

Évaluation de la performance de préfiltres et de filtres à l'aide d'un banc d'essai



Juin 2013

Rapport sur les essais

Caroline Duchaine¹, Ph.D.
Valérie Létourneau¹, Ph. D.
Jacquelin Labrecque²
François Pouliot², ing., MBA

¹ Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie
et de pneumologie de Québec (CRIUCPQ)

² Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ)



CENTRE DE RECHERCHE
INSTITUT UNIVERSITAIRE
DE CARDIOLOGIE
ET DE PNEUMOLOGIE
DE QUÉBEC

AFILIÉ À
UNIVERSITÉ
LAVAL



Centre de développement
du porc du Québec inc.

© Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2013
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-922276-82-4

Équipe de réalisation

Répondant	Francis Pouliot, ing., MBA. Centre de développement du porc du Québec inc.
Direction scientifique	Caroline Duchaine, Ph.D. Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec
Chargé de projet	Marie-Aude Ricard, ing. Centre de développement du porc du Québec inc.
Rédaction	Valérie Létourneau, Ph.D. Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec Jacquelin Labrecque Centre de développement du porc du Québec inc.

Remerciements

Une partie du financement de ce projet a été fournie par l'entremise des conseils sectoriels du Québec, de l'Ontario, de l'Alberta, du Manitoba et de la Saskatchewan, qui gèrent le Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA) pour le compte d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Cette étude a également été financée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre du volet 3 du Programme d'appui financier pour un secteur agroalimentaire innovateur, le Conseil canadien de la santé porcine (CCSP), R. Robitaille et fils, la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), Ontario Pork, Manitoba Pork, Sask Pork, Alberta Pork, le Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (CRIUCPQ) affilié à l'Université Laval, JSR Genetics (Canada Ltd)., le Prairie Swine Centre inc. (PSCI) et le Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ).

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec



Canadian Swine Health Board
Conseil canadien
de la santé porcine



Fédération des
producteurs de porcs
du Québec



ONTARIO PORK



Research Profits Everyone



CENTRE DE RECHERCHE
INSTITUT UNIVERSITAIRE
DE CARDIOLOGIE
ET DE PNEUMOLOGIE
DE QUÉBEC

AFILIÉ À UNIVERSITÉ
LAVAL



Centre de développement
du porc du Québec inc.



Table des matières

Introduction	3
Objectifs.....	4
Matériel et méthodes.....	4
Conception d'un banc d'essai pour mesurer l'efficacité des filtres	4
Génération et échantillonnage des aérosols viraux du banc d'essai.....	6
Résultats et discussion.....	8
Objectif A.Conception et validation d'un banc d'essai pouvant être utilisé afin d'évaluer l'efficacité de différentes unités de filtration	8
Objectif B.Évaluation de la « réémission » de phages Phi6 par les différentes unités de filtration lors de purges (bruit de fond)	10
Objectif C. Évaluation de l'efficacité de capture de particules de différents diamètres et de phages Phi6 par différentes unités de filtration	11
Conclusion	16
Références	18

Liste des tableaux

Tableau 1	Validation de l'uniformité de la vitesse d'air dans le banc d'essai.....	9
Tableau 2	Débit d'air à l'iris pour différentes fréquences du ventilateur	9
Tableau 3	Différence de mesure de débit entre l'anémomètre et l'iris.....	10

Liste des figures

Figure 1	Schéma du banc d'essai issu de la norme ASHRAE 52.2 (ANSI/ASHRAE, 2012).....	5
Figure 2	Banc d'essai employé pour étudier les diverses unités de filtration	6
Figure 3	Dispositif expérimental pour la nébulisation des aérosols viraux	7
Figure 4	Dispositif expérimental pour l'échantillonnage des aérosols viraux	7
Figure 5	Dispersion des points de mesure dans la coupe transversale du banc d'essai	8
Figure 6	Efficacité de capture des phages Phi6 par différentes unités de filtration	11
Figure 7	Efficacité de capture des particules totales par différentes unités de filtration	12
Figure 8	Efficacité de capture des particules de 0,3 μm par différentes unités de filtration	13
Figure 9	Efficacité de capture des particules de 0,5 μm par différentes unités de filtration	14
Figure 10	Efficacité de capture des particules de 1 μm par différentes unités de filtration	14
Figure 11	Efficacité de capture des particules de 3 μm par différentes unités de filtration	15
Figure 12	Efficacité de capture des particules de 5 μm par différentes unités de filtration	15

Note

Il est à noter que les résultats de la présente étude sont liés au design expérimental, plus spécifiquement, à l'emploi d'un nébuliseur à six jets générant des particules virales et de sels ayant un diamètre aérodynamique de masse médian d'environ 1 μm (Median Mass Aerodynamic Diameter; données expérimentales non publiées). L'équipement disponible ne permettait pas de générer un plus large spectre de particules. Or, dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité des filtres pour un contexte de bioexclusion, l'hypothèse est que cette population de particules s'avère assez représentative des particules provenant de bâtiments voisins qui sont propices au transport de virus entre les sites. L'hypothèse reste toutefois à vérifier lors de recherches futures. Il est aussi à considérer que les aérosols viraux produits artificiellement dans le banc d'essai ne représentent pas l'ensemble de ceux rencontrés à l'intérieur des bâtiments porcins, soit des particules ayant un diamètre aérodynamique de masse médian de 11-14 μm (O'Shaughnessy *et al.*, 2002). Ainsi, pour un concept de bioconfinement, concept pour lequel le spectre des particules à filtrer est beaucoup plus large, nous ne pouvons pas être en mesure d'évaluer l'efficacité des filtres avec certitude à l'aide du design expérimental utilisé dans cette étude. Les résultats obtenus doivent donc être utilisés de façon prudente et permettent principalement de valider le design du banc d'essai. La taille des particules sur lesquelles le virus du SRRP est transporté autant dans l'enceinte du bâtiment d'élevage qu'à l'extérieur est encore inconnue à ce jour et il est impossible pour l'instant d'affirmer que les virus ne se transportent pas sur des particules plus volumineuses que le spectre de particules obtenues à l'aide du présent design expérimental. Par conséquent, les résultats décrits ci-dessous ne pourront aucunement être utilisés pour expliquer/régler les problèmes associés aux aérosols viraux rencontrés sur le terrain avant que de prochaines études portant sur la détermination de la taille des particules transportant les virus porcins dans l'air n'aient eu lieu. La présente étude a permis d'établir les bases, les assises, nécessaires à la reproduction en laboratoire des aérosols viraux et au développement de nouvelles méthodes de filtration adaptées aux bâtiments porcins.

Introduction

Le cheptel de porcs canadien est associé à une bonne qualité sanitaire permettant l'accès du Canada à plus de 125 pays importateurs. Au Québec, la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ) a estimé à plus de 1,2 milliard de dollars la valeur à la ferme des exploitations porcines (FPPQ, 2012). Les troupeaux canadiens sont toutefois affaiblis par le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (vSRRP) ainsi que par le virus de l'Influenza. La Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal a d'ailleurs estimé que jusqu'à 90 % des cheptels québécois sont infectés par le vSRRP dans les régions à haute densité animale (FMV, 2007). Le SRRP est la maladie chez le porc la plus coûteuse au Québec soit 150 millions de dollars annuellement (FMV, 2007).

Les virus associés au SRRP et à l'Influenza sont enveloppés et à ARN simple brin. Il y a plusieurs voies de contamination possibles, dont les animaux vivants, les véhicules de transport, les humains, les équipements et les bioaérosols. Les bioaérosols à l'intérieur des bâtiments sont générés à partir de la nourriture, de la litière, des débris de peau, des matériaux du bâtiment et, principalement, à partir des lisiers (Nehmé *et al.*, 2008). Les bioaérosols dans les porcheries possèdent un diamètre aérodynamique médian de 11-14 μm (O'Shaughnessy *et al.*, 2002) et les poussières totales y sont présentes à des concentrations de 2 à 6 mg/m^3 (Duchaine *et al.* 2000). L'émission et la dissémination des virus du SRRP et de l'Influenza par les bioaérosols sont peu caractérisées même si l'air constitue une voie de contamination possible pour les cheptels de porcs. À titre d'exemple, à la suite d'une éclosion de SRRP aux États-Unis, Lager et Mengeling (2000) ont conclu, par séquençage de la région ORF5, la présence de souches vSRRP identiques dans des fermes situées dans la même région et sans lien entre elles (la plus éloignée se situe à 33 km) (Lager et Mengeling, 2000). Finalement, des modèles mathématiques appuient fortement la voie de transmission de l'Influenza par les aérosols (Davis *et al.*, 2009; Tellier, 2009). Davis *et al.* (2009) ont conclu, d'une éclosion récente d'Influenza équine A (H_3) en Australie (Queensland), que les virus Influenza se sont propagés sur des distances de 1 à 2 km par des aérosols (Davis *et al.*, 2009). En effet, l'épidémie d'Influenza équine a touché 438 élevages de chevaux, parmi lesquels 81 % n'étaient pas contiguës à un autre élevage infecté. Généralement, plusieurs kilomètres séparaient les élevages de chevaux infectés (jusqu'à 13 km de distance). Le schéma de dispersion des virus Influenza coïncidait avec celui des vents dominants de l'époque (Davis *et al.*, 2009).

La qualité sanitaire des élevages québécois, même si reconnue internationalement, n'est pas à même de prévenir la transmission des bioaérosols contenant des virus du SRRP et de l'Influenza. La filtration des bioaérosols à la sortie des ventilateurs des bâtiments d'élevage est une avenue possible pour prévenir la dispersion des aérosols viraux d'un cheptel porcin à un autre. Des modèles expérimentaux ont démontré que les filtres HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), ainsi que les filtres classés MERV 16 (*Minimum Efficiency Reporting Value*) bloquent la transmission chez les animaux du vSRRP par les bioaérosols (Batista *et al.*, 2008; Dee *et al.*, 2005, 2006, 2010; Otake *et al.*, 2010; Spronk *et al.*, 2010). L'applicabilité des filtres HEPA dans l'industrie porcine est toutefois très faible puisque ceux-ci sont dispendieux, se colmatent rapidement sous l'effet de la poussière contenue dans l'air environnant et causent beaucoup de restriction à l'air. Par conséquent, l'emploi de filtres MERV 16 ou de combinaisons de préfiltres et de filtres possédant une moindre valeur MERV (< 16) est à préconiser. Ils doivent toutefois permettre d'éliminer, inactiver ou diluer les aérosols viraux émis par les bâtiments d'élevage.

Un banc d'essai a été développé par le Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ) et le Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (CRIUCPQ) afin d'évaluer le débit à travers diverses combinaisons de préfiltres et de filtres lorsqu'ils sont soumis à une perte de charge typiquement retrouvée à travers un filtre de bâtiment d'élevage porcin, ainsi que leur efficacité à capturer des virus bactériens (phages Phi6, niveau de confinement 1) mimant le virus du SRRP et de l'Influenza. Au total, neuf unités de filtration ont été étudiées dont cinq combinaisons de préfiltre et de filtre neufs, une combinaison de préfiltre et de filtre usagés, une combinaison de préfiltre neuf et de filtre usagé et deux préfiltres seuls neufs. Les préfiltres et les filtres usagés ont été reçus de deux fermes porcines canadiennes différentes.

Objectifs

- A. Conception et validation d'un banc d'essai pouvant être utilisé afin d'évaluer l'efficacité de différentes unités de filtration
- B. Évaluation de la « réémission¹ » de phages Phi6 par les différentes unités de filtration lors de purges (bruit de fond)
- C. Évaluation de l'efficacité de capture de particules de différents diamètres et de phages Phi6 par différentes unités de filtration

Matériel et méthodes

Conception d'un banc d'essai pour mesurer l'efficacité des filtres

Le *Research Triangle Institute* (Foarde et Hanley, 1999) a réalisé une étude dans laquelle un banc d'essai respectant la norme ASHRAE 52.2 s'appliquant aux particules inertes (ANSI/ASHRAE, 2012) a été utilisé, à la suite de modifications mineures, pour l'évaluation de l'efficacité de filtration des particules biologiques par des filtres à air (Figure 1). En effet, selon Foarde et Hanley (1999), les courbes d'efficacité de filtration des particules biologiques coïncident avec celles des particules inertes démontrant la validité de la norme ASHRAE 52.2 pour les particules biologiques. Par conséquent, le banc d'essai développé par le CDPQ et le CRIUCPQ est constitué d'une conduite dans laquelle l'air est soufflé par un ventilateur et d'autres composantes permettant de se conformer à la norme ASHRAE 52.2 (Figure 2). Un système de nébulisation de particules biologiques remplace toutefois le système d'injection des poussières inertes de la norme ASHRAE 52.2 et différents échantillonneurs et compteurs de particules ont dû être ajoutés afin de déterminer la concentration de particules biologiques dans l'air.

¹ Le concept de réémission dans ce document réfère au relâchement de particules auparavant bloquées et emmagasinées par le filtre.

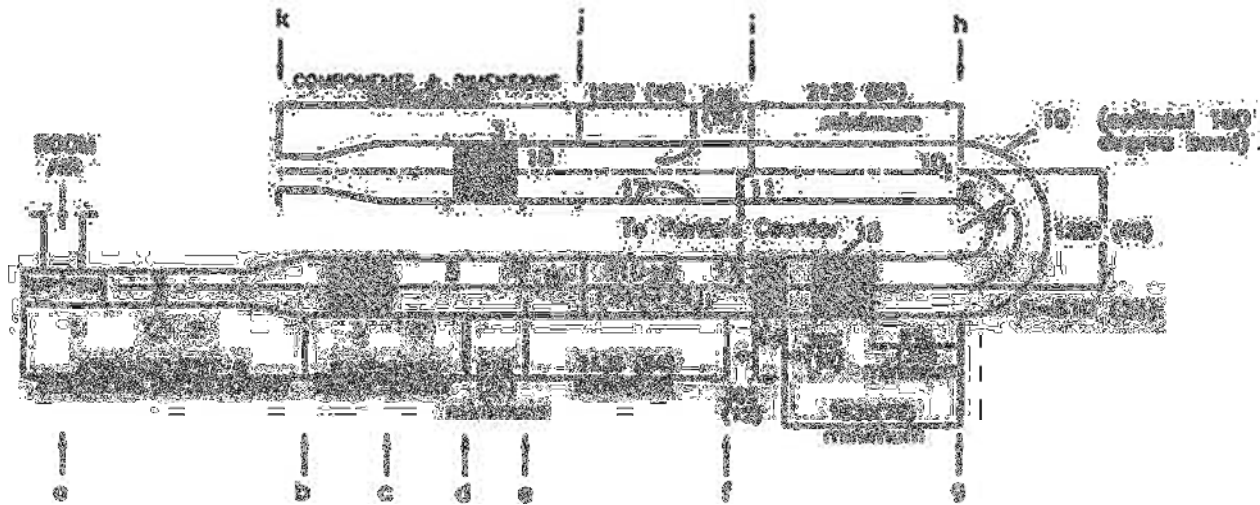


Figure 1 Schéma du banc d'essai issu de la norme ASHRAE 52.2 (ANSI/ASHRAE, 2012)

Les différentes composantes du banc d'essai, présenté à la figure1, sont identifiées et énumérées ci-dessous :

Liste des composantes

1. ventilateur
2. valve de contrôle du débit d'air
3. banque de filtres HEPA pour éliminer le bruit de fond
4. transition de la banque de filtres HEPA à la conduite du banc d'essai
5. tube d'injection des bioaérosols
6. générateur d'aérosols (non montré sur ce schéma)
7. conduit d'injection de particules inertes (non montré sur ce schéma)
8. générateur de particules inertes (non montré sur ce schéma)
9. orifice du mélangeur servant à uniformiser la distribution de virus dans la conduite
10. plaque perforée du diffuseur servant à uniformiser la distribution de virus dans la conduite
11. tubes d'échantillonnage du compteur optique de particules
12. prise du manomètre (non montré sur ce schéma)
13. manomètre (non montré sur ce schéma)
14. unité de filtration à évaluer
15. filtre final; utilisé seulement lorsqu'il y a génération de particules inertes (ne s'applique pas)
16. manomètre vertical (non montré sur ce schéma)
17. instrument pour mesurer le débit d'air dans le banc d'essai
18. transition de la conduite du banc d'essai à la banque de filtres HEPA pour minimiser les rejets dans l'environnement
19. coude à 180° pour limiter la longueur d'espace requis pour l'installation du banc d'essai



Figure 2 Banc d'essai employé pour étudier les diverses unités de filtration

Les différentes unités de filtration ont été évaluées en reproduisant les pressions d'air rencontrées dans les bâtiments d'élevage. La méthode actuelle de conception des systèmes de filtration d'air dans les bâtiments porcins consiste à minimiser la surface filtrante, afin de diminuer les coûts, tout en conservant une pression maximale raisonnable en été lorsque tous les paliers de ventilation sont en fonction. Ainsi, afin de pouvoir comparer les unités de filtration entre elles, il a été décidé de fixer le différentiel de pression au filtre à 0,2 po d'eau. La vitesse d'air au filtre a par la suite été mesurée lorsque la pression au filtre (0,2 po d'eau) a été atteinte et a varié d'une unité de filtration à l'autre en fonction de la restriction d'air engendrée par la membrane filtrante.

Génération et échantillonnage des aérosols viraux du banc d'essai

Les diverses unités de filtration ont été étudiées en triplicata pour leur capacité à bloquer l'émission de particules de différents diamètres ainsi que de particules virales artificiellement générées par un nébuliseur à six jets (Collison Nebulizers, BGI Incorporated, MA, É-U). Les purges du banc d'essai (en l'absence d'aérosolisation de phages Phi6) ont de même été étudiées afin d'évaluer s'il y avait « réémission » de phages Phi6 des unités de filtration à la suite de nébulisations.

À l'intérieur du banc d'essai, une solution de tampon de phages 1X (50 mM Tris-HCl pH 7,5, 100 mM NaCl, 8 mM MgSO₄) contenant 10⁸ phages Phi6 par millilitre a été aérosolisée pendant 20 minutes à l'aide d'un nébuliseur à jets (20 psig, 12 L/min, 6-jets nebulizers, BGI Incorporated, Waltham, MA, É.U.). Parallèlement à l'aérosolisation des phages Phi6 (Figure 3), l'air du banc d'essai a été échantillonné en amont et en aval des unités de filtration étudiées par des barboteurs All-Glass Impinger-30 contenant chacun 20 mL de tampon de phages 1X (Figure 4, 12,5 L/min, 20 minutes, AGI-30, Ace Glass Incorporated, Vineland, NJ, É-U). De plus, les particules de l'air possédant un diamètre de 0,3, 0,5, 1, 3, 5 et 10 µm présentes en amont et en aval des unités de filtration ont été dénombrées par un compteur optique de particules (Figure 4, 28,03 L/min, 5 minutes, Particle Counter Model 3315, Met One, Loveland, CO, É-U). Les concentrations ont été exprimées en nombre de particules par mètre cube d'air. L'échantillonnage s'est fait de façon isocinétique, c'est-à-dire que la vitesse de l'air à l'entrée du tuyau d'aspiration (dans la conduite du banc d'essai) de l'AGI-30 et du compteur de particules et la vitesse de l'air dans le banc d'essai étaient les mêmes et dans la même direction à plus ou moins 10 %. L'échantillonnage isocinétique permet de ne pas perturber le flux d'air afin d'échantillonner de façon représentative les particules passant dans la conduite du banc d'essai. Des embouts pointus de différents diamètres ont alors été conçus selon le spectre de vitesses d'air anticipé et du débit d'air aspiré par les appareils d'échantillonnage. Les embouts ont été interchangeés manuellement en fonction du débit d'air au filtre.



Figure 3 Dispositif expérimental pour la nébulisation des aérosols viraux

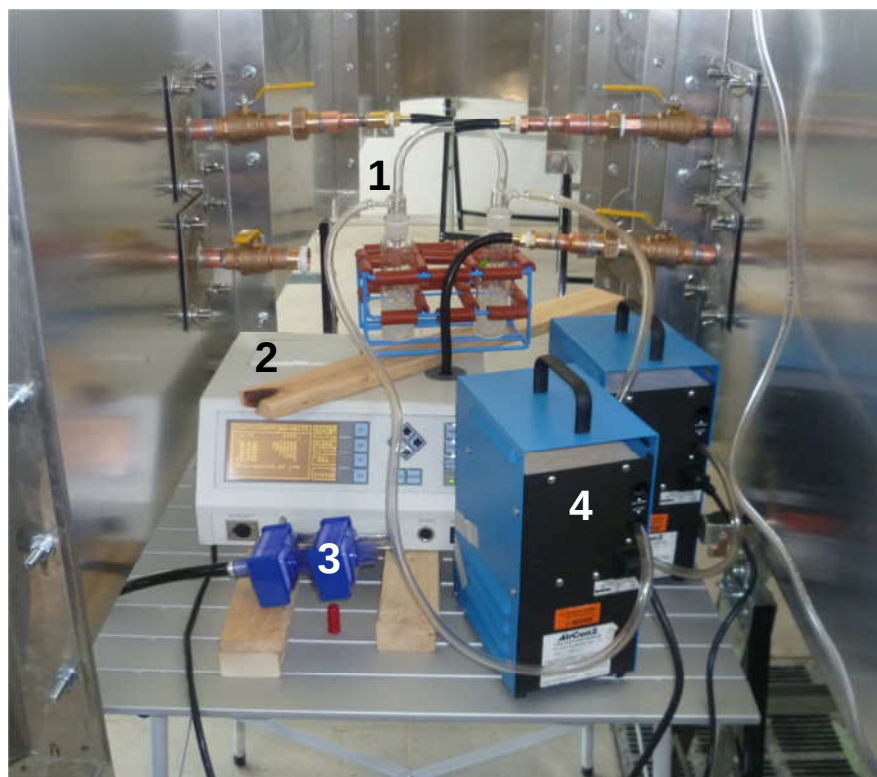


Figure 4 Dispositif expérimental pour l'échantillonnage des aérosols viraux

Liste des équipements

1. Barboteurs AGI-30
2. Compteur optique de particules
3. Dispositif pour la purge du compteur de particules
4. Deux pompes à très haut débit pour le fonctionnement des barboteurs AGI-30

Neuf unités de filtration ont été évaluées : cinq combinaisons de préfiltre et de filtre neufs (A à E), une combinaison de préfiltre et de filtre usagés (F), une combinaison de préfiltre neuf et de filtre usagé (G) et deux préfiltres seuls neufs (H et I).

À la suite de l'échantillonnage, les solutions des barboteurs AGI-30 ont été conservées à -80 °C jusqu'à l'extraction de l'acide ribonucléique (ARN) viral. L'ARN viral de 140 µL (représentant environ 2 L d'air) a été extrait à l'aide du kit ARN viral Extraction Kit (QIAGEN, Mississauga, ON, Canada) selon les instructions du fabricant. L'ARN viral a par la suite été transcrit en acide désoxyribonucléique complémentaire (ADNc) à l'aide de la trousse iScript cDNA Synthesis Kit (Bio-Rad, Hercules, CA, É.-U.). La quantification de l'ADNc des phages Phi6 a été réalisée par amplification en chaîne par polymérase (PCR) selon un protocole précédemment publié (cible : ORF8, Gendron *et al.*, 2010). L'amplification de l'ADN s'est faite à l'aide des réactifs iQ Supermix (Bio-Rad) et du système DNA Engine Opticon 2 (Bio-Rad). Les données ont été acquises via le logiciel Opticon Monitor (Bio-Rad) puis analysées à l'aide de l'équation $\log_{10}(\text{nombre de copies cibles}) = f(\text{Cycle seuil})$ et d'une courbe standard plasmidique contenant une copie du gène cible ORF8. L'efficacité d'amplification PCR a été déterminée par l'équation $E = 10^{(-\text{pente})-1}$. Les concentrations en phages Phi6 ont été exprimées en nombre de phages Phi6 par mètre cube d'air.

Résultats et discussion

Objectif A. Conception et validation d'un banc d'essai pouvant être utilisé afin d'évaluer l'efficacité de différentes unités de filtration

Calibration et validation du banc d'essai

Le design du banc d'essai a été validé sur l'uniformité de la vitesse d'air à l'intérieur de la conduite, la précision de la mesure de débit à l'aide de l'iris et l'étanchéité.

Afin de valider l'uniformité de la vitesse d'air à l'intérieur de la conduite, neuf points équidistants ont été choisis sur la coupe transversale de celle-ci (Figure 5).

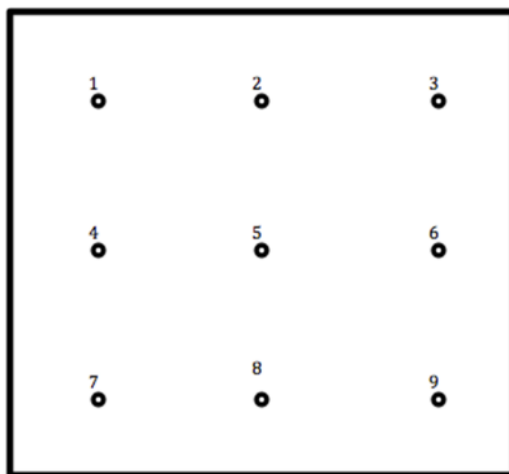


Figure 5 Dispersion des points de mesure dans la coupe transversale du banc d'essai

Afin d'accéder à ces neuf points, trois trous ont été percés sur le côté de la conduite. À l'aide d'un anémomètre à fil chaud muni d'une sonde télescopique (KIMO VT 200, Montpon, France) et d'un niveau pour s'assurer de prendre la mesure à la bonne hauteur, la vitesse de l'air a été mesurée en faisant une moyenne sur dix secondes aux neuf points pour différentes fréquences de ventilateur. Les résultats sont reportés dans le Tableau 1.

Tableau 1 Validation de l'uniformité de la vitesse d'air dans le banc d'essai

Fréquence du ventilateur (Hz)	Vitesse d'air (pi/min)									Vitesse moyenne (pi/min)	Débit moyen (pi3/min)	Écart maximal p/r à la moyenne (MAX 15 %)
	Position dans la conduite*											
	Haut			Milieu			Bas					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
60	397,9	415,2	383,7	430,2	469,6	456,3	377,9	430,5	392,4	417,1	1668,3	12,6 %
55	335,2	357,4	366,5	368,4	371,3	428,5	319,0	356,7	393,2	366,2	1465,0	17,0 %
50	275,3	328,4	335,2	351,9	359,6	362,0	332,7	321,9	304,5	330,2	1320,7	16,6 %
45	254,6	272,1	300,6	282,3	314,9	320,5	265,7	282,3	300,9	288,2	1152,8	11,7 %
40	232,7	251,7	238,0	263,7	264,6	231,3	217,9	248,4	223,8	241,3	965,4	9,7 %
35	207,6	202,6	183,8	223,8	222,0	220,2	191,9	195,1	175,6	202,5	810,0	13,3 %
30	168,3	171,4	147,1	167,7	183,1	167,4	168,0	168,3	150,0	165,7	662,8	11,2 %
25	117,0	127,5	123,2	127,3	131,1	139,8	117,0	130,2	122,8	126,2	504,8	10,8 %
20	84,6	77,5	83,8	81,5	82,9	95,7	80,0	87,1	79,4	83,6	334,4	14,5 %

* voir Figure 5

Selon la norme ASHRAE 52.2, l'écart maximal permis par rapport à la moyenne est de 15 %. L'écart maximal a dépassé légèrement le maximum alloué pour des fréquences de 50 et 55 Hz (Tableau 1). Le léger dépassement peut toutefois être expliqué par une manipulation manquant de précision. Par exemple, le simple fait de tourner légèrement la sonde contenant le fil chauffant de l'anémomètre faisait varier la mesure. Étant donné que ce n'est qu'une valeur qui dépassait le maximum dans chaque cas, il n'a pas été nécessaire d'apporter des changements majeurs au design du banc d'essai. De plus, le banc d'essai n'a jamais été utilisé à des débits aussi élevés au cours de l'étude.

Afin de valider la précision de l'iris, le débit de celui-ci a été comparé au débit moyen obtenu à partir des mesures prises à l'aide de l'anémomètre à fil chaud pour les différentes fréquences du ventilateur (Tableau 2 et Tableau 3).

Tableau 2 Débit d'air à l'iris pour différentes fréquences du ventilateur

Fréquence du ventilateur (Hz)	Iris		
	K	ΔP iris (po d'eau)	Débit (pi ³ /min)
60	2154	0,4772	1488
55	2154	0,3862	1339
50	2154	0,3042	1188
45	2154	0,2371	1049
40	2154	0,1798	913
35	2154	0,1217	751
30	1525	0,1654	620
25	1294	0,1281	463
20	806	0,1398	301

Comme pour la validation de l'uniformité du flux d'air, la validation de la précision de l'iris comporte des données légèrement au-dessus de l'erreur maximale de 10 %, prescrite par la norme ASHRAE 52.2 (Tableau 3). Les mêmes facteurs peuvent encore une fois expliquer les différences. Le design du banc d'essai a donc été conservé et l'iris a été utilisé afin de mesurer le débit d'air lors de l'étude.

Tableau 3 Différence de mesure de débit entre l'anémomètre et l'iris

Fréquence du ventilateur (Hz)	Erreur (%) (MAX 10 %)
60	12,1 %
55	9,4 %
50	11,2 %
45	9,9 %
40	5,7 %
35	7,8 %
30	6,9 %
25	9,0 %
20	11,0 %

Objectif B. Évaluation de la « réémission » de phages Phi6 par les différentes unités de filtration lors de purges (bruit de fond)

Aucun phage Phi6 n'a été détecté dans l'air lors des purges des unités de filtration neuves ou usagées (unités de filtration A à G). Par contre, les unités de filtration H et I, deux préfiltres, semblent avoir « réémis » des phages Phi6. Les concentrations de phages Phi6 sont toutefois situées sous ou près de la limite de détection et ainsi d'autres répliques sont à effectuer afin de confirmer les données obtenues. Très peu de particules totales, quelques centaines au plus, ont été détectées lors des purges comparativement à $(4,34 \pm 0,45) \times 10^7$ particules totales par mètre cube d'air présentes lors de l'aérosolisation des sels et des phages Phi6.

Bien qu'il ne semble pas y avoir eu un niveau élevé de « réémission », il est à considérer que les purges n'impliquent aucune nébulisation, pas même de particules de sels sans particules biologiques. L'air utilisé lors des purges était préalablement filtré par un filtre HEPA et aucune autre intervention n'était faite en amont de la section de l'unité de filtration. Une supposition à valider est donc qu'il pourrait y avoir réémission plus importante de particules inertes et biologiques lorsque des particules injectées en amont et des particules déjà capturées par le filtre entrent en collision. Ces collisions pourraient potentiellement favoriser la séparation entre les particules auparavant capturées par les filtres et la membrane des filtres, engendrant alors une réémission.

Objectif C. Évaluation de l'efficacité de capture de particules de différents diamètres et de phages Phi6 par différentes unités de filtration

Le design expérimental mis en place a permis la génération d'aérosols contenant en moyenne $(7,7 \pm 6,7) \times 10^6$ phages Phi6 par mètre cube d'air dans le banc d'essai. À titre comparatif, les circovirus ont précédemment été détectés à des concentrations de 107 par mètre cube d'air dans plusieurs bâtiments porcins du Québec (Verreault *et al.*, 2010). Les aérosols de phages Phi6 ont été réduits plus efficacement par les unités de filtration A ($95,8 \pm 1,6$ %), D ($96,8 \pm 1,5$ %) et E ($98,1 \pm 1,1$ %) (Figure 6). Une plus importante variabilité dans les répliques a été observée pour les unités de filtration B et H soulignant l'importance d'effectuer à l'avenir plus de trois répliques par unité de filtration. Les versions usagées de l'unité de filtration C ($92,9 \pm 4,8$ %) soit les unités de filtration F ($88,4 \pm 7,4$ %) et G ($85,5 \pm 2,6$ %) ont semblé légèrement moins efficaces à capter les aérosols viraux que les unités neuves. Les résultats demeurent à confirmer par l'étude de plus de trois répliques. L'unité de filtration H est peu efficace à bloquer l'émission des phages Phi6 ($-7,8 \pm 33,1$ %). Les pourcentages négatifs d'efficacité de filtration associés à l'unité de filtration H (Figure 6) et aux autres unités de filtration (Figures 7 à 10) peuvent s'expliquer par un meilleur mélange du nuage (plume) d'aérosols Phi6 dans l'air en aval de l'unité de filtration d'où une meilleure capacité des barboteurs AGI-30 à prélever les particules et les aérosols viraux, par la « réémission » de particules virales accumulées dans les membranes de filtration et par la fragmentation des particules plus volumineuses (telles que 3 et 5 μm , Figure 11 et Figure 12) lors du passage dans les préfiltres, les filtres ou dans le conduit du banc d'essai.

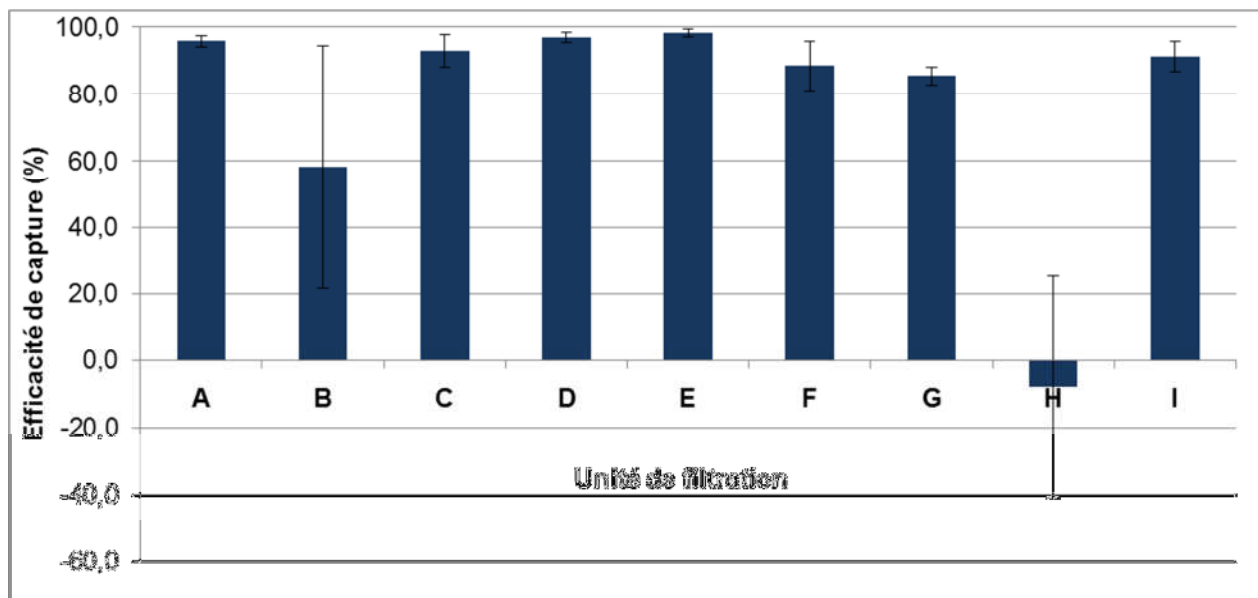


Figure 6 Efficacité de capture des phages Phi6 par différentes unités de filtration

Le design expérimental mis en place a permis la génération d'aérosols contenant en moyenne $(4,34 \pm 0,45) \times 10^7$ de particules totales par mètre cube d'air dans le banc d'essai. Au niveau de l'efficacité de capture des particules totales (Figure 7), en moyenne, les plus importants pourcentages d'efficacité sont associés aux unités de filtration C ($17,4 \pm 2,8$ %), D ($58,7 \pm 5,5$ %) et E ($76,6 \pm 2,7$ %). Les unités de filtration D et E se sont ainsi classées parmi les plus efficaces pour la capture des phages Phi6 et des particules totales. L'unité de filtration A, pourtant efficace à réduire les concentrations de phages Phi6, ne figure pas parmi les unités de filtration les plus efficaces à capter les particules totales. La majorité des particules dans le banc d'essai étant d'un diamètre de $0,3 \mu\text{m}$, la plus faible efficacité de capture des particules totales de l'unité de filtration A peut s'expliquer par une faible efficacité de filtration des particules de $0,3 \mu\text{m}$, soit $-85,3$ %. La fragmentation de particules volumineuses en de plus fines particules à l'intérieur de l'unité de filtration A ou la « réémission » de particules de $0,3 \mu\text{m}$ accumulées dans la membrane de filtration peut expliquer de tels résultats. Une telle conclusion peut aussi être tirée pour les autres unités de filtration et expliquerait les différences notables entre l'efficacité pour les particules totales et pour les phages Phi6. Il est donc hasardeux d'établir des comparaisons d'efficacité de captures des particules totales entre les versions neuves et usagées pour une même unité de filtration.

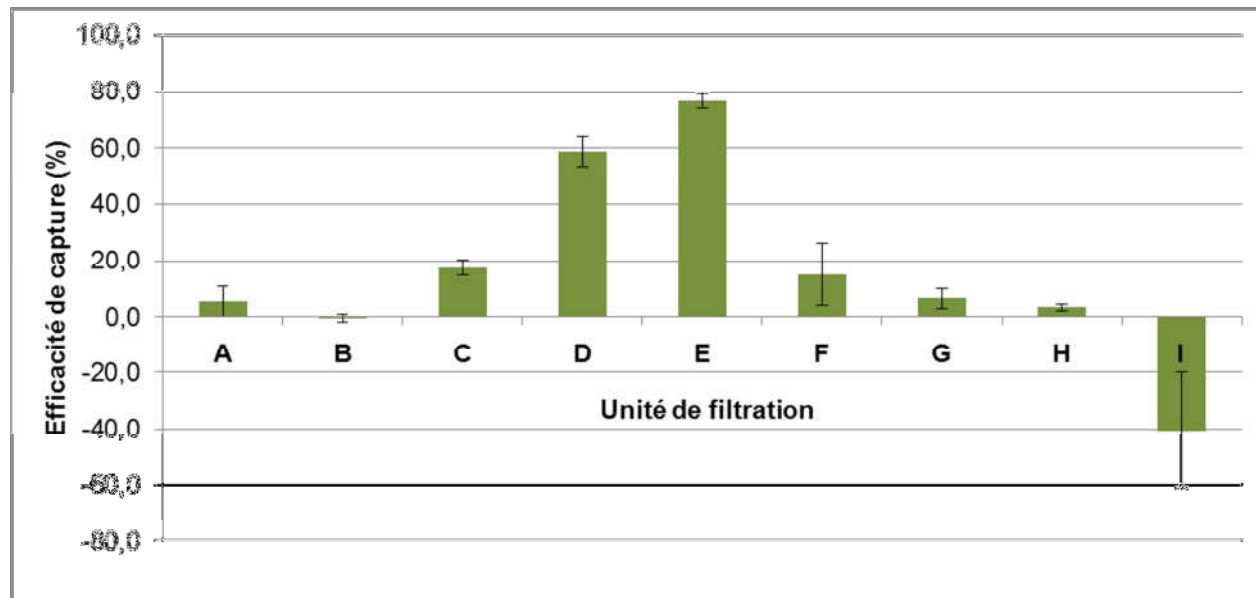


Figure 7 Efficacité de capture des particules totales par différentes unités de filtration

Les particules ayant un diamètre de $0,3$, $0,5$, 1 , 3 , 5 et $10 \mu\text{m}$ ont respectivement été retrouvées à des concentrations de $(2,0 \pm 0,5) \times 10^7$, $(1,5 \pm 0,1) \times 10^7$, $(7,8 \pm 1,7) \times 10^6$, $(2,5 \pm 1,1) \times 10^5$, $(1,4 \pm 0,6) \times 10^4$ et $(2,0 \pm 2,0) \times 10^1$ de particules par mètre cube d'air dans le banc d'essai. En ce qui a trait à l'efficacité de capture des particules de $0,3$, $0,5$, 1 , 3 , $5 \mu\text{m}$ (Figures 8 à 12), en moyenne, les plus importants pourcentages d'efficacité sont associés aux unités de filtration D et E, soit les meilleurs pour réduire l'émission des phages Phi6. L'unité de filtration I est parmi les meilleurs pour les particules plus volumineuses, soit les particules de 3 et $5 \mu\text{m}$, (Figures 11 et 12) tandis que l'unité de filtration D se démarque pour le captage des particules les plus fines soit $0,3$ et $0,5 \mu\text{m}$ (Figures 8 et 9). Les unités de filtration F et G (versions usagées de l'unité de filtration C) ont un pourcentage d'efficacité de filtration des particules $0,3 \mu\text{m}$ inférieur à celui de l'unité de filtration C. Les efficacités de filtration pour les particules de $0,5$ à $5 \mu\text{m}$ sont toutefois plus élevées que pour l'unité de filtration C. Ceci pourrait s'expliquer par un plus grand nombre

d'évènements de fragmentation des particules en présence d'unités de filtration usagées ou d'émissions de particules contenues dans les membranes filtrantes dues aux collisions de celles-ci avec les aérosols viraux. Une autre explication pourrait être que plus l'unité de filtration a été utilisée, plus elle est colmatée et retient les particules plus volumineuses. L'hypothèse peut être partiellement vérifiée en comparant les débits d'air pour les unités de filtration usagées et neuves. En effet, les unités de filtration neuves ont eu un débit d'air plus élevé que les unités de filtration usagées pour une même pression statique signifiant qu'elles créaient moins de restriction à l'air. Il est possible de supposer qu'elles créaient aussi moins de restriction aux particules. Il est à noter que très peu de particules étaient présentes en aval des unités de filtration usagées en absence de nébulisation (lors des purges du banc d'essai et donc en l'absence de collisions possibles entre les aérosols viraux émis et les particules déjà présentes dans les membranes filtrantes) soit en présence d'un air purifié par le filtre HEPA du banc d'essai.

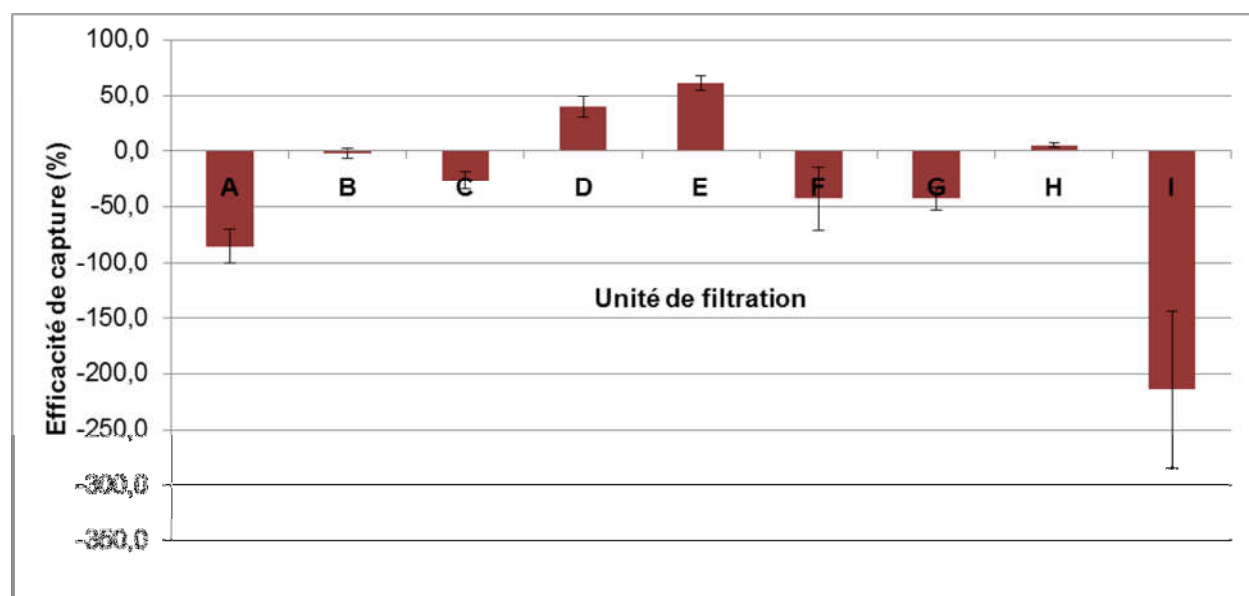


Figure 8 Efficacité de capture des particules de 0,3 µm par différentes unités de filtration

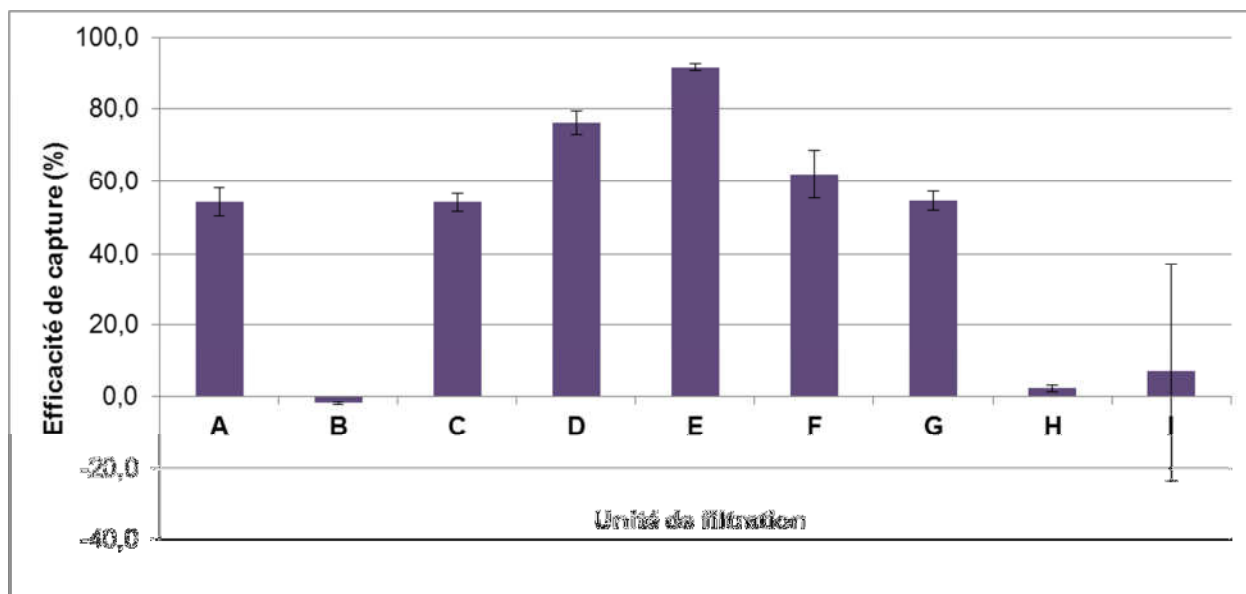


Figure 9 Efficacité de capture des particules de 0,5 µm par différentes unités de filtration

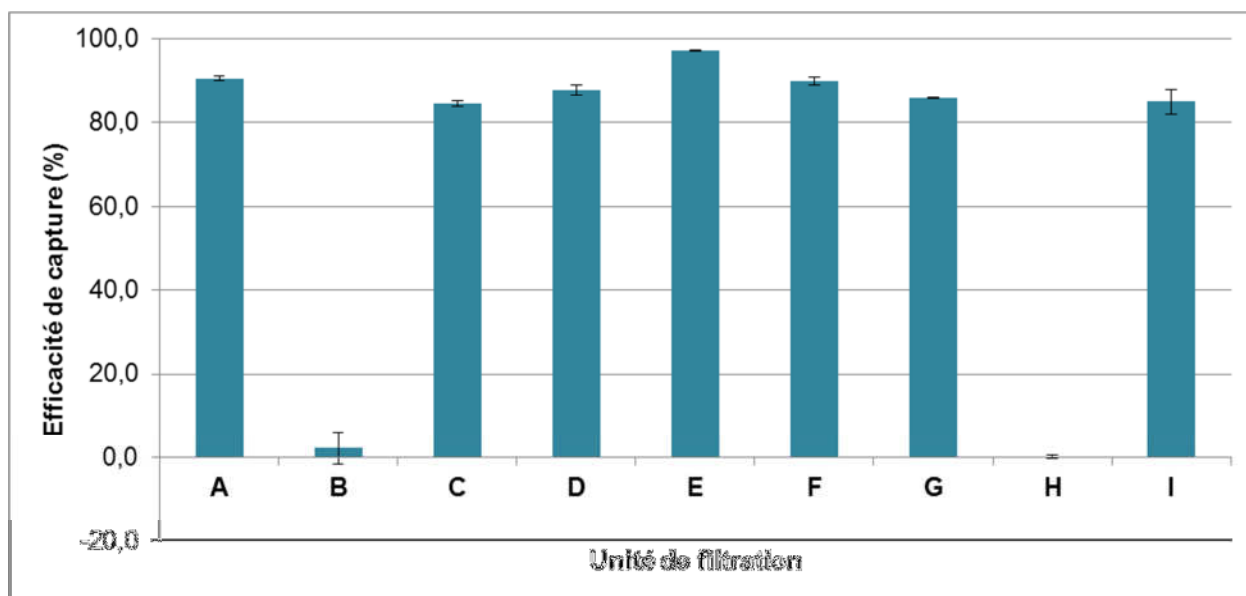


Figure 10 Efficacité de capture des particules de 1 µm par différentes unités de filtration

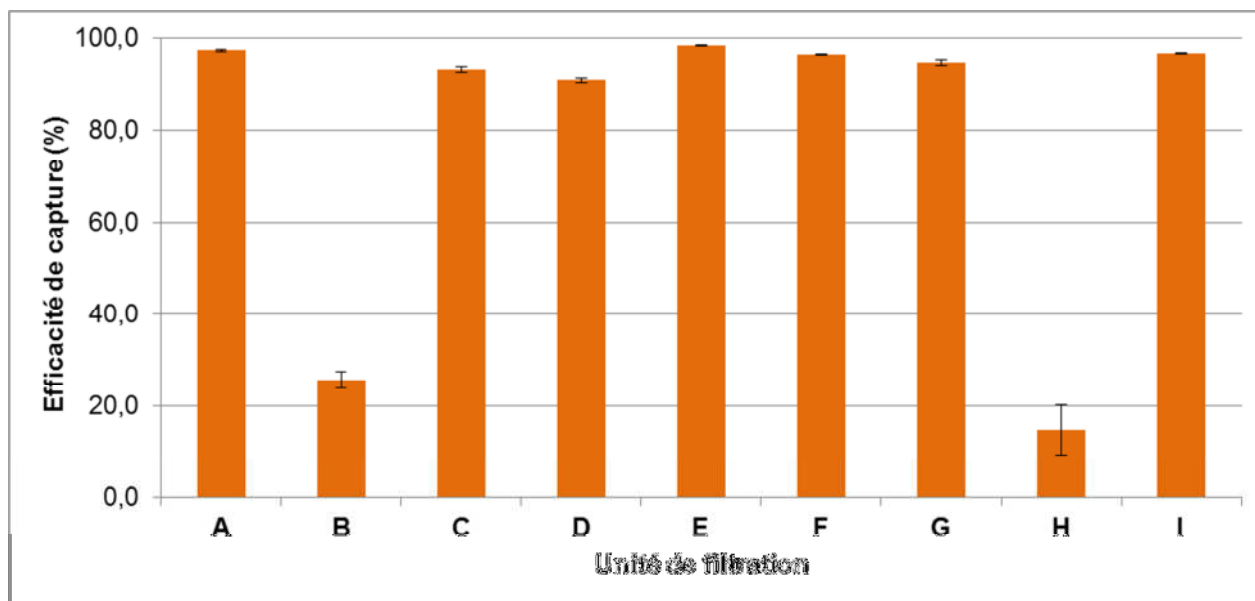


Figure 11 Efficacité de capture des particules de 3 µm par différentes unités de filtration

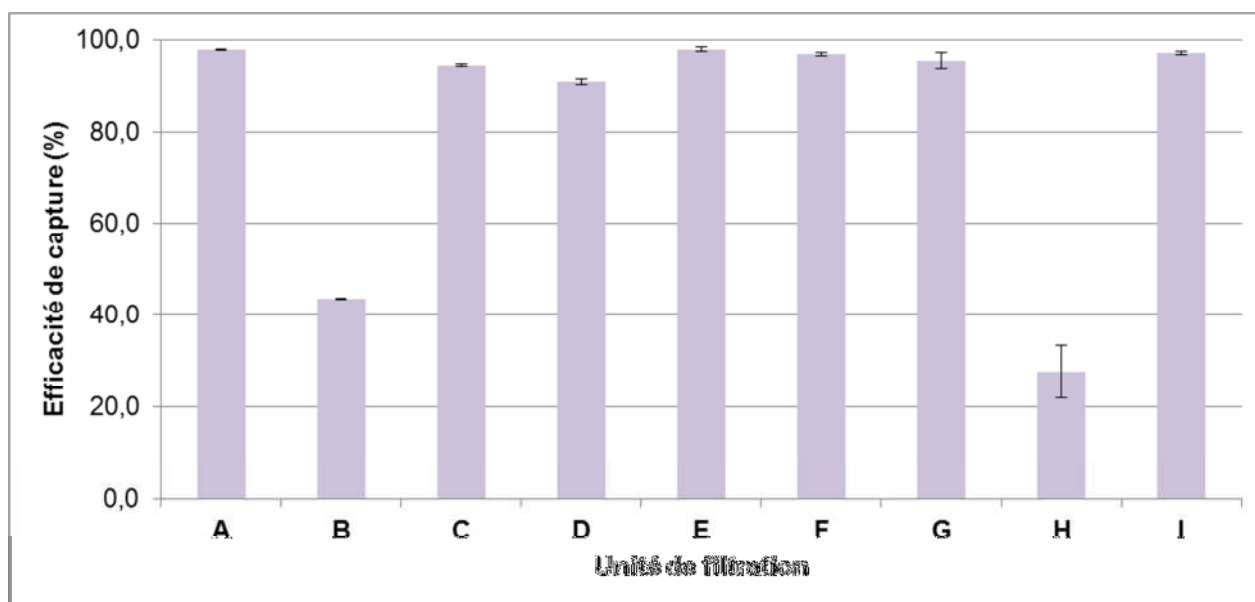


Figure 12 Efficacité de capture des particules de 5 µm par différentes unités de filtration

L'unité de filtration E semble être le meilleur choix considérant l'ensemble des particules évaluées. Les expériences devront être répétées afin de confirmer ces résultats. L'efficacité de capture de particules de 10 µm n'a pas été considérée dans l'étude étant donné que le nombre de ces particules se situait près de la limite de détection du compteur de particules (généralement, moins de 10 particules de 10 µm comparativement à 10^6 particules de 0,3 ou 0,5 µm pour 5 minutes d'échantillonnage).

En comparant les résultats obtenus aux valeurs MERV données par les fabricants des différents filtres et préfiltres évalués, des différences très considérables sont notables. Or, étant donné que les différentes particules peuvent se fractionner en passant à travers les unités de filtration

ou être réémises à partir de la membrane filtrante, il nous semble impossible de comparer les mesures recueillies avec les valeurs MERV fournies par les fabricants.

Conclusion

Pour conclure, les résultats obtenus semblent beaucoup plus précis pour évaluer l'efficacité des unités de filtration en regard des phages que des particules, puisque la fragmentation et la « réémission » de celles-ci à partir des membranes filtrantes rendent les mesures difficiles à interpréter. Ces deux suppositions expliquant les résultats obtenus dans cette étude devront éventuellement être confirmées par une nouvelle étude. En terme d'efficacité à arrêter les particules de différents diamètres, il y a une différence marquée avec les caractéristiques données par les manufacturiers. Il serait possible de remédier à cette difficulté en faisant des tests d'efficacité selon la norme ASHRAE 52.2, c'est-à-dire en évaluant l'efficacité des unités de filtration à arrêter chaque grosseur de particule individuellement et en pesant les échantillons pris en amont et en aval au lieu de compter les particules. Peser les échantillons recueillis en amont et en aval permettrait probablement aussi d'avoir une corrélation plus fiable entre l'efficacité de l'unité de filtration à arrêter les phages Phi6 et les particules totales. En effet, selon les résultats, certaines unités de filtration sont très bonnes pour arrêter les phages, mais plus faibles pour arrêter les particules totales, ce qui est contradictoire en soit.

La présente étude a permis de développer un banc d'essai servant à évaluer l'efficacité de différentes unités de filtration au regard des virus et des particules rencontrés en élevage porcin. Des phages Phi6 ont été utilisés pour mimer le virus du SRRP dans les différents essais.

Il est à noter que comme mentionné au début du rapport, les résultats obtenus sont liés au design expérimental, plus spécifiquement, à l'emploi d'un nébuliseur à six jets générant des particules virales et de sels ayant un diamètre aérodynamique de masse médian d'environ 1 µm (*Median Mass Aerodynamic Diameter*; données expérimentales non publiées). L'équipement disponible ne permettait pas de générer un plus large spectre de particules portant des particules biologiques (phages Phi6). Or, dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité des unités de filtration pour un contexte de bioexclusion, l'hypothèse est que cette population de particules s'avère assez représentative de l'ensemble des particules provenant de bâtiments voisins qui sont propices au transport de virus entre les sites. L'hypothèse reste toutefois à vérifier lors de prochaines études. Il faut aussi considérer que les aérosols viraux produits artificiellement dans le banc d'essai ne représentent pas l'ensemble de ceux rencontrés à l'intérieur des bâtiments porcins, soit des particules ayant un diamètre aérodynamique de masse médian de 11-14 µm (O'Shaughnessy *et al.*, 2002). Ainsi, pour un concept de bioconfinement, concept pour lequel le spectre de particules à filtrer est beaucoup plus large, nous ne pouvons pas être en mesure d'évaluer l'efficacité des unités de filtration avec certitude à l'aide du dispositif expérimental utilisé dans cette étude. Les résultats obtenus doivent seulement servir à valider le design du banc d'essai. La taille des particules sur lesquelles le virus du SRRP est transporté, autant dans l'enceinte du bâtiment d'élevage qu'à l'extérieur, est encore inconnue à ce jour et il est impossible, pour l'instant, d'affirmer que les virus ne se transportent pas sur des particules plus grosses que le spectre de particules obtenues à l'aide du dispositif expérimental. Par conséquent, les résultats décrits ci-dessus ne pourront aucunement être utilisés pour expliquer/régler les problèmes associés aux aérosols viraux rencontrés sur le terrain avant que des projets futurs portant sur la détermination de la taille des particules transportant les virus porcins dans l'air n'aient lieu.

La présente étude a permis d'établir les bases, les assises, nécessaires à la reproduction en laboratoire des aérosols viraux et au développement de nouvelles méthodes de filtration adaptées aux bâtiments porcins. Des améliorations devront être apportées à la méthode de nébulisation (ex. : augmenter la concentration et le diamètre aérodynamique des particules et favoriser la survie des virus lors de la nébulisation et de l'échantillonnage) ainsi qu'à d'autres aspects de l'expérimentation. Par exemple, plus de répliques devront être faites dans le futur afin d'avoir des résultats statistiquement significatifs pour toutes les unités de filtration. Des essais sur différents filtres d'un même fabricant et d'un même modèle pourraient également être faits pour évaluer les variations entre les séries de fabrication. La distribution uniforme du nuage de particules portant les phages devra être validée afin d'assurer un échantillonnage représentatif en amont et en aval. Lorsque la taille des particules inertes portant les virus rencontrés dans l'industrie porcine sera connue, il faudra aussi valider que les phages Phi6 représentent fidèlement les virus animaux. Un projet de maîtrise a été présenté au Conseil canadien de la santé porcine (CCSP) et à Innovation Porc afin d'optimiser le banc d'essai ainsi que les méthodes d'expérimentation.

Références

- ANSI/ASHRAE. 2012. Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2012. Atlanta : ASHRAE, 54 p.
- Batista, L., Dufour, V., Pouliot, F., Gobeil-Tremblay, E. et M. Morin. 2008. 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 porcine (SRRP) à l'intérieur des bâtiments d'élevage : rapport final. Québec : CDPQ, 39p.
- Davis, J., Garner, M.G. et I.J. East. 2009. Analysis of local spread of equine influenza in the Park Ridge region of Queensland. *Transboundary and Emerging Diseases*, 56(1-2) : 31-38.
- Dee, S., Otake, S. et J. Deen. 2010. Use of a production region model to assess the efficacy of various air filtration systems for preventing airborne transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*: results from a 2-year study. *Virus Research*, 154 : 177-184.
- Dee, S.A., Deen, J., Cano, J.P., Batista, L. et C. Pijoan. 2006. 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., Deen, J., Jacobson, L., Rossow, K.D., Mahlum, C. et C. Pijoan. 2005. 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.
- Duchaine, C., Grimard, Y. et Y. Cormier. 2000. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61(1) : 56-63.
- 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.
- Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ). 2012. La production en chiffres. <http://leporcduquebec.com/la-federation-fr/production/le-portrait-economique/la-production-en-chiffres.php>. Consulté le 6 juin 2013.
- Foarde, K.K. et J.T. Hanley. 1999. A new laboratory method for measuring the bioaerosol filtration efficiency of air cleaners. *Proceedings: 1999 Air Filtration Conference: Fall Topical Conference* : 47-54.
- Gendron, L., Verreault, D., Veillette, M., Moineau, S. et C. Duchaine. 2010. Evaluation of filters for the sampling and quantification of RNA phage aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 44(10) : 893-901.
- 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.
- Nehme, B., Letourneau, V., Forster, R.J., Veillette, M. et C. Duchaine. 2008. Culture-independent approach of the bacterial bioaerosol diversity in the standard swine confinement buildings, and assessment of the seasonal effect. *Environmental microbiology*, 10(3) : 665-675.

- O'Shaughnessy, P.T., Achutan, C. et A.W. Karsten. 2002. Temporal variation of indoor air quality in an enclosed swine confinement building. *Journal of agricultural safety and health*, 8(4) : 349-364.
- Otake, S., Dee, S., Corzo, C., Oliveira, S. et J. Deen. 2010. Long-distance airborne transport of infectious PRRSV and *Mycoplasma hyopneumoniae* from a swine population infected with multiple viral variants. *Veterinary Microbiology*, 145 : 198-208.
- Spronk, G., Otake, S. et S. Dee. 2010. Prevention of PRRSV infection in large breeding herds using air filtration. *Veterinary Record*, 166(24) : 758-759.
- Tellier, R. 2009. Aerosol transmission of influenza A virus : a review of new studies. *Journal of the Royal Society, Interface*, 6(Suppl 6) : S783-790.
- Verreault, D., Létourneau, V., Gendron, L., Massé, D., Gagnon, C.A. et C. Duchaine. 2010. Airborne porcine circovirus in Canadian swine confinement buildings. *Veterinary Microbiology*, 141(3-4) : 224-230.



Centre de développement du porc du Québec inc.

Place de la Cité, tour Belle Cour

2590, boulevard Laurier, bureau 450

Québec (Québec) G1V 4M6

☎ 418 650-2440 • 📠 418 650-1626

cdpq@cdpq.ca • www.cdpq.ca