Évaluation d'un système de filtration d'air visant à réduire ou à éviter la transmission par voie aérienne du virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) à l'intérieur des bâtiments d'élevage

Rapport final

Laura Batista, D.M.V., Ph. D. [1]
Valérie Dufour, M. Sc. [2]
Francis Pouliot, ing. M.B.A. [2]
Élizabeth Gobeil-Tremblay, B. Sc. A. [2]
Michel Morin, agr. [2]

Juin 2008

[1] FMV, Université de Montréal
[2] Centre de développement du porc du Québec inc.

Évaluation d'un système de filtration d'air visant à réduire ou à éviter la transmission par voie aérienne du virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) à l'intérieur des bâtiments d'élevage

Rapport final

Présenté au :

Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec
555, boul. Roland-Therrien, bureau 110
Longueuil (Québec) J4H 4E7

Préparé par :

Laura Batista, D.M.V., Ph. D.
Professeure adjointe et chercheuse
FMV, Université de Montréal

Elizabeth Gobeil Tremblay, B. Sc. A
Chargée de projet
CDPQ

Valérie Dufour, M. Sc.
Chargée de projet
CDPQ

Michel Morin, agr.
Agro-économiste
CDPQ

Francis Pouliot, ing. M.B.A.
Ingénieur recherche et développement CDPQ

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Répondant :	Francis Pouliot, ing., MBA (CDPQ)
Responsable scientifique :	Laura Batista, DMV, Ph. D.
Chargée de projet :	Valérie Dufour, M. Sc. (CDPQ)
Collaborateurs :	Abakar Mahamat Tahir, technicien (FMV) Éric Ouellet, conseiller technique (CDPQ) Christian Klopfenstein, DMV, Ph. D. (CDPQ) Joël Rivest, M. Sc. (CDPQ)

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Laura Batista, DMV, Ph. D.
Valérie Dufour, M. Sc. (CDPQ)
Francis Pouliot, ing., MBA (CDPQ)
Elizabeth Gobeil Tremblay (CDPQ)
Michel Morin, agr. (CDPQ)

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec dans le cadre du Programme d'appui aux producteurs désignés, Noveko inc., Boehringer Ingelheim Vetmedica inc., la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, la Fédération des producteurs de porcs du Québec, la Société des éleveurs de porcs du Québec et le Centre de développement du porc du Québec inc.

Nous tenons également à remercier trois personnes du CDPQ pour leur travail dans ce projet soit, Johanne Nadeau, documentaliste, Monia Tremblay, secrétaire recherche et développement et Élise Gauthier, responsable des communications. Un merci spécial à nos deux réviseurs soit le Dr Réal Boutin et le Dr Christian Klopfenstein.

© **Centre de développement du porc du Québec inc.**

Dépôt légal 2008
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-922276-16-9

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES ..... *I*
LISTE DES TABLEAUX ..... *III*
LISTE DES FIGURES ..... *III*
RÉSUMÉ *1*
1 INTRODUCTION *2*
1.1 Problématique et mise en contexte **2**
2 REVUE DE LITTÉRATURE *4*
2.1 La transmission des pathogènes par aérosol **4**
2.1.1 L'importance du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) 4
2.2 La transmission du virus du SRRP par aérosol **5**
2.2.1 La transmission du SRRP par aérosol sous conditions expérimentales 5
2.2.2 La transmission du SRRP par aérosol lors d'études de champ 6
2.2.3 Études épidémiologiques sur la transmission du SRRP 6
2.2.4 La transmission par aérosol du SRRP maintenant reconnue 8
2.3 Les autres modes de transmission du SRRP et les mesures de biosécurité permettant de s'en protéger **9**
2.3.1 Sources de contamination potentielles 9
2.3.2 L'importance de la biosécurité 13
2.4 Les systèmes de filtration d'air **13**
2.4.1 Méthode de certification des filtres 13
2.4.2 Les filtres HEPA 14
2.4.3 La taille des virus et la notion de bioaérosol 15
2.4.4 Évaluation du potentiel d'interception du virus SRRP de différents filtres 15
3 HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS *17*
3.1 Hypothèses **17**
3.2 Objectif général du projet **18**
3.3 Objectifs spécifiques **18**
4 MATÉRIEL ET MÉTHODE *19*
4.1 Installations expérimentales **19**
4.2 Modèle expérimental **20**
4.2.1 Phase 1 20
4.2.2 Phase 2 22
5 RÉSULTATS ET DISCUSSION *24*
5.1 Phase 1 (essai sans animaux) **24**
5.2 Phase 2a et b (essais avec animaux) **24**
6 ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE *26*
6.1 Généralités **26**

6.1.1 Description du système de filtration 26
6.2 Paramètres techniques 26
6.3 Financement de l'investissement 27
6.4 Pose et installation du système 28
6.4.1 Coûts d'installation 28
6.5 Entretien des filtres 29
6.5.1 Lavage des filtres 29
6.5.2 Remplacement des filtres 30
6.6 Sommaire des coûts d'utilisation des filtres 31
6.7 Discussion 32
6.7.1 Engraissement comparé à maternité 32
6.7.2 Importance de la productivité 32
7 CONCLUSION 34
8 BIBLIOGRAPHIE 35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1. Résultats de la phase 1 pour les trois combinaisons de filtre et les témoins positif et négatif 24
Tableau 5-2. Résultats de la phase 2a et 2b pour les deux différentes combinaisons de filtre ainsi que les témoins positif et négatif 25
Tableau 6-1. Liste des paramètres techniques des bâtiments types 27
Tableau 6-2. Coûts d'achats et d'installation des équipements, excluant financement..... 28
Tableau 6-3. Annuités reliées aux investissements de départ (capital et intérêt) 29
Tableau 6-4. Estimé des coûts de lavages des filtres..... 30
Tableau 6-5. Dépenses de remplacements des filtres..... 31
Tableau 6-6. Coûts totaux d'utilisation des filtres 32
Tableau 6-7. Coût des filtres par truie selon le nombre de porcelets produits par truie 33

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1. Causes possibles de l'infection de 35 troupeaux négatifs par le virus du SRRP 8
Figure 2-2. Multiples voies de contamination 12
Figure 3-1. Essai exploratoire du filtre de Noveko inc. dans un bâtiment porcin 17
Figure 4-1. Schéma du dispositif expérimental permettant d'évaluer l'efficacité du filtre à réduire ou éviter la transmission aérienne du SRRP..... 19
Figure 4-2. Vue extérieure du dispositif expérimental 20
Figure 4-3. Brumisateur dans la chambre 1 21
Figure 6-1. Système de filtration antimicrobien 26

RÉSUMÉ

L'efficacité de plusieurs combinaisons de couches d'un filtre à air antimicrobien commercial à réduire ou à éviter la transmission aérienne du virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (VSRRP) dans les bâtiments d'élevage porcin a été évaluée. L'étude fut divisée en deux phases : d'abord, une partie sans animaux avec objectif de tester différentes combinaisons de couches d'un filtre à air antimicrobien et un tissu supplémentaire pour empêcher le passage des particules a été conduite. Ces combinaisons ont été comparées à un témoin sans filtre. Les équipements étaient composés de deux chambres reliées par une conduite d'air de 1,3 m de long contenant les différents filtres. Un aérosol artificiel a été créé avec un brumisateur contenant un vaccin de VSRRP vivant modifié. Après la brumisation, les surfaces dans la chambre de réception des porcs naïfs ont été écouvillonnées afin de détecter la présence de virus à l'aide de la méthode PCR en temps réel. Le VSRRP a été détecté dans toutes les répétitions avec 5 couches de filtres (a) et le témoin (sans filtre). Avec 10 couches de filtres (b) et 5 couches de filtres plus une couche du tissu antimicrobien (c), le VSRRP a été détecté dans 60 % des répétitions dans les deux cas.

Dans la deuxième phase du projet, la meilleure combinaison de la première phase (filtre B) et une autre combinaison développée entre temps (filtre D) ont été évaluées en introduisant, après la vaporisation du VSRRP, un porc de 5 kg naïf au virus du SRRP dans la chambre de réception pendant 6 heures. Des échantillons sanguins de tous les porcs ont été prélevés à l'arrivée et aux jours 1, 7 et 14 après l'exposition pour vérifier la présence d'ARN par PCR et d'anticorps du VSRRP par ELISA. Trois porcs ont été contaminés dans les 10 répétitions avec le filtre B mais seulement un porc a été infecté dans les 20 répétitions avec le filtre D.

Suite au projet, un système de filtration composé d'un boîtier à l'intérieur duquel s'insère trois séries de filtres; une moustiquaire amovible qui sert à retenir les particules grossières; trois couches du filtre à air antimicrobien puis sept couches du même filtre à air antimicrobien pour un total de 10 couches de filtres antimicrobiens. L'utilisation de deux séries de filtres antimicrobiens permet d'avoir constamment une filtration antimicrobienne même durant le lavage des filtres puisqu'une série de filtre peut demeurer en place durant le lavage de l'autre série.

Sans mise de fonds, le coût total d'utilisation des filtres amortis sur 10 ans pour une maternité de 1 500 truies en production en estimant la production annuelle à 23 porcelets par truie productive est de 2,07 $, incluant l'achat, l'installation, le lavage et le remplacement des filtres. Selon les mêmes hypothèses, pour une maternité de 400 truies le coût total d'utilisation s'élève à 2,11 $.

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique et mise en contexte

Les problèmes sanitaires qui affectent les porcs se sont considérablement aggravés en 2005. Cette dégradation résulte en bonne partie de l'accumulation des effets combinés des maladies associées à la présence simultanée de plusieurs virus (SRRP, influenza, circovirus) et à nos modèles de production. L'ampleur des pertes (mortalité et morbidité) associées à la maladie dans le cheptel porcin en 2005 met sérieusement en cause la viabilité économique à long terme de plusieurs entreprises porcines et, par conséquent, affecte l'ensemble de la filière porcine québécoise.

Les problèmes sanitaires des porcs localisés dans les différentes fermes du Québec peuvent être plus ou moins contrôlés par des actions individuelles mais, une approche collective semble de plus en plus nécessaire. Devant l'ampleur des problèmes sanitaires sur le terrain, plusieurs membres de la filière porcine considèrent que nous devons développer et mettre en place des outils et des moyens pour réduire la transmission des maladies entre les élevages de porcs au Québec.

Dans ce contexte, le marché des animaux reproducteurs destinés aux producteurs commerciaux a évolué rapidement. Les producteurs commerciaux, exigent des animaux exempts de maladies à incidence économique importante. Au Québec, le modèle de la production porcine correspond à une pyramide au sommet de laquelle environ 12 000 truies de race pure en sélection et en multiplication, appuyées de 340 000 truies hybrides produisent environ 7 millions de porcs commerciaux. L'intérêt de protéger les troupeaux reproducteurs contre les maladies est grand car ces troupeaux ont un potentiel de diffusion des maladies fort important. De plus, il est également important de protéger au maximum le capital sanitaire des élevages commerciaux afin d'éviter des pertes financières majeures engendrées par des problèmes de santé.

Les entreprises bénéficiant d'un isolement géographique significatif peuvent espérer produire des animaux à haut statut sanitaire à long terme. Tout de même, il arrive que ces élevages soient contaminés et doivent faire l'objet de coûteuses mesures d'éradication. Quelques maladies peuvent être transportées dans l'air et contaminer des élevages de porcs situés à plusieurs kilomètres de distance. Les grandes entreprises ont eu les moyens de créer de nouveaux nucléus dans les zones périphériques où il y a peu de production porcine (principalement Bas-Saint-Laurent, Gaspésie et Estrie). Les éleveurs sélectionneurs plus anciens sont installés dans la vallée du Saint-Laurent des deux cotés du fleuve, au centre de la zone de production porcine commerciale. Aujourd'hui, les contraintes environnementales et sociales sont devenues telles, qu'il est très difficile de construire de nouveaux centres de production, peu importe la région.

Les techniques d'assainissement d'élevage sont bien connues. Il est possible de rendre un site d'élevage négatif en regard de presque toutes les maladies qui peuvent affecter une entreprise porcine commerciale. D'ailleurs, plusieurs entreprises ont procédé avec succès à de telles mesures. Cependant, dans la majorité des cas, bien que l'assainissement soit possible, il est très difficile de conserver un niveau sanitaire exempt de maladies. La proximité d'élevages commerciaux avec des statuts sanitaires conventionnels fait en sorte que ces élevages se contaminent à nouveau en peu de temps.

Le coût des actions d'assainissement pour une entreprise s'élève à plusieurs centaines de milliers de dollars. Bien que la rentabilité offerte par un statut sanitaire élevé soit récupérable financièrement, il est impératif que l'entreprise puisse conserver son statut sanitaire sur une longue période. Dans la situation actuelle, aucun éleveur situé dans une zone à forte densité porcine n'est prêt à prendre le risque financier de telles actions d'assainissement à grande échelle.

Il a été prouvé dans des conditions expérimentales en laboratoire que la transmission par voie aérienne du SRRP est possible entre les élevages (Torremorell *et al.*, 1997; Wills *et al.,* 1997; Lager et Mengeling, 2000; Kristensen *et al.,* 2004). Ainsi, il apparaît pertinent de considérer la filtration de l'air entrant dans les bâtiments porcins comme moyen de réduire ou d'éviter la contamination des troupeaux par la voie aérienne.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 La transmission des pathogènes par aérosol

Le développement de la production porcine sans plan d'aménagement structuré a entraîné la création de zones à très forte densité porcine au Québec. Selon le Dr Cardinal (2006), les fermes se trouvant à l'intérieur de ces zones sont particulièrement vulnérables à la transmission régionale des pathogènes, c'est-à-dire la propagation d'une maladie d'une ferme à l'autre sans qu'un vecteur précis ne puisse être identifié. Par exemple, ce vecteur pourrait être un insecte, le vent ou encore les rongeurs. Lorsqu'il est possible d'identifier précisément le vent ou l'air comme vecteur, l'expression « transmission par aérosol » est alors utilisée.

Les bactéries et virus suivants peuvent se propager par aérosol d'une ferme porcine à une autre: le virus de la fièvre aphteuse, le virus d'Aujeszky (agent de la pseudo-rage), le virus de l'influenza, du *Mycoplasma hyopneumoniae* (l'agent de la pneumonie enzootique), *Actinobacillus pleuropneumoniae* (l'agent de la pleuropneumonie), le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin, *Bordetella bronchiseptica* et *Pasteurella multocida* (les agents de la rhinite atrophique) et le coronavirus respiratoire (Stärk, 1999; Baekbo et Mortensen, 2001; Desrosiers, 2004). Le Canada est exempt de la fièvre aphteuse et de la pseudo-rage (Broes, 2002). Toutefois, le virus de l'influenza, *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* ainsi que le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) comptent parmi les pathogènes les plus préoccupants pour l'industrie porcine québécoise (Broes, 2002).

Cette revue de littérature vise à mesurer les impacts actuels de l'un de ces agents, le virus du SRRP, à présenter les travaux démontrant sa transmission par aérosol et à faire le point sur les mesures de biosécurité et les systèmes de filtration d'air qui pourraient contribuer à la protection des élevages.

2.1.1 L'importance du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP)

Le virus du SRRP fait des ravages un peu partout dans le monde et infecte généralement de 60 à 80 % des troupeaux lorsqu'il est présent dans un pays (Zimmerman, 2003). Trois études du United States Department of Agriculture (USDA) sur sa prévalence aux États-Unis ont été réalisées en 1990, 1995 et 2000. Elles rapportent qu'au moins un animal était SRRP positif dans environ 36 % des troupeaux reproducteurs non vaccinés en 1990, 48 % en 1995 et 62 % en 2000 (USDA, 2005). Le virus est également très répandu au Canada. Dewey (1999) rapporte que l'on estimait que 80 % des troupeaux canadiens étaient infectés avec le virus il y a huit ans et que sa prévalence était plus élevée dans les zones à très forte densité porcine du sud-ouest de l'Ontario, du Québec et de la Nouvelle-Écosse. La Faculté de médecine vétérinaire (FMV) de l'Université de Montréal (2007) mentionne que jusqu'à 90 % des troupeaux sont infectés du SRRP dans certaines régions à forte densité animale. Pour l'ensemble du Québec, ce serait 50 % des finisseurs qui seraient infectés du SRRP (Moore, 2006).

Dans son mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, la FMV souligne que le SRRP est la maladie la plus coûteuse pour l'industrie porcine nord-américaine. Elle estime des pertes annuelles de 150 M $ pour l'industrie porcine canadienne (FMV, 2007). Du côté américain, selon l'analyse économique de Neumann *et al.* (2005), les pertes économiques entraînées par le SRRP s'élèvent approximativement à 560 M $ US (602 M $ CAN[1]) par année.

[1] 1 $ US = 1,07478127 $ CAN, taux de change moyen pour 2007 selon la Banque du Canada

La revue de Holck et Polson (2003) sur les impacts financiers potentiels du SRRP regroupe les résultats de plusieurs études sur le sujet. Suite à l'analyse des études de Hoefling (1992), Polson *et al.* (1992) ainsi que Dee *et al.* (1997), ils concluent que l'apparition du SRRP dans un troupeau reproducteur entraîne des pertes d'environ 250 $ US (269 $ CAN) par truie. Ils concluent également que les pertes dues à l'infection persistante au SRRP dans les troupeaux naisseurs et finisseurs varient de 6,25 à 15,25 $ US (6,72 à 16,39 $ CAN) par porc suite à l'analyse de l'information fournie par Dee et Joo (1993), Kerkaert *et al.* (1994), Dee et Joo (1994) ainsi que Polson *et al.* (1994). Ces pertes incluent, entre autres, les pertes financières causées par l'augmentation de la mortalité, la diminution des performances reproductives, l'augmentation significative des autres maladies, l'achat de médicaments et vaccins ainsi que l'augmentation des coûts de diagnostics.

Albina (1995) rapporte que le SRRP comporte deux phases et affecte le troupeau sur une très longue période. Le virus se répand d'abord massivement et infecte sévèrement les animaux, puis demeure d'une façon endémique dans le troupeau, pouvant persister plus de 16 mois suivant l'infection initiale. Il a définitivement des effets dévastateurs, d'autant plus qu'il prédispose les porcs à contracter des infections opportunistes en altérant leurs défenses immunitaires (Châtillon *et al.*, 2004). Parmi ces infections secondaires, se trouvent, le *Streptococcus suis* et l'*Haemophilus parasuis*. Étant donné le peu de succès des méthodes traditionnelles pour contrôler le SRRP (Cho et Dee, 2006), nombreux sont ceux qui cherchent à prévenir l'introduction du virus dans les élevages.

2.2 La transmission du virus du SRRP par aérosol

2.2.1 La transmission du SRRP par aérosol sous conditions expérimentales

Il a d'abord été démontré que des porcs infectés pouvaient transmettre le virus du SRRP à des porcs sains se trouvant dans une autre unité reliée par un tuyau de 1 m de longueur (Torremorell *et al.*, 1997; Brockmeier et Lager, 2002; Kristensen *et al.*, 2004). Torremorell *et al.* (1997), qui ont testé la transmission de deux souches différentes, ont conclu que la transmission par aérosol du virus est possible mais qu'elle semble influencée par la souche utilisée pour infecter les animaux. En effet, dans leur étude, lorsque la souche MN-1b a été utilisée, aucun porc n'a été infecté par transmission aérosol, alors que tous les porcs ont été infectés lorsque la souche VR-2332 a été utilisée. Kristensen *et al.* (2004) ont utilisé pour leur expérience des porcs naturellement infectés pour tester la transmission du virus. De 94 à 100 % des porcs ont été infectés par transmission aérosol.

Dee *et al.* (2005a) ont démontré que le virus pouvait être transmis par aérosol sur une plus longue distance. La souche MN-30100 du virus a été vaporisée par un brumisateur et transportée dans un tuyau long de 150 m jusqu'à une chambre contenant un porc sain. Le porc sain a été infecté par le virus trois fois sur six.

2.2.2 La transmission du SRRP par aérosol lors d'études de champ

La transmission du SRRP a été testée en conditions de terrain mais aucun cochon des installations périphériques n'a été infecté par aérosol lors de ces expériences (Otake *et al.*, 2002a; Trincado *et al.*, 2004; Fano *et al.*, 2005). Quelques raisons ont été soumises pour expliquer cette situation. Premièrement, Kristensen *et al.* (2004) soulignent que la période d'exposition était particulièrement courte dans l'expérience d'Otake *et al.* (2002a). Les porcs sains n'étaient exposés au virus que pendant 72 heures alors que les porcs étaient exposés au virus pendant 28 à 35 jours dans l'expérience de Kristensen *et al.* (2004). Deuxièmement, lorsque l'infection est induite expérimentalement, elle ne cause généralement pas les symptômes physiques d'expulsion des sécrétions qui facilitent la transmission par aérosol (toux et éternuements), ce qui peut influencer les résultats de ces expériences (Lager et Mengeling, 2000). La troisième explication, proposée par Cho et Dee (2006), concerne la virulence de la souche utilisée. Cho *et al.* (2007) ont démontré qu'il existe une différence significative de transmission entre les deux souches du virus : MN-30100 et MN-184. Dans cette expérience, les porcs sains exposés aux aérosols des porcs infectés avec la souche MN-184 ont été contaminés alors que ceux exposés aux aérosols des porcs infectés avec la souche MN-30100 sont restés sains. Cho et Dee (2006) soulignent que c'est la souche de faible virulence, MN-30100, qui a été utilisée dans les trois études de champ, ce qui pourrait expliquer la faible transmission du virus.

Une plus récente étude de champ sur la transmission du SRRP a été réalisée sur la ferme expérimentale de l'Université du Minnesota et s'est terminée en mai 2007 (Pitkin *et al.*, 2007). L'étude s'est déroulée sur une période d'un an et le protocole d'une durée de deux semaines a été répété 26 fois. La souche MN-184 du virus était introduite dans un bâtiment comprenant 300 porcs afin de simuler la contamination d'une ferme naïve. Trois bâtiments comprenant chacun 20 porcs sains et se trouvant tous à 120 m de distance de la ferme contaminée représentaient trois niveaux de biosécurité différents. Le premier bâtiment était équipé d'un système de filtration d'air (filtre 95 % DOP sur 0,3 µm) et appliquait des normes de biosécurité, le deuxième appliquait seulement les normes de biosécurité et le troisième n'appliquait aucune mesure de protection particulière. Un protocole de surveillance basé sur des tests PCR a été instauré afin de contrôler l'infection des animaux et la présence du virus sur le personnel, les objets inanimés, les mouches, les camions, les installations et les aérosols entrant dans les bâtiments. Selon Dee (2007a), la transmission par aérosol s'est produite dans approximativement 25 à 30 % des cas dans les bâtiments sans filtration d'air et le système de filtration d'air a complètement éliminé le risque de transmission par aérosol. Il souligne aussi que les conditions météorologiques avaient un impact considérable sur la transmission du virus puisque des paramètres tels que, la température, la direction des vents, l'humidité relative, la pression barométrique et l'indice UV, avaient une influence significative sur la transmission aérienne du virus (Dee, 2007b).

2.2.3 Études épidémiologiques sur la transmission du SRRP

Quelques études épidémiologiques ont fourni l'évidence de la transmission par aérosol du SRRP entre les élevages.

Zhuang *et al.* (2002) ont recueilli les données de 344 troupeaux participant à un programme de surveillance du SRRP au Danemark ainsi que de l'information sur leurs voisins grâce à un système d'information géographique. Leurs analyses ont permis de démontrer que le risque pour un troupeau d'être contaminé par le SRRP, augmente avec la densité des troupeaux voisins infectés et diminue avec la distance par rapport à ceux-ci. Mortensen *et al.* (2002) ont eux-aussi réalisé une étude épidémiologique sur les facteurs de risque pouvant influencer la contamination des élevages. Ils ont démontré que la présence de voisins infectés dans un rayon de 3 km augmentait le risque de contamination et que ce risque dépendait de la distance de séparation avec les élevages contaminés, de la taille des élevages contaminés et de la durée d'exposition. Ils suggèrent que la transmission par aérosol soit fréquente puisque le risque de contamination n'était pas affecté par les mesures de biosécurité appliquées mais fortement influencé par les facteurs qui affectent la dispersion des aérosols. En effet, Stärk (1999) souligne que, si la transmission de la maladie est influencée par des facteurs de risque tels que : la taille du troupeau, la distance le séparant des troupeaux infectés les plus près, la taille du troupeau le plus près et la densité animale de la région, il est fort probable que la transmission aérienne soit impliquée puisque ces facteurs jouent un rôle crucial dans la dispersion des aérosols.

D'autres études épidémiologiques réalisées en parallèle avec la caractérisation génomique du virus ont apporté une preuve supplémentaire de la transmission du SRRP par aérosol entre les élevages. La caractérisation génomique fournit de précieuses informations car le virus du SRRP est génétiquement très variable. Cette technique consiste à amplifier et séquencer la région ORF 5 du génome viral afin de comparer les souches entre elles et déterminer leur pourcentage d'homologie (D'Allaire, 2003). Lager et Mengeling (2000) ont été les premiers à identifier des souches similaires ou identiques sur différentes fermes. Suite à une éclosion de cas de SRRP en Iowa, ils ont séquencé la région ORF 5 d'échantillons provenant de sept fermes situées dans la même région sans lien entre elles (la plus éloignée se trouvait à 33 km). Six des sept fermes étaient infectées de souches identiques (99,5 à 100 % d'homologie) et la septième était infectée d'une souche similaire (96,5 à 98 % d'homologie), ce qui les a amenés à conclure à une situation de propagation régionale et à suggérer qu'une transmission par aérosol du virus avait eu lieu.

Torremorell *et al.* (2004a et 2004b) ont analysé 35 cas d'éclosion de SRRP dans des troupeaux négatifs en Iowa, au Minnesota, au Kansas, au Wisconsin, au Dakota du sud, en Indiana et au Colorado. Les sources d'animaux de remplacement et de semences de ces troupeaux étaient SRRP négatives. Il faut toutefois noter que le centre d'insémination a été infecté pendant l'étude, ce qui explique que le pourcentage d'infection par la semence contaminée soit tout de même élevé (Torremorell, novembre 2007, communication personnelle). Pour chaque cas, ils ont comparé le génome du virus à d'autres génomes de la région et tenté de déterminer la source de contamination du troupeau. Ils ont conclu que l'introduction de semence contaminée (14 % des cas) ou d'animaux infectés (3 % des cas) n'était pas la principale porte d'entrée du virus puisque 83 % des cas de contamination n'étaient pas associés à ces modes de transmission (figure 2-1). Dans 43 % des cas, la transmission régionale a été identifiée comme mode de transmission. Les véhicules servant à la sortie des porcs, les brèches de biosécurité et les vecteurs tels les insectes ont aussi été évalués comme sources potentielles de contamination. Torremorell *et al.* (2004b) ont conclu que la localisation des troupeaux, le transport des animaux et les infractions aux protocoles de biosécurité jouaient un rôle critique dans l'infection des troupeaux. Ils ont également souligné que la majorité des infections sont apparues en saison froide, ce qui montre une plus grande facilité du virus à survivre dans des conditions froides et humides.

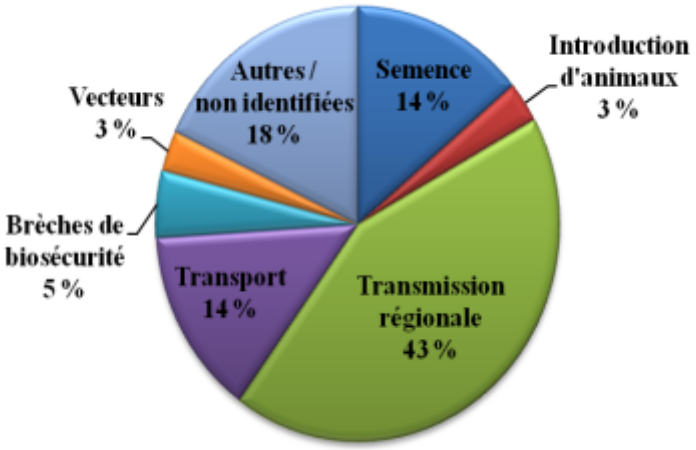

Figure 2-1. Causes possibles de l'infection de 35 troupeaux négatifs par le virus du SRRP (Adapté de Torremorell et al., 2004a et 2004b)

Larochelle *et al.* (2003) ont évalué la variation génétique parmi les souches de SRRP provenant de 250 troupeaux québécois et identifié les relations entre les souches afin de mieux comprendre la propagation du virus. Ils ont établi que la principale relation existant entre les souches d'un même groupe était la propagation régionale (33 % des cas). La transmission par aérosol était suspectée lorsque des troupeaux, infectés d'une souche semblable, appartenaient à des propriétaires différents faisant affaire avec des fournisseurs d'aliments et d'animaux différents ainsi que des équipes de conseillers techniques différentes (environ la moitié des cas). Dans 40 % des cas où une propagation régionale était suspectée, les troupeaux étaient séparés par une distance de moins de 3 km et dans 37 % des cas, ils étaient séparés par une distance de 3 à 10 km. La majorité des cas étaient soumis en automne et en hiver (entre novembre et avril), ce qui diminue la probabilité de propagation par les insectes.

D'autres études épidémiologiques démontrent que l'homologie génétique entre les souches de SRRP diminue avec la distance séparant les élevages (Mondaca-Fernandez *et al.*, 2006). L'étude de Goldberg *et al.* (2000) fait cependant exception puisqu'elle n'a pas démontré de lien entre la similarité génétique du virus et la proximité géographique des élevages.

2.2.4 La transmission par aérosol du SRRP maintenant reconnue

La possibilité de la transmission par aérosol du SRRP a suscité la controverse pendant de nombreuses années (Cho et Dee, 2006). Toutefois, elle est maintenant reconnue. Le virus du SRRP figure donc sur la liste des pathogènes qui peuvent être transmis par aérosol entre les élevages et de nombreuses études de cas supportent ce fait (Stärk, 1999; Baekbo et Mortensen, 2001; Desrosiers, 2004). Les chercheurs Scott Dee et Jeff Zimmerman, membres du USDA's National Research Institute PRRS Integrated Program Project, confirment aussi que le SRRP peut être transmis par aérosol et s'intéressent maintenant au développement d'un système de filtration permettant de protéger les élevages contre ce mode de transmission (Vansickle, 2005).

2.3 Les autres modes de transmission du SRRP et les mesures de biosécurité permettant de s'en protéger

Avant d'installer un système de filtration d'air, il est important de penser au fait que les aérosols ne sont pas les seuls vecteurs du virus du SRRP et que le maintien d'un programme de biosécurité est essentiel pour protéger efficacement l'élevage. Selon Boutin (2001), la biosécurité désigne « l'ensemble des mesures prises pour protéger les élevages de l'introduction de nouveaux agents infectieux ». Sans éliminer totalement le risque, un bon programme peut ralentir considérablement la dérive sanitaire d'un troupeau. Cette section présente donc les différentes portes d'entrées du virus sur les fermes ainsi que certaines mesures de biosécurité contribuant à les contrôler.

2.3.1 Sources de contamination potentielles

2.3.1.1 L'introduction de porcs

Il y a d'abord l'introduction de reproducteurs de remplacement et de porcelets qui présente un danger de contamination directe pour l'élevage. C'est pourquoi, il est suggéré de ne faire affaire qu'avec un seul fournisseur, de connaître son statut sanitaire (s'assurer qu'il est exempt du SRRP) et de connaître les mesures de biosécurité appliquées chez son fournisseur et lors de la livraison des animaux. Il est également recommandé d'isoler en quarantaine les sujets reproducteurs achetés avant de les intégrer dans le troupeau (Broes et Boutin, 2002).

2.3.1.2 La semence

La semence peut aussi contenir le virus. Il est donc très important de se procurer de la semence de centres d'insémination qui offrent une garantie sanitaire sérieuse pour le virus du SRRP (Broes et Boutin, 2002).

2.3.1.3 Les véhicules de transport

Les véhicules peuvent également transporter le virus. C'est pourquoi un bac de récupération pour animaux morts devrait être installé à bonne distance de la porcherie afin d'éviter que le camion de récupération s'approche trop près de la ferme. C'est aussi pour cette raison qu'il est préférable que les camions qui viennent chercher des porcs arrivent vides et propres à la porcherie (Broes et Boutin, 2002). Dee *et al.* (2004a) ont démontré qu'un véhicule de transport contaminé par le virus du SRRP peut transmettre l'infection à des porcs naïfs. Dans cette expérience, le seul traitement permettant l'élimination du virus combinait l'enlèvement de la litière, le lavage, la désinfection au phénol et le séchage. Dans une deuxième expérience, Dee *et al.* (2004b) ont évalué l'efficacité de quatre protocoles sanitaires pour éliminer le virus des véhicules de transport. Les protocoles impliquant un lavage seulement ou un lavage suivi d'une fumigation à l'aide de formaldéhyde n'ont pas été efficaces alors que les protocoles impliquant un lavage suivi d'une fumigation avec glutaraldéhyde-chlorure d'ammonium quaternaire ou un lavage suivi d'un séchage durant une nuit complète ont efficacement désinfecté le véhicule.

2.3.1.4 Les objets inanimés

Les objets inanimés comme les chaussures, les vêtements, le matériel et l'équipement, peuvent également servir de supports et permettre une transmission mécanique du virus. C'est pour cette raison qu'il est primordial de laver et désinfecter les objets inanimés avant de les introduire dans l'élevage (Broes et Boutin, 2002). Bernick (2007) rapporte que de plus en plus, de nouveaux bâtiments comprennent maintenant une chambre de désinfection permettant de désinfecter par fumigation le matériel qui entre dans les élevages. Le produit Synergize est d'ailleurs recommandé pour son efficacité reconnue contre le virus du SRRP. Dee *et al.* (2004c) ont démontré que l'utilisation de bottes en plastique jetables, l'utilisation de pédiluves contenant de l'hypochlorite et l'application de la méthode d'expédition « bag-in-a-box », prévenaient efficacement la transmission du SRRP. Dee *et al.* (2002; 2003) ont également démontré que la transmission mécanique du virus du SRRP, à travers une séquence d'événements qui reproduisent les habitudes des travailleurs de ferme, se produit plus facilement lors des journées froides (< 0°C) que lors des journées chaudes (10°C à 20°C). La séquence d'événements testée impliquait des bottes, des contenants, le nettoyage des véhicules, le transport et les déplacements du personnel.

2.3.1.5 L'humain

Le virus du SRRP peut être transmis par des objets inanimés tels que les bottes et les vêtements, mais aussi par les mains (Otake *et al.*, 2002b). L'humain peut donc servir de vecteur mécanique au virus. Trois protocoles de biosécurité ont été testés par Otake *et al.* (2002b) dans le but de contrer ce risque. Le premier était un système danois (incluant changement de bottes et de vêtements ainsi que lavage des mains), le deuxième était un protocole standard (changement de bottes et de vêtements, prise d'une douche et observation d'une période de retrait de 12 heures) et le troisième était un protocole alternatif (changement de bottes et de vêtements et prise d'une douche). Les trois protocoles ont démontré leur efficacité à empêcher la transmission du virus du SRRP. C'est pourquoi, il est recommandé que l'entrée de l'élevage soit équipée d'une douche ou d'un système danois composé de trois zones : une zone contaminée, une zone de transition comprenant une douche ou un lavabo et une zone propre (l'élevage). Il est aussi suggéré d'opérer un contrôle strict des gens qui entrent dans l'élevage (Broes et Boutin, 2002).

2.3.1.6 Les autres animaux et les insectes

Les chiens et les chats ne devraient pas entrer dans les bâtiments. Les rongeurs et les oiseaux ne devraient pas non plus avoir accès aux bâtiments ni aux silos (Broes et Boutin, 2002). Zimmerman *et al.* (1997) ont d'ailleurs démontré que le canard mallard est sensible au virus du SRRP et que le virus excrété dans ses fèces peut infecter des porcs.

Il faut également maintenir un bon contrôle des insectes par l'installation de moustiquaires dans les entrées d'air, l'utilisation d'insecticides et l'aménagement de l'environnement (Vansickle, 2007a). Les mouches (Otake *et al.*, 2004) et les moustiques (Otake *et al.*, 2002c) peuvent servir de vecteurs mécaniques et transmettre le SRRP sous conditions expérimentales. De plus, Schurrer *et al.* (2004) ont démontré en conditions de terrain que les mouches pouvaient cueillir le virus sur des animaux infectés du SRRP et le transporter sur une distance d'au moins 2,3 km. Lors de l'étude de Pitkin *et al.* (2007) qui visait à évaluer les modes de transmission du virus dans des conditions de champ, les mouches ont transmis le virus sur une distance de 120 m, mais à une très faible fréquence (Dee, 2007c).

2.3.1.7 La disposition du lisier et du fumier

Même s'il n'a pas encore été clairement établi que le SRRP peut être transmis par le lisier (Desrosiers, 2007), il est préférable de laver et désinfecter les équipements d'épandage utilisés sur d'autres fermes et de ne pas épandre de lisier à proximité des bâtiments (Broes et Boutin, 2002).

2.3.1.8 Les vaccins

Il est préférable de n'utiliser que des vaccins recommandés par le vétérinaire traitant (Broes et Boutin, 2002).

2.3.1.9 L'eau

L'eau peut agir comme vecteur passif du virus du SRRP, d'où l'importance de bien surveiller sa qualité et de la désinfecter au besoin (Synthèse élevage, 2006).

La figure 2-2 résume schématiquement toutes les voies de contamination possibles.

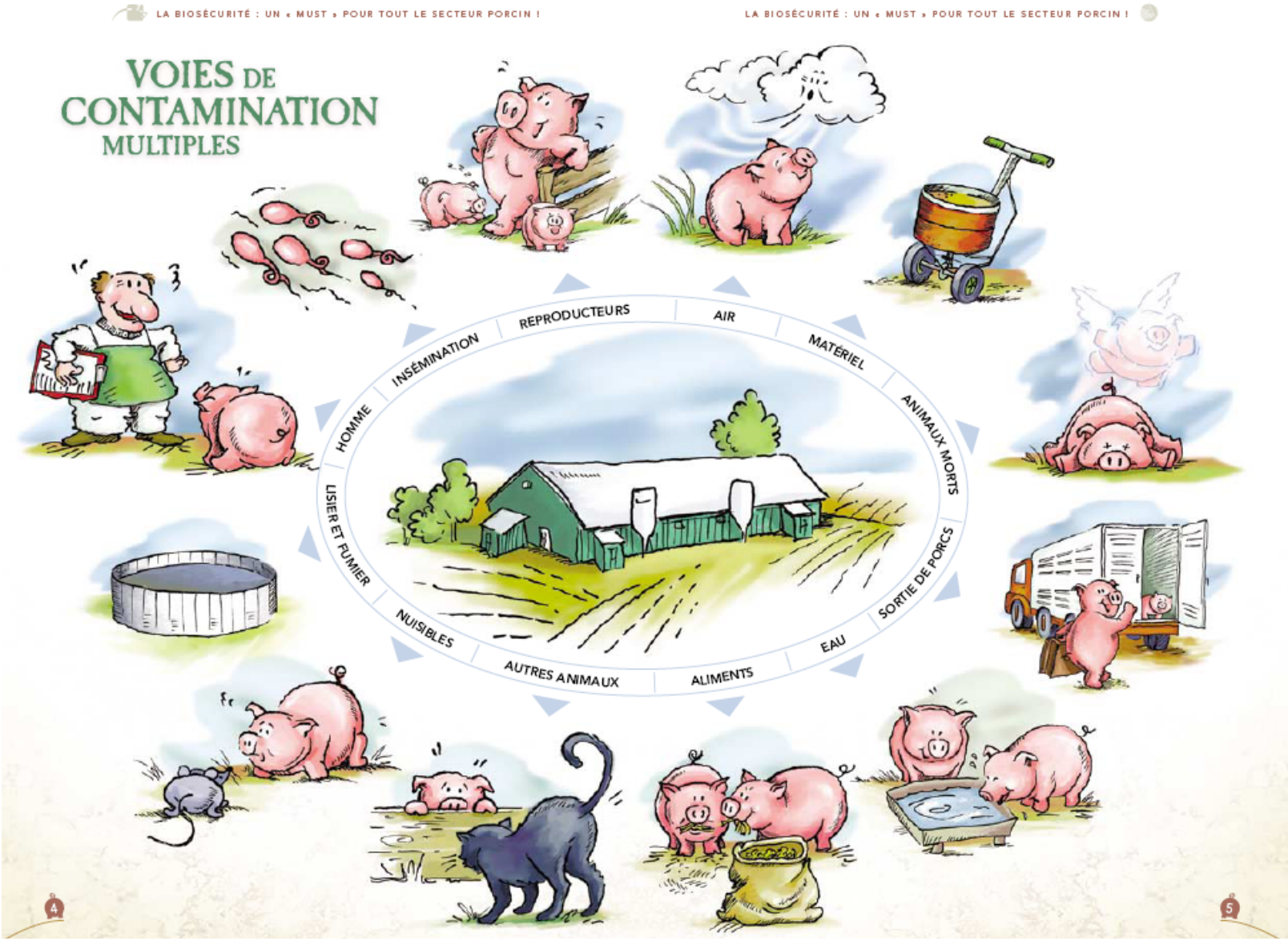

Figure 2-2. Multiples voies de contamination (Tiré de : Biosécurité : un « must » pour tout le secteur porcin !)

2.3.2 L'importance de la biosécurité

La biosécurité doit faire partie de tout programme visant à empêcher l'introduction du SRRP dans un élevage. L'importance de la biosécurité a récemment été soulignée par Pitkin *et al.* (2007) qui ont évalué son influence sur la transmission du virus du SRRP. Leur modèle comprenait trois « fermes » naïves, présentant des niveaux de biosécurité différents et se trouvant toutes à 120 m de distance d'une « ferme » contaminée. La première (aucune intervention), représentait le faible niveau de biosécurité, la deuxième (appliquant un protocole de biosécurité visant les insectes, les objets inanimés, le personnel et le transport), représentait le niveau moyen de biosécurité, et la troisième (équipée d'un système de filtration d'air et appliquant le même protocole de biosécurité que la deuxième), représentait le niveau de biosécurité élevé. L'étude s'est déroulée sur une période d'un an et le protocole a été répété 26 fois. Vansickle (2007a) rapporte qu'il n'y a eu aucune transmission du virus sur la ferme au niveau de biosécurité élevé alors que la ferme au niveau de biosécurité moyen a été infectée par le SRRP dans 31 % des cas (la transmission par aérosol a été identifiée comme source de contamination). La ferme qui n'appliquait aucun protocole de biosécurité a été infectée dans 66 % des cas par différentes sources. Ces résultats démontrent bien que l'application d'un protocole de biosécurité réduit les risques d'introduction du SRRP dans un élevage et qu'un système de filtration procure une protection supplémentaire.

2.4 Les systèmes de filtration d'air

Il n'y a pas que les troupeaux exempts du virus du SRRP qui bénéficieraient de l'installation d'un système de filtration d'air. Les troupeaux déjà infectés du virus en profiteraient aussi puisqu'ils seraient protégés contre l'introduction aérienne de nouvelles souches du virus (Dufour, 1995).

2.4.1 Méthode de certification des filtres

Il existe de nombreux types de filtres. C'est l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc. (ASHRAE) qui établit les standards permettant de mesurer leur efficacité et de les comparer entre eux (U.S. Environmental protection agency, 1997). Dutertre *et al.* (1995) expliquent les différentes méthodes permettant de tester les filtres. Tout d'abord, la méthode ASHRAE gravimétrique permet de mesurer l'efficacité des filtres qui sont utilisés comme pré-filtres grossiers. Il faut toutefois prendre garde à l'interprétation des valeurs obtenues à partir de cette méthode car l'efficacité du filtre est calculée à partir de la masse de poussière non retenue par le média filtrant, donc plus la valeur est élevée, moins le filtre retient de poussière. Il y a ensuite la méthode ASHRAE opacimétrique qui s'applique aux filtres à haute efficacité. Une valeur globale d'efficacité exprimée sur une échelle de 1 à 16 appelée « Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) » dérive de ce test. Par exemple, les filtres cotés MERV 13 à 16 ont une efficacité de 80 à 95 % pour les particules de 0,3 à 1 µm et les filtres cotés MERV 9 à 12 ont une efficacité de 40 à 75 % pour les particules de 1 à 3 µm de diamètre (Rosenthal, 2007). Finalement, la méthode au dioctylphtalate (DOP) permet d'évaluer le rendement des filtres à très haute efficacité tels les filtres HEPA. Le Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéraulique a défini un classement EUROVENT des filtres basé sur ces trois méthodes (Dutertre *et al.*, 1995). Les filtres testés selon la méthode gravimétrique sont classés EU 1 à EU 4, les filtres testés selon la méthode ASHRAE opacimétrique sont classés EU 5 à EU 9 et les filtres testés selon la méthode DOP sont classés EU 10 à EU 14.

2.4.2 Les filtres HEPA

Dee *et al.* (2005b) ont évalué la capacité d'un système de filtration de type HEPA à empêcher la transmission par aérosol du virus du SRRP. Ce filtre HEPA (filtre à haute efficacité contre les particules aériennes) retient les particules de 0,3 µm avec un taux d'efficacité de 99,99 %. Deux installations ont été réalisées pour cette expérience. Les installations étaient composées de deux pièces reliées par un tuyau de 1,3 m. Une des installations comprenait un système de filtration de la compagnie Fancom Agri-Computers, adapté au modèle expérimental, qui filtrait l'air entre les deux pièces alors que l'autre installation n'en comprenait pas. Le système de filtration était composé de trois niveaux de filtration, soit un pré-filtre en grillage 20 % gravimétrique interceptant les insectes et les débris, un filtre à sac 95 % opacimétrique classé EU 8 et un filtre HEPA 99,99 % DOP classé EU 13. Cinq porcs infectés de la souche MN-184 du virus étaient placés dans la première pièce et un cochon sain dans la deuxième. Dans l'installation sans filtre, la transmission du virus s'est produite dans six des vingt répétitions alors que dans l'installation filtrée, aucun des vingt porcs sains n'est devenu SRRP positif. Démontrant ainsi que le filtre HEPA réduit de façon significative la transmission aérienne du virus du SRRP.

Fancom Eurl a été le premier constructeur à équiper une ferme porcine avec un système de filtration d'air de type HEPA en 1996 (Innovet, 2006). En 1997, Cooperl-Hunaudaye a proposé ce système à ses éleveurs sélectionneurs (Coudé, 2004). Quinze fermes de Bretagne, région de la France avec la plus grande population de porcs, en sont maintenant équipées (Leriche, P. février 2008, communication personnel). Onze fermes supplémentaires sont équipées d'un système de filtration du même genre avec d'autres compagnies et aucune depuis n'a perdu son statut SRRP négatif (Desrosiers, 2005).

Pour opérer avec ces filtres, le bâtiment doit être équipé d'un système de ventilation à pression positive (Dee *et al.*, 2005b). Le Centre d'insémination porcine du Québec a payé plus d'un million de dollars pour l'installation de ce système et tout ce qui en découle dans ses deux élevages (550 verrats au total) (Parent, 2004). Les coûts d'installation varient entre 1 000 et 1 500 €[1] (1 075-1 612 $ CAN) par truie pour un naisseur-finisseur et entre 500 et 1 000 € (537-1075 $ CAN) par verrat pour un centre d'insémination (Desrosiers, 2005). En raison de son coût élevé, la plupart des troupeaux commerciaux ne peuvent pas envisager l'installation d'un filtre HEPA. C'est pourquoi les recherches se poursuivent afin de trouver un système de filtration moins coûteux (Desrosiers, 2004).

[1] 1 € = 1,4691 $ CAN, taux de change moyen pour 2007, selon la Banque du Canada

2.4.3 La taille des virus et la notion de bioaérosol

Le système de filtration doit pouvoir intercepter efficacement le virus du SRRP et il est important de bien comprendre comment se présente le virus pour choisir le filtre approprié. Reicks (2006) rapporte le diamètre de quatre agents infectieux affectant l'espèce porcine et qui peuvent être transmis par voie aérienne : le virus de l'influenza porcine (0,080 à 0,120 micron), le virus du SRRP (0,050 à 0,065 micron), le circovirus porcin (0,0017 à 0,0022 micron) et le *Mycoplasma* (0,3 à 0,9 micron). Comme la taille du virus de l'influenza, du virus du SRRP et du circovirus porcin est inférieure à 0,2 micron, ils devraient en théorie pouvoir traverser un filtre HEPA. Toutefois, puisqu'ils survivent mal à l'état libre, les virus sont souvent transportés par des aérosols (Dutertre, 1995). Les aérosols sont composés de matière finement divisée se trouvant en suspension dans l'atmosphère, comme la poussière, la fumée ou le brouillard par exemple (Hirst, 1995). Lorsque les aérosols comprennent des particules d'origine biologique pouvant affecter un organisme vivant (ex. : virus), le terme « bioaérosols » est alors utilisé. Puisque, selon Hirst (1995), les bioaérosols ont un diamètre variant de 0,5 à 100 µm, il devient possible d'intercepter les virus véhiculés de cette façon à l'aide d'un filtre HEPA ou d'un autre genre de filtre.

2.4.4 Évaluation du potentiel d'interception du virus SRRP de différents filtres

Dee *et al.* (2006a) ont testé d'autres types de filtres ayant le potentiel d'intercepter le virus du SRRP. Ils ont utilisé les mêmes installations, mais cette fois, un brumisateur vaporisant le virus remplaçait les porcs infectés. Trois méthodes de filtration ont été testées : la filtration de type HEPA, un système d'irradiation par rayons ultraviolets (UV) et un système composé d'une moustiquaire (pré-filtre), un filtre à fournaise en fibre de verre (MERV 4) et un filtre électrostatique à fournaise (MERV 12) classé EU 3. Le filtre HEPA a été significativement plus efficace que les autres filtres puisqu'aucun des dix porcs n'est devenu SRRP positif. Neuf porcs sur dix sont devenus SRRP positifs lorsqu'aucun filtre n'était utilisé, huit sur dix avec le système d'irradiation par UV et quatre sur dix avec la moustiquaire combinée au filtre à fournaise.

Lors de l'expérience suivante, Dee *et al.* (2006b) ont utilisé les mêmes installations pour tester quatre méthodes de filtration : la filtration de type HEPA; un système « HEPA-like » (Cho et Dee, 2006) composé de filtres pli-sur-pli jetables avec une cote d'efficacité de 95 % pour les particules de DOP ayant un diamètre de 0,3 µm ou plus et des cotes EU 9 et MERV 15; un système composé d'un pré-filtre en grillage 20 % gravimétrique et d'un filtre à sac 95 % opacimétrique classé EU 8 et MERV 14; et finalement, un système composé d'une moustiquaire (pré-filtre), de deux filtres à fournaise en fibre de verre (MERV 4) et de deux filtres électrostatiques à fournaise classés EU 3 et MERV 12. Pour la première étape, aucun cochon sur dix n'est devenu SRRP positif avec le filtre HEPA ou le filtre « HEPA-like », alors que deux porcs sur dix le sont devenus avec le filtre à sac, quatre sur dix avec les filtres à fournaise, et dix sur dix lorsqu'aucun filtre n'était utilisé.

Pour la deuxième phase qui opposait le filtre HEPA au filtre « HEPA-like », seul le filtre HEPA a complètement empêché la transmission du virus avec tous les porcs qui sont demeurés SRRP négatifs sur soixante-seize répétitions alors que deux porcs sur soixante-seize sont devenus SRRP positifs avec le filtre « HEPA-like ». Comme le filtre « HEPA-like » doit normalement retenir les particules de 1,0 à 10,0 µm avec un taux d'efficacité de 90 %, il aurait normalement dû démontrer une plus grande efficacité si les particules avaient eu un diamètre de 0,5 à 100 µm tel que rapporté par Hirst (1995). Mais Dee *et al.* (2006b) soulignent que les particules vaporisées par le brumisateur avaient un diamètre de 0,3 à 3,0 µm. Selon Dee *et al.* (2006b), le filtre 95 % DOP sur 0,3 µm peut donc représenter une option intéressante en considérant son coût d'implantation, sa compatibilité avec le système de ventilation à pression négative et le niveau de risque que le producteur est prêt à accepter.

Le filtre 95 % DOP sur 0,3 µm testé par Scott Dee et son équipe a été installé sur quelques fermes aux États-Unis. Jusqu'à maintenant, il semble prévenir l'introduction du virus du SRRP, de l'influenza ainsi que du *Mycoplasma hyopneumoniae* (Dee, 2007a). Selon Dee (2006), il présente l'avantage de fonctionner dans des bâtiments équipés d'un système de ventilation à pression négative et de coûter 10 % du prix d'un système de filtration de type HEPA. Pohl (2007) rapporte des résultats satisfaisants sans réapparition de la maladie dans quatre centres d'insémination de 200 à 250 têtes. Un de ces centres d'insémination avait connu un épisode de SRRP en 2005 alors qu'une ferme contaminée par le SRRP se trouvait à environ 1,25 km d'un des sites. Le Dr Reicks rapportait en 2006 avoir travaillé pour une période de 13 mois avec neuf centres d'insémination ayant installé le système de filtration 95 % DOP sur 0,3 µm. Il a établi que le coût d'un système à pression négative 95 % DOP variait entre moins de 30 $ et 100 $ US (32-107 $ CAN) par place de verrat sans air conditionné ou de 330 à 430 $ US (355-462 $ CAN) avec air conditionné. Le coût d'un système HEPA à pression positive variait de 300 à 600 $ US (322-645 $ CAN) par place de verrat sans air conditionné ou de 1 000 à 1 200 $ US (1075-1290 $ CAN) avec air conditionné. Vansickle (2007b) rapporte qu'après 2 ½ ans de travail avec 15 entreprises situées dans des régions à forte densité porcine du Minnesota et ayant installé différents systèmes de filtration, le Dr Reicks n'a observé aucune apparition de SRRP durant les périodes de filtration complète. Trois épisodes de SRRP sont survenus pendant l'été alors que l'air n'était pas filtré. Environ 75 % de ces fermes avaient déjà connu des épisodes de SRRP.

3 HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS

3.1 Hypothèses

Les filtres évalués dans ce projet sont fabriqués et brevetés par l'entreprise Noveko inc., dont le siège social est localisé à Terrebonne dans la région de Montréal. Actuellement, ce type de filtre est utilisé pour fabriquer des masques faciaux pour les humains. Les succès obtenus avec les masques, permettant de détruire 115 virus et bactéries présents chez l'humain, ont amené Noveko inc. à s'intéresser à la filtration d'air de bâtiments porcins.

A partir des filtres, la compagnie Noveko inc. a développé un système de filtration (combinaison de 3 filtres) qui peut être installé sur les entrées d'air des systèmes de ventilation à pression négative communément rencontrés dans les bâtiments d'élevage commerciaux.

Les essais réalisés à l'University of Minnesota par le Dr Scott Dee ont démontré que les filtres HEPA engendraient 0 fois sur 10 la transmission aérienne du SRRP et l'engendraient 4 fois sur 10 dans le cas de filtres à fournaise. Bien qu'efficaces, les filtres HEPA sont très coûteux et ne sont pas abordables pour des bâtiments porcins commerciaux. En se basant sur les essais des filtres à fournaise du Dr Dee, il est plausible de poser comme hypothèse que l'utilisation d'un filtre muni d'un agent virucide ayant environ la même porosité que le filtre à fournaise aurait amélioré ce résultat. Une autre des hypothèses posée dans le projet est que le filtre de Noveko inc. peut être presqu'aussi efficace qu'un filtre HEPA.

Des essais exploratoires réalisés par le CDPQ en juillet 2007 ont démontré que le système de filtration d'air de Noveko inc. ne restreint pas significativement les systèmes de ventilation à pression d'air négative comparativement aux autres filtres sur le marché (figure 3-1). De plus, le système de filtre de Noveko inc. se démarque car il est beaucoup moins coûteux comparativement aux systèmes munis de filtres HEPA. Ce filtre est lavable et réutilisable. Sa durée de vie est estimée pour l'instant de 18 à 24 mois. Le potentiel de marché pour cette technologie est élevé à la condition qu'elle retienne et détruise les virus et bactéries efficacement. La principale inconnue à laquelle le présent projet tentera de répondre est la suivante : le filtre de Noveko inc. est-il efficace pour retenir et/ou détruire le virus du SRRP ?

Figure 3-1. Essai exploratoire du filtre de Noveko inc. dans un bâtiment porcin

3.2 Objectif général du projet

Évaluer l'efficacité d'un filtre à air, fabriqué par l'entreprise québécoise Noveko inc., auquel est incorporé un agent virucide, à réduire ou à éviter la transmission aérienne du virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) dans les bâtiments d'élevage porcin.

3.3 Objectifs spécifiques

- Évaluer, en laboratoire, l'efficacité du filtre à air fabriqué par Noveko inc. à immobiliser et/ou à tuer le virus du SRRP;
- Évaluer, en laboratoire, la capacité du filtre à réduire la transmission par aérosol du virus du SRRP à des porcs vivants;
- Estimer les impacts économiques et techniques relatifs à l'implantation d'un tel système pour des bâtiments porcins types;
- Concevoir un système de filtration d'air adapté aux conditions québécoises, à partir d'équipements disponibles au Québec et ce, avec des équipementiers québécois;
- Développer une expertise québécoise dans le domaine de la filtration d'air;
- Diffuser les résultats du projet au sein de la filière porcine;
- Fournir des résultats et l'information utile afin de réaliser dans le futur, un projet de transfert technologique à la ferme de ce système.

4 MATÉRIEL ET MÉTHODE

4.1 Installations expérimentales

Afin d'évaluer la capacité de différentes combinaisons de filtres à réduire la transmission du virus du SRRP par des aérosols, un modèle réduit d'une ferme porcine a été construit. Le modèle était composé de deux chambres (1,3 m de long, 1,3 m de large, 1,8 m de haut) reliées par un conduit rectangulaire (650 mm par 650 mm) d'une longueur de 1,3 m (figure 4-1 et figure 4-2). Le conduit rectangulaire permettait à l'air de s'écouler de la chambre 1 vers la chambre 2 grâce à un ventilateur à débit constant de 45 cm installé à la sortie d'air, imitant ainsi un système de ventilation à pression négative. Le conduit rectangulaire était conçu pour loger les différentes combinaisons de filtres. Une ouverture de 25 cm de diamètre dans la paroi de la chambre 1 servait d'entrée d'air au dispositif expérimental; une autre ouverture de 25 cm de diamètre dans la paroi de la chambre 2 était reliée à un conduit rond qui permettait à l'air d'être expulsé à l'extérieur de celle-ci.

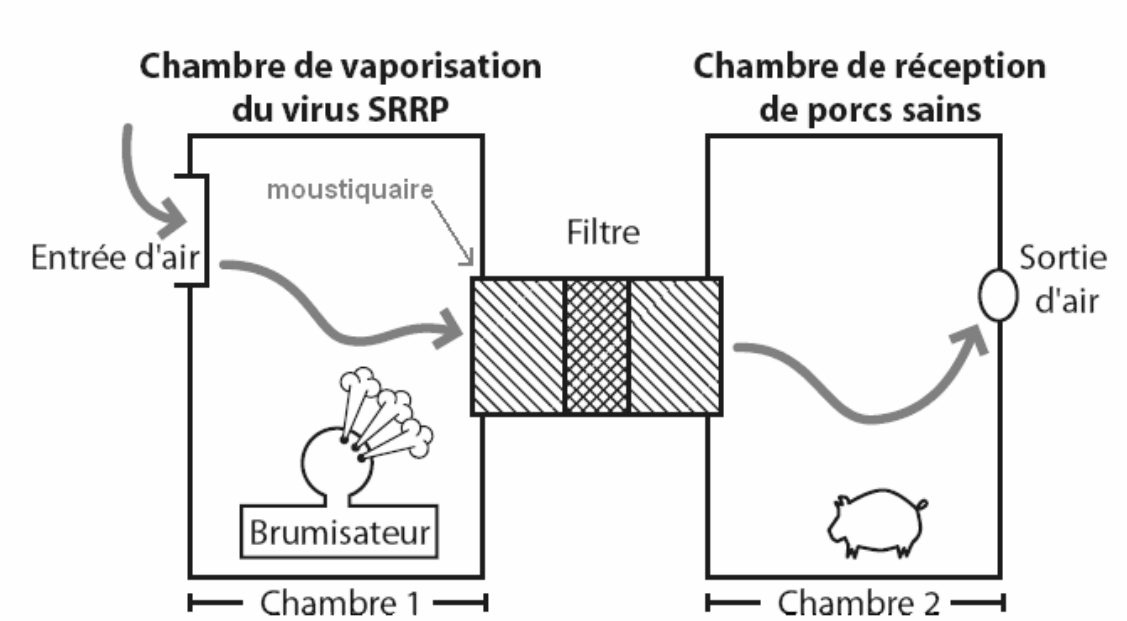

Figure 4-1. Schéma du dispositif expérimental permettant d'évaluer l'efficacité du filtre à réduire ou éviter la transmission aérienne du SRRP

Figure 4-2. Vue extérieure du dispositif expérimental

4.2 Modèle expérimental

4.2.1 Phase 1

Cette phase était une phase d'exploration conçue pour examiner l'efficacité de trois combinaisons différentes de filtres fabriqués par Noveko inc.. Aux fins de la présente phase, chaque changement de filtre représente une répétition; donc un total de cinq répétitions par combinaison de filtre ainsi que 5 témoins positifs et 5 témoins négatifs ont été effectués. Trois répétitions ont été effectuées en même temps. Cependant, chaque chambre de filtration était localisée dans une salle séparée du Centre de recherche avicole de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (FMV) à Saint-Hyacinthe au Québec. Toutes les salles du Centre de recherche avicole avaient un système indépendant de filtration de type HEPA pour s'assurer qu'il n'y ait pas de contamination entre les salles.

4.2.1.1 Modèle d'infection

L'aérosol contenant le VSRRP était produit par un brumisateur (Hurricane ULV/mister, modèle 2790; Curtis Dyna-Fog, Westfield, IN, USA (figure 4-3). Le brumisateur était placé sur le plancher de la chambre 1 et son canon était dirigé vers le filtre selon un angle de 40°. La charge virale envoyée en direction du filtre, lors de chaque réplicat, était de 300 X 10^7 $DITC_{50}$ [dose infectieuse pour 50 % des tissus en culture]) du virus du SRRP contenu dans le vaccin commercial « Ingelvac PRRS MLV » (Boehringer Ingelheim Vetmedica, St-Joseph, MO, EU). La charge virale était diluée dans 300 ml d'eau stérile pour une concentration estimée à 1 x 10^7 $DICT_{50}$/ml d'eau dans la réserve du brumisateur. La concentration virale dans la brume ($DICT_{50}$ par litre d'air) n'a pas été estimée. Le débit du brumisateur était ajusté pour atomiser la charge virale en cinq minutes. Pour les témoins négatifs, c'est une solution saline qui a été vaporisée.

Figure 4-3. Brumisateur dans la chambre 1

Une moustiquaire avec des pores de 1,0 mm (64 ouverture/cm²) a été employée comme pré-filtre et a été placée sur l'ouverture du conduit rectangulaire dans la chambre 1. À chaque répétition, le ventilateur était ajusté afin d'avoir une vitesse d'air de 0,5 m/s dans la conduite contenant le filtre, cette vitesse correspondant à celle qui sera utilisée pour la conception des systèmes de filtres sur les bâtiments porcins commerciaux. Pendant la période d'exposition, la température et l'humidité relative de l'air dans la chambre 2 de chaque service ont été enregistrées à l'aide d'un HOBO® Pro v2 (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, EU). Le débit d'air à l'entrée et à la sortie du système a été évalué pour s'assurer de l'étanchéité du dispositif expérimental à l'aide de deux registres à iris de 10 pouces (Iris Damper Continental Fan Manufacturing, Buffalo, NY, EU) et d'un test fumigène (DR-CH25301, Dräger, Lübeck, Allemagne). Le différentiel de pression statique de chaque côté des filtres a également été mesuré à l'aide d'un indicateur de pression différentielle (2000.00D, DWYER, Michigan City, IN, USA) pour déterminer la perte de charge générée par le filtre.

4.2.1.2 Filtres

Les filtres utilisés dans cette expérience sont disponibles sur le marché (Noveko inc. Terrebonne, Québec, Canada) et se composent d'une série de couches de filtres contenant dans leurs fibres un bactéricide, virucide et fongicide. Les trois combinaisons de filtres suivantes ont été évaluées : 1) 5 couches (filtre A); 2) 10 couches (filtre B); 3) 5 couches plus une couche de tissu antimicrobien de fabrication différente. Dans cette dernière combinaison de filtres testée, un tissu commercial (Noveko inc., Terrebonne, Québec, Canada) a été ajouté afin d'augmenter l'activité de filtration. Pour les témoins positif et négatif, aucun filtre n'a été utilisé.

4.2.1.3 Protocole de biosécurité d'étude

Pour réduire au minimum le risque de contamination entre les répétitions, des protocoles stricts de biosécurité ont été suivis à tout moment. Les chambres ont été dégraissées, lavées avec du savon et aseptisées avec un désinfectant contenant 49,4 % de monopersulfate de potassium, 4,4 % d'acide sulfamique et 8,9 % d'acide malique (Virkon®, Antec International LTD, Sudbury, Suffolk, Angleterre) dilué à 2 %. Par la suite, les chambres ont été asséchées pendant au moins 10 heures. Avant de pénétrer dans chaque salle d'expérimentation, les chercheurs changeaient de sarrau, bottes, gants, masque facial et filet à cheveux, dans une préchambre indépendante reliée à la salle d'expérimentation qui logeait la chambre de filtration. Il y avait deux chercheurs impliqués dans le projet, un premier préparait la source de VSRRP et installait le brumisateur dans la chambre 1, et un second écouvillonnait la chambre 2 avant et après chaque répétition. Après l'exécution des cinq répétitions du témoin négatif, trois répétitions ont montré des traces de résidus du VSRRP après la brumisation. À la suite d'une recherche approfondie, il a été déterminé que le désinfectant employé pour aseptiser les chambres tuait le VSRRP mais que, de temps en temps, il laissait quelques résidus d'ARN. Par conséquent, afin d'éviter les faux positifs, il a été décidé d'effectuer une étape supplémentaire de désinfection avec du chlore commercial à une dilution de 1 % pour dénaturer tout le matériel génétique du VSRRP encore présent.

4.2.1.4 Procédure de diagnostic

Avant et après chaque répétition, la chambre 2 a été tamponnée avec cinq applicateurs stériles avec embout en rayonne (Puritan Medical products Company LLC, Guilford, ME, EU). Pour réduire au minimum l'effet de dilution inhérent à cette technique, les échantillons ont été collectés avec un applicateur qui peut absorber 280 ml de liquide et diluer dans un tube avec 500 ml de solution saline. La présence du virus du SRRP ($DITC_{50}$/ml de solution saline) dans les échantillons a été évaluée par une technique de réaction de polymérisation en chaîne avec transcription inverse (RT-PCR) en temps réel (Smart Cycler II block, Cepheid, Sunnyvale, CA, EU).

4.2.2 Phase 2

4.2.2.1 Phase 2a

Cette phase a été conçue pour examiner la meilleure combinaison de filtres produite dans la phase 1. Pour cette phase, un porc sentinelle a été placé dans la chambre 2 juste avant de commencer la vaporisation de la source de VSRRP. Chaque porc représentait une répétition; donc 10 répétitions ont été effectuées ainsi que 5 témoins positifs et 5 témoins négatifs. Ce protocole devrait permettre de mesurer, six fois sur dix, des différences d'efficacité des filtres de l'ordre de 70 % (10 comparé à 80 %) avec un niveau de signification de 0,05.

Lors de chaque répétition, le brumisateur était placé dans la chambre 1, tel que décrit précédemment, et un seul porc naïf au regard du SRRP était placé dans la chambre 2 pendant 6 heures.

Encore une fois, trois répétitions ont été effectuées simultanément; toutefois, chaque chambre de filtration était installée dans une salle séparée du Centre de recherche. Pendant la période d'exposition de 6 heures, l'air était ventilé de la chambre 1 vers la chambre 2, logeant le porc, par l'intermédiaire du conduit reliant les 2 chambres. Pendant la période d'exposition, la température et l'humidité relative de l'air dans la chambre 2 de chaque service ont été enregistrées à l'aide d'un HOBO® Pro v2 (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, EU). Le débit d'air à l'entrée et à la sortie du système a été évalué pour s'assurer de l'étanchéité du dispositif expérimental à l'aide de deux registres à iris (Iris Damper) de 10 pouces (Iris Damper Continental Fan Manufacturing, Buffalo, NY, EU) et d'un test fumigène (DR-CH25301, Dräger, Lübeck, Allemagne). Le différentiel de pression statique de chaque côté des filtres a également été mesuré à l'aide d'un indicateur de pression différentielle (2000.00D, DWYER, Michigan City, IN, USA) pour déterminer la perte de charge générée par le filtre.

4.2.2.2 Protocole de biosécurité

Pour réduire au minimum le risque de contamination des chambres entre les répétitions, les mêmes protocoles stricts de biosécurité utilisés en phase 1 ont été suivis à tout moment. Dans cette phase, le chercheur qui écouvillonnait les chambres avant et après chaque répétition introduisait et retirait également le porc sentinelle des chambres 2. Chaque porc était placé dans une chambre d'isolation (IASA, S.A. de C.V., Tehuacán, Puebla, Mexico) avec un système de filtration HEPA indépendant. Les chambres d'isolation étaient situées dans une salle du Centre de recherche avicole de la FMV munie également d'un système de filtration HEPA.

4.2.2.3 Procédure de diagnostique

La procédure de diagnostic pour la chambre 2 était exactement la même que celle décrite en phase 1. Cependant, puisque cette phase incluait des porcs sentinelles naïfs en regard du SRRP, des échantillons de sang ont été prélevés à leur arrivée au Centre de recherche (jour -1) et aux jours 1, 7 et 14 après leur période d'exposition au virus du SRRP. Les échantillons de sang étaient testés afin de détecter la présence d'ARN du SRRP et d'anticorps SRRP par, respectivement, la méthode PCR en temps réel (qPCR) (Tetracore, Rockville, MD, USA) et la trousse ELISA IDEXX 2X-R (HerdChek PRRS 2XR Antibody test kit, IDEXX Laboratories, Westbrook, ME). Les porcs étaient éliminés dès qu'ils devenaient positifs en regard du SRRP.

4.2.2.4 Phase 2b

Durant l'exécution de la phase 2a, un nouveau filtre a été développé par Noveko inc.; ce qui a engendré la seconde partie de cette phase. Cette phase était une réplique exacte de la phase 2a. Toutefois, pour augmenter la précision de l'étude, 20 répétitions ont été effectuées. Ce protocole devrait permettre de mesurer, sept fois sur dix, des différences d'efficacité des filtres de l'ordre de 70 % (10 comparé à 80 %) avec un niveau de signification de 0,05.

5 RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de trouver la meilleure combinaison de couches d'un filtre disponible dans le commerce pour réduire le risque de transmission par aérosol du virus du SRRP. Cette expérience était constituée de deux phases ; une première phase exploratoire pour trouver la meilleure combinaison et une seconde phase avec des porcs sentinelles pour évaluer plus précisément l'efficacité de la meilleure combinaison de filtre de la phase 1.

5.1 Phase 1 (essai sans animaux)

Une transmission par aérosol a eu lieu dans les 5 répétitions avec le filtre A, dans trois répétitions avec le filtre B ainsi que trois avec le filtre C pour un taux de succès respectif de 0, 60 et 60 % (tableau 5-1). La chambre a été contaminée dans toutes les répétitions du témoin positif (sans filtre avec brumisation de virus). Des traces d'ARN viral ont été retrouvées dans trois répétitions pour le témoin négatif (sans filtre avec brumisation d'une solution saline sans virus). La détection de traces d'ARN dans les essais du témoin négatif est expliquée par le fait que le désinfectant utilisé pour désinfecter les chambres tuait le VSRRP mais laissait occasionnellement quelques résidus d'ARN qui ont été détectés dans les écouvillons analysés par PCR. Par conséquent, une troisième étape de désinfection a été mise en application tel que décrit dans les protocoles de biosécurité de la phase 1.

Tableau 5-1. Résultats de la phase 1 pour les trois combinaisons de filtre et les témoins positif et négatif

Répétition	Filtre A	Filtre B	Filtre C	Témoin positif	Témoin négatif
1	POS[1]	POS	NEG[2]	POS	TRACE
2	POS	POS	POS	POS	TRACE
3	POS	NEG	POS	POS	TRACE
4	POS	NEG	NEG	POS	NEG
5	POS	POS	POS	POS	NEG

[1] Pos = positif
[2] Neg = négatif

Suite aux résultats de cette phase exploratoire, il a été décidé d'utiliser le filtre B dans la phase 2 du projet. Quoique le filtre C ait montré le même potentiel, le tissu supplémentaire contenu dans ce filtre était trop restrictif pour la ventilation; donc il fut considéré que le filtre B serait globalement la meilleure option.

5.2 Phase 2a et b (essais avec animaux)

Une transmission du SRRP par aérosol a été observée à trois reprises avec le filtre B (n=10), soit le filtre testé en phase 1, et à une seule reprise avec le filtre D (n=20) démontrant ainsi un taux de succès respectif de 70 et 95 % (Tableau 5-2).

Tableau 5-2. Résultats de la phase 2a et 2b pour les deux différentes combinaisons de filtre ainsi que les témoins positif et négatif

Filtre	**Chambre[1] (après brumisation)**	**Porcelet[2] (Jour 14)**
B (n=10)	3 POSITIFS	3 POSITIFS
D (n=20)	0 POSITIF	1 POSITIF
Témoin négatif (solution saline; n=4)	0 POSITIF	0 POSITIF
Témoin positif (sans filtre; n=4)	4 POSITIFS	4 POSITIFS

1 Une chambre est considérée positive lorsqu'on retrouve des traces d'ARN viral sur les parois de la chambre.
2 Un porcelet est considéré positif lorsqu'on retrouve du virus (test PCR) ou des anticorps pour le virus du SRRP (ELISA) dans le sang du porcelet.

Dans les conditions expérimentales de cette étude, les deux types de filtres (B et D) ont significativement (filtre B : P=0,035; filtre D : P<0,001) réduit la transmission par aérosol du VSRRP comparativement au témoin positif. Quoique le filtre B ait eu un taux de succès de 25 % inférieur, les deux filtres ont été capables d'arrêter le passage du VSRRP.

Il est à noter que les filtres ont été évalués dans des conditions extrêmes puisque le bec du brumisateur était dirigé directement vers le filtre et qu'une grande quantité du virus (1×10^7 $DITC_{50}$) a également été employée pour produire l'aérosol artificiel, et ce dans un espace restreint. Or, nous croyons qu'en réalité, la concentration en virus contenus dans l'air est nettement inférieure à celle rencontrée lors des essais bien que nous ne l'ayons pas mesuré. Donc, les filtres ont montré un grand potentiel d'empêcher la transmission par aérosol et la dispersion aérienne du VSRRP. Fort de ces résultats, Noveko inc. a décidé de commercialiser le filtre D qui a obtenu les meilleurs résultats.

6 ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE

6.1 Généralités

Les objectifs de cette section sont d'évaluer de façon préliminaire les impacts économiques et techniques relatifs à l'implantation d'un tel système pour des bâtiments porcins types. Quatre types de bâtiments porcins ont été retenus pour l'évaluation économique, soit deux maternités, une pouponnière et un engraissement.

6.1.1 Description du système de filtration

Le filtre D ayant démontré une efficacité de 95 %, a été retenu pour commercialisation par Noveko inc. À partir de ce filtre, ils ont développé un système de filtration à trois niveaux. C'est ce système qui fait l'objet de la présente évaluation technico-économique. Il est composé de boîtiers en ABS et aluminium (28,5 po x 48 po) s'emboîtant l'un dans l'autre et conçus pour s'adapter aux corniches et abrivents permettant l'entrée de l'air (figure 6-1). Trois séries de filtres (27 po x 47 po) sont insérées à l'intérieur de chaque boîtier. Le premier niveau de filtration est effectué par une moustiquaire amovible, facile à nettoyer, qui sert à retenir les particules grossières. Le deuxième niveau de filtration est constitué de trois couches du filtre à air antimicrobien. Le troisième et dernier niveau de filtration est composé de sept couches de filtres à air antimicrobien. Ainsi, le système comporte en tout 10 couches de filtres antimicrobiens. La création de deux séries de filtres antimicrobiens permet d'avoir constamment une filtration antimicrobienne même durant le lavage des filtres puisque qu'une série de filtre peut demeurer en place durant le lavage de l'autre série. Il est également permis de penser que le troisième niveau de filtration nécessitera moins fréquemment d'être nettoyé.

Figure 6-1. Système de filtration antimicrobien

6.2 Paramètres techniques

Le tableau 6-1 présente les données techniques des quatre modèles de bâtiments porcins types utilisés. Les maternités sont de tailles différentes (400 et 1 500 truies en production) et pratiquent la vente au sevrage. La pouponnière et l'engraissement fonctionnent en tout plein, tout vide. Le système de filtration a été conçu afin que la pression statique à l'intérieur du bâtiment n'excède pas 0,1'' d'eau lorsque la ventilation est à 100 % durant l'été.

Tableau 6-1. Liste des paramètres techniques des bâtiments types

Bâtiments	**Maternité A**	**Maternité B**	**Pouponnière**	**Engraissement**
Nombre d'animaux en production	1 500	400	1 082	1 000
Mode d'élevage	Vente au sevrage	Vente au sevrage	Tout plein, tout vide	Tout plein, tout vide
Nombres de filtres	361	98	41	90
Productivité des truies (porcelets sevrés par truie en production)	23	23	n/a	n/a
Rotation	n/a	n/a	6,5	3
Mortalité pouponnière-engraissement (%)	n/a	n/a	3,9	5
Production annuelle (têtes)	34 500	9 200	6 759	2 850

n/a = non applicable

La productivité des truies est estimée à 23 porcelets sevrés par truie en production par année. Le nombre de lots par année sont de 6,5 et 3 respectivement pour la pouponnière et l'engraissement. Les taux de mortalité sont fixés à 3,9 %[1] et 5 %[2] pour la pouponnière et l'engraissement.

6.3 Financement de l'investissement

Au niveau du financement, les hypothèses suivantes sont posées :

- l'achat et l'installation du système sont financés sur 10 ans avec un taux moyen de 7 % (Banque du Canada, moyenne 10 ans du taux hypothécaire ordinaire 5 ans);
- une mise de fonds initiale de 25 % est considérée;
- une hypothèse sans mise de fonds est aussi considérée;
- les remplacements de filtres aux 2 ans sont considérés comme étant financés par la marge de crédit, à un taux de 6,5 % (Banque du Canada, moyenne 10 ans du taux de base des prêts aux entreprises + 1 %);
- aucun amortissement n'est considéré dans les calculs;
- le taux horaire retenu est de 16 $/h pour l'entretien.

[1] Il s'agit du taux de mortalité moyen en pouponnière chez les naisseurs conventionnels au Québec en 2006. (Résultats technico-économiques 2006 et évolution 2005-2006 des entreprises porcines participantes au projet Étude coût de production de la FPPQ, FPPQ).

[2] Du fait de la crise du syndrome de dépérissement post-sevrage (SDPS) qui a sévi au Québec en 2005 et 2006, la mortalité moyenne dans les engraissements au Québec fut d'environ 10 % (FPPQ, 2007). Le taux de 5 % est plus représentatif d'une situation normale.

6.4 Pose et installation du système

6.4.1 Coûts d'installation

Suite aux essais exploratoires effectués par le CDPQ en juillet 2007, les coûts d'installation du système sont évalués à 12 $ du pied linéaire de filtre, soit 48 $ par filtre de 4 pieds. Ces coûts incluent la main-d'œuvre et la quincaillerie (vis, écrous, etc.) pour faire la pose. Il faut cependant noter que ces coûts supposent une adaptation aisée au système de ventilation mécanique existant.

Les coûts totaux d'achat et d'installation des filtres sont rapportés au tableau 6-2. Les coûts d'achats et d'installation pour la maternité de 1 500 truies en production sont similaires à ceux de la maternité de 400 truies (125,87 $/truie comparé à 128,14 $/truie) du fait d'un nombre moins élevé de filtres/truie pour la plus grosse maternité. Il n'y a donc pas d'économie d'échelle. Il est possible que d'autres facteurs comme des escomptes liés au volume augmentent les économies d'échelle; aucune hypothèse à ce sujet n'est cependant posée.

Tableau 6-2. Coûts d'achats et d'installation des équipements, excluant financement

	Maternité A	Maternité B	Pouponnière	Engraissement
Coût total équipement	171 475,00 $	46 550,00 $	19 475,00 $	42 750,00 $
Par place	114,32 $	116,38 $	18,00 $	42,75 $
Coût total installation	17 328,00 $	4 704,00 $	1 968,00 $	4 320,00 $
Par place	11,55 $	11,76 $	1,82 $	4,32 $
Total coûts	188 803,00 $	51 254,00 $	21 443,00 $	47 070,00 $
Par place	125,87 $	128,14 $	19,82 $	47,07 $

Les déboursés annuels que ces investissements impliquent sont présentés au tableau 6-3. Les économies d'échelles reliées au nombre de filtres pour les deux modèles de maternités représentent 0,01 $ par porcelet produit, soit 0,71 $/porcelet pour la maternité A contre 0,72 $/porcelet pour la maternité B, pour une efficacité technique similaire (23 porcelets/truie en production/année).

Tableau 6-3. Annuités reliées aux investissements de départ (capital et intérêt)

Avec mise de fonds	**Maternité A**	**Maternité B**	**Pouponnière**	**Engraissement**
Annuités totales	24 450,00 $	6 637,00 $	2 777,00 $	6 095,00 $
Par truie ou par place	16,30 $	16,59 $	2,57 $	6,10 $
Par porc ou porcelet produit	0,71 $	0,72 $	0,41 $	2,14 $
Sans mise de fonds				
Annuités totales	26 306,00 $	7 141,00 $	2 988,00 $	6 558,00 $
Par truie ou par place	17,54 $	17,85 $	2,76 $	6,56 $
Par porc ou porcelet produit	0,76 $	0,78 $	0,44 $	2,30 $

Si l'installation du système est entièrement financée, le coût par porcelet produit augmente de 0,03 $ à 0,05 $ selon le bâtiment. L'augmentation est d'environ 0,16 $ par porc produit pour l'engraissement.

6.5 Entretien des filtres

Pour optimiser l'utilisation des filtres, un entretien régulier de ceux-ci est nécessaire. Cet entretien est de deux ordres. Il faut d'abord laver régulièrement les filtres. Surtout, il est nécessaire de remplacer aux 2 ans les filtres antimicrobiens selon les recommandations du manufacturier.

6.5.1 Lavage des filtres

L'accumulation de poussières, de débris végétaux et d'autres particules peut nuire au bon fonctionnement d'un système de ventilation et requiert de laver les filtres avec un jet d'eau pour les débarrasser de ces impuretés. Il est estimé que trois lavages pourraient être nécessaires par année, soit un au printemps, un au milieu de l'été et un dernier à l'automne avant l'hiver. L'expérience des futures installations permettra de mieux connaître les fréquences de nettoyage en fonction de différentes conditions. En pratique, le nombre de lavages va dépendre de nombreux facteurs, comme l'endroit où sera situé le bâtiment (près d'une route achalandée, en plein champ, présence élevée de pollen, etc.) ou la présence de haies brise-vent, ce qui pourrait augmenter ou réduire le nombre de lavages.

Selon l'information recueillie lors des essais exploratoires de juillet 2007, le temps de lavage des filtres pour un engraissement de 1 000 places serait d'environ 4 heures pour l'ensemble des filtres. Compte tenu du fait qu'un engraissement de cette taille demanderait 90 filtres (10 couches), cela représente donc 2,67 minutes par filtre (tableau 6-4). Avec trois lavages par année, c'est un total de 8 minutes par année par filtre (les deux séries de filtres), soit 12 heures pour l'engraissement.

Tableau 6-4. Estimé des coûts de lavages des filtres

	Maternité A	Maternité B	Pouponnière	Engraissement
Nombre de lavages par année	3	3	3	3
Nombre de boîtier	361	98	41	90
Temps de lavage (minutes par boîtier)	2,67	2,67	2,67	2,67
Temps de lavage (h/an/bâtiment)	48	13	5	12
Taux horaire ($/h)	16,00	16,00	16,00	16,00
Coûts d'entretien annuel ($)	770,00	209,00	87,00	192,00
Par truie ou par place ($)	0,51	0,52	0,08	0,19
Par porc ou porcelet produit ($)	0,02	0,02	0,01	0,07

Au total, le lavage des filtres (10 couches) représente une dépense de quelques centaines de dollars par année. Ramenée par animal produit, il n'en coûterait que de 0,01 $ (en pouponnière) à 0,05 $ (en engraissement) par animal.

6.5.2 Remplacement des filtres

Le remplacement des filtres antimicrobiens devrait se faire aux deux ans, tant pour le module de trois couches que pour le module à sept couches. Le coût des deux modules de trois couches est estimé à 296,90 $. Le temps de remplacement est similaire au temps nécessaire à laver les filtres, soit 2,67 minutes par filtre.

Compte tenu d'une durée de vie de 10 ans pour l'installation de base, les filtres seraient changés quatre fois au cours de cette période. Comme rapporté au tableau 6-5, l'achat des filtres de remplacement constitue la principale dépense du système. Pour la maternité A, cela représente 428 688 $ sur 10 ans (excluant le financement).

Tableau 6-5. Dépenses de remplacements des filtres

	Maternité A	Maternité B	Pouponnière	Engraissement
Coûts des filtres				
Nombre de remplacements p/r durée de vie	4	4	4	4
Nombre de filtres	361	98	41	90
Coûts des filtres ($)	296,88	296,88	296,88	296,88
Coûts total de remplacement p/r durée de vie ($)	428 688,00	116 375,00	48 688,00	106 875,00
Déboursé annuel sur la marge de crédit ($)	44 393,00	12 051,00	5 042,00	11 068,00
Coûts de main-d'œuvre				
Temps total de remplacement sur 10 ans (h)	64	17	7	16
Temps remplacement par année (h)	6,4	1,7	0,7	1,6
Taux horaire ($/h)	16,00	16,00	16,00	16,00
Coût main-d'œuvre remplacement par année ($)	103,00	28,00	12,00	26,00
Coûts totaux de remplacement par année ($)	44 496,00	12 079,00	5 054,00	11 093,00
Par truie ou par place ($)	29,66	30,20	4,67	11,09
Par porc ou porcelet produit ($)	1,29	1,31	0,75	3,89

6.6 Sommaire des coûts d'utilisation des filtres

Pour chaque animal produit, les coûts d'utilisation des filtres antimicrobiens de Noveko inc. sont évalués à 2,02 $ et 2,05 $/porcelet respectivement pour les maternités A et B (tableau 6-6) avec une mise de fonds de 25 % pour financer l'achat et l'installation du système. Pour le bâtiment pouponnière, les coûts seraient de 1,17 $/porcelet produit, contre 6,10 $/porc produit pour l'engraissement. Sans mise de fonds, les coûts par porcelet augmentent de 0,03 $ à 0,05 $ par animal selon le bâtiment, et de 0,16 $/porc pour un engraissement.

Tableau 6-6. Coûts totaux d'utilisation des filtres

	Maternité A	Maternité B	Pouponnière	Engraissement
Achat équipement et installation ($)	0,71	0,72	0,41	2,14
Entretien				
Remplacement ($)	1,29	1,31	0,75	3,89
Lavage ($)	0,02	0,02	0,01	0,07
Total par porc ou porcelet produit ($)	2,02	2,05	1,17	6,10
Total par porc ou porcelet produit ($) sans mise de fonds	2,07	2,11	1,20	6,26
Total par truie ou par place ($)	46,48	47,31	7,32	17,38
Nombre d'animaux produits par boîtier	96	94	166	32

6.7 Discussion

6.7.1 Engraissement comparé à maternité

Les coûts par animal produit pour l'engraissement sont plus élevés que les autres bâtiments du fait d'un ratio plus faible animaux produits/filtre, soit 32 porcs produits pour 1 filtre, alors que ce ratio est de 96 et 94 respectivement pour les maternités A et B et 166 pour la pouponnière. Or, l'importance de protéger un engraissement en tout plein, tout vide est moindre que les maternités pour un producteur commercial.

En effet, une crise de SRRP en maternité se traduirait par une baisse de performance en maternité, mais aussi en pouponnière et en engraissement, du fait que les porcelets produits en maternité seront plus susceptibles d'être malades. De plus, lors d'une crise dans un engraissement en tout plein, tout vide, le producteur pourra faire un vide sanitaire à la fin du lot en crise et voir la situation se rétablir lors du lot suivant, sans arrêt de production. Pour une maternité, faire un vide sanitaire demande un arrêt de production, ce qui implique des coûts et des pertes importants. Il est donc fort possible qu'un producteur commercial en tout plein, tout vide concentre d'abord ses investissements sur la protection de sa maternité pour des questions de coûts et d'efficacité.

La situation est cependant différente pour un éleveur ou un sélectionneur, dont les animaux ne sont pas destinés à un abattoir, mais bien pour la vente de sujets qui seront introduits dans d'autres troupeaux à titre de reproducteurs. Le maintien du statut sanitaire de ces animaux est important pour l'éleveur ou le multiplicateur, pour éviter d'introduire de nouveaux pathogènes chez ses clients. La protection du bâtiment utilisé pour la croissance des animaux reproducteurs devient donc aussi importante que celle de la maternité.

6.7.2 Importance de la productivité

Les coûts pour les maternités sont estimés avec une productivité de 23 porcelets par an par truie en production. Une entreprise avec une productivité moindre voit rapidement le coût par animal augmenté, de même que les coûts diminuent pour une plus grande productivité. Un porcelet de plus ou de moins par truie représente 0,07 à 0,11 $ de plus ou de moins à payer par animal produit, soit une variation d'environ 4,5 % des coûts (tableau 6-7).

Tableau 6-7. Coût des filtres par truie selon le nombre de porcelets produits par truie

	Nombre de porcelets produits par truie						
	20	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
Maternité A	2,32	2,21	2,11	2,02	1,94	1,86	1,79
Maternité B	2,37	2,25	2,14	2,05	1,97	1,89	1,82

Les coûts d'utilisation des filtres antimicrobiens se sont montrés moins sensibles aux variations des taux d'intérêts. Une hausse ou une baisse de 0,5 % des taux se traduisent par une hausse ou une baisse des coûts de 0,01 $/animal produit pour les deux modèles de maternités ainsi que la pouponnière, alors que la variation est de 0,05 $/animal produit pour l'engraissement. La productivité des élevages doit être prise en compte lors de la décision d'achats des filtres, car elle influencera fortement l'impact sur le coût de production des animaux.

Pour la suite du projet, il serait important de bien évaluer la fréquence de remplacement des filtres pour une protection optimale. Si cette fréquence s'avère plus élevée qu'un changement aux 2 ans, l'impact sur les coûts est important. En effet, un changement moins fréquent vient réduire les coûts de remplacement. Selon les modèles étudiés, un changement de filtres aux 30 mois plutôt qu'à tous les 24 mois réduirait les coûts de près de 13 %, soit une baisse de 0,26 $/porcelet produit en maternité, de 0,15 $/porcelet en pouponnière et de 0,75 $/porc en engraissement.

7 CONCLUSION

En conclusion, il ne faut pas oublier que notre dispositif expérimental ne correspondait pas aux conditions retrouvées sur les fermes commerciales telles que le degré de défi présenté dans un épisode de SRRP dans une grande population de porcs, la concentration en virus dans l'air, la conception des équipements, l'environnement contrôlé montrant seulement un scénario possible, la durée de la période employée pour loger les animaux réceptifs et la possibilité de co-infections. En outre, nous n'avons pas essayé de mesurer la présence du VSRRP dans l'air dû aux restrictions déjà mentionnées par Dee *et al.* (2005; 2006). Ces derniers rapportent qu'ils ont été incapables de détecter le VSRRP dans des échantillons d'air en utilisant des impacteurs en verre dans des expériences précédentes (Otake *et al.*, 2002a; Trincado *et al.*, 2004). De plus, ils indiquent que bien que les centrifugeuses d'air semblent être capables de détecter le VSRRP dans des échantillons d'air (Dee *et al.*, 2005a ; 2006a,b), étant donné la place limitée dans la chambre propre il n'était pas possible d'empêcher les porcs d'entrer physiquement en contact avec l'instrument et de contaminer l'échantillon.

Toutefois, les résultats de cette étude sont très prometteurs et suggèrent que la combinaison de filtres à air étudiée, en plus des mesures préventives appropriées, telles que l'introduction d'animaux naïfs en regard du VSRRP ainsi que des mesures de contrôle appropriées d'hygiène, des insectes et des fomites (objets contaminés), puisse fournir à des fermes un niveau élevé de la biosécurité contre le VSRRP. De plus, comme pour tout autre système de filtration à pression positive, il faut également voir à prévenir toute infiltration d'air non filtré en maximisant l'étanchéité du bâtiment (portes, fenêtres, entrées d'air, etc.).

Les combinaisons de filtres évaluées offrent à l'industrie porcine une nouvelle option puisqu'ils fournissent l'avantage d'avoir un bactéricide, virucide et fongicide incorporé dans les fibres des filtres contrairement aux filtres qui ont déjà été étudiés. De plus, cette combinaison de filtres est moins restrictive pour l'air, facile d'installation et d'entretien et son coût est abordable.

Enfin, le présent projet cible les élevages porcins et le virus du SRRP, mais ce type de filtre peut avoir des applications pour d'autres types d'élevages et d'autres types de virus ou bactéries (ex. : influenza). Cette éventualité sera vérifiée dans un projet futur.

8 BIBLIOGRAPHIE

Albina, E. 1995. Epidemiology of PRRS : an overview. Second international symposium on porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS), August 9th to 10th, p. 23.

Baekbo, P. et S. Mortensen. 2001. Airborne transmission of swine pathogens. Allen D. Leman Swine Conference : 30-36.

Bernick, K. 2007. Disinfectant chambers improve biosecurity. National Hog Farmer, November 15. [En ligne]. http://nationalhogfarmer.com/health-diseases/disinfectant-chambers-improve-biosecurity/

Boutin, R. 2001. La biosécurité à la ferme : un « must » pour tous les élevages! 22e Colloque sur la production porcine, 31 octobre, Saint-Hyacinthe : 57-81.

Brockmeier, S.L. et K.M. Lager. 2002. Experimental airborne transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and Bordetella bronchiseptica. Veterinary Microbiology, 89(4) : 267-275.

Broes, A. 2002. Les mesures de biosécurité dans les élevages porcins québécois. Journée : « De la démarche hygiène à la biosécurité », 24 avril, Ploufragan, 10 p.

Broes, A. et R. Boutin. 2002. Biosécurité : un « must » pour tout le secteur porcin! Québec : CDPQ, 11 p.

Cardinal, F. 2006. Les défis à relever pour l'amélioration et le maintien de la santé du cheptel porcin québécois. 27e Colloque sur la production porcine, 7 octobre, Drummondville : 121-128.

Châtillon, G., Godreau, C. et É. Hamelin. 2004. SDRP : pathologie et épidémiologie. Un virus encore mystérieux. Porc Magazine, juin(378) : 58-61.

Cho, J.G. et S.A. Dee. 2006. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Theriogenology, 66(3) : 655-662.

Cho, J.G., Deen, J. et S.A. Dee. 2007. Influence of isolate pathogenicity on the aerosol transmission of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Canadian Journal of Veterinary Research, 71(1) : 23-27.

Coudé, N. 2004. La filtration de l'air est en marche. Le Courrier, 8(1) : 3-4.

D'Allaire, S. 2003. Épidémiologie du syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP) dans les élevages québécois. 24e Colloque sur la production porcine, 4 novembre, Saint-Hyacinthe : 121-131.

Dee, S.A. et H.S. Joo. 1993. PRRS clinical management and control: Eradication from herds. Allen D. Leman Swine Conference : 93-97.

Dee, S.A. et H.S. Joo. 1994. Factors involved in successful eradication of PRRS virus using nursery depopulation. American Association of Swine Practitioners : 239-243.

Dee, S.A., Joo, H.S., Polson, D.D. et W.E. Marsh. 1997. Evaluation of the effects of nursery depopulation on the profitability of 34 pig farms. Veterinay Record, 140: 498-500.

Dee, S.A., Deen, J., Rossow, K., Wiese, C., Otake, S., Joo, H.S. et C. Pijoan. 2002. Mechanical transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus throughout a coordinated sequence of events during cold weather. The Canadian Journal of Veterinary Research, 66(4) : 232-239.

Dee, S.A., Deen, J., Rossow, K., Weise, C., Eliason, R., Otake, S., Joo, H.S. et C. Pijoan. 2003. Mechanical transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus throughout a coordinated sequence of events during warm weather. The Canadian Journal of Veterinary Research, 67(1) : 12-19.

Dee, S.A., Deen, J., Otake, S. et C. Pijoan. 2004a. An experimental model to evaluate the role of transport vehicles as a source of transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus to susceptible pigs. The Canadian Journal of Veterinary Research, 68(2) : 128-133.

Dee, S.A., Deen, J., Burns, D., Douthit, G. et C. Pijoan. 2004b. An assessment of sanitation protocols for commercial transport vehicles contaminated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Canadian Journal of Veterinary Research, 68(3) : 208-214.

Dee, S.A., Deen, J. et C. Pijoan. 2004c. Evaluation of 4 intervention strategies to prevent the mechanical transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Canadian Journal of Veterinary Research, 68(1) : 19-26.

Dee, S.A., Deen, J., Jacobson, L., Rossow, K.D., Mahlum, C. et C. Pijoan. 2005a. Laboratory model to evaluate the role of aerosols in the transport of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Veterinary Record. 156(16) : 501-504.

Dee, S.A., Batista, L., Deen, J. et C. Pijoan. 2005b. Evaluation of an air-filtration system for preventing aerosol transmission of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Canadian Journal of Veterinary Research, 69(4) : 293-298.

Dee, S.A. 2006. The Next 10 years in animal health. International Pigletter, 26(10b), 2 p.

Dee, S.A., Batista, L., Deen, J. et C. Pijoan. 2006a. Evaluation of systems for reducing the transmission of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus by aerosol. The Canadian Journal of Veterinary Research, 70(1) : 28-33.

Dee, S.A., Deen, J., Cano, J.P., Batista, L. et C. Pijoan. 2006b. Further evaluation of alternative air-filtration systems for reducing the transmission of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus by aerosol. The Canadian Journal of Veterinary Research, 70(3) : 168-175.

Dee, S.A. 2007a. Indirect transmission of PRRSV: Let's take it out of the equation! International Pigletter, 27(2b), 2 p.

Dee, S.A. 2007b. Aerosol transmission of PRRSV: Is it time to start watching the weather vane? International Pigletter, 27 (8c), 2 p.

Dee, S.A. 2007c. Biosecurity: Where & how to invest? International Pigletter, 27(4b), 2 p.

Desrosiers, R. 2004. Epidemiology, diagnosis and control of swine diseases. American Association of Swine Veterinarians : 9-38.

Desrosiers, R. 2005. Aerosol transmission of swine pathogens: overview of the subject and evaluation of suspected field cases. American Association of Swine Veterinarians : 405-416.

Desrosiers, R. 2007. Indirect transmission of the PRRS virus (Part 7). International Pigletter, 27 (8a), 2 p.

Dewey, C. 1999. History, occurrrence, dynamics and current status of PRRS in North America, Latin America, and Asia. Proceedings PRRS and Aujeszky's Disease, June 21-23 :189-193.

Dufour, J. 1995. Mesures de biosécurité. [En ligne]. http://rechamakayajo.qc.ca/medecine/biosecur/biosecur.htm

Dutertre, C. 1995. La filtration d'air pour protéger la sélection. Porc Magazine, avril(277) : 30-31.

Dutertre, C., Risson, K. et P. Rousseau. 1995. La filtration d'air appliquée à la protection sanitaire des élevages. Techni-Porc, 18(1) : 15-27.

Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (FMV). 2007. Formation et recherche en santé animale : Préparer l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois. Mémoire présenté par Jean Sirois, doyen, à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, 14 p.

Fano, E., Pijoan, C. et S. Dee. 2005. Evaluation of the aerosol transmission of a mixed infection of Mycoplasma hyopneumoniae and porcine reproductive and respiratory syndrome virus. The Veterinary Record, 157(4) : 105-108.

Goldberg, T.L., Hahn, E.C., Weigel, R.M. et G. Scherba. 2000. Genetic, geographical and temporal variation of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in Illinois. Journal of General Virology, 81(1) : 171-179.

Hirst, J.M. 1995. Bioaerosols: Introduction, retrospect and prospect. Bioaerosol Handbook. Boca Raton, Florida : CRC Lewis Publishers p. 5-14.

Hoefling, D.C. 1992. Overview and history of SIRS. Proceedings of the Annual Meeting of the Livestock Conservation Institute : 239-242.

Holck, J.T. et D.D. Polson. 2003. The Financial impact of PRRS virus. PRRS Compendium Producer Edition, chapter 6 : 46-54.

Innovet. 2006. Yvon Lintanff. [En ligne]. http://www.innovet.ca/2006/cv/8_fr.html

Kerkaert, B.R., Pijoan, C. et G. Dial. 1994. Financial impact of chronic PPRS. Allen D. Leman Swine Conference, 21 : 217-218.

Kristensen, C.S., Bøtner, A., Takai, H., Nielsen, J.P. et S.E. Jorsal. 2004. Experimental airborne transmission of PRRS virus. Veterinary Microbiology, 99(3/4) : 197-202.

Lager, K.M. et W.L. Mengeling. 2000. Experimental aerosol transmission of pseudorabies virus and Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus. American Association of Swine Practitioners : 409-410.

Larochelle, R., D'Allaire, S. et R. Magar. 2003. Molecular epidemiology of porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) in Québec. Virus Research. 96(1/2) : 3-14.

Mondaca-Fernandez, E., Murtaugh, M.P. et R.B. Morrison. 2006. Association between genetic sequence homology of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus and geographic distance between pig sites. The Canadian Journal of Veterinary Research, 70 : 237-239.

Moore, C. 2006 Résultats de l'enquête épidémiologique sur le SDPS et quelques moyens de contrôle. Conférence de l'Expo-congrès du porc du Québec. p.15-23

Mortensen, S., Stryhn, H., Søgaard, R., Boklund, A., Stärk, K.D.C., Christensen, J. et P. Willeberg. 2002. Risk factors for infection of sow herds with porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) virus. Preventive Veterinary Medicine, 53(1/2) : 83-101.

Neumann, E.J., Kliebenstein, J.B., Johnson, C.D., Mabry, J.W., Bush, E.J., Seitzinger, A.H., Green, A.L. et J.J. Zimmerman. 2005. Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome on swine production in the United States. Journal of the American Veterinary Medical Association, 227 (3) : 385-392.

Otake, S., Dee, S.A., Jacobson, L., Torremorell, M. et C. Pijoan. 2002a. Evaluation of aerosol transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus under controlled field conditions. The Veterinary Record, 150(26) : 804-808.

Otake, S., Dee, S.A., Rossow, K.D., Deen, J., Joo, H.S., Molitor, T.W. et C. Pijoan. 2002b. Transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by fomites (boots and coveralls). Journal of Swine Health and Production, 10(2) : 59-65.

Otake, S., Dee, S.A., Rossow, K.D., Moon, R.D. et C. Pijoan. 2002c. Mechanical transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by mosquitoes, Aedes vexans (Meigen). The Canadian Journal of Veterinary Research, 66(3) : 191-195.

Otake, S., Dee, S.A., Moon, R.D., Rossow, K.D., Trincado, C. et C. Pijoan. 2004. Studies on the carriage and transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by individual houseflies (Musca domestica). The Veterinary Record, 154(3) : 80-85.

Parent, M.-J. 2004. Aux grands maux, grands moyens. Le Bulletin des agriculteurs, 87(3-4) :66-70

Pitkin, A., Deen, J. et S. Dee. 2007. Aerosol transmission of PRRSV: Application to the field. Allen D. Leman Swine Conference. p.85.

Pohl, S. 2007. Engineering air filtration systems of swine facilities. Allen D. Leman Swine Conference : 86-88.

Polson, D.D., Marsh, W.E., Dial, G.D. et W.T. Christianson. 1992. Financial impact of porcine epidemic abortion and respiratory syndrome (PEARS). Proceedings of the International Pig Veterinary Society Congress : 132.

Polson, D.D., Gorcyca, D. et R.B. Morrison. 1994. An evaluation of the financial impact of porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) in nursery pigs. Proceedings of the International Pig Veterinary Society Congress : 436.

Reicks, D.L. 2006. Alternative filters for boars. Allen D. Leman Swine Conference : 99-100.

Rosenthal, J. 2007. Understanding MERV or the minimum efficiency reporting value : How the ASHRAE 52.2 helps you select an air filter. [En ligne]. http://www.allergyclean.com/article-understandingmerv.htm

Schurrer, J.A., Dee, S.A., Moon, R.D., Rossow, K.D., Mahlum, C., Mondaca, E., Otake, S., Fano, E., Collins, J.E. et C. Pijoan. 2004. Spatial dispersal of porcine reproductive and respiratory syndrome virus-contaminated flies after contact with experimentally infected pigs. American Journal of Veterinary Research, 65(9): 1284-1292.

Stärk, K.D.C. 1999. The Role of infectious aerosols in disease transmission in pigs. The Veterinary Journal. 158(3) : 164-181.

Synthèse élevage. 2006. SDRP : les règles « clés » de la biosécurité. Porc Magazine, février(396) : 102-103.

Torremorell, M., Pijoan, C., Janni, K., Walker, R. et H.S. Joo. 1997. Airborne transmission of Actinobacillus pleuropneumoniae and porcine reproductive and respiratory syndrome virus in nursery pigs. American journal of veterinary research, 58(8) : 828-832.

Torremorell, M., Geiger, J.O., Thompson, B. et W.T. Christianson. 2004a. Evaluation of PRRSV outbreaks in negative herds. Proceedings of the International Pig Veterinary Society Congress : 103.

Torremorell, M., Geiger, J.O., Thompson, B. et W.T. Christianson. 2004b. Evaluation of potential sources of PRRS virus infection in negative herds. Allen D. Leman Swine Conference : poster.

Trincado, C., Dee, S., Jacobson, L., Otake, S., Rossow, K. et C. Pijoan. 2004. Attempts to transmit porcine reproductive and respiratory syndrome virus by aerosols under controlled field conditions. The Veterinary Record, 154(10) : 294-297.

United States Department of Agriculture (USDA). 2005. Swine 2000 : Part IV: Changes in the U.S. Pork Industry, 1990-2000. [En ligne]. http://www.aphis.usda.gov/vs/ceah/ncahs/nahms/swine/swine2000/swine2kPt4.pdf

U.S. Environmental protection agency. 1997. Overview of ASHRAE Standard 52.2 : Research triangle institute, 5 p.

Vansickle, J. 2005. Battling PRRS virus aerosol spread. National Hog Farmer, June 15. [En ligne]. http://nationalhogfarmer.com/mag/farming_battling_prrs_virus/

Vansickle, J. 2007a. Reducing The Area Spread of PRRS. National Hog Farmer, November 15. [En ligne]. http://nationalhogfarmer.com/health-diseases/reducing-spread-prrs/

Vansickle, J. 2007b. Filtering out viral pathogens. National Hog Farmer, November 15. [En ligne]. http://nationalhogfarmer.com/health-diseases/filtering-viral-pathogens/

Wills, R.W., Zimmerman, J.J., Swenson, S.L., Yoon, K-Y., Hill, H.T., Bundy, D.S. et M.J. McGinley. 1997. Transmission of PRRSV by direct, close, or indirect contact. Swine Health and Production. 5(6):213-218.

Zhuang, Q., Barfod, K., Wachmann, H., Mortensen, S. et P. Willeberg. 2002. Serological surveillance for PRRS in Danish genetic pig herds and risk factors for PRRS infection. Proceedings of the International Pig Veterinary Society Congress : 406.

Zimmerman, J.J., Yoon, K.-J. Pirtle, E.C., Wills, R.W., Sanderson, T.J. et M.J. McGinley. 1997. Studies of porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) virus infection in avian species. Veterinary Microbiology, 55 : 329-336.

Zimmerman, J.J. 2003. Epidemiology and Ecology. PRRS Compendium Producer Edition, chapter 4 : 26-34.