les productions utilisant des bâtiments confinés (ventilation mécanique). Les effets obtenus dans le présent projet ne doivent pas être extrapolés.

6 ÉTUDE ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE

6.1 Méthode d'évaluation

La méthode d'évaluation retenue est une approche de simulation financière et économique qui se base uniquement sur les postes qui sont susceptibles de connaître des changements suite à l'adoption de l'une ou l'autre des approches d'amélioration de la qualité de l'air. Selon cette technique de budgétisation partielle, il s'agira de prendre en considération les éléments coûts en plus et ceux en moins. Nous considérons qu'il n'y a pas de changement de revenu et cela même si, l'adoption de la diète expérimentale qui réduit l'utilisation du maïs et augmente celle des intrants à base de soja peut modifier les revenus tirés des cultures.

Le tableau 29 présente les données du modèle de production de notre analyse. Deux principaux éléments guident le choix de ces paramètres. Premièrement, ils ont été définis dans l'étude technico-économique de Guimont et al. (2007) sur la gratte en « V ». Ces auteurs comparent la gratte en « V » à une gratte conventionnelle dans un élevage porcin. Deuxièmement, ce modèle de production est proche de celui qui sert de base au Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA) pour le calcul des coûts de production d'un élevage finisseur-engraissement (CECPA, 2009).

Tableau 29. Liste des paramètres du modèle de production.

Paramètres	
Nombre de porcs en inventaire	1 200
Mode d'élevage	Tout plein/tout vide
Nombre de rotations par année	3
Nombre de chambres	4
Nombre de dalots	8
Dimension des dalots	4 dalots de 1,22 m (4 pi) et 4 dalots de 1,83 m (6 pi)
Volume de lisier produit	1587 m ³
Volume de la fraction solide	358 m ³
Volume de la fraction liquide	1229 m ³

L'entreprise de base est celle qui a choisi de modifier la diète alimentaire des porcs en inventaire. Les porcs en inventaire considérés ici sont des porcs de 25 à 105 kg. Pour cette entreprise, le seul poste qui change par rapport à l'entreprise porcine conventionnelle est le poste alimentaire. Le coût additionnel de la diète expérimentale par rapport à la diète conventionnelle est de 25,74 \$ par tonne.² À l'échelle de l'exploitation type, le coût additionnel de cette diète est de 23 282 \$, soit un coût additionnel par porc produit de 6,47 \$.

² La composition de la diète expérimentale est présentée à la section 4.1.2.2.

La technologie de traitement de l'air par biofiltration et celle de la gratte en « V » sont comparées à l'adoption de la diète alimentaire expérimentale. Dans le cas de la gratte en « V », deux approches de traitement de la fraction solide sont considérées, soit le recours à un centre de traitement de la fraction solide ou la conclusion d'une entente d'épandage. L'analyse économique a été faite en considérant que le producteur devrait avoir recours à des ententes d'épandage lui permettant de disposer de 144 hectares de terre cultivable pour l'épandage de la partie solide du lisier. Pour ce qui est de la fraction liquide, le producteur devrait avoir à sa disposition 34 hectares de terre en sol moyennement riche en phosphore.

6.2 Comparaison des investissements

Les données sur la gratte en « V » proviennent de l'estimation des coûts réels des travaux exécutés lors de la réalisation du projet à Engraisement Saint-Louis. Seuls les coûts liés à l'installation d'un système d'isolement des fèces avec grattes en « V » ont été considérés. Une structure d'entreposage de la fraction solide est prévue dans l'investissement de la gratte en « V » et la durée d'entreposage devrait être de 250 jours. Le tableau 30 présente les coûts associés à l'installation d'une gratte en « V » et ceux de l'équipement de filtration d'air. Le changement de diète alimentaire est également indiqué même s'il ne nécessite pas d'investissement supplémentaire. Les investissements sont nettement plus élevés pour la technologie de traitement de l'air. Le coût total est de 128 525 \$ pour la gratte en « V » et de 354 800 \$ pour la biofiltration. Ainsi, l'investissement passe d'un peu plus de 107 \$ par place de porc pour la gratte en « V » à près de 296 \$ pour la technologie de filtration d'air.

Tableau 30. Investissements.

Postes	Diète	Gratte en « V »		Traitement de l'air par biofiltre
		Centre de traitement	Entente d'épandage	
A. Bâtiments				
Travaux béton	- \$	1 150 \$	1 150 \$	14 500 \$
Entreposage de la fraction solide	- \$	63 000 \$	63 000 \$	- \$
Sous-total bâtiments	- \$	64 150 \$	64 150 \$	14 500 \$
B. Équipements				
Gratte en « V »	- \$	17 850 \$	17 850 \$	- \$
Unités de biofiltration	- \$	- \$	- \$	280 000 \$
Autres équipements	- \$	31 525 \$	31 525 \$	35 300 \$
Sous-total équipements	- \$	49 375 \$	49 375 \$	315 300 \$
C. Frais d'ingénierie	- \$	15 000 \$	15 000 \$	25 000 \$
D. Total	- \$	128 525 \$	128 525 \$	354 800 \$

Le tableau 31 indique la provision annuelle pour l'amortissement d'un tel équipement. Des amortissements linéaires de 30 ans pour les bâtiments, de 15 ans pour les équipements et les frais d'ingénierie sont considérés. Les provisions pour l'amortissement permettent d'avoir une idée du coût des investissements par porc produit pendant toute la durée de vie de l'investissement. L'amortissement total de l'investissement par porc produit est de près de 1,79 \$ pour la gratte en « V » et de 6,44 \$ pour la technologie de traitement de l'air par biofiltration. En d'autres termes, l'investissement dans la technologie de traitement de l'air par biofiltration augmenterait le coût de production de 6,44 \$ par porc produit (en ne considérant pas les autres postes).

Tableau 31. Tableau des amortissements.

Désignation	Durée de vie	Diète	Gratte en « V »		Traitement de l'air par biofiltration
			Centre de traitement	Entente d'épandage	
A. Bâtiments	30 ans	- \$	2 138 \$	2 138 \$	483 \$
B. Équipements	15 ans	- \$	3 292 \$	3 292 \$	21 020 \$
C. Autres frais	15 ans	- \$	1 000 \$	1 000 \$	1 667 \$
D. Total		- \$	6 430 \$	6 430 \$	23 170 \$
E. Amortissement par porc produit		- \$	1,79 \$	1,79 \$	6,44 \$

6.3 Comparaison des frais variables

6.3.1 La diète alimentaire

La technologie de base porte sur une modification de la diète alimentaire. Le coût additionnel de la diète expérimentale par rapport à la diète conventionnelle est de 25,74 \$ par tonne. La diète conventionnelle est donnée aux animaux des entreprises ayant adopté la gratte en « V » et celles ayant adopté le traitement de l'air par biofiltration. À l'échelle de l'exploitation, le coût en moins pour la gratte en « V » et le traitement de l'air par biofiltration est de 23 282 \$.

6.3.2 L'entretien des bâtiments

Le coût d'entretien des bâtiments est évalué à 1,40 % de la valeur de l'investissement dans les bâtiments, et cela, pour chacune des situations comparées.

6.3.3 L'entretien des équipements

Les coûts d'entretien et de réparation des équipements sont évalués à 4 % pour la gratte en « V ». Dans le cas du système de traitement de l'air par biofiltration, ce coût est de 5,30 % du coût des équipements.

6.3.4 Les frais de gestion du lisier

Le tableau 32 présente les quantités de lisier produit. Dans le cas de la modification de la diète alimentaire et dans celui du traitement de l'air par biofiltration, tout le lisier est géré à l'état brut. Pour ces deux technologies, il n'y a donc pas de différence pour ce poste de dépenses variables. Pour la gratte en « V », le lisier est géré sous une forme solide ou liquide. La fraction liquide est épandue à forfait tandis que la fraction solide est soit traitée dans un centre de traitement soit épandue suite à une entente entre le producteur et un receveur. Le tableau 32 ci-dessous présente les différents paramètres utilisés pour le calcul des frais associés à la gestion du lisier.

Tableau 32. Paramètres utilisés pour les frais variables de gestion du lisier.

Paramètres	Valeur	Unité
Volume de lisier (brut) produit	1 58	m ³
Volume de la fraction solide	358	m ³
Volume de la fraction liquide	1 229	m ³
Coût d'épandage du lisier brut	6,00	\$/m ³
Coût d'épandage de la fraction liquide	2,55	\$/m ³
Coût de transport de la fraction solide pour l'épandage	3,50	\$/m ³
Coût de transport de la fraction solide pour le centre de traitement	5,77	\$/m ³

Le coût en plus des frais de gestion du lisier est de 2 838 \$ pour la gratte en « V » lorsque la fraction solide est traitée. Dans le cas d'une entente d'épandage, la technologie en « V » a un coût en moins de 5 135 \$.

6.3.5 Autres frais variables

Les autres variables sont constituées des divers consommables du système de traitement de l'air par biofiltration (3 250 \$) et de diverses taxes foncières et assurances.

Le tableau 33 présente l'ensemble des frais variables. Il démontre que globalement, ces frais sont plus importants lors de l'adoption de la diète alimentaire expérimentale. En effet, les frais variables en moins sont de 24 767 \$ pour la gratte en « V » avec une entente d'épandage. Cette approche représente la technologie la moins coûteuse en ce qui concerne le poste des frais variables. Cela représente des frais variables en moins de 6,88 \$ par unité de porc produit. Dans les deux autres cas, les frais variables en moins sont d'un peu moins de 17 000 \$. Cela représente des frais variables en moins de 4,67 \$ pour la gratte en « V » avec un centre de traitement et de 4,72 \$ pour la technologie de biofiltration.

Tableau 33. Comparaison des frais variables additionnels.

Postes	Diète	Gratte en « V »		Traitement de l'air par biofiltration
		Centre de traitement	Entente d'épandage	
A. Alimentation	- \$	- 23 282 \$	- 23 282 \$	- 23 282 \$
B. Entretien des bâtiments	- \$	898 \$	898 \$	203 \$
C. Frais d'énergie	- \$	1 234 \$	1 234 \$	2 850 \$
D. Consommables/frais divers	- \$	- \$	- \$	3 250 \$
E. Frais de gestion du lisier	- \$	2 838 \$	- 5 135 \$	- \$
F. Taxes foncières nettes	- \$	161 \$	161 \$	- \$
G. Assurances	- \$	1 357 \$	1 357 \$	- \$
H. Total des frais variables	- \$	- 16 794 \$	- 24 767 \$	- 16 979 \$
I. Total des frais variables par porcs produits	- \$	- 4,67 \$	- 6,88 \$	- 4,72 \$

6.4 Amortissement de l'emprunt

Le montant des investissements pour l'implantation d'un système de traitement de l'air par biofiltration est largement supérieur à celui des investissements associés à l'implantation du système de grattes en « V » (tableau 34). Si le producteur décide d'opter pour un système de grattes en « V » pour traiter son lisier, il devra payer des remboursements annuels s'élevant à 13 581 \$, s'il n'a pas d'apport de fonds, et 10 186 \$ s'il y a un apport personnel de 25 % de l'investissement. Par contre, s'il opte pour un système de traitement de l'air par biofiltration, il devra payer une annuité s'élevant à 37 492 \$ sans mise de fonds et 28 119 \$ avec une mise de fonds de 25 %.

Tableau 34. Tableau d'amortissement de l'emprunt.

Durée de l'emprunt	15 ans			
Taux d'intérêt	6,4 %			
Mode de remboursement	Uniforme			
	Gratte en « V »		Traitement de l'air par biofiltration	
	0%	25%	0%	25%
A. Apport personnel				
B. Investissement	128 525 \$	128 525 \$	354 800 \$	354 800 \$
C. Mise de fonds	- \$	32 131 \$	- \$	88 700 \$
D. Demande de financement	128 525 \$	96 394 \$	354 800 \$	266 100 \$
E. Annuité	13 581 \$	10 186 \$	37 492 \$	28 119 \$

6.5 Analyse de la trésorerie

Le changement de diète alimentaire n'est plus la « technologie » la plus coûteuse lorsqu'on analyse l'impact global sur la trésorerie. Lorsque le traitement de l'air par biofiltration est adopté sans apport personnel, l'effet sur la trésorerie est plus élevé que celui de la diète expérimentale de 43 683 \$. Par porc produit, cet effet sur la trésorerie représente un coût en plus de 12,13 \$. La gratte en « V » avec une entente d'épandage est la technologie ayant le moins d'impact sur la trésorerie de l'entreprise. Son adoption a un impact sur la trésorerie inférieur de 8 151 \$ à celui de l'adoption de la diète expérimentale lorsque l'apport personnel est de 25 %. Cet impact en moins est de 4 776 \$ lorsqu'il n'y a pas d'apport personnel. Les résultats de la gratte en « V » avec centre de traitement sont quant à eux assez proches de ceux d'un changement de la diète alimentaire. Les tableaux 35 et 36 ci-dessous présentent l'impact des différents choix technologiques sur la trésorerie de l'entreprise.

Tableau 35. Impacts sur la trésorerie.

Postes		Diète	Gratte en « V » avec centre de traitement		Gratte en « V » avec entente d'épandage		Traitement de l'air par biofiltration	
			0 %	25 %	0 %	25 %	0 %	25 %
A.	Apport personnel	-						
B.	Frais variables	- \$	- 16 794 \$	- 16 794 \$	- 24 767 \$	- 24 767 \$	- 16 979 \$	- 16 979 \$
C.	Dotation aux amortissements	- \$	6 430 \$	6 430 \$	6 430 \$	6 430 \$	23 170 \$	23 170 \$
D.	Annuité	- \$	13 581 \$	10 186 \$	13 581 \$	10 186 \$	37 492 \$	28 119 \$
E.	Effets sur la trésorerie	- \$	3 217 \$	179 \$	- 4 776 \$	- 8 151 \$	43 683 \$	34 310 \$

Tableau 36. Impacts sur la trésorerie par unité de porc produit.

Postes		Diète	Gratte en « V » avec centre de traitement		Gratte en « V » avec entente d'épandage		Traitement de l'air par biofiltration	
			0 %	25 %	0 %	25 %	0 %	25 %
A.	Apport personnel	-						
B.	Frais variables	- \$	- 4,67 \$	- 4,67 \$	- 6,88 \$	- 6,88 \$	- 4,72 \$	- 4,72 \$
C.	Dotation aux amortissements	- \$	1,79 \$	1,79 \$	1,79 \$	1,79 \$	6,44 \$	6,44 \$
D.	Annuité	- \$	3,77 \$	2,83 \$	3,77 \$	2,83 \$	10,41 \$	7,81 \$
E.	Effets sur la trésorerie	- \$	0,89 \$	- 0,05 \$	- 1,32 \$	- 2,26 \$	12,13 \$	9,53 \$

6.6 Quelques analyses de sensibilité

Les tableaux 35 et 36 ci-dessus présentent l'impact de l'adoption de différentes technologies sur la trésorerie de l'entreprise.

6.6.1 Le prix des intrants de fabrication de la diète alimentaire expérimentale

Le coût de la diète alimentaire expérimentale, et par conséquent la différence d'avec les autres technologies, dépend étroitement du coût des différents intrants. Comme le montre la composition des différentes diètes, le maïs est l'un des principaux composants et il est l'un de ceux qui changent le plus entre les deux diètes. Le tableau 37 présente la contribution du maïs à la composition des diètes alimentaires et à leur coût.

Tableau 37. Contribution du maïs à la diète alimentaire.

	Contribution du maïs	
	Composition	Coût
Ration conventionnelle	67 %	54 %
Ration expérimentale	54 %	39 %

Au cours des 10 dernières années, le prix du maïs a connu une hausse importante, passant de 125 \$ en moyenne en 2000 à plus de 215 \$ en 2008.³ En considérant que le coût des autres intrants ne change pas, la différence de prix entre les deux diètes varierait entre 43 \$, lorsque le prix du maïs est de 125 \$, et 21 \$, lorsqu'il est de 215 \$. Les analyses précédentes ont montré que la grappe en « V » et la technologie de traitement de l'air par biofiltration ont un avantage comparatif au niveau des frais variables. Cependant, la réduction du prix de la diète alimentaire expérimentale peut en faire une option intéressante – en termes de frais variables – lorsque comparée aux deux autres technologies. La figure 24 présente l'impact de la différence de prix entre la diète expérimentale et la diète conventionnelle sur les analyses effectuées. Elle montre aussi qu'en termes de frais variables, pour une différence de prix de moins de 7 \$, la biofiltration devient plus coûteuse que l'adoption de la diète expérimentale.

³ Statistiques Canada (Série v31212120; Québec; Maïs-grain).

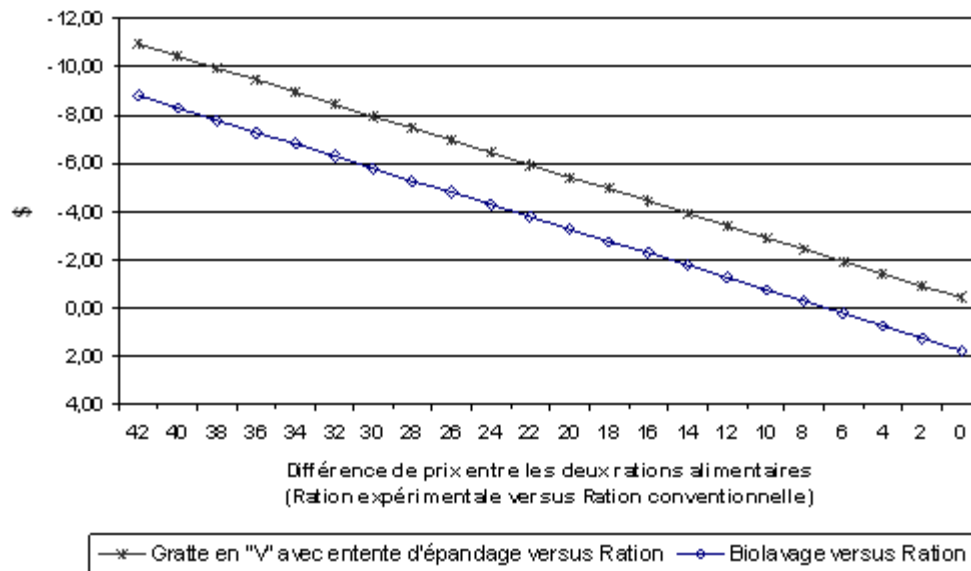


Figure 24. Évolution des différences de frais variables (par unité de porc produit) en fonction du prix maïs

6.6.2 Effet d'un changement des frais d'épandage du lisier sur les frais variables

Une entreprise qui adopte la diète alimentaire expérimentale a la même méthode de gestion du lisier qu'une entreprise adoptant la technologie de traitement de l'air par biofiltration. Un changement des frais d'épandage du lisier ne modifie donc pas la différence des frais variables; ils sont inférieurs pour la biofiltration de 4,72 \$. Lorsque le coût d'épandage du lisier brut est faible (3 \$/m³), les frais variables de l'utilisation d'un système de grattes en « V » sont proches de ceux de la diète expérimentale. Cependant, l'augmentation des frais d'épandage accroît les frais variables de la diète expérimentale et donc de la biofiltration. Cela rend l'implantation du système de grattes en « V » moins coûteuse en termes de frais variables et d'impact sur la trésorerie de l'entreprise (figure 25).

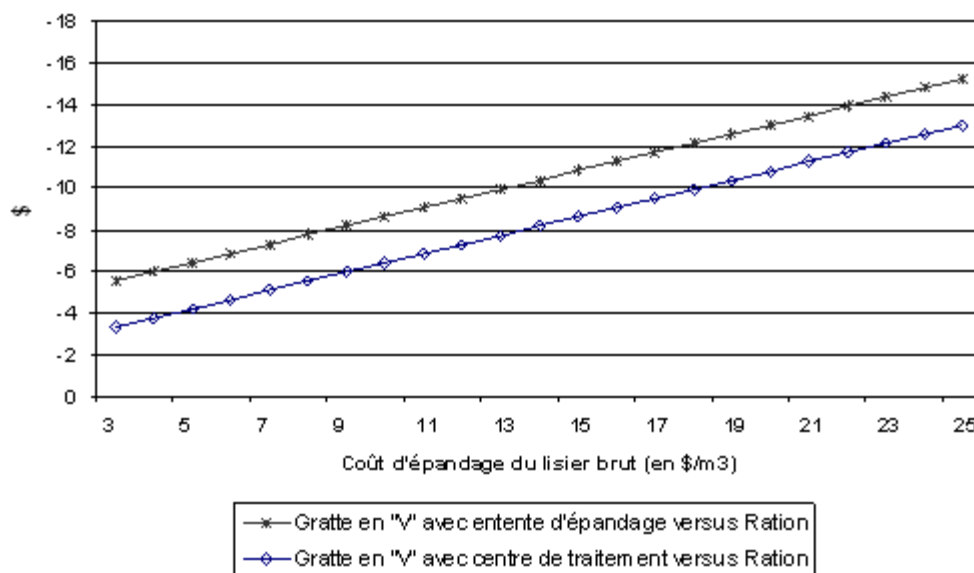


Figure 25. Effet du changement des frais d'épandage

6.6.3 Subvention des investissements par le programme Prime-Vert et le programme de crédit d'impôt

La construction du système de grattes en « V » peut être subventionnée en partie par le programme Prime-Vert pour lequel 70 % des dépenses admissibles sont remboursées. Cela réduit l'impact des décaissements pour remboursement de l'emprunt sur la trésorerie de l'entreprise. À titre d'exemple, pour la gratte en « V » sans mise de fonds propres, les annuités sont de 4 074 \$ (tableau 38) au lieu de 13 581 \$ sans subvention (tableau 35). Cela représente un montant de 1,13 \$ (tableau 38) par porc produit au lieu de 3,77 \$ initialement (tableau 36). L'impact du choix de la gratte en « V » sur la trésorerie est donc moins important que celui de la diète alimentaire. Dans le cas d'un apport personnel de 25 %, l'impact de l'investissement par porc produit sur la trésorerie de l'entreprise est de moins de 1 \$.

Tableau 38. Plan de financement en tenant compte de la subvention du programme Prime-Vert.

Désignation	Gratte en « V »		Technologie de traitement de l'air par biofiltration	
	0 %	25 %	0 %	25 %
A. Apport personnel	0 %	25 %	0 %	25 %
B. Investissement total	128 525 \$	128 525 \$	354 800 \$	354 800 \$
D. Subvention Prime-Vert (70 %)	89 967 \$	89 967 \$	248 360 \$	248 360 \$
C. Fonds propres	-	9 639 \$	-	26 610 \$
E. Emprunt	38 557 \$	28 918 \$	106 440 \$	79 830 \$
F. Annuité	4 074 \$	3 056 \$	11 248 \$	8 436 \$
E. Annuité par porc produit	1,13 \$	0,85 \$	3,12 \$	2,34 \$

Le tableau 39 ci-dessous reprend les données du tableau 36 en tenant compte de la subvention du programme Prime-Vert. La gratte en « V » a un impact moins important sur la trésorerie que l'adoption de la diète expérimentale. Le traitement de l'air par biofiltration reste par contre la technologie ayant l'impact le plus important sur la trésorerie même lorsque l'investissement est subventionné par le programme Prime-Vert.

Tableau 39. Impacts sur la trésorerie (par unité de porc produit) en tenant compte de la subvention du programme Prime-Vert.

Postes	Diète	Gratte en « V » avec centre de traitement		Gratte en « V » avec entente d'épandage		Traitement de l'air par biofiltration	
		0 %	25 %	0 %	25 %	0 %	25 %
A. Apport personnel	-	0 %	25 %	0 %	25 %	0 %	25 %
B. Frais variables	- \$	- 4,67\$	- 4,67\$	- 6,88\$	- 6,88\$	- 4,72\$	- 4,72\$
C. Dotation aux amortissements	- \$	1,79\$	1,79\$	1,79\$	1,79\$	6,44\$	6,44\$
D. Annuité	- \$	1,13\$	0,85\$	1,13\$	0,85\$	3,12\$	2,34\$
E. Effets sur la trésorerie	- \$	-1,75\$	- 2,03\$	- 5,71\$	- 4,24\$	4,84\$	4,06\$

Dans le cas du crédit d'impôt, la subvention est de 30 %. Le tableau 40 résume les résultats obtenus.

Tableau 40. Plan de financement en tenant compte de la subvention par le programme de crédit d'impôt.

Désignation	Gratte en « V »		Technologie de traitement de l'air par biofiltration	
	0 %	25 %	0 %	25 %
A. Apport personnel	0 %	25 %	0 %	25 %
B. Investissement total	128 525 \$	128 525 \$	354 800 \$	354 800 \$
D. Crédit d'impôt (30 %)	38 558 \$	38 558 \$	106 440 \$	106 440 \$
C. Fonds propres	-	22 492 \$	-	62 090 \$
E. Emprunt	89 967 \$	67 476 \$	248 360 \$	186 270 \$
F. Annuité	9 507 \$	7 130 \$	26 244 \$	19 683 \$
E. Annuité par porc produit	2,64 \$	1,98 \$	7,29 \$	5,47 \$

6.7 Synthèse

Des trois approches d'amélioration de la qualité de l'air examinées et en tenant compte des mécanismes de subvention des investissements existants, le système de gratte en « V » est celui ayant le moins d'impact sur la trésorerie de l'entreprise. Son coût rend cette technologie intéressante pour la réduction des émissions d'ammoniac (36 %) mais son impact sur les émissions d'odeur n'est pas très important (19 %).

L'adoption de la diète alimentaire est très tributaire de son coût et il n'y a pas de réduction des émissions d'odeur (3 %), du moins pour la diète étudiée. Une baisse du prix des céréales peut rendre cette option intéressante pour la réduction des émissions d'ammoniac (63 %).

La technique de traitement de l'air par biofiltration est quant à elle la technologie la plus coûteuse, mais la plus performante. Son impact sur la trésorerie est toujours plus important que celui d'une modification de la diète alimentaire et cela même si l'on tient compte des subventions existantes. Son efficacité sur la réduction des émissions d'ammoniac et d'odeur est toutefois vraiment importante. Il faut également mentionner que l'unité de biofiltration testée est toujours en développement et qu'une optimisation afin de réduire son coût n'a pas encore été faite.

Tableau 41. Taux de réduction et coût par porc produit pour les technologies évaluées.

Technologie	Taux de réduction (%)		Coût par porc produit*	
	NH ₃	Odeurs	0 % d'apport personnel	25 % d'apport personnel
Diète	63	3	6,47 \$	6,47 \$
Gratte en « V »	36	19	7,36 \$	6,42 \$
Diète + Gratte en « V »	79	20	13,83 \$	12,89 \$
Biofiltre d'air**	77	59	18,60 \$	15,00 \$

*coût sans subvention

**technologie expérimentale (en développement)

7 CONCLUSION

Le présent projet visait à rendre accessible aux intervenants du milieu et aux producteurs porcins une information fiable et des techniques applicables à la ferme pour réduire les émissions gazeuses et odorantes émises par l'unité de production porcine (bâtiment et fosse, principalement). Pour atteindre cet objectif général, huit objectifs spécifiques devaient être rencontrés.

Les différentes techniques de réduction des odeurs relevées dans l'inventaire de la littérature effectué sont présentées dans le texte. L'inventaire a également permis d'indiquer des efficacités de réduction pour chaque technologie implantée au bâtiment. Les techniques les plus prometteuses afin de diminuer les odeurs et les gaz au bâtiment porcine peuvent se séparer en cinq groupes principaux : 1- la composition des diètes et additifs alimentaires; 2- la gestion des déjections au bâtiment; 3- le traitement au bâtiment des déjections; 4- le contrôle de la qualité de l'air et 5- propreté et gestion. Selon un comité formé d'experts du milieu, les techniques les plus prometteuses sont la modification des diètes, la séparation au bâtiment et le lavage d'air biologique.

Compte tenu de leur potentiel, quatre techniques ont été expérimentées dans un laboratoire spécialisé de l'IRDA. Le protocole prévoyait un témoin (T) (diète commerciale et accumulation du lisier), une diète optimisée (D), la collecte des déjections à l'aide d'un système de grappe en « V » (V), une combinaison de ces deux derniers (V+D) et un système de biofiltration de l'air (B), actuellement en développement à l'IRDA.

Toutes les technologies évaluées ont permis de réduire significativement les émissions d'ammoniac de 63 à 79 %. Selon ces mêmes résultats, c'est le système de biofiltration de l'air et la combinaison des techniques (V+D) qui ont permis la plus grande efficacité de réduction (77 % et 79 %). La grappe en « V » a permis une réduction de (36 %).

Parmi les techniques étudiées, seule la biofiltration de l'air a permis une réduction significative des émissions d'odeur offrant une réduction de 59 %, suivie de la combinaison V+D, et de la grappe en « V » (réductions de 20 et 19 % respectivement et non significatives statistiquement).

Des facteurs d'atténuation (F) respectifs aux technologies de réduction des odeurs évaluées dans le cadre du présent projet (lorsqu'applicable) ont été proposés. Toutefois, suite à l'analyse par les experts, il est apparu que l'ensemble de l'approche devrait être revu puisque celle utilisée actuellement ne permet pas une valorisation adéquate des technologies de réduction implantées à la ferme. De plus, étant donné la croissante conscientisation de la population pour un environnement propre et sain, il serait très important de déterminer une approche d'évaluation du facteur F en appliquant un concept de précaution incluant l'aspect de la santé publique afin de limiter les conflits de cohabitation et d'assurer la sécurité de la qualité de l'air.

Les mêmes experts ont également étudié la possibilité de transférer ces techniques aux autres productions animales. Il apparaît qu'avec des modifications mineures, plusieurs

de ces techniques sont transférables à plusieurs autres productions. Toutefois, compte tenu de l'interaction de plusieurs facteurs, aucun des résultats (ex. pourcentage de réduction) n'est directement transférable.

Finalement, une étude technico-économique démontre clairement que le taux de réduction et le coût de la technologie soient intimement liés, soit que pour une plus grande efficacité il en coûte plus cher. Ce principe est encore plus évident dans le cas de la réduction des odeurs.

8 DIFFUSION DES RÉSULTATS

Activités	Description
Participation aux congrès internationaux	- International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 15-19 septembre 2007. - The 8th International Livestock Symposium (ILES VIII), 31 août au 4 septembre 2008. - Congrès annuel de la CSBE en 2008 et 2009. - 9th Conference Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming, VDI-MEG-KTBL, septembre 2009.
Rédaction d'articles scientifiques pour présentations dans des congrès internationaux	Belzile, M., S. Godbout, R. Hogue, C. Duchaine, S. P. Lemay, A. Mériaux, F. Pelletier. 2007. Gas concentrations and bacterial diversity released in the environment from pig buildings. ASABE Paper No 07-2146. St. Joseph, Mich.: ASABE. Godbout, S., S.P. Lemay, C. Duchaine, F. Pelletier, J.P. Larouche M. Belzile, John J.R. Feddes. 2009. Swine production impact on residential ambient air quality. Journal of Agromedicine 14(3): 291-298. Godbout, S. et S.P. Lemay. 2007. Les activités de recherche sur les odeurs et la cohabitation à l'IRDA. Journée sur la gestion des gaz et des odeurs en production porcine. IRDA, FPPQ, CDPQ. Hamelin, L., S. Godbout, S.P. Lemay. 2009. Baseline scenario for gas, odor, dust and particulate matter emissions from swine buildings in Québec-Part 1: emissions inventory. CSBE Paper No 09-512. Winnipeg, MB: CSBE. Lemay, S.P., D. Zegan, J. Feddes, M. Belzile, S. Godbout et M. Martel. 2008. Revue systématique de la littérature sur les systèmes de traitement de l'air vicié émis par les bâtiments porcins. Rapport final. Québec, QC. IRDA.
Feuillets techniques	- Comparaison de trois techniques de réduction des émissions à la sortie des bâtiments porcins. Feuille technique # 1. - Scénario type pour les émissions au niveau des bâtiments porcins au Québec. Feuille technique # 2. - Contribution à la détermination du facteur d'atténuation d'odeur (F) pour le calcul de distances séparatrices. Feuille technique # 3. (la version préliminaire de ces feuillets est présentée en annexe).
Article de vulgarisation	- Un article dans la revue Porc Québec est en cours de rédaction.
Rédaction d'un mémoire de maîtrise	Technologies de réduction des émissions d'odeur dans les bâtiments porcins de croissance-finition. Jorge-Eduardo Orellana-Riquelme, étudiant à la maîtrise au Département des sols et de génie agroalimentaire. Université Laval.

9 RÉFÉRENCES

- Aarnink, A.J.A., A.J. van den Berg, A. Keen, P. Hoeksma et M.W.A. Verstegen. 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 64: 299-310.
- Aarnink, A.J.A. et M.W.A. Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livest. Sci.* 109: 194-203.
- Aarnink, A.J.A., D. Swierstra, A.J. van den Berg et L. Speelman. 1997. Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66: 93-102.
- Aarnink, A., A. Keen, J. Metz, L. Speelman, M. Verstegen. 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed in partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 64: 105-116.
- Amon, M., M. Dobeic, T.H. Misselbrook, B.F. Pain, V.R. Phillips et R.W. Sneath. 1995. A farm scale study on the use of de-odourase for reducing odour and ammonia emissions from intensive fattening piggeries. *Bioresource Technology*. 51: 163-169.
- Amstrong, T.A., C.M. Williams, J.W. Spears et S.S. Schiffman. 2000. High dietary copper improves odor characteristics of swine waste. *Journal of Animal Science*. 78: 859-864.
- Arogo, J., P.W. Westerman et A.J. Heber. 2003. A review of ammonia emissions from confined swine feeding operations. *Transactions of the ASAE*. 46(3): 805-817.
- Arogo, J., P.W. Westerman, A.J. Heber, W.P. Robarge et J.J. Classen. 2001. Ammonia in animal production – A review. Dans *ASAE Annual International Meeting*. Sacramento, California, USA, July 30 - August 1. Paper No 01-4089. ASAE, St. Joseph, Michigan, ASAE.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2004. Toxicological Profile for Ammonia. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 269 pages.
- Barker, J.C. 1996. Effects of manure management practices on air quality and animal performance in swine production buildings. Published by North Carolina Cooperative Extension Service. Publication Number: EBAE 180-93. http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/ebae180_93.html. Consulté le 14 décembre 2004.

- Belzile, M., S. Godbout, S.P. Lemay, J. Lavoie, I. Lachance et F. Pouliot. 2006. Impact de la séparation fèces-urine sous caillebotis sur la qualité de l'air ambiant en porcherie. Journées recherche porcine. 38 : 21-26.
- Belzile, M., S.P. Lemay, D. Zegan, J.J.R. Feddes, S. Godbout, J-P. Larouche et M. Martel. 2010. Reduction of gas and odour emissions from a swine building using a biotrickling filter. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Canadian Society for Bioengineering (CSBE/SCGAB) Quebec City, Canada. 13-17 juin 2010.
- Bernard, C., D. Côté, M. Giroux, R. Grégoire, R. Joncas et D.Y. Martin. 2003. Mémoire de l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec. 16 avril 2003, 41 pages.
- Bicudo, J.R., C.L. Tengman, D.R. Schmidt et L.D. Jacobson. 2002. Ambient H₂S concentrations near swine barns and manure storages. ASAE Paper No 024059. ASAE, St. Joseph, Michigan, ASAE.
- Blanes-Vidal, V., M.N. Hansen, A.P.S. Adamsen, A. Feilberg, S.O. Petersen et B.B. Jensen. 2009. Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part I. relationship between odorants and perceived odor concentrations. Atmospheric Environment. 43(18): 2997-3005.
- Blanes-Vidal, V., M.N. Hansen, S. Pedersen et H.B. Rom. 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. Agriculture, Ecosystems and Environment. 124: 237-244.
- Bottcher, R.W., K.M. Keener, R.D. Munilla, et L.L. Oehrl-Dean. 2001. Measurement of odors and odorants in swine building airflow using aspirated fabric swatches and dust samples. 6th International Symposium. 21-23 mai 2001, Louisville, Kentucky, USA.
- Canh, T.T., A.J.A. Aarnink, J.B. Schutte, A.L. Sutton, D.J. Langhout, M.W.A. Verstegen et J.W. Schrama. 1998a. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. Livestock Production Science. 56: 181-191.
- Canh, T.T., J.W. Schrama, A.J.A. Aarnink, M.W.A. Verstegen, C.E. van't Klooster et M.J.W. Heetkamp. 1998b. Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. Animal Science. 67: 583-590.
- Canh, T.T., M.W. Verstegen, A.J. Aarnink et J. W. Schrama. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. Journal of Animal Science. 75: 700-706.

- CanLII. 2008. Directive sur les odeurs causées par les déjections animales provenant d'activités agricoles (R.Q. c. P-41.1, r.3.02). Ottawa, Ontario : Institut canadien d'information juridique. <http://www.canlii.org/fr/qc/legis/regl/rq-c-p-41.1-r3.02/derniere/rq-c-p-41.1-r3.02.html>. Consulté en mars 2010.
- CECPA [Centre d'études sur les coûts de production en agriculture]. 2009. Étude sur le coût de production des entreprises porcines de type naisseur-finiisseur en 2007 au Québec.
- CIGR. 2002. Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. 4th report of Working group. International Commissions of Agricultural Engineering, Section II. December. Editors: Pedersen, S. & K. Sallvik. ISBN 87-88976-60-2.
- Cortus, E. 2006. A dynamic model of ammonia production within grow-finish swine barns. Ph.D. Thesis. Saskatoon, Canada. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan.
- Courboulay, V. et N. Guingand. 2007. Réduire la proportion d'espace vide pour des sols de type caillebotis béton en engraissement : quelles conséquences sur les animaux et l'environnement. Journées recherche porcine. 39: 77-82.
- CRIQ, Consultants BPR, Université Laval. 1994. Rapport Final : Inventaire d'une étude comparative des technologies de désodorisation et d'atténuation des odeurs. Dossier CRIQ 640-PEO3364, Rapport technique No RDQ-92-657 (R2), 175 pages.
- Cromwell, G.L., L.W. Turner, R.S. Gates, J.L. Taraba, M.D. Lindeman, S.L. Traylor, W.A. Dozier III et H.J. Monegue. 1999. Manipulations of swine diets to reduce gaseous emissions from manure that contribute to odor. *Journal of Animal Science*. 77 (Suppl.1) : 69. (Abstr.)
- Degré, A., D. Verhève, et C. Debouche. 2001. Émissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction : revue bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 5(3), 135-143.
- Deshusses, M. A. et H.J. Cox. 2002. Biotrickling Filters For Air Pollution Control. p. 782-795. Vol. 2. In G. Bitton (Editor-in-Chief), *The Encyclopedia of Environmental Microbiology*. J. Wiley & Sons [en ligne]. <http://www.engr.ucr.edu/~mdeshuss/pdf%20Files/bc3.pdf>
- Deshusses, M. et Z. Shareefdeen. 2005. Modeling of biofilter and biotrickling filters for odour and VOC control applications. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Devinny, J.S., M.A. Deshusses et T.S. Webster. 1999. *Biofiltration for air pollution control*. Lewis Publishers. Washington, DC, USA.
- Dourmad, J.Y. et C. Jondreville. 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig. *Livestock Science*. 112: 192–198.

- Earth Tech Inc. 2001. Final technical work paper for human health issues - Animal agriculture GEIS. 93 pages.
- Elenbaas-Thomas, A.M., L.Y. Zhao, Y. Hyun, X. Wang, B. Anderson, G.L. Riskowski, M. Ellis et A.J. Heber. 2005. Effects of room ozonation on air quality and pig performance.
- Environment Canada. 2009. National pollutant release inventory. 2007 Total air pollutants emissions for Canada. Version 1, Mars 2009. [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=en&n=0EC58C98>- Consulté le 1^{er} juillet 2009.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2001. Odour impacts and odour emission control measures for intensive agriculture. Final report. R&D report series No 14. ISBN 1-84095-075-7.
- European Committee for Standardization. 2003. Determination of odour concentration by dynamic olfactometry.
- Feddes, J.J.R. 2006. Development of odour monitoring procedures for Alberta livestock operations: Measuring odour with confidence. Final Report, Project No. 2002A239R. Edmonton, AB: Alberta Livestock Industry Development Fund and Alberta Agricultural Research Institute.
- Feddes, J.J.R., Y Wang, I.E. Edeogu et R.N. Coleman. 1998. Oligolysis: Effect of voltage on odour and sulphide removal in stored pig manure. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 40, no 2, p. 113-120.
- Fitamant, D., N. Guingand, A. Laplanche et D. Delzescaux. 2000. Étude d'un procédé de désodorisation des émissions des bâtiments par l'ozone. Journées recherche porcine. 32 : 67-75.
- FPPQ. 2005. Évaluation des technologies de gestion sur le traitement du lisier de porc. Brochure explicative et formulaire destinés aux promoteurs de technologies. Longueuil, QC. FPPQ.
- Gallman, E. et E. Hartung. 2000. Evaluation of the emission rates of ammonia and greenhouse gases from swine housings. Proceedings of the 2nd International conference: Air pollution from agricultural operations. 9-11 octobre 2000. ASAE. Des Moines, IA, USA, 92-99.
- Garry, B.P., M. Fogarty, T.P. Curran TP et J.V. O'Doherty. 2007. The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on performance, odour and ammonia emissions from finisher pigs. Livestock Science 109. 212–215.
- Godbout, S., L. Hamelin, J. H. Palacios, F. Pelletier, S.P. Lemay et F. Pouliot. 2011. État de référence des émissions gazeuses et odorantes provenant des bâtiments porcins québécois. Rapport final. IRDA. 53 pages.

- Godbout, S., S.P. Lemay, C. Duchaine, F. Pelletier, J.P. Larouche M. Belzile, J.J.R. Feddes. 2009. Swine production impact on residential ambient air quality. *Journal of Agromedicine*. 14(3): 291-298.
- Godbout, S. et S.P. Lemay. 2006. Effects of pig diet on gas emissions. Final report. Quebec, Canada. IRDA.
- Godbout, S., S.P. Lemay, R. Joncas, J.P. Larouche, D.Y. Martin, M. Leblanc, A. Marquis, J.F. Bernier, R.T. Zijlstra, E.M. Barber et D. Massé. 2001. Reduction of odour and gas emissions from swine buildings using canola oil sprinkling and alternate diets. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations*, 211-219. ASAE Publication 701P0003, Des Moines, Iowa, USA.
- Goodrich, P.R. et Y. Wang. 2001. Nonthermal plasma treatment of swine housing gases.
- Gralapp, A.K., W.J. Powers, M.A. Faust et D.S. Bundy. 2002. Effects of dietary ingredients on manure characteristics and odorous emissions from swine. *Journal Animal Science*. 80: 1512-1519.
- Grandhi, R.R. 2001a. Effect of supplemental phytase and ideal dietary amino acid ratios in covered and hulless-barley-based diets on pig performance and excretion of phosphorus and nitrogen in manure. *Canadian Journal of Animal Science*. 81: 115-124.
- Grandhi, R.R. 2001b. Effect of dietary ideal amino acid ratios, supplemental carbohydrates in hulless-barley-based diets on pig performance and excretion of phosphorus and nitrogen in manure. *Canadian Journal of Animal Science*. 81: 115-124.
- Guarino M., C. Fabbri, P. Navarotto, L. Valli G. Moscatelli., M. Rossetti et V. Mazzotta. 2003. Ammonia, methane and nitrous oxide emissions and particulate matter concentrations in two different buildings for fattening pigs. *International Symposium on gaseous and odour emissions from animal production facilities*.
- Guimont, H. et coll. 2007. Évaluation technique et économique d'un système d'isolement des fèces avec grattes en « V » dans un engraissement commercial. Rapport final.
- Guingand, N. 2007. Maîtriser l'émission et la perception des odeurs. IFIP.
- Guingand, N. 2003. Air quality and reduction of slatted floor in growing finishing pig units. *Proc. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions Horsens*, Denmark: 80-87.

- Guingand, N. 2000. Influence de la vidange des préfossees sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcheries d'engraissement. Résultats préliminaires. Journée de la recherche porcine en France. 32 : 83-88.
- Hagens, J. 1992. *Farm experience in a low-emission piglet-rearing house*.
Proceedings of a symposium held in Veenendaal, Netherlands, 26 may 1992.
Mestbehandeling op de boerderij.: 9 pp. RÉSUMÉ
- Hamelin, L., S. Godbout, S.P. Lemay. 2009. Baseline scenario for gas, odour, dust and particulate matter emissions from swine buildings in Quebec, Part 1: emissions inventory. CSBE Paper No 09-512. Winnipeg, MB: CSBE.
- Hartung, E., T. Jungbluth et W. Buscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters. Transactions of the ASABE. 44 (1): 113-118.
- Hartung, J. et V.R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. Journal of Agricultural Engineering Research. 57: 173-189.
- Hayes, E.T., A.B.G. Leek, T.P. Curran, V.A. Dodd, O.T. Carton, V.E. Beattie et J.V. O'Doherty. 2004. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. Bioresource Technology. 91: 309–315
- Heber, A.J., T.T. Lim, P.C. Tao et J.Q. Ni. 2004. Control of air emissions from swine finishing buildings flushed with recycled lagoon effluent. ASAE/CSAE paper No 044156. The Westin, ON: ASAE/CSAE.
- Heber, A., T. Lim, J. Ni, D. Kendall, B. Richert et A. Sutton. 2001. Odor, ammonia and hydrogen sulfide emission factors for grow-finish buildings (#99-122). Final Report submitted to National Pork Producers Council. Purdue University. February 28. <http://danpatch.ecn.purdue.edu/%7Eodor/NPPCfinal99122.pdf>. Consulté le 13 avril 2005.
- Heber, A.J., D.J. Jones et A.L. Sutton. 1999. Methods and practices to reduce odor from swine facilities. Report AQ-2. West Lafayette, IN: Purdue University Cooperative Extension Service.
- Heber, A.J., D.S. Bundy, T.T. Lim, J. Ni, B.L. Haymore, C.A. Diehl et R.K. Duggirala. 1998. Odor emission rates from swine finishing buildings. Dans: Proceedings of animal production and environment: International Conference on odor, water quality. Nutrient Management and Socioeconomic, Issues, 19-22 July, Des Moines, Iowa. 298-305.
- Hendriks, H.J.M et A.M. van de Weerdhof. 1999. Dutch notes on bat for pig- and poultry intensive livestock farming. Information Centre for Environmental Licensing. Publié par: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment et Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries. August, 67 pages.

- Hobbs, P.J., B.F. Pain, R.M. Kay et P.A. Lee. 1996. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 71: 508-514.
- Hoeksma, P., N. Verdoes, J. Oosthoek et J.A.M. Voermans. 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. *Livestock Production Science*. 31: 121-132.
- Hoff, S. J. et J. D. Harmon. 2006. Biofiltration of the critical minimum ventilation exhaust air. *Workshop on Agricultural Air Quality*. Washington, D.C., USA.
- Holness D.L., J.T. Purdham et J.R. Nethercott. 1989. Acute and chronic respiratory effects of occupational exposure to ammonia. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 50(12): 646-650.
- ITP (Institut technique du porc). 1998. Odeur et environnement, cas de la production porcine. Institut technique du porc, 149, rue Bercy 75595 Paris Cedex 12.
- IPCC. 2007. Chapter 2. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, USA: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (eds.).
- Iranpour, R., H.H.J. Cox, M.A. Deshusses et E.D. Schroeder. 2005. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environmental Progress*. 24 (3).
- Jacobson, L.D. 2004. Particulate matter (PM₁₀), Hydrogen sulfide, ammonia and odor emissions from Minnesota pig farrowing facilities.
- Jacobson, L.D., A.J. Heber, S.J. Hoff, Y. Zhang, D.B. Beasley, J.A. Koziel et B.P. Hetchler. 2006. Aerial pollutants emissions from confined animal buildings.
- Jacobson, L., B. Hetchler et D. Schmid. 2007. Reducing H₂S, NH₃, PM, & Odor Emissions from Deep-pit Pig Finishing Facilities by Managing Pit Ventilation. *Mitigating air emissions from animal feeding operations conference*.
- Jacobson, L.D., D. Schmidt, R. Nicolai, J. Bicudo. 1998. Odor control for animal agriculture. BAEU-17. Novembre 1998.
<http://www.bae.umn.edu/extens/aeu/baeu17.html>. Consulté le 11 avril 2005.
- Jacobson L.D., D.R. Schmidt et K.A. Janni. 2001. Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. ASABE, St. Joseph, Michigan.

- Jongebreur, A.A. 1981. Housing system and their influence on the environment. Environmental aspects of housing for animal production. Butterworths, London, UK 431-436.
- Jungbluth, T., E. Hartung et G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 60: 133-145.
- Kaspers, B., J. Koger, T. van Kempen. 2002. Evaluation of a conveyor belt waste collection system for swine: fecal drying efficiency and ammonia emission reductions. North Carolina State University. <http://mark.asci.ncsu.edu/SwineReports/2002/kaspers.htm>. Consulté le 8 août 2003.
- Kay, R.M. et P.A. Lee. 1997. Ammonia emission from pig buildings and characteristics of slurry produced by pigs offered low crude protein diets. In: *Proceedings of the international Symposium on ammonia and odour control from animal production facilities*. 253-260. Vinkeloord, The Neetherlands: Voermans, J.A.M, Monteny, G.J. (Eds.).
- Kim, N.J., Y. Sugano, M. Hirai et M. Shoda. 2000. Removal of a high aoad of ammonia gas by a marine bacterium, *Vibrio Alginolyticus*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 90 (4): 410-415.
- Kim, H., L.L. McConnell, P. Millner. 2005. Characterization of odorants from products of 14 different commercial composts using solid phase microextraction. *Transactions of the ASAE*. 48, 315–320.
- Kim K.Y., H.J. Ko, H.T. Kim, Y.S. Kim, Y.M. Roh, C.M. Lee et C.N. Kim. 2008. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives. *Bioresource Technology*. Vol. 99. Issue 17, 8464-8469.
- Kim-Yang, H., R. D. von Bernuth, J. D. Hill et S. H. Davies. 2005. Effect Of Ozonation On Odor And The Concentration Of Odorous Organic Compounds In Air In A Swine Housing Facility. *American Society of Agricultural Engineers* Vol. 48: 2297–2302.
- Koger, J.B., G.A. Wossink, B.A. Kaspers, T.A. van Kempen. 2002. Belt manure removal and gasification system to convert manure to fuel: the “RE-Cycle” system. North Carolina State University. <http://mark.asci.ncsu.edu/NCPorkConf/2002/koger.htm>. Consulté le 20 juin 2003.
- 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.
- Kroodsma, W. 1980. Separation of pig feces from urine using synthetic netting under a slatted floor. *Livestock waste: A renewable resource*. 419-421.

- Laguë, C. 2002. Big-picture approach. Systems-engineering method changes the criteria for managing manure. Resource magazine. Engineering and Technology for a sustainable world. 9 (11): 11-12.
- Le, P.D. 2006. Odour from pig production facilities: its relation to diet. Ph.D. Thesis. Wageningen, The Neetherlands: Wageningen Institute of Animal Science.
- Le, P.D., A.J.A. Aarnink, A.W. Jongbloed, C.M.C. van der Peet Schwering, N.W.M. Ogink, et M.W.A. Verstegen. 2006. Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure. Journal Animal Science. 85: 791–801
- Lemay, S.P., L. Chénard, H.W. Gonyou, J.J. Feddes et E.M. Barber. 2000. A two-airspace building design to reduce odour and ammonia emissions. In: Proceedings of the First International Conference in Swine Housing, 219-226. St-Joseph, MI: ASAE.
- Lim, T.-T., A.J. Heber, J.-Q. Ni, D.C. Kendall, B.R. Richert. 2002. Effects of manure removal strategies on odor and gas emission from swine finishing. In ASAE Annual International Meeting. Chicago Illinois, July 28 - August 2. Paper No 024123. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- Lyngbye, M., M.J. Hansen, A.L. Riis, T.L. Jensen et G. Sørensen. 2006. 1000 olfactometry analyses and 100 TD-GC/MS analyses to evaluate methods for reducing odour from finishing units in Denmark. Workshop on Agricultural Air Quality. Washington, D.C., USA.
- McCrory, D.F. et P.J. Hobbs. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes. Soils and Agroecology, Institute of Grassland & Environmental Research, North Wyke, Okehampton, Devon, UK.
- Mackie, R.I., P.G. Stroot et V.H. Varel. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odour components in livestock waste. Journal of Animal Science. 76: 1331-1342.
- Manuzon, R.B., L.Y. Zhao, H.M. Keener et M.J. Darr. 2007. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings. Transactions of the ASABE. 50 (4): 1395-1407.
- Marchal, P. 2002. Le système de séparation liquide-solide sous la queue : un choix technologique raisonnée. Dans 3^e Colloque sur les bâtiments porcins : Le bâtiment en évolution ! 20 mars, CRAAQ, p. 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.

- Melse, R.W. et N.W. M. Ogink. 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. Transactions of the ASABE. 48 (6): 2303-2313.
- Miner, J.R. 1999. Alternatives to minimize the environmental impact of large swine production units. Journal of Animal Science. 77(2): 440-444.
- MDDEP (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2002. Critères de qualité de l'air – Fiches synthèses. 271 pages.
- Moeser, A.J., M.T. See, E. van Heugten, W.E.M. Morrow et T.A.T.G. van Kempen. 2003. Diet and evaluators affect perception of swine waste odor: An educational demonstration. Journal Animal Science. 81: 3211-3215.
- Mol, G. et N.W.M. Ogink. 2003. The effects of three pig housing systems on odor emission. Proceedings of the conference on air pollution from agricultural operations III. Research Triangle Park, North Carolina USA. 12-15 octobre 2003. ASAE. Des Moines, IA, USA 1-8.
- Mutlu, A., Y. Zhang, R. Masel, G.L. Riskowski et M. Ellis. 2003. Reduce odor emission from swine buildings using activated carbon filter. In: Proceedings of the Conference in Air Pollution from Agricultural Operations III. Research Triangle Park, NC: H. Keener (ed.).
- Ni, J.-Q., J. Hendriks, C. Vinckier et J. Coenegrachts. 2000. Development and validation of a dynamic mathematical model of ammonia release in pig house. Environment International. 26: 105-115.
- Nicolai, R.E. et K.A. Janni. 2001. Biofilter media mixture ratio of wood chips and compost treating swine odors. Dept of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, USA.
- Nicolai, R.E. et K.A. Janni. 1997. Development of a low cost biofilter for swine production facilities. Presented at the ASAE Annual International Meeting, Paper No 974040. ASAE, St. Joseph, MI ASAE.
- Oehrl, L.L., R.W. Keener, R.D. Bottcher, R.D. Munilla et K.M. Connely. 2001. Characterization of odor components from swine housing dust using gas chromatography. Applied Engineering in Agriculture. 17 (5): 659 – 661.
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment). 2008. All chronic reference exposure levels adopted by OEHHA as of December 2008. California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment. [En ligne] http://www.oehha.org/air/chronic_rels/AllChrels.html.
- Ogink, N.W.M., H.C. Willers, A.J.A. Aarnink, I.H.G. Satter. 2000. Development of a new pig production system with integrated solutions for emission control, manure treatment and animal welfare demands. Dans: Swine Housing, Proceeding of the

- 1st International Conference, 253-259. October 9-11. Des Moines, Iowa. ASAE, St. Joseph, Michigan ASAE.
- O'Neil, D.H., I.W. Stewart et V.R. Phillips. 1992. A review of the odour nuisance from livestock buildings: Part 2, The costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 51: 157- 165.
- O'Neill, D.H. et V.R. Phillips. 1991. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 1, influence of the techniques for managing waste within the building. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 50: 1-10.
- Osada, T., H.B. Rom, P. Dahl. 1998. Continuous measurements of nitrous oxide and methane emission in pig units by infrared photoacoustic detection. *Transactions of the ASAE*. 41 (4): 1109-1114.
- Otto, E.R. , M. Yokoyama, S. Hengemuehle, R.D. von Bermuth, T. van Kempen, et N.L. Trottier. 2003. Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *Journal of Animal Science*. 81: 1754–1763.
- Paszek, D.A., L.D. Jacobson, V.J. Johnson et R.E. Nicolai. 2001. Design and management of an oil sprinkling system to control dust, odor, and gases in and from a curtain-sided pig finishing barn. ASAE paper No 01-4076. St Joseph, MI. ASAE.
- Payeur, M., S.P. Lemay, R.T. Zijlstra, S. Godbout, L. Chénard, E.M. Barber et C. Laguë. 2002. A low protein diet including fermentable carbohydrates combined with canola oil sprinkling for reducing ammonia emissions of pig barns. Paper No 02-503. CSAE/SCGR annual meeting. Saskatoon, Canada. 14-17 juillet.
- Pednault, M.L., F. Pouliot, M.J. Turgeon, R. Joncas, S. Godbout, J.P. Larouche, A. Marquis, S.P. Lemay et L. Chénard. 2002. Inventaire des concepts de bâtiments et des technologies qui réduisent les émissions d'odeur des bâtiments porcins : Revue de littérature. Québec, Qc. CDPQ.
- Pelletier, F., A. Marquis, S. Godbout, R. Joncas, J.-P. Larouche, D. Massé, P. Bégué. 2005 American Society of Agricultural Engineers. *Transactions of the ASAE*. Vol. 48(2): 721–728
- Phillips, V.R., M.R. Holden, R.P. White, R.W. Sneath, I.G.M. Demmers, C.M. Wathes. 1995. Measuring and reducing gaseous and particulate air pollution from UK livestock buildings. Seventh International Symposium on Agriculture and Food Processing Wastes. ASAE: 241-251.
- Phillips, V.R., D.A. Cowell, R.W. Sneath, T.R. Cumby, A.G. Williams, T.G.M. Demmers, D.L. Sandars. 1999. An assessment of ways to abate ammonia emissions from

- UK livestock buildings and waste stores. Part 1: ranking exercise. *Bioresource Technology*. 70: 143-155.
- Pigeon S. 2006. Outil d'aide à la gestion d'odeurs sur les sites d'élevage porcin. Rapport final de la phase A. FPPQ, Québec.
- Porkboard. 2004. Odor control. Odor reduction strategies/technologies. <http://www.porkboard.org/Environment/Information/oct.pdf>, Consulté le 10 décembre 2004.
- Portejoie, S., J.Y. Dourmand, J. Martinez et Y. Lebreton. 2004. Effect of lowering crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*. 91: 45-55.
- Pouliot, F. et S.P. Lemay. 2004. Le contrôle des odeurs au bâtiment. Dans : Cahier des conférences de la Journée d'information provinciale sur les odeurs et la production porcine : les solutions accessibles. 27 janvier 2004.
- Powers, W. J. 1999. Odor control for livestock systems. *Journal of Animal Science*. 77:169-176.
- Predicala, B.Z, E.L. Cortus, S.P. Lemay et C. Laguë. 2007. Effectiveness of a manure scraper system for reducing concentration of hydrogen sulphide and ammonia in a swine grower-finisher room. *Transactions of the ASAE*. 50(3): 999-1006.
- Priem, R. 1977. Deodorization by the means of ozone. *Agriculture and Environment*. 3: 229-237.
- Revah, S. et J.M. Morgan-Sagastume. 2005. Methods of odor and VOC control. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Robertson, J.F. 1994. Ammonia, dust and air quality: quantifying the problem. *The Pig Journal*. 33: 113-125.
- Rodrigues, G.S., C. Campanhola et P.C. Kitamura. 2003. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. *Environmental Impact Assessment Review*. 23: 219-244.
- Ruan, R., W. Han, A. Ning, S. Deng, P.L. Chen et P. Goodrich. 1999. Effects of design parameters of planar silent discharge plasma reactors on gaseous ammonia reduction. *Transactions of ASAE*. 42(6): 1841-1845.
- Ruan, R. 2000. Non-thermal plasma for livestock odor control. 2000 annual report – research. Department of Biosystems and Agricultural Engineering. University of Minnesota.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

- Schiffman, S.S. et C.M. Williams. 2005. Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality*. 34: 129-138.
- Schiffman, S.S., J.L. Bennett, J.H. Raymer. 2001. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agric. Forest Meteor.* 108(3): 213-240.
- Schiffman, S.S. 1998. Livestock Odors: Implications for Human Health and Well-being. *Journal of Animal Science* 76 : 1343-1355.
- Schiffman, S.S., E.A. Miller, M.S. Suggs et B.G. Graham. 1995. The effect of environmental odors emanating from commercial swine operations on the mood of nearby residents. *Brain Research Bulletin*. 37(4): 369-375.
- Schmidt, D., K. Janni, L. Jacobson, J. Bicudo, J. Zhu, R. Nicolai et M. Moscato. 2005. Animal agriculture and air quality. St-Paul, MN, Department of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota Extension Service.
- Shah, S.B., P.W. Westernman, R.D. Munilla, M.E. Adcock et G.R. Baughman. 2007. Performance evaluation of a regenerating scrubber for animal house emissions. International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture. ASABE Publication. Broomfield, Colorado.
- Sheridan, B.A., T.P. Curran et V.A. Dodd. 2002a. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. *Bioresource Technology*. 84: 129-143.
- Singh, A., Z. Shareefdeen et O.P. Ward. 2005. Bioscrubber technology. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales et C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Rome, Italy: FAO. [Online]. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/A0701E/A0701E00.pdf> Consulté le 1^{er} juillet 2009.
- Sutton, A.L., K.B. Kephart, M.W.A. Verstegen, T.T. Canh et P.J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science*. 77: 430-439.
- Swine Odor Task Force Group. 1995. Options for managing odor. Raleigh, NC : North Carolina State University. <http://www.ces.ncsu.edu/whpaper/SwineOdor.html#diet> Consulté le 4 juillet 2008.
- Tuitoeck, J.K., L.G. Young, C.F.M. de Lange et B.J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *Journal of Animal Science*. 75: 1575-1583.

- U.S EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1996. Swine CAFO odors: Guidance for environmental impact assessment. Region 6, Dallas, Texas. Contract No 68-D3-0142.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2009. Ammonia. IRIS Database for Risk Assessment. [En ligne] <http://www.epa.gov/iris/>.
- van Kempen, T., B. Kaspers, P. Burnette, M. van Kempen, J.B. Koger. 2003. Swine housing with a belt for separating urine and feces; key to flexibility? In 2nd International Swine Housing Conference, 159-165. October 12-15. Durham, North Carolina. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- Van Kempen, T. 2003. Re-Cycle: a profitable swine production system for zero waste. *Advances in Pork Production*. Vol. 14: 195.
- Vansickle, J. 2001. Pit additives score low on odor tests. *National Hog Farmer*. http://nationalhogfarmer.com/mag/farming_pit_additives_score/
- VDI 3881/Part 1. 1986. Olfactometry-odour threshold determination-fundamentals (Issue German/English 5/86). Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure VDI.
- Veenhuizen, M.A. 1996. Odor - An environmental challenge for the pork industry. Dans: *NPPC*, p. 1-13.
- Verdoes, N. et 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 1997, Vol. 1, p 317-325.
- Voermans, J.A.M. et M.M.L. van Asseldonk. 1990. Separation of pig manure under a slatted floor. *Proefverslag-Proefstation-voor-de-Varkenshouderij*, No P1.151, 32 pages.
- Voermans, J.A.M. et F. van Poppel. 1993. Scraper systems in pig houses. *Livestock environment IV. Proceedings of a conference held in Coventry, UK*. 6-9 July 1993: 650-656.
- von Bernuth, R.D. 2001. Separate ways/keeping manure solids and liquids apart benefits transport. *Resource, Engineering and Technology or a Sustainable World*, 9-10. September.
- Wu, J.J., S-H. Park, S.M. Hengemuehle, M.T. Yokoyama, H.L. Person, J.B. Gerrish et S.J. Masten. 1999. The use of ozone to reduce the concentration of malodorous metabolites in swine manure slurry. *Journal of Agricultural Engineering*. 72: 317-327.
- Zhang, Q., J.J.R. Feddes, I. Edeogu, M. Nyachoti, J. House, D. Small, C. Liu, D. Mann et G. Clark. 2002. Odour production, evaluation and control. Project MLMMI 02-HERS-03. Final Report. Manitoba Livestock Manure Management Initiative Inc.

- Zhang, R.H., P.W. Westerman. 1997. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutriment management. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 13(5): 657-664.
- Zouzou, N., E. Moreau et G. Touchard. 2005. Précipitation électrostatique dans une configuration pointe-plan. *Journal of Electrostatics*. 64: 537–542.

ANNEXE 1 : Documents reliés à l'avis d'experts concernant le calcul du facteur F et du transfert vers d'autres productions animales

1-A : Rencontre du comité des experts (23.03.2010)

1-B : Compte rendu de la réunion de travail des experts (mars 2010)

Annexe 1 : Documents reliés à l'avis d'experts concernant le calcul du facteur F et du transfert vers d'autres productions animales

1-A Rencontre du comité des experts (23.03.2010)

Réunion de travail

Objectifs

- 1) Validation de l'approche globale pour l'utilisation du facteur d'atténuation (F) dans le calcul des distances séparatrices relatives aux installations d'élevage dans le contexte des nouveaux équipements et des nouvelles techniques de réduction des odeurs.
- 2) Vérifier la possibilité de transfert de ces techniques vers les autres productions.

Projet	Réduction des émissions gazeuses et odorantes aux bâtiments porcins : techniques simples et efficaces applicables à la ferme.
Projet IRDA #	200 013
Date	Mardi, le 23 mars 2010
Heure	9 h 15 à 12 h 00
Lieu	IRDA – Local F.1.101 du Complexe scientifique Sainte-Foy, Québec
Participants	Stéphane Godbout; Stephane Lemay; Frederic Pelletier; Line Bilodeau ; Francis Pouliot ; Marc Trudelle; Dan Zegan; Joahnn Palacios

ORDRE DE JOUR

- 1) **Ouverture de la réunion**
- 2) **Compte rendu du projet**
 - Objectifs et étapes du projet;
 - Résultats des essais expérimentaux sur des techniques et méthodes de réduction des gaz et des odeurs aux bâtiments porcins;
 - Évaluer le facteur « F » associé à ces technologies afin de combler le vide de la loi sur les distances séparatrices.
- 3) **Discussion sur l'approche globale pour l'utilisation du facteur F**
 - Législation actuelle concernant l'évaluation des distances séparatrices et le facteur F;
 - Estimations du facteur F pour les techniques et méthodes de réduction des odeurs proposées par IRDA;
 - Validation de l'approche IRDA.
 - Émettre un avis critique sur la possibilité et l'intérêt du transfert des techniques vers les autres productions.

4) Fin de la rencontre

Note : Les documents pertinents à la rencontre sont présentés en annexe.

Annexe A - Compte rendu du projet

Annexe B - Résultats des essais expérimentaux (article scientifique)

Annexe C - Évaluation des distances séparatrice et facteur F selon la législation actuelle

Annexe A

Compte rendu du projet

1. Titre du projet

Réduction des émissions gazeuses et odorantes aux bâtiments porcins : techniques simples et efficaces applicables à la ferme

2. Objectifs du projet

- Mettre à jour les connaissances sur l'ensemble des techniques visant à réduire les émissions gazeuses et odorantes aux bâtiments porcins;
- Cibler les techniques applicables à la ferme les plus prometteuses dans le contexte québécois pouvant réduire les émissions gazeuses et odorantes sur la base des connaissances acquises;
- Compléter au besoin le développement de certaines de ces techniques ciblées;
- Tester les techniques ciblées afin d'évaluer et de quantifier leur efficacité;
- Établir le facteur F (facteur d'atténuation) pour les diverses situations et la façon de l'intégrer dans l'équation de détermination des distances séparatrices;
- Quantifier le coût de ces techniques;
- Évaluer la possibilité de transfert de ces techniques vers d'autres productions animales;
- Transférer les connaissances aux intervenants et aux producteurs.

3. Étapes du projet

Étape 1. Réaliser une revue de littérature afin de mettre à jour l'information disponible. Cette revue comprend également le regroupement des résultats de travaux de recherche de l'IRDA qui n'ont pas encore été publiés.

Étape 2. Évaluer de façon critique les connaissances et prioriser les techniques ou méthodes les plus prometteuses dans le contexte québécois.

Étape 3. Réaliser des essais expérimentaux afin de confirmer certains résultats de la littérature, combler les données manquantes et finaliser, si nécessaire, certains développements mineurs.

Étape 4. Déterminer le facteur d'atténuation (F) spécifique à chaque technique (lorsqu'applicable) afin d'examiner la possibilité de réduire les distances séparatrices suite à l'implantation de certaines de ces techniques.

Étape 5. Réaliser une analyse économique afin d'établir le coût des techniques, en se basant sur l'information recueillie.

Étape 6. Émettre un avis critique sur la possibilité et l'intérêt du transfert des techniques vers les autres productions à l'aide de l'information recueillie et de l'avis des experts impliqués dans le projet.

Étape 7. Compiler et vulgariser les résultats.

Étape 8. Rédiger des feuillets techniques facilement accessibles sous forme papier ou PDF.

4. Essais expérimentaux sur des techniques et méthodes de réduction des gaz et des odeurs aux bâtiments porcins

4.1 Technologies expérimentées

- B : Biofiltration de l'air;
- D : Diète spécialement formulée pour réduire les odeurs;
- V : Gratte en « V » qui sépare les phases liquides et solides sous les lattes;
- V + D : combinaison de gratte en « V » et d'une diète optimisée pour réduire les odeurs.

4.2 Objectifs de l'étape expérimentale

- a. Mesurer et comparer les émissions odorantes et gazeuses pour les technologies de réduction des odeurs et des gaz au bâtiment porcin les plus prometteuses pour le contexte québécois.
- b. Analyser l'effet de la combinaison de deux technologies.
- c. Évaluer le facteur « F » associé à ces technologies afin de combler le vide de la loi sur les distances séparatrices.

4.3 Résultats des essais

Le tableau 1 présente les résultats des émissions de gaz et d'odeur obtenus dans le cadre du projet (voir annexe B).

Tableau 1: Résultats des émissions de gaz et d'odeur.

Treatments	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	Odeur
	mg/h·kg _{porc}				OU/h·kg _{porc}
Témoin	701	1,28	0,07	3,33	141
Diète	652	2,82	0,07	1,22	136
Gratte en « V »	671	1,26	0,08	2,12	114

Diète + Gratte en « V »	548	2,10	0,07	0,69	113
Biofiltre percolateur	684	1,30	0,31	0,76	58

4.4 Évaluation du facteur « F » associé à ces technologies

Les distances séparatrices et le facteur d'atténuation « Facteur F »

Le gouvernement du Québec a établi une approche pour déterminer des distances séparatrices relatives aux installations d'élevage afin de favoriser une cohabitation harmonieuse en zone agricole (Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles, L.R.Q., c. P-41.1, dans la Directive sur les odeurs causées par les déjections animales provenant d'activités agricoles, c. P-41.1, r.3.02).

La distance séparatrice est obtenue en multipliant les paramètres B, C, D, E, F et G présentés ci-après.

Tableau 2 : Liste des paramètres pour le calcul des distances séparatrices.

Paramètre	Identification
A	Nombre d'unités animales
B	Distances de base
C	Charge d'odeur
D	Type de fumier
E	Type de projet
F	Facteur d'atténuation
G	Facteur d'usage ou type d'unité de voisinage considéré

Le facteur d'atténuation ou « facteur F » est le facteur permettant d'intégrer l'effet de l'atténuation des odeurs en fonction de la technologie adoptée pour réduire les émissions odorantes. Selon la directive, ce facteur est composé de trois sous-facteurs impliquant le type de toiture (F_1), le type de ventilation (F_2) et d'autres technologies adoptées (F_3). Les technologies et leurs facteurs stipulés actuellement dans la législation sont détaillés au tableau 3.

Tableau 3 : Facteur d'atténuation (paramètre F).

Technologie	Paramètre F
Toiture sur lieu d'entreposage	F₁
- absente	1,0
- rigide permanente	0,7
- temporaire (couche de tourbe, couche de plastique)	0,9
Ventilation	F₂
- naturelle et forcée avec multiples sorties d'air	1,0
- forcée avec sorties d'air regroupées et sorties d'air au-dessus du toit	0,9
- forcée avec sorties d'air regroupées et traitement de l'air avec laveurs d'air ou filtres biologiques	0,8
Autres technologies	F₃
- les nouvelles technologies peuvent être utilisées pour réduire les distances lorsque leur efficacité est éprouvée	facteur à déterminer lors de l'accréditation

Lorsqu'une installation d'élevage utilise une combinaison de technologies, le facteur F total est déterminé à partir de la multiplication de chaque sous-facteur, c'est-à-dire : $F = F_1 \times F_2 \times F_3$.

Détermination du facteur d'atténuation F₃

La présente démarche est basée sur deux points, soit 1) le facteur de 0,8 actuellement en vigueur a été établi en fonction des efficacités relevées dans la littérature scientifique contemporaine, et 2) le pourcentage de réduction d'odeur obtenu par le biofiltre percolateur évalué dans le cadre de ce projet correspond aux efficacités de réduction relevées dans la littérature pour le même type de technologie.

Par conséquent, le calcul du facteur F correspondant à chaque technologie est basé sur le pourcentage de réduction du biofiltre percolateur d'air. C'est-à-dire, qu'il a été calculé à partir de l'interpolation de la réduction de l'odeur obtenue par le biolaveur (59 %) et la valeur de leur facteur F (0,8). Le tableau 4 présente les réductions des émissions d'odeur des technologies évaluées dans le cadre du présent projet et les facteurs F correspondants.

Tableau 4: Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.

Technologie	Émission d'odeur OU/h·kg _{cochon}	Réduction %	Facteur F
Diète	136	3	1,0
Gratte en « V »	114	19	0,9
Diète + Gratte en « V »	113	20	0,9
Biofiltre percolateur	58	59	0,8

Annexe B

Résultats des essais expérimentaux (article scientifique)

REDUCTION OF ODOUR EMISSIONS FROM SWINE BUILDINGS: COMPARISON OF THREE REDUCTION TECHNIQUES

S. GODBOUT¹, L. HAMELIN², S.P. LEMAY¹, F. PELLETIER¹, D. ZEGAN¹,
M. BELZILE¹, F. GUAY³ AND J. ORELLANA³

¹ Research and Development Institute for the Agri-Environment, 2700 Einstein, Quebec (QC), G1P 3W8, Canada Stephane.godbout@irda.qc.ca, ² Southern Denmark University, Odense, Denmark, ³ Université Laval, Quebec (QC), G1V 0A6, Canada.

CSBE – Presented at Section II: Farm Buildings, Equipment, Structures and Livestock Environment.

ABSTRACT Although several technologies have been developed to reduce odour emissions from swine housing, there is actually no official inventory that can be used to compare the reductions obtained with these technologies. The objectives of the present study were 1) to select from the literature the most promising technologies allowing odour emissions reduction; 2) to evaluate the selected technologies in an experimental barn and 3) to compare the emission reductions. A literature review listing all developed technologies was carried out. A list of criteria classified within six different categories (agronomic, economic, technical, environmental, use of resources and social & health) was used to assess the global potential performance of all those technologies. An experimental laboratory farm was then used to compare the selected technologies. The experiment involved five treatments: diet alterations, under slats separation system, a combination of diet alterations and under slats separation, biological air treatment and a control. Identical and independent chambers housing four growing-finishing pigs were monitored during seven weeks (3 weeks of accommodation and 4 weeks of testing). Odour concentration was evaluated weekly by olfactometry. Preliminary results showed that an appropriate diet can reduce odour emissions by 35% while in-barn separation system allowed a 33% reduction of the odour emissions. The combination of these two treatments allows a total reduction of 59% of the odour emissions. The biological air treatment can reduce the odour emissions by 81%. Results indicate that a biological air treatment is the most promising technology for odour reduction from swine buildings.

Keywords: gas emissions, odours, diet, swine, in-barn separation, air cleaning

INTRODUCTION

Livestock production in confinement facilities results in gas emissions such as ammonia (NH_3), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) and carbon dioxide (CO_2). Ammonia, CH_4 and N_2O are products of manure decomposition while CO_2 is primarily a product of animal metabolism. Furthermore, odour from animal production represents an important concern. In pig production, manure is stored as a liquid beneath a slotted floor. Both the manure attached to the flooring material and as a stored liquid produces these odour and gases.

Several technologies have been developed to reduce odour and gas emissions from swine housing. Three techniques seem to be interesting that is to say the under-slat separation system, diet manipulation and the biological air treatment.

Literature has shown separating urine from feces under slats and frequently removing both fractions is suitable to reduce gas and odour emissions from buildings (Andersson, 1995; Arogo et al., 2001; Bernard et al., 2003; Jongebreur, 1981). On average, under-slat separation systems in piggeries can reduce ammonia and odour emissions up to 50% (Hendriks and Weerdhof, 1999; Kaspers et al., 2002; Koger et al., 2002; Kroodsma, 1986; van Kempen et al., 2003; Voermans and van Asseldonk, 1990; Voermans and van Poppel, 1993). Three major under-slat manure separations systems have been studied over the years, the conveyor net, the V-shape scraper and the conveyor belt.

A conveyor net made of chevron meshes placed under the slats drives the feces at one end; the liquid percolates throughout for storage in a conventional pit. The meshes are cleaned mechanically once a day using a brush (Marchal, 2002). The experiment conducted by Kroodsma (1986) demonstrates an odour reduction of 50% compared to a pull plug for a building equipped with such systems. According to Kroodsma (1980), using a conveyor net gives rise to a more pleasant smell in the building than the smell in a facility with conventional storage under the slats.

In the case of the V-shaped scraper, the feces stay on the inclined walls; urine is gathered into the middle trench and continuously drained out of the room. Voermans and van Asseldonk (1990) concluded that even with dirty floor, it is possible to get a 40% ammonia reduction with such a system in a grower-finisher building. Voermans and van Poppel (1993) obtained an 80% reduction in ammonia emissions in a nursery. Groenestein (1994) measured an NH_3 emission reduction from 12 to 27% with a similar system. Although no experiment was ever made on the potential reduction of odours, Bernard et al. (2003) maintain that a 45% reduction in odour emissions could be reached.

The system studied at North Carolina State University (van Kempen et al., 2003) is a conveyor belt. The solids stay on the inclined conveyor rubber belt; the liquid flows off into a gutter positioned alongside the belt. Kaspers et al. (2002) measured a 65% reduction in ammonia emissions in comparison with values found in Arogo et al. (2001) and Aarnink et al. (1995). Kaspers et al. (2002) found no change in methane production, no matter the quantity of feces on the belt.

Nutrient management is a key to successful sustainable swine production (Honeyman, 1996). An effective way of reduction gas and odour emission would be to reduce manure and urinary nitrogen. In the past, dietary requirements of grower-finisher pigs for each of essential amino acids were met by including enough crude protein in diets to meet requirements for lysine, the first limiting amino acid in corn-soybean diets. Reduction of dietary protein combined with supplementation of synthetic amino acids in pig diets might reduce total nitrogen excretion by 25 to 40% (Hartung and Phillips, 1994; Kay and Lee, 1997). Reduction of dietary protein by 29% results directly in a reduction of NH_3 emission by 52% (Kay and Lee, 1997). Moreover, concentrations of other major odour components responsible for pig odour were significantly lower in slurry from pigs fed low crude protein diets compared to a control diet (Hobbs et al., 1996).

An additional method to reduce emissions caused by excess nitrogen, in particular NH_3 , is alteration of the ratio of nitrogen excretion in urine versus feces (Mroz et al., 1993). Reduction of nitrogen excretion in urine as urea, the primary precursor for NH_3 volatilisation, combined with shifting nitrogen excretion into the feces, primarily as bacterial protein, will reduce NH_3 volatilisation and thereby NH_3 emission of swine barns. Inclusion of fermentable carbohydrates or non-starch polysaccharides (NSP) into diets stimulates bacterial fermentation in the hindgut and reduced urinary versus fecal nitrogen ratio by 68% (Canh et al., 1997a). In a subsequent study, NH_3 emission was reduced up to 40% by dietary inclusion of fermentable carbohydrates (Canh et al., 1997b). However, increased bacterial fermentation caused increased production of volatile fatty acids (for example: acetate, propionate, and butyrate), which are also part of the total odour. The decreased dietary electrolyte balance (expressed as $\text{mEq Na} + \text{K} - \text{Cl}$) in the diet reduced the pH of urine and subsequent slurry. Canh et al. (1998) and Mroz et al. (1996) showed that dietary calcium chloride and electrolyte balance significantly influenced urinary pH and subsequent pH and NH_3 emission from pig slurry.

The air treatment methods for odour control are classified into two broad categories, the non-biological treatment (physicochemical) and the biological treatment (Manuzon et al. 2007, Sheridan et al. 2002). Agricultural applications, such as livestock buildings, require solutions for the treatment of the air emitted. The air volume is high and the concentrations of pollutants are lower as compared from industrial applications. In addition, the systems must be simple and easy to operate and maintain (Devinny et al. 1999). In those applications, the main objectives of the air treatments are the reduction of odours, NH_3 , H_2S and dust. The temperature and pressure of the air to be treated are similar to those of the ambient air. However, the climatic factor is sometimes an important element to consider. Removal efficiency for odour with a biological treatment can range from 29 to 100% depending of the operation conditions (Luo, 2001). The reduction of NH_3 and H_2S emissions is also widely variable, going from 6 to 100% and 3 to 99%, respectively (Nicolai and Janni 2001, Armeen 2008, Iranpour et al. 2005).

Therefore, the objectives of the present study were 1) to test three techniques allowing odour and gas emissions reduction in an experimental swine barn and 2) to compare the emission reductions obtained from the diet, the V-shape scraper, the combination of both and from a biological air treatment.

MATERIAL AND METHODS

The experimental laboratory barn consisted of 12 identical and independent chambers laid out side-by-side (figure 1). Each room is equipped with a fully concrete slatted floor and has its own manure handling system. Four growing-finishing pigs were housed per chamber during seven weeks (3 weeks of accommodation and 4 weeks of testing). All animal-related data (feed and water consumption, weight gain, volume of manure) as well as manure samples were taken weekly.

The chambers were provided with uniform heating and ventilation rates, and with instrumentation to continuously measure temperature and relative humidity. Relative humidity and temperature in the chambers were measured by a combined temperature and relative humidity probe (Model CS500, Campbell Scientific, Logan, UT). The temperature probe was calibrated by a mercury thermometer ($\pm 0.4^{\circ}\text{C}$). The relative humidity probe was calibrated with a saturated aqueous salt solution (magnesium chloride: 32.5% RH; magnesium nitrate: 52.9% RH). The dew point of the incoming air was available from the inlet ambient temperature and relative humidity values. The output from temperature and relative humidity probe and the pressure differential transducer were recorded every 10 min by an acquisition system (Model CR-10, Campbell Scientific, Edmonton, AB).

The ventilation system consisted of an inlet and exhaust fan mounted in the ceiling of each chamber. The exhaust fan was able to vary its capacity from 14 to 75 L/s. The exhaust air was directed through a 204-mm iris orifice damper (Model 200; Continental fan manufacturer inc., Buffalo, NY). Its accuracy was rated at $\pm 5\%$. A differential pressure transducer measured the pressure across the orifice plate.



Figure 1. A picture of the experimental chambers.

EXPERIMENTAL DESIGN

The experimental design used in this experiment involved four treatments: 1) C: control (no technology implemented, manure handled with a pull plug system emptied every week); 2) D: dietary manipulation; 3) S: under slat separation system (V-shaped scraper); 4) D+S: a combination of the treatment D and S; 5) B: air cleaning system.

Three replicates per treatment were completed each trial, for a total of six replicates per treatment.

TREATMENTS

A standard commercial diet was used as control and the treatment diet is a special diet formulated to reduce odour emissions (Table 1).

Table 1: Composition of the control and treatment diets

Ingredients	Quantity (%)	
	Control diet	Treatment diet
Corn	67,690	54,240
Tourteau soya	15,000	8,000
Wheat	15,000	15,000
Animal fat	0.000	5,000
Soybean hulls	0.000	15,000
Limestone	0.850	0.700
Dicalcium. Phosphate	0.400	0.400
Calcium chloride	0.000	0.150
Lysine-HCL	0.150	0.350
DL-Methionine	0.000	0.030
L-Tryptophan	0.000	0.030
L-Threonine	0.000	0.150
NatuPhos5000 (phytase)	liquid 0.015	0.015
Porzyme9310 granular	0.000	0.040
Choline 60	0.095	0.095
Premix (Vitamin et minerals)	0.500	0.500
NaCl	0.300	0.300
TOTAL (%)	100.0	100.0
Total protein contain (%)	15	12

The in-barn manure management system separates urine from feces using a V-shaped scraper and a V-shaped gutter (figure 2). Feces stay on the inclined walls while urine is gathered into the middle trench and stored under the gutter. A mobile squeegee-type scraper is used to remove feces once every two or three days.



Figure 2. A picture of the V-shape scraper system.

Using the information available in the literature, three air treatment units (ATU 1, 2 and 3) were thus designed to meet the air treatment required for the three small-scale swine chambers (figure 3). Each unit has a treatment volume of 0.80 m^3 fabricated from synthetic material and a continuous recirculation of liquid was used to moisten them.



Figure 3. A picture of the air cleaning system.

GAS AND ODOUR MEASUREMENTS

The concentration of methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O) were measured with a gas chromatograph (Varian 3600, USA) equipped with a flame ionization detector (FID) for detection and quantification of CH_4 and an electron capture detector (ECD) for detection and quantification of CO_2 and N_2O . Ammonia (NH_3) was measured with a non-dispersive infra-red (NDIR) analyzer (Ultramat 6E, Siemens, Germany) and the semi-quantitative evaluation of hydrogen sulphide (H_2S) is done with a UV fluorescence analyzer (M101E, Teledyne API, USA). Every two days, the analyzers would monitor ambient air and certified calibration gas.

Odour samples were collected weekly. Odour concentration was evaluated by dynamic olfactometry and odour intensity was evaluated in-situ by nasal rangers (BSI, 2003; Feddes et al., 2001). Two trained odour assessors evaluated the ambient odour intensity at the intake and the exhaust of each room with a 9-point n-butanol scale as described in the Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odour Intensity Standard (ASTM 544-99, 1999). During the same time periods, air samples at the air room intake and exhaust were collected in 60-L flushed Nalophane bags for odour concentration evaluation. These olfactometry tests to measure the concentration were carried out in a 24 hours period from the sampling period.

RESULTS AND DISCUSSION

The initial and final average pig weights were 60.4 kg and 90.25 kg, respectively. The average daily gain for all treatments and control ranged from 1.03 to 1.06 kg/day-pig for an overall average of 1.05 kg/day-pig showing no significant difference between treatments. Consequently, the experimental diet did not have any detrimental effect on animal performance.

The V-shaped and the combination Diet-V-shaped scraper treatment reduced odour emissions by 20% in comparison with the control (Table 2) but that difference was not statistically significant. A significant odour reduction of 59% was achieved by the air cleaning treatment.

Except for the air cleaning system, all treatments had no impact on CO_2 and N_2O emissions (Table 2) and these results are in agreement with the literature. The air cleaning treatment increased significantly (by more than three times) the N_2O emissions. The diet treatment and the combination Diet-V-shaped increased significantly (by 120% and 64% respectively) the CH_4 emissions.

The NH_3 emissions were significantly reduced by all treatments (Table 2). The best reductions were obtained by the air treatment and the treatment combination reaching 77 and 79% in comparison with the control, respectively. A reduction of 63 and 36% was obtained with the diet and V-shape scraper, respectively. These results are within the same range than the literature (from 40 to 65% of reduction).

Table 2. Gas and odour emission results.

Treatments	CO ₂ mg/hr-kg _{pig}	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	Odour OU/hr-kg _{pig}
Control	701.00	1.28	0.07	3.33	140.65
Diet	652.00	2.82	0.07	1.22	135,89
V-Shaped	671	1.26	0.08	2.12	113.50
Diet + V-Shaped	548	2.10	0.07	0.69	112.83
Air treatment	684.50	1.30	0.31	0.76	58,08

CONCLUSION

The objectives of the present study were 1) to select from the literature the most promising technologies allowing odour emission reduction; 2) to test the selected technologies in an experimental barn and 3) to compare the measured emission reductions.

Three different techniques (dietary modification, in-barn separation system and air cleaning system) have been identified as the most promising options to reduce gas and odour emissions from a pig barn. The diet tested in this study reduced NH₃ emissions by 63%, increase significantly CH₄ emissions and had no impact on odour emissions. In comparison with the control, the in-barn separation system reduced both NH₃ and odour emissions by 36% and 19%, respectively. The air cleaning system tested allowed a significant reduction of odour (59%) and NH₃ (77%) emissions. However, N₂O emissions were higher than the control. Therefore, more research has to be done on biological air cleaning systems to minimize side effects as the increase in N₂O emissions.

Acknowledgements The authors gratefully acknowledge the CDAQ, NSERC, MAPAQ and FPPQ for the funding of this project. Also, acknowledgements are extended to the Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA) who provided in-kind contributions for this study. The authors are also indebted to the technicians (Michel Côté, Lise Potvin, Jacques Labonté and Martin Gagnon) and workers (Christian Gauthier and Harold Dusablon) for the professional support they kindly provided.

REFERENCES

- ASTM. E 544-99. 1999: Standard practices for referencing suprathreshold odour intensity. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Andersson, M. 1995. The effect of different manuring systems on ammonia emissions in pig buildings. A comparing study between scrapers under slatted floors and rubber mats under slatted floors. Rapport 100, Lund. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Agricultural Biosystems and technology. 41 pp.
- Armeen, A., J. J. R. Feddes, J. J. Leonard, R. N. Coleman. 2008a. Biofilters to treat swine facility air: Part 1. Nitrogen mass balance. Canadian Biosystems Engineering. 50 (6):21-28.
- Arogo, J., P.W. Westerman, A.J. Heber, W.P. Robarge and J.J. Classen. 2001. Ammonia

- in animal production – A review. In ASAE Annual International Meeting. Sacramento, California, USA, July 30-August 1. Paper No 01-4089. ASAE, St. Joseph, Michigan, ASAE.
- Belzile, M., S. Godbout, S.P. Lemay, J. Lavoie, I. Lachance et F. Pouliot. 2006. Impact de la séparation fèces-urine sous caillebotis sur la qualité de l'air ambiant en porcherie. *Journées Recherche Porcine*. 38 : 21-26.
- Bernard, C., C. Côté, D., Giroux, M., Grégoire, R., Joncas, R. and D.Y. Martin. 2003. Mémoire de l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec. April 16th, 2003. 41 pages.
- BSI. 2003. Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. BS EN 13725. London, U.K.: British Standards Institution.
- Canh, T.T., M.W.A. Verstegen, A.J.A. Aarnink and J.W. Schrama. 1997a. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and compositions of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 75:700-706.
- Canh, T.T., A.J.A. Aarnink, J.W. Schrama and J. Haaksma. 1997b. Ammonia emission from pig houses affected by pressed sugar beet pulp silage in the diet of growing-fattening pigs. *Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities*, 273-281. CIGR and EurAgEng publication, Rosmalen, The Netherlands.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, Z. Mroz, A. W. Jongbloed, J. W. Scharma, and M.W.A. Verstegen. 1998. Influence of dietary electrolyte balance and acidifying Ca-salts in the diet of growing- finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation. *Livest. Prod. Sci.* 56:1–13.
- Devinny, J. S., M. A. Deshusses, T. S. Webster. 1999. Biofiltration for air pollution control. Lewis Publishers. Washington, DC, USA.
- Feddes J.J.R., G. Qu, C. Ouellette and J. Leonard. 2001. Development of an eight-panelist single port, forced-choice, dynamic dilution olfactometer. *Journal of Canadian Biosystems Engineering*. 43:6.1-6.5.
- Groenestein CM. 1994. Ammonia emission from pig houses after frequent removal of slurry with scrapers. CIGR, General Secretariat
- Hartung, J. and V.R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure storages. *Journal of Agricultural Engineering Resources*. 57:173-189.
- Hendriks, H.J.M et A.M. van de Weerdhof. 1999. Dutch notes on bat for pig- and poultry intensive livestock farming. August. Information Centre for Environmental Licensing. Published by : Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment et Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries. 67 pages.
- Hobbs, P.J., B.F. Pain, R.M. Kay and P.A. Lee. 1996. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. *J. Sci. Food Agric.* 71: 508-514.
- Honeyman, M.S. 1996. Sustainability issues of U.S. swine production. *J. Anim. Sci.* 74:1410-1417.
- Iranpour, R., H. H. J. Cox, M. A. Deshusses, E. D. Schroeder. 2005. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal. *Environmental Progress*. 24 (3).
- Jongebreuer, A.A. 1981. Housing system and their influence on the environment. Environmental aspects of housing for animal production, Butterworths, London, UK:

431-436.

- Kay, R.M. and P.A. Lee. 1997. Ammonia emission from pig buildings and characteristics of slurry produced by pigs offered low crude protein diets. Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, 253-260. CIGR and EurAgEng publication, Rosmalen, The Netherlands.
- Kaspers, B., J. Koger and T. van Kempen. 2002. Evaluation of a conveyor belt waste collection system for swine: fecal drying efficiency and ammonia emission reductions. North Carolina State University. Available at: [http://mark.asci.ncsu.edu/SwineReports/2002/kaspers.htm] August 8th, 2003.
- Koger, J.B., G.A. Wossink, B.A. Kaspers and T.A. van Kempen. 2002. Belt manure removal and gasification system to convert manure to fuel: the "RE-Cycle" system. North Carolina State University. Available at: [http://mark.asci.ncsu.edu/NCPorkConf/2002/koger.htm] June 20th, 2003.
- 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.
- Luo, J. 2001. A pilot-scale study on biofilters for controlling animal rendering process odours. *Water Science and Technology*. 44 (9): 277-285.
- Manuzon, R. B., L. Y. Zhao, H. M. Keener, M. J. Darr. 2007. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings. *Transactions of the ASABE*. 50 (4): 1395-1407.
- Mroz, Z., A.W. Jongbloed, S. Beers, P.A. Kemme, L. de Jonge, A.K. van Berkum and R.A. van der Lee. 1993. Preliminary studies on excretory patterns of nitrogen and anaerobic deterioration of faecal protein from pigs fed various carbohydrates. In (Verstegen, M.W.A., L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen and J.H.M. Metz, Eds.): *Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, The Netherlands. 247-252.
- Mroz, Z., A. W. Jongbloed, K. Vreman, T. T. Canh, J.T.M. van Diepen, P. A. Kemme, J. Kogut, and A.J.A. Aarnink. 1996. The effect of different cation-anion supplies on excreta composition and nutrient balance in growing pigs. ID-DLO Rep. 96.028
- Nicolai, R. E., K. A. Janni. 2001. Biofilter media mixture ratio of wood chips and compost treating swine odors (Dept of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, USA).
- Sheridan, B. A., T. P. Curran, V. A. Dodd. 2002. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. *Bioresource Technology*. 84: 129-143.
- van Kempen, T., B. Kaspers, P. Burnette, M. van Kempen and J.B. Koger. 2003. Swine housing with a belt for separating urine and feces; key to flexibility? In *Swine Housing Conference 2nd International*, 159-165. October 12-15. Durham, North Carolina. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- Voermans, J.A.M. and M.M.L. van Asseldonk. 1990. Separation of pig manure under a slatted floor. *Proefverslag-Proefstation-voor-de-Varkenshouderij*, NoP1.151, 32 pages.
- Voermans, J.A.M. and F. van Poppel. 1993. Scraper systems in pig houses. *Livestock environment IV*. Proceedings of a conference held in Coventry, UK, 6-9 July 1993: 650-656.

Annexe C

Évaluation des distances séparatrice et facteur F selon la législation actuelle (extraits)

- Rapport final des consultations particulières sur la proposition de principes généraux relatifs à la gestion des odeurs, du bruit et des poussières en milieu agricole dans le cadre de la *Loi modifiant la Loi sur la protection du territoire agricole et d'autres dispositions législatives afin de favoriser la protection des activités agricoles*.
(<http://www.assnat.qc.ca/archives-35leg2se/eng/Publications/racapac2.html>)
- Directive sur les odeurs causées par les déjections animales provenant d'activités agricoles, R.Q. c. P-41.1, r.3.02. Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (L.R.Q., c. P-41.1).
(<http://www.canlii.org/fr/qc/legis/regl/rq-c-p-41.1-r3.02/derniere/rq-c-p-41.1-r3.02.html>)

Distances séparatrices relatives aux installations d'élevage

... les distances séparatrices sont obtenues par des formules qui conjuguent sept (7) paramètres en regard de la catégorie d'unité de voisinage considérée.

- Le paramètre A est le nombre d'unités animales. On l'établit à l'aide du tableau de l'annexe A qui permet son calcul.
- Le paramètre B est celui des distances de base. Ce tableau est à l'annexe B. Selon la valeur calculée pour le paramètre A, on y choisit la distance de base correspondante.
- Le paramètre C est celui de la charge d'odeur. Le tableau de l'annexe C présente ce potentiel d'odeur selon le groupe ou la catégorie d'animaux concernés.
- Le paramètre D correspond au type de fumier. Ce tableau est à l'annexe D.
- Le paramètre E est celui du type de projet. Selon qu'il s'agit d'établir un nouvel établissement ou d'agrandir une entreprise déjà existante, le tableau de l'annexe E présente les valeurs à utiliser. On constatera qu'un accroissement de 300 unités et plus est assimilé à un nouveau projet.
- Le paramètre F est le facteur d'atténuation. Ce paramètre tient compte de l'effet atténuant de la technologie utilisée. L'annexe F indique quelques valeurs. **Mais au fur et à mesure que de nouveaux modes de gestion systémiques, de nouveaux équipements ou nouvelles techniques seront validés, il y aura lieu que leur accréditation précise le facteur d'atténuation qui lui est reconnu; ces valeurs pourront enrichir le tableau.** Le fait d'accorder beaucoup d'importance à ce facteur sera un puissant incitatif à l'utilisation des innovations disponibles.
- Le paramètre G est le facteur d'usage. Il est fonction du type d'unité de voisinage considéré. Pour établir la distance séparatrice dans un cas donné, on multiplie entre eux les paramètres B, C, D, E, F et G dont la valeur varie ainsi (voir exemples de calculs à l'annexe G) :
pour un immeuble protégé, on obtient la distance séparatrice en multipliant l'ensemble des paramètres entre eux avec $G = 1,0$; pour une maison d'habitation, $G = 0,5$; pour un périmètre d'urbanisation, $G = 1,5$;
pour un chemin public, $G = 0,1$, mais les installations doivent dans tous les cas tenir compte d'une distance minimale de six (6) mètres d'une ligne de lot.

Les tableaux qui présentent ces paramètres sont tirés d'un rapport présenté, le 12 janvier 1996, au ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation par un comité d'experts.

Facteur d'atténuation (paramètre F)

$$F = F_1 \times F_2 \times F_3$$

Technologie	Paramètre F
Toiture sur lieu d'entreposage	F₁
- absente	1,0
- rigide permanente	0,7
- temporaire (couche de tourbe, couche de plastique)	0,9
Ventilation	F₂
- naturelle et forcée avec multiples sorties d'air	1,0
- forcée avec sorties d'air regroupées et sorties d'air au-dessus du toit	0,9
- forcée avec sorties d'air regroupées et traitement de l'air avec laveurs d'air ou filtres biologiques	0,8
Autres technologies	F₃
- les nouvelles technologies peuvent être utilisées pour réduire les distances lorsque leur efficacité est éprouvée	facteur à déterminer lors de l'accréditation

Exemples de calculs de distances séparatrices**Cas #1**

Quelle doit être la distance séparatrice pour l'établissement d'une nouvelle ferme de 60 vaches laitières par rapport à une route ($G = 0,1$) [les valeurs de G se trouvent en page 17], à une maison isolée ($G = 0,5$), à un immeuble protégé ($G = 1,0$) et à un périmètre urbain ($G = 1,5$)?

Il est reconnu qu'il y a simultanément dans une ferme laitière, en plus des vaches en production, des taures en gestation (une pour trois vaches en production), des génisses (même ratio) et des veaux naissants (un pour six vaches en production); ce genre de données est disponible au MAPAQ. Il faut donc déterminer le nombre d'animaux qu'il y aura sur cette ferme lorsqu'elle sera à maturité avant de recourir au tableau spécifique de la norme pour déterminer le nombre d'unités animales correspondant.

Dans le cas qui nous occupe, les valeurs pour 60 vaches laitières en production sont les suivantes :

- 60 vaches en production; selon l'annexe A, chacune compte pour une unité; donc 60 u.a.;
- 20 taures (1 pour 3 vaches); selon l'annexe A, chacune compte aussi pour 1 u.a.; donc 20 u.a.;
- 20 génisses (1 pour 3 vaches); selon l'annexe A, il faut deux génisses pour 1 u.a.; donc 10 u.a.;
- 10 veaux naissants (1 pour 6 vaches); selon l'annexe A, il en faut 5 pour 1 u.a.; donc 2 u.a.

Cette ferme a donc une valeur évaluée à 92 u.a. pour son paramètre A.

Le paramètre B est la distance de base pour les calculs et est d'un peu plus de 355 m (qui est la valeur de 90 u.a.) et de moins de 367 m (valeur de 100 u.a.); on peut évaluer que le paramètre B vaut en fait environ 357,4 m. Puisqu'il s'agit de bovins, l'annexe C nous apprend que le paramètre C, c'est-à-dire la charge d'odeur par animal, vaut 0,7. Considérons qu'il s'agit d'une ferme où on gère le fumier solide; l'annexe D nous indique que le paramètre D, type de fumier, est donc de 0,6 (gestion solide - bovins laitiers). Puisqu'il s'agit d'un nouveau projet et non pas de l'accroissement d'un troupeau existant, l'annexe E nous indique que le paramètre E vaut 1,0. À l'aide de l'annexe F, examinons l'hypothèse que le promoteur choisisse pour son étable une toiture rigide permanente ($F1 = 0,7$) et une ventilation naturelle ($F2 = 1,0$); dans ce cas le facteur d'atténuation ($F = F1 \times F2$) vaut donc $0,7 \times 1,0$, c'est-à-dire $F = 0,7$.

La distance séparatrice se calculant ainsi : $B \times C \times D \times E \times F \times G$ [cf. Pages 16 et 17], cet établissement devrait être :

- à $357,4 \text{ m} \times 0,7 \times 0,6 \times 1,0 \times 0,7 \times 0,1$ de la route, soit 10,5 m;
- à $357,4 \text{ m} \times 0,7 \times 0,6 \times 1,0 \times 0,7 \times 0,5$ de la maison voisine, soit 52,5 m;
- à $357,4 \text{ m} \times 0,7 \times 0,6 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0$ de l'immeuble protégé, soit 105,0 m;
- à $357,4 \text{ m} \times 0,7 \times 0,6 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5$ du périmètre urbain, soit 157,6 m.

Cas # 2

Un producteur de porcs a un établissement de 100 unités animales. Il gère son fumier sous forme liquide et sa porcherie est munie d'un toit rigide assorti d'une ventilation naturelle avec sorties d'air regroupées et évent au-dessus du toit. Il désire augmenter sa production. Quelle sera sa distance séparatrice à respecter pour un immeuble protégé s'il porte son troupeau à 200 u.a., à 300 u.a. ou à 600 u.a.?

On procède selon la méthode utilisée pour la ferme laitière du cas #1. Selon chaque option envisagée, en plus de la distance de base correspondante, c'est le facteur « type de projet » qui variera, c'est-à-dire le paramètre E. Il est à noter que le nombre actuel d'unités animales de l'établissement ne compte pas : ce qui nous intéresse est le fait qu'il existe, donc qu'il bénéficie du droit acquis relatif à l'expansion de même que l'objectif du projet, c'est-à-dire le nombre visé d'unités animales. $A200 = 200 \text{ u.a.}$, donc $B200 = 456 \text{ m}$; $A300 = 300 \text{ u.a.}$, donc $B300 = 517 \text{ m}$; $A600 = 600 \text{ u.a.}$, donc $B600 = 643 \text{ m}$. Les paramètres C, D, F et G ne varient pas selon les hypothèses : c'est du porc, donc $C = 1,0$; il s'agit de lisier de porcs, donc $D = 1,0$; compte tenu du type de toit ($F1 = 0,7$) et de ventilation ($F2 = 0,9$), $F = 0,63$; c'est la distance par rapport à un immeuble protégé qu'on examine, donc $G = 1,0$. Selon l'hypothèse évaluée, $E200 = 0,79$; $E300 = 1,0$ et $E600 = 1,0$ aussi.

La distance séparatrice pour 200 u.a. est : $B200 \times C \times D \times E200 \times F \times G = 227,0 \text{ m}$.

La distance séparatrice pour 300 u.a. est : $B300 \times C \times D \times E300 \times F \times G = 325,7 \text{ m}$.

La distance séparatrice pour 600 u.a. est : $B600 \times C \times D \times E600 \times F \times G = 405,1 \text{ m}$.

1– B: Compte rendu de la réunion de travail des experts (mars 2010)

FACTEUR F

1. Contexte et objectifs

Tel que mentionné précédemment, le facteur F est un facteur d'atténuation dans le calcul des distances séparatrices relatives aux installations d'élevage dans le contexte des nouveaux équipements et des nouvelles techniques de réduction des odeurs.

Le facteur F est un facteur s'appliquant à la réduction des odeurs afin de favoriser la cohabitation. Toutefois, selon la littérature, la question de cohabitation peut excéder l'aspect des odeurs. L'ensemble des composés émis par les activités de production sur les fermes porcines peut affecter les humains de quatre façons différentes (Schiffman, 1998). Tout d'abord, les composés organiques volatils peuvent produire des effets liés à leur toxicité. Ensuite, les composés odorants peuvent causer l'irritation de certains organes tels que les yeux, le nez et la gorge. Également, les composés organiques volatils peuvent produire des changements de type neurochimique qui peuvent avoir des conséquences sur la santé. Finalement, les odeurs peuvent produire des effets dus à des facteurs cognitifs et émotionnels. Alors que les trois premiers types d'effets sont d'ordre physiologique, le dernier est d'ordre psychologique. Les effets physiologiques des odeurs les plus fréquents sont la présence plus élevée d'épisodes de tension, de dépression, de colère, de fatigue et de confusion que chez une population non exposée (Schiffman et al., 1995).

Dans le cas du facteur pour l'unité d'élevage, il est important de mentionner que le facteur F s'applique pour le site complet comprenant le bâtiment d'élevage et la structure d'entreposage localisée à moins de 150 m du bâtiment. Dans le libellé de la législation, il n'y aucune information sur l'importance relative de la contribution de chacune de ces deux sources. De plus, la durée ou la fréquence des émissions d'odeur n'est pas documentée dans la législation.

À ce stade, deux objectifs sont poursuivis. En premier lieu, une évaluation du facteur F des techniques de réduction (diètes et grattes en « V ») devait être faite. En second lieu, il fallait valider l'approche globale pour l'utilisation du facteur d'atténuation (F) dans le calcul des distances séparatrices relatives aux installations d'élevage dans le contexte de ces nouvelles techniques de réduction des odeurs.

2. Le calcul

La présente démarche est basée sur deux aspects, soit 1) le facteur de 0,8 actuellement en vigueur (L.R.Q., c. P-41.1) a été établi en fonction des efficacités relevées dans la littérature scientifique contemporaine et 2) le pourcentage de réduction d'odeur obtenu par le biofiltre percolateur évalué dans le cadre de ce projet.

Comme indiqué précédemment, l'efficacité de réduction du biofiltre évalué dans le présent projet correspond aux efficacités de réduction relevées dans la littérature pour le même type de technologie.

Par conséquent, le calcul du facteur F correspondant à chaque technologie est basé sur le pourcentage de réduction du biofiltre percolateur. C'est-à-dire, qu'il a été calculé à partir de l'interpolation de la réduction de l'odeur obtenue par le biofiltre et (59 %) et la valeur de leur facteur F (0,8). Le tableau 1 présente les réductions des émissions d'odeur des technologies évaluées dans le cadre du présent projet et les facteurs F correspondants.

Tableau 1 : Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.

Technologie	Émission d'odeur	Réduction	Facteur F
	OU/hr·kg _{cochon}	%	
Diète	136	3	1,0
Gratte en « V »	114	19	0,9
Diète + Gratte en « V »	113	20	0,9
Biolaveur d'air	58	59	0,8

3. Méthodologie pour valider l'approche de calcul

3.1 Le comité

Afin de valider la méthode de calcul utilisée dans le présent projet, une approche de type consultation d'experts a été adoptée. Le comité avait à répondre à l'objectif basé sur des documents préalablement acheminés et présentés en annexe. Le comité était formé de :

- Line Bilodeau, agr. M.Sc., MAPAQ;
- Marc Trudelle, agr. M.Sc., FPPQ;
- Francis Pouliot, ing., CDPQ;
- Stéphane P. Lemay, ing. P.Eng., Ph.D., IRDA;
- Frédéric Pelletier, ing. M.Sc., IRDA;
- Joahnn Palacios, étudiant gradué; IRDA
- Dan Zegan, ing. M.Sc., IRDA;
- Stéphane Godbout, ing., P.Eng., agr., Ph.D., IRDA.

3.2 Résumé et avis des experts

Suite à l'étude des différents documents et selon les experts présents, il serait pertinent de mieux connaître la procédure mathématique utilisée dans la détermination des facteurs d'atténuation actuellement stipulés dans la loi L.R.Q., c. P-41.1, spécialement la valeur attribuée au filtre biologique (0,8), vu que l'approche proposée est basée sur cette valeur.

Dans la même foulée, il serait de mise de requestionner les hypothèses de détermination des facteurs F1 (entreposage) et F2 (ventilation et lavage d'air). En effet,

il n'est pas évident que l'ajout d'un toit sur un réservoir permette une réduction plus importante ($F = 0,7$) que le lavage de l'air à la sortie des ventilateurs ($F = 0,8$). Ce questionnement est également relié au fait que dans un contexte québécois, la surface du réservoir étant gelé, il a été démontré à plusieurs reprises qu'aucune émission ne provenait de cette source au cours des mois d'hiver tandis que les émissions provenant du bâtiment sont présentes tout au cours de l'année.

Selon les mêmes experts, il serait très important de déterminer une approche d'évaluation du facteur F appliquant un concept de précaution afin de limiter les conflits de cohabitation. De plus, il apparaît évident que les nouvelles approches pour le calcul de ces facteurs et de la distance séparatrice devraient prendre en compte l'ensemble des contaminants afin d'assurer, en plus de la cohabitation, la sécurité de la santé publique. En effet, comme souligné dans la littérature, les habitants dans les zones à forte concentration d'élevage sont parfois inquiets par rapport à leur santé.

Également, en lien avec le calcul et la détermination, dans la forme actuelle, l'ajout de techniques de réduction ne semble pas affecter de façon importante les distances séparatrices. Ceci a pour effet, selon les experts, de ralentir l'implantation de technologies de réduction d'odeur.

3.3 Recommandations

À la lumière des différentes discussions, les membres du comité recommandent :

De revoir l'approche théorique de calcul du facteur F de façon à ce que le facteur soit davantage en accord avec la réalité québécoise. Cette approche devrait tenir compte de l'impact des éléments tels : la source d'émission (le bâtiment et le lieu d'entreposage), la contribution, la durée et la fréquence respectives;

Qu'étant donné la croissante conscientisation de la population face à un environnement plus propre et les démarches durables incontournables dans les systèmes de production agricole, un autre élément « Qualité de l'air » pourrait être ajouté dans une nouvelle approche de calcul du facteur F . Cet élément pourrait tenir compte des émissions des gaz nocifs issues des productions porcines (CH_4 , N_2O , NH_3 , H_2S entre autres) pour la santé publique et l'environnement.

TRANSFERT DES TECHNOLOGIES VERS D'AUTRES TECHNOLOGIES

1. Diète

L'approche basée sur une stratégie alimentaire peut être applicable à toutes les productions. Il est à noter qu'il s'agirait d'une diète spécifique à chaque espèce animale.

Comme il n'est pas possible de transférer directement les résultats obtenus à une autre production animale, la réduction d'odeur reliée à la diète doit être assujettie à une validation.

2. Gratte en « V »

Le mécanisme de gratte en « V » peut être utilisé dans les systèmes de production de lapins, bovins laitiers et de boucherie. Il n'est pas possible de l'implanter dans la production de poules.

Quoique les grands principes d'émission s'appliquent à l'ensemble, les effets obtenus dans le présent projet ne doivent pas être extrapolés.

3. Biofiltre percolateur

Cette technologie peut être adoptée par toutes les productions utilisant des bâtiments confinés (ventilation mécanique).

Les effets obtenus dans le présent projet ne doivent pas être extrapolés.

ANNEXE 2 : Feuilles techniques

COMPARAISON DE TROIS TECHNIQUES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS À LA SORTIE DES BÂTIMENTS PORCINS

S. GODBOUT, L. HAMELIN, S.P. LEMAY, F. PELLETIER, D. ZEGAN, M. BELZILE, F. GUAY AND J. ORELLANA

▪ Objectifs

De nombreuses techniques de réduction des émissions à la sortie des bâtiments porcins ont été développées, mais aucun inventaire complet des ces techniques et de leur efficacité n'a été réalisé jusqu'à présent. Les objectifs de la présente étude sont :

- Sélectionner, à partir d'une revue de littérature exhaustive, les technologies le plus prometteuses reliées à la réduction des émissions;
- Évaluer les technologies sélectionnées dans un bâtiment porcin expérimental;
- Comparer la réduction des émissions.

▪ Revue de littérature et sélection des technologies

La revue de littérature a permis de dresser une liste complète des technologies de réduction disponibles et d'inventorier les réductions des émissions engendrées. Les techniques les plus prometteuses reliées à la réduction des émissions au bâtiment porcin peuvent se séparer selon cinq groupes principaux.

1. La composition des diètes et additifs alimentaires;
2. La gestion des déjections au bâtiment :
 - Planchers (matériaux, aire lattée, espacement entre les lattes);
 - Séparation sous les lattes;
 - Gestion du dalot (fréquence de vidange, présence de recharge d'eau);
 - Litière;
 - Système « *high-rise* ».
3. Traitement au bâtiment des déjections :
 - Électrique (oligolyse);
 - Refroidissement;
 - Aération;
 - Additifs.
4. Contrôle de la qualité de l'air :
 - Extraction basse;
 - Ventilation centralisée;
 - Cheminées hautes;
 - Traitement physico-chimique;
 - Traitement biologique;
 - Application d'huile;
 - Traitement électrique;
 - Traitement mécanique.
5. Propreté et gestion (bonnes pratiques, zone de déjections séparée, densité animale).

Un nombre de différents critères appartenant à six catégories (agronomique, économique, technique, environnement, utilisation des ressources, impacts sociaux et santé) a été utilisé pour évaluer de façon critique les connaissances recensées et cibler les techniques les plus prometteuses dans le contexte québécois. Cette analyse a permis de sélectionner les technologies de réduction les plus prometteuses devant faire l'objet d'essais en porcherie expérimentale.

No	Traitement	Description
1	Diète modifiée (D)	Porcs alimentés par une diète optimisée.
2	Séparation sous les lattes avec gratte en « V » (V)	Gratte en « V » permettant de séparer les phases solides et liquides sous les lattes.
3	Séparation sous les lattes avec gratte en « V » et diète modifiée (V+D)	Porcs alimentés par une diète optimisée et séparation sous les lattes par une gratte en « V ».
4	Biofiltration de l'air (B)	Biofiltre percolateur pour traiter l'air évacué.

■ Essais et résultats expérimentaux

L'évaluation des technologies sélectionnées a été réalisée dans le laboratoire BABE du Centre de recherche de l'IRDA à Deschambault. Douze chambres d'élevage (1,14 m de large par 2,44 m de longueur et 2,44 m de hauteur) identiques et indépendantes munies de systèmes de ventilation et de gestion des déjections étaient disponibles pour cette expérience. Chacune des chambres est conçue pour recevoir quatre porcs à l'engraissement pendant sept semaines (3 semaines pour l'acclimatation des animaux et 4 semaines pour les essais). Le contenu en gaz carbonique (CO₂), en méthane (CH₄), en ammoniac (NH₃), en oxyde nitreux (N₂O) et en sulfure d'hydrogène (H₂S) a été établi par des analyses sur des échantillons pris à la sortie de chaque chambre. Les odeurs ont également été mesurées à l'aide d'un olfactomètre à dilution dynamique. Un contrôle de la température et de l'humidité a été effectué en continu afin de maintenir des conditions similaires dans toutes les chambres de croissance.

L'expérimentation s'est déroulée pour deux élevages successivement. Chacun des 4 traitements disposait de trois chambres (six répétitions par traitement au total). Un traitement témoin (aucune technologie implémentée) qui utilise un système d'évacuation des déjections de type « *pull plug* » (vidange une fois par semaine) a été utilisé comme référence.

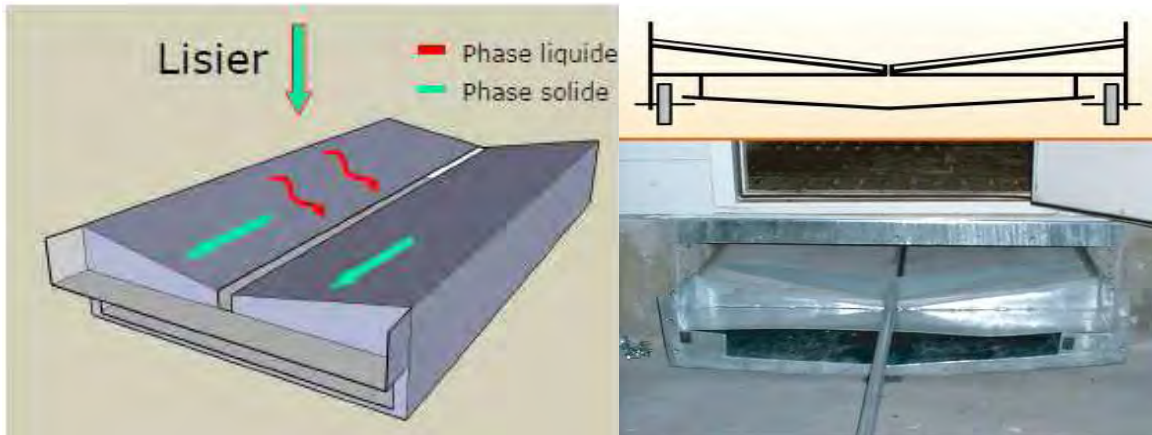
Traitement avec la diète modifiée

Une diète commerciale standard a été utilisée comme diète de base et la diète modifiée a été formulée pour réduire les émissions d'odeur.

Ingrédients	Quantité (%)	
	Diète commerciale	Diète modifiée
Maïs grain	67,690	54,240
Tourteau de soya	15,000	8,000
Blé	15,000	15,000
Gras animal	0,000	5,000
Coques de soya	0,000	15,000
Pierre à chaux	0,850	0,700
D. Phosphate	0,400	0,400
Chlorure de calcium	0,000	0,150
Lysine-HCL	0,150	0,350
DL-Méthionine	0,000	0,030
L-Tryptophane	0,000	0,030
L-Thréonine	0,000	0,150
NatuPhos5000 liquide (phytase)	0,015	0,015
Porzyme9310 granulaire	0,000	0,040
Choline 60	0,095	0,095
Prémix (Vitamine et minéraux)	0,500	0,500
NaCl	0,300	0,300
TOTAL (%)	100,0	100,0
Contenu en protéine (%)	15	12

Traitement avec la gratte en « V »

La séparation sous les lattes assure la séparation immédiate des déjections solides des déjections liquides au moment où les déjections tombent sous le caillebotis. Ce concept permet de diminuer le temps de contact entre ces 2 phases, ce qui permet par conséquent de réduire le potentiel d'émission. Différents systèmes de séparation à la source ont été développés et expérimentés au cours des dernières années quant à leurs émissions de gaz et d'odeur au bâtiment porcin : filet, gratte en « V » et courroie.



Système utilisant la gratte en « V »

La gratte en « V » est constituée d'un dalot avec deux plans inclinés de chaque côté d'une gouttière centrale. Par gravité, le liquide s'écoule vers la gouttière avant d'être acheminé à l'extérieur du bâtiment. Le solide demeure sur le plan incliné avant d'être raclé à l'aide d'une gratte actionnée mécaniquement. Six chambres comprendront une gratte en « V ». La gratte devra être actionnée quotidiennement, une fois par jour.

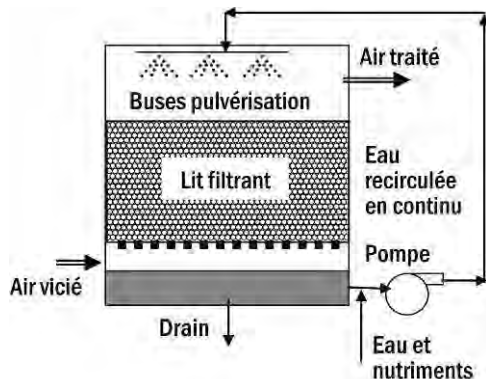
Traitement utilisant une gratte en « V » et une diète modifiée

Il s'agit d'une combinaison des deux traitements précédents. Cette expérience a permis d'évaluer l'effet combiné des deux technologies afin de confirmer les estimations retrouvées dans la revue de littérature.

Traitement de l'air par biofiltre percolateur

Trois unités de traitement de l'air (UTA 1, 2 et 3) de type biofiltre percolateur utilisant des microorganismes fixes et un régime d'eau en écoulement ont été développées par une équipe de recherche de l'IRDA. Pour vérifier expérimentalement l'efficacité du traitement par biofiltre percolateur, chaque unité a été connectée à chacune des chambres témoin.

Les unités ont un volume individuel de traitement de $0,8 \text{ m}^3$ et utilisent un matériau synthétique comme média de filtration. Un système de recirculation de liquide assure le taux d'humidification nécessaire à la masse biofiltrante. Un débit d'air vicié de 14 à 75 l/s était extrait de chaque chambre vers le biofiltre percolateur et le contenu en gaz carbonique (CO_2), en méthane (CH_4), en ammoniac (NH_3), en oxyde nitreux (N_2O) et en sulfure d'hydrogène (H_2S) a été établi par des analyses sur des échantillons pris à l'entrée et à la sortie de chaque biofiltre percolateur. Afin de compenser les pertes de charge reliées au biofiltre, un ventilateur d'appoint a été installé sur chaque unité. Les odeurs ont également été mesurées à l'entrée et à la sortie à l'aide d'un olfactomètre à dilution dynamique.



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005



- Schéma de principe du biofiltre percolateur - Unité expérimentale de traitement de l'air par biofiltration

Résultats concernant la réduction des émissions

Tous les traitements ont réduit les émissions de NH_3 de façon significative, soit 36 % pour la gratte en « V », 63 % pour la diète modifiée, 79 % pour la combinaison gratte en « V » et diète modifiée et 77 % pour le système de traitement de l'air. Aucun traitement n'a eu d'impact sur les émissions de CO_2 et de N_2O à l'exception du filtre percolateur qui a engendré une augmentation des émissions de N_2O . Toutefois les émissions de N_2O sont très faibles (voir tableau ci-après). Pour sa part, le traitement avec la diète modifiée a fait augmenter l'émission de CH_4 par rapport au témoin, même quand elle a été testée ensable avec la gratte en « V ».

Traitement	CO_2	CH_4	N_2O mg/h-kg _{porc}	NH_3	H_2S	Odeur UO/h-kg _{porc}
T	701 a	1,28 a	0,07 a	3,33 a	0,021 a	141 a
D	652 a	2,82 b	0,07 a	1,22 c	0,023 a	136 a
V	671 a	1,26 a	0,08 a	2,12 b	0,011 b	114 b
V+D	548 a	2,10 b	0,07 a	0,69 c	0,008 b	113 b
B	684 a	1,30 a	0,31 b	0,76 c	0,011 b	58 b

Les essais ont aussi démontré qu'un traitement avec une gratte en « V » peut réduire l'émission d'odeur de 19 %. Cette réduction reste pratiquement invariable lorsque la gratte est associée à une diète spéciale (en effet, les odeurs sont réduites de 20 %), tandis que la diète seule ne permet pas d'obtenir réductions significatives (3 %). Le traitement biologique de l'air peut réduire les émissions d'odeur de 59 %. Ces résultats démontrent que le traitement biologique de l'air est le plus prometteur pour la réduction des odeurs au bâtiment porcin.

Partenaires financiers



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement



Centre de
développement du
porc du Québec inc.

SCÉNARIO TYPE POUR LES ÉMISSIONS AU NIVEAU DES BÂTIMENTS PORCINS AU QUÉBEC

L. HAMELIN, S. GODBOUT, S.P. LEMAY

Diverses technologies permettent de réduire les odeurs, les gaz et les poussières émis dans l'air à partir des installations agricoles. Au Québec, plusieurs d'entre elles ont été évaluées, mais seulement à titre expérimental ou dans des élevages particuliers. L'absence de données de référence concernant les émissions gazeuses émises à la ferme rend difficile la comparaison d'une technologie face à une autre. L'élaboration de critères de référence basés sur une ferme type devient alors un instrument intéressant pour situer l'efficacité d'une technologie et en faire ressortir ses forces et ses faiblesses.

L'IRDA en coopération avec un groupe d'experts du secteur porcin a élaboré une étude afin d'établir des critères en lien avec les gaz, les odeurs et les poussières émis par une ferme porcine type au Québec, pour l'année de référence 2006.

Les émissions

Les principales émissions considérées sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), l'ammoniac (NH_3), les poussières et les odeurs. Le CO_2 , le CH_4 et le N_2O sont particulièrement visés, car ils sont des gaz à effet de serre et représentent près de 80 % des émissions anthropiques provenant du secteur agricole. L'ammoniac quant à lui est reconnu pour être un des gaz émis par les productions animales ayant le plus d'impact sur la santé humaine et les écosystèmes agricoles. Il contribue entre autres à l'acidification du sol et de l'eau, à l'eutrophisation des cours d'eau, à la perte de biodiversité et indirectement aux changements climatiques par sa transformation potentielle en N_2O . En 2007, l'agriculture était responsable de 89 % du NH_3 total émis au Canada, dont 66 % était attribué aux productions animales et 23 % à la fertilisation des sols. En ce qui concerne les odeurs, elles sont considérées comme étant la préoccupation la plus importante de la population lorsqu'il est question de production animale. Les poussières sont également des substances préoccupantes pour la santé des travailleurs et des animaux, en plus d'être potentiellement responsable de la propagation des odeurs entre la ferme et ses environs.

Les facteurs qui influencent les émissions

Plusieurs facteurs influencent la production et l'émission de ces substances à la ferme. Certains sont liés directement aux animaux, que ce soit par leur nombre, leur poids, leur activité ou leur comportement et même par leur génétique et leur alimentation. D'autres facteurs sont liés à la gestion des déjections, dont le mode d'entreposage, les manipulations qui en découlent et la présence ou non d'un système de traitement, qui peut grandement faire varier la production ou l'émission de certains gaz. Il y a également l'environnement, la température intérieure et extérieure et le débit de ventilation qui font varier les conditions du milieu. Toutefois, ces facteurs sont rarement précisés dans les publications concernant les émissions émises dans l'environnement. Il est donc difficile de comparer la réduction des émissions obtenues à partir d'une technique plutôt qu'une autre.

Résultats

Un inventaire de toutes les données publiées concernant les émissions gazeuses (CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3 et H_2S), les poussières et les odeurs a été fait. Les valeurs extrêmes ont été écartées et un intervalle de confiance a été établi pour chaque substance. Parallèlement, afin de définir les paramètres clés d'une ferme porcine représentative du Québec au 2006, différents représentants du secteur porcin québécois (experts, centre de recherche et développent, association de producteurs porcins et le ministère d'agriculture) ont été consultés. , il a été établi, entre autres, que le type d'élevage de la ferme type doit être représenté par un stade de production « naissance – finition » incluant trois sous-stades (voir tableau).

Émissions gazeuses annuelles selon le scénario type

Paramètre	Unité	Stage de croissance		
		Maternité	Pouponnière	Croissance - finition
Odeurs	(OU _E /s)	12 259 ± 2 573	77 016 ± 51 456	70 284 ± 10 774
NH ₃	(kg/an)	2 173 ± 543	1 300 ± 1 069	20 720 ± 2 767
CH ₄	(kg/an)	7 715 ± 4 361	9 166 ± 12 556	17 728 ± 5 741
CO ₂	(kg/an)	809 299 ± 288 791	1 818 746 ± 117 752	6 135 509 ± 1 394 083
N ₂ O	(kg/an)	0,00 ± 0,00	25 ± 17	2 125 ± 4 680
Poussières respirables	(kg/an)	30 ± 84	21 ± 21 ^[a]	530 ± 530 ^[a]
Poussières totales	(kg/an)	184 ± 184 ^[a]	n.d.	4 837 ± 787
PM ₁₀	(kg/an)	n.d.	n.d.	1 762 ± 942 ^[b]

n.d. : valeur non disponible.

[a] Un facteur = 1 a été appliqué pour l'incertitude, donc incertitude = valeur moyenne x 1

[b] La conversion en kg/an a été faite en considérant l'unité animal (UA) = 500 kg/porc.

Conclusion

Un scénario type pour les émissions au niveau des bâtiments porcins au Québec a été réalisé pour l'année de référence 2006. Les paramètres de cette ferme « typique » du Québec a été établie en collaboration avec des experts du secteur porcin. Le scénario de base concernant les émissions a été défini à partir d'un inventaire des publications reliées aux émissions des odeurs, NH₃, CH₄, N₂O, CO₂, H₂S, les caractères hédoniques, des poussières et des particules pour les stades de croissance suivants : maternité, pouponnière et croissance-finition.

Selon la littérature consultée, les émissions moyennes de NH₃ en provenance des élevages de porcs en croissance-finition sont de 6,48 g/jour-porc alors qu'elles sont de 5,54 g/jour-porc pour le méthane (CH₄). Ces mêmes émissions sont respectivement de 1 920 et 0,66 g/jour-porc pour le dioxyde de carbone (CO₂) et le protoxyde d'azote (N₂O). Il faut mentionner quatre conclusions découlant de cette étude.

- La quantité d'informations concernant les émissions provenant des fermes porcines est relativement limitée, particulièrement au sujet des pouponnières et des maternités;
- En général, les odeurs est le sujet le plus documenté;
- Il existe une grande variation entre les données recueillies, ce qui crée un grand intervalle de confiance. Particulièrement dans le cas du CH₄ émis par les pouponnières et les maternités et pour le N₂O dans les élevages de type croissance-finition;
- Il n'y a pas eu de différences majeures entre les données obtenues pour le Québec et les moyennes obtenues à partir des autres données. La seule exception est pour le CH₄.

Partenaires financiers



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement



Centre de
développement du
porc du Québec inc.

CONTRIBUTION À LA DÉTERMINATION DU FACTEUR D'ATTÉNUATION D'ODEUR (F) POUR LE CALCUL DE DISTANCES SÉPARATRICES

■ Contexte et objectifs

Le gouvernement du Québec a établi une approche pour déterminer les distances séparatrices relatives aux installations d'élevage afin de favoriser une cohabitation harmonieuse en zone agricole (Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles, L.R.Q., c. P-41.1, dans la Directive sur les odeurs causées par les déjections animales provenant d'activités agricoles, c. P-41.1, r.3.02). Cette distance peut être calculée en multipliant entre eux les paramètres présentés ci-après.

Tableau 1 : Paramètres pour calcul des distances séparatrices.

Paramètre	Identification
A	Nombre d'unités animales
B	Distances de base
C	Charge d'odeur
D	Type de fumier
E	Type de projet
F	Facteur d'atténuation
G	Facteur d'usage ou type d'unité de voisinage considéré

Le facteur d'atténuation ou « facteur F » est le facteur permettant d'intégrer l'effet de l'atténuation des odeurs en fonction de la technologie adoptée par une installation agricole pour réduire les émissions odorantes et favoriser ainsi la cohabitation. L'adoption d'une technologie procurant des réductions des émissions d'odeur permet ainsi la réduction des distances minimales à respecter entre les bâtiments et leurs abords immédiats.

Cependant, de nombreuses techniques de réduction des émissions à la sortie des bâtiments porcins ont été développées, mais aucun facteur d'atténuation n'a été attribué à ces techniques jusqu'à présent. Il est donc indispensable de bien déterminer ce facteur pour les nouvelles technologies ou pratiques de gestion des émissions. Ces facteurs doivent aussi être en mesure de réduire de façon importante les distances afin d'inciter la pratique d'un élevage minimisant les émissions d'odeur. Les objectifs de la présente étude sont donc :

- De déterminer le facteur d'atténuation (F) relié aux technologies de réduction des odeurs évaluées dans le cadre du présent projet;
- D'évaluer la méthodologie et valider les valeurs du facteur F par un comité d'experts.

■ Détermination du facteur F

Dans le cadre du présent projet, trois technologies évaluées comme les plus prometteuses reliées à la réduction des émissions ont été méthodiquement sélectionnées et évaluées par le Centre de recherche IRDA. Les technologies sélectionnées étaient : 1) une diète modifiée; 2) un système de séparation des déjections sous les lattes avec grattes en « V »; 3) une combinaison des technologies précédentes, et; 4) un système de traitement de l'air par un biofiltre percolateur. Les émissions d'odeur et de gaz (CO₂, CH₄, NH₃, N₂O et H₂S) ont été mesurées pour chaque traitement.

Suite à la détermination du pourcentage de réduction des émissions d'odeur des technologies évaluées, le calcul du facteur « F » est basé sur deux aspects, soit :

- le facteur établi par la loi (L.R.Q., c. P-41.1) pour un traitement de l'air avec les filtres biologiques (F = 0,8) est considéré comme référence principale;
- le pourcentage de réduction d'odeur obtenu par le biofiltre évalué dans le cadre de ce projet a été comparé aux efficacités relevées dans la littérature scientifique.

L'efficacité de réduction moyenne des émissions d'odeur obtenue par les biofiltres percolateurs testés à été de 59 % (tableau 2). Cette valeur a été représentative des réductions identifiées dans la littérature. Le facteur F correspondant à chaque technologie a été calculé à partir de l'interpolation de la réduction de l'odeur obtenue par le biofiltre (59 %) et leur valeur du facteur F (0,8) par rapport au pourcentage de réduction de chaque technologie évaluée. Le tableau 2 présente les réductions des émissions d'odeur et le facteur « F » respectif calculé.

Tableau 2 : Réduction des émissions d'odeur de trois technologies.

Technologie	Émission d'odeur UO/h·kg _{porc}	Réduction %	Facteur F
Diète	136	3	1,0
Gratte en « V »	114	19	0,9
Diète + Gratte en « V »	113	20	0,9
Biofiltre d'air	58	59	0,8

Il est à noter que lorsque deux technologies de réduction des odeurs sont implantées sur un même site d'élevage, le facteur d'atténuation doit être obtenu en faisant le produit du facteur de chaque pratique ou technologie. Cette estimation sous-tend que les interventions sont mutuellement indépendantes. Par exemple, l'application de deux pratiques ayant des facteurs respectifs de 0,9 et 0,8 résultera en un facteur F global de 0,72.

■ Validation et avis des experts

Les valeurs résultantes et la méthode utilisée ont été validées suite à la mise en évaluation face à un comité d'experts (MAPAQ, FPPQ, IRDA et CDPQ). Suite à l'analyse réalisée, une série de conclusions et de recommandations ont été émises. Les experts considèrent pertinent de mettre en question les hypothèses de détermination des facteurs de façon à ce que :

- Le facteur soit davantage en accord avec la réalité québécoise (climat, émissions et type d'élevage);
- L'approche devrait prendre en considération l'impact des éléments tels que : la source d'émission (le bâtiment et l'entreposage), l'intensité, la durée et la fréquence des émissions.

De plus, la procédure mathématique utilisée dans la détermination des facteurs d'atténuation actuellement stipulés dans la loi L.R.Q., c. P-41.1, devrait être mieux connue, selon les experts, afin de solidifier les fondements des facteurs F calculés.

Étant donné la croissante conscientisation de la population pour un environnement propre et sain, il serait très important de déterminer une approche d'évaluation du facteur F appliquant un concept de précaution afin de limiter les conflits de cohabitation, et d'assurer la sécurité de la santé publique. Un autre facteur « Qualité de l'air » pourrait être ajouté dans une nouvelle approche de calcul du facteur F. En conséquence, cet élément pourrait aussi prendre en compte l'ensemble des contaminants nocifs issus des sites d'élevage (CH₄, NH₃, N₂O et H₂S).

Dans la forme actuelle, en lien avec le calcul et la détermination, l'ajout de techniques de réduction ne semble pas affecter de façon importante les distances séparatrices. Ceci a pour effet, selon les experts, de ralentir l'implantation de technologies de réduction d'odeur. Il est donc adéquat d'étudier sérieusement cet aspect et réévaluer le calcul du facteur F en reconsidérant le taux de participation aux émissions du bâtiment par rapport à l'entreposage.

■ Partenaires financiers



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement



Centre de
développement du
porc du Québec inc.