

# Évaluation de l'ozonation de l'air en porcherie à des fins de biosécurité

30 mars 2018 Rapport final



## Auteurs :

Sébastien Turcotte, CDPQ

Jean-Gabriel Turgeon, CDPQ

Andréanne Caron, CDPQ

Patrick Gagnon, CDPQ

Mathieu Marcoux, CDPQ

Nathalie Turgeon, IUCPQ-UL

©Centre de développement du porc du Québec inc.

Dépôt légal 2018

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Bibliothèque et Archives Canada

ISBN 978-2-924413-57-9

## Équipe de réalisation

<b>Répondant</b>	Sébastien Turcotte, agr. Responsable bâtiment et régie d'élevage, Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ)
<b>Direction scientifique</b>	Christian Klopfenstein, vétérinaire et Ph.D, CDPQ
<b>Chargé de projet</b>	Jean-Gabriel Turgeon, chargé de projet, CDPQ
<b>Collaborateurs</b>	Caroline Duchaine, Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec – Université Laval Nathalie Turgeon, Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec – Université Laval Dave Gilbert, EmO <sub>3</sub> Marie-Claude-Poulin, Consultante John Harding, University of Saskatchewan Bob Kemp, PigGen Canada Graham Plastow, University of Alberta Sébastien Turcotte, CDPQ. Patrick Gagnon, CDPQ Andréanne Caron, CDPQ Marie-Aude Ricard, CDPQ Lilly Urizar, CDPQ Israël Michaud, CDPQ Louis Moffet, CDPQ Hélène Mayrand, CDPQ Hugues Pomerleau, CDPQ
<b>Rédaction</b>	Sébastien Turcotte (CDPQ), Jean-Gabriel Turgeon (CDPQ), Andréanne Caron (CDPQ), Patrick Gagnon (CDPQ) , Mathieu Marcoux (CDPQ) et Nathalie Turgeon (IUCPQ-UL)



## Remerciements

Ce projet a été rendu possible grâce au soutien financier accordé en vertu du Programme de développement sectoriel, Volet 3 - Appui à l'innovation en réponse à des enjeux sectoriels prioritaires, dans le cadre de Cultivons l'avenir 2, une initiative fédérale-provinciale-territoriale et grâce aux partenariats financiers et/ou collaborateurs suivants :

**Cultivons l'avenir 2**  
Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

**Canada**

**Québec**

Le centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec – Université Laval (IUCPQ-UL)



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

L'entreprise EmO<sub>3</sub>



**OZONE**

LA SOLUTION EN PURIFICATION D'AIR ET D'EAU  
THE SOLUTION FOR AIR AND WATER PURIFICATION



## Résumé

Des essais pour évaluer le potentiel de l'ozonation de l'air ont été réalisés à la Station d'évaluation des porcs de Deschambault (appelée Station), où, depuis 2015, une étude sur la résistance aux maladies est en cours. De ce fait, des porcelets naïfs aux maladies indésirables sont introduits aux trois semaines dans la pouponnière de la station et exposés de façon naturelle à des porcelets qui sont porteurs de différentes maladies (vSRRP, Influenza, *Streptococcus suis*, *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae*, *Salmonella* sp., *E. coli*, *Brachyspira hampsonii*). La contamination des nouveaux arrivants au vSRRP se fait à tout coup et est confirmée par des analyses en laboratoire à leur sortie de pouponnière. Cette manière de faire permet donc de maintenir le vSRRP actif dans la ferme.

Profitant de cette instabilité sanitaire à la Station, les conditions étaient alors réunies pour tester le potentiel de l'ozonation de l'air afin de réduire les taux d'agents pathogènes de l'air de fermes porcines. La réalisation de ce projet s'est déroulée en trois phases.

### Phase 1 : Banc d'essai

Pour cette phase expérimentale, un tunnel de vent a été conçu et construit afin de simuler des traitements de l'air avec de l'ozone pour différentes conditions d'ambiance. Le tunnel, d'une longueur de 220 m, permet un temps de contact d'environ six minutes entre l'air et l'ozone et dispose d'un port d'injection pour nébuliser des phages PhiX174, de cinq ports d'échantillonnages pour caractériser le taux de survie des phages et de trois ports d'échantillonnages pour les particules. Un générateur d'ozone, adapté sur mesure par l'entreprise EmO<sub>3</sub> pour les besoins du projet, a été connecté au tunnel à la suite du premier port d'échantillonnage. Cette phase expérimentale comprenait deux objectifs spécifiques.

Le premier objectif était d'évaluer l'efficacité de l'ozonation de l'air pour désactiver des phages (PhiX174). Les essais furent effectués pour différentes concentrations d'ozone (de 0,3 à 1,8 ppm) et sous différentes conditions d'humidité relative (HR; 40 et 80 %), pour des températures ambiantes inférieures à 25 °C. La disposition des ports d'échantillonnage a permis de caractériser le taux de phages encore viables après des temps de contact de 1,5, 3, 4,5 et 6 minutes avec l'ozone. Le deuxième objectif était d'évaluer, lors d'essais distincts, la concentration résiduelle en ozone dans le tunnel de vent. Cela fut réalisé pour les temps de contact de 1,5 et de 6 minutes, selon des conditions d'humidité relative de 20 % et de 80 %.

Les résultats démontrent que l'efficacité du traitement d'ozone est supérieure lors que l'HR est de 80 % comparativement à 40 %. De plus, l'augmentation du temps de contact entre l'ozone et les phages améliore son efficacité à les tuer. Aussi, plus la concentration d'ozone est élevée, plus le taux de survie des phages est faible. Il a été évalué que le traitement de l'air à 80 % d'HR avec 1,8 ppm d'ozone a permis de tuer 97 % des phages en moyenne lorsque le temps de contact était de 6 minutes.

En conclusion, il est intéressant de constater que les résultats obtenus sur le banc d'essai vont dans le même sens que ceux que l'on retrouve dans la littérature, ce qui démontre que le dispositif expérimental était adéquat.

## **Phase 2 : Validation du modèle**

Une mini-pouponnière a été aménagée dans un petit local fermé et étanche de l'atelier de la Station et a servi aux phases 2 et 3 du projet. Le but de la phase 2 était de s'assurer que les mesures de biosécurité concernant cette mini-pouponnière permettaient de maintenir les porcelets exempts des maladies présentes dans la Station et de vérifier, lorsque souhaité, si l'air contaminé de la station permettait de contaminer les porcelets de la mini-pouponnière en absence d'ozonation.

Neuf lots de trois porcelets de haut statut sanitaire ont été introduits aux trois semaines dans la mini-pouponnière. Le premier essai a permis de valider que les mesures de biosécurité mises en place permettaient de maintenir les animaux négatifs au vSRRP. Les essais suivants ont été consacrés à tenter de contaminer les porcelets de la mini-pouponnière au vSRRP avec l'air contaminé provenant de la grande pouponnière, où des porcelets malades étaient présents. Pour ce faire, l'air contaminé était poussé via un conduit (tuyau) vers la mini-pouponnière pour une durée de 18 jours. À la fin de cette période, un échantillon de salive ou sanguin était prélevé sur chacun des porcelets. Ces échantillons ont été analysés en pools par un test de réaction de polymérase en chaîne quantitative pour le vSRRP (qPCR SRRP). Un seul des neuf lots a eu des résultats positifs au vSRRP suite à la période d'exposition en mini-pouponnière.

Les conclusions de cette phase expérimentale sont que 1) les mesures de biosécurité prises étaient suffisantes pour maintenir les porcelets exempts de SRRP et 2) l'air contaminé de la station n'a pas permis de contaminer de façon constante les porcelets. Les installations ne pouvaient donc pas servir afin de tester l'efficacité de l'ozonation de l'air pour contrôler le vSRRP.

## **Phase 3 : Bioessai**

L'objectif initial de cette phase était d'exposer des porcs sains dans la mini-pouponnière à l'air de la ferme traité par ozonation, afin d'évaluer leur statut sanitaire au regard du vSRRP après une période déterminée d'exposition de 18 jours. Malheureusement, puisque les résultats de la phase 2 n'ont pu permettre d'obtenir de façon constante une contamination des porcelets au vSRRP, cette phase a dû être modifiée, afin d'obtenir plus d'information sur l'aérobiologie du SRRP. Le nouvel objectif était de déterminer les concentrations de virus présentes à l'entrée de la prise d'air dans la grande pouponnière et à la sortie du corridor d'air dans la mini-pouponnière, et de corrélérer ces concentrations avec la proportion de porcelets positifs au vSRRP dans la grande pouponnière. Cette phase expérimentale a permis de suivre deux lots de porcelets contaminants dans la grande pouponnière. Des échantillons sanguins ont été prélevés régulièrement à l'oreille des porcelets de trois parcs à proximité de l'entrée du corridor d'air. Les échantillons ont été testés par qPCR pour le vSRRP. Un pourcentage des porcelets ayant obtenu un résultat positif a été établi pour chaque jour de prélèvement et est considéré représentatif de la dynamique d'infection et de propagation du virus dans la grande pouponnière.

Pour les deux lots, le même jour que l'échantillonnage des porcelets, des échantillons d'air ont été prélevés à trois endroits différents, soit à l'extérieur du bâtiment porcin, à la sortie du corridor d'air en mini-pouponnière et à l'entrée du corridor d'air dans la grande pouponnière.

Les particules récoltées ont été éluées des filtres le jour même et les aliquotes obtenues ont été conservées au congélateur à -20 °C, jusqu'à l'extraction et à la détection du vSRRP par qPCR.

Malgré le fait que le virus se soit bel et bien propagé d'un porcelet à l'autre dans la pouponnière contaminante pour chacun des deux lots suivis, le vSRRP n'a pu être détecté dans aucun des

échantillons d'air prélevés. Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer les résultats obtenus.

### **Analyse économique**

Dans un contexte de bioconfinement, bien que le coût d'achat et d'installation initial soit plus élevé pour le système d'ozonation comparativement à un système combinant la filtration d'air (préfiltres Merv 13, filtres Noveko 10 couches) et l'ionisation, la durée de vie prévue du système d'ozonation est deux fois plus longue que celle des filtres et préfiltres et permet d'amortir l'investissement initial sur une plus longue période. De plus, le coût d'entretien du système d'ozonation est moindre que celui de la combinaison filtration-ionisation. L'ozonation de l'air sortant d'une quarantaine peut donc être un choix avantageux dans certaines circonstances.

En conclusion, le présent projet sur l'ozonation de l'air en porcherie à des fins de biosécurité a permis de répondre à la majorité des objectifs. Il est intéressant de constater que les résultats obtenus sur le banc d'essai vont dans le même sens que ceux que l'on retrouve dans la littérature, soit que l'efficacité de l'ozonation de l'air est augmentée par :

- Une plus grande concentration d'ozone;
- Une humidité de l'air plus élevée.

Aussi, il a été démontré que les mesures de biosécurité mises en place étaient efficaces et ont permis de garder les porcelets de la mini-pouponnière négatifs au virus du SRRP. Malheureusement, il n'a pas été possible de contaminer à tout coup, par voie aérienne, les porcelets de la mini-pouponnière, et ce, malgré la confirmation que les porcelets de la Station étaient contaminés. D'autres études seront nécessaires afin d'éclaircir les raisons pour lesquelles il n'a pas été possible de détecter le virus dans l'air de la pouponnière contaminée lors de la présente étude, ainsi que pour comprendre pourquoi il a été difficile de contaminer les porcelets de la mini-pouponnière par voie aérienne.

Finalement, le traitement de l'air par ozonation pourrait s'avérer, selon certaines conditions, une alternative intéressante et moins dispendieuse que la filtration de l'air à la sortie des ventilateurs dans les cas de bioconfinement en quarantaine



## Table des matières

1	Introduction .....	2
2	Objectifs.....	4
3	Matériel et Méthodes .....	5
3.1	Site expérimental et modèle de contamination sanitaire naturelle .....	5
3.2	Équipement pour le traitement de l'air .....	7
3.2.1	Matériaux utilisés pour la fabrication du tunnel de vent.....	7
3.2.2	Instrumentation et validation du tunnel de vent.....	7
3.2.3	Génération des particules et échantillonnage de l'air .....	9
3.2.4	Ozone.....	10
3.3	Protocole expérimental .....	11
4	Analyse des résultats .....	15
4.1	Phase 1 - Banc d'essai.....	15
4.2	Phase 2 - Validation du modèle.....	22
4.3	Phase 3 - Bioessai .....	24
5	Analyse économique.....	26
6	Conclusion .....	32
7	Références .....	33

## Liste des tableaux

Tableau 1. Pression statique dans le tunnel de vent .....	8
Tableau 2. Description des essais, statuts sanitaires espérés et obtenus lors des 9 essais réalisés .....	22
Tableau 3. Proportion de porcelets testés positifs au vSRRP.....	24
Tableau 4. Coûts des installations d'ozonation pour traiter l'air à la sortie.....	29
Tableau 5. Coûts des installations de filtration en bioconfinement .....	30
Tableau 6. Coûts d'entretien annuel des deux systèmes de traitement de l'air en bioconfinement .....	30
Tableau 7. Coût par place des systèmes de traitement de l'air .....	31

## Liste des figures

Figure 1. Plan de la Station d'évaluation des porcs de Deschambault .....	5
Figure 2. Emplacement et photo de la mini-pouponnière dans la Station .....	6
Figure 3. Conduites permettant d'aspirer et d'acheminer l'air selon les différents essais : .....	6
Figure 4. Buse d'échantillonnage du tunnel de vent .....	7
Figure 5. Humidificateur sur le côté du tunnel avant son raccordement au tunnel .....	8
Figure 6. Emplacement des buses d'échantillonnages permettant d'obtenir différents temps de présence dans le tunnel de vent .....	9
Figure 7. Circuit permettant l'ajustement de l'ozone injectée dans le tunnel .....	10
Figure 8. Adaptation du tunnel pour le dosage de l'ozone à des distances de 0.5 m (a) et de 6.5 m (b) de la sonde d'injection de l'ozone .....	10
Figure 9. Adaptation du tunnel pour installer la sonde d'ozone aux sections 3 (a) et 8 (b) .....	11
Figure 10. Proportions de phages vivants au début du tunnel de vent selon la concentration d'ozone .....	15
Figure 11. Proportions restantes du matériel génétique (qPCR fin/qPCR début) et de phages vivants (vivant fin/vivant début) à la fin du système .....	16
Figure 12. Estimation pour chaque essai de la correction du biais causé par l'effet de l'ozone dans l'échantillonneur en fonction de la concentration initiale d'ozone pour la proportion de qPCR et le taux de survie des phages .....	18
Figure 13. Valeurs corrigées pour la proportion qPCR et le taux de survie des phages. ....	19
Figure 14. Taux de survie des phages en fonction du temps d'exposition à une concentration d'ozone de 1,8 ppm. ....	20
Figure 15. Schéma de la quarantaine en bioconfinement du projet : « Essai d'un concept de bioconfinement en quarantaine - filtration d'air et réduction du taux de colmatage des filtres ».	27
Figure 16. Lignes de décharge d'ions avec pointes et isolateur du système d'ionisation.....	28
Figure 17. Schéma illustrant le fonctionnement du corridor d'air .....	29

# 1 Introduction

Pour le bien-être des animaux, le maintien de leur santé est primordial. L'application de mesures de biosécurité à la ferme permet de prévenir l'introduction et la dispersion de maladies porcines. La biosécurité est l'ensemble de mesures visant à limiter la propagation d'agents infectieux. Les deux concepts généraux de la biosécurité sont le bioconfinement, qui consiste à éviter la propagation des pathogènes hors d'un bâtiment afin de protéger les élevages voisins, et la bioexclusion, visant à réduire les risques d'introduction d'agents pathogènes dans un élevage (Ricard *et al.*, 2013). La propagation de pathogènes par voie aérienne est l'une des sources de contamination possibles. Par exemple, le virus du SRRP (vSRRP) et *Mycoplasma hyopneumoniae* (*M. hyo*) peuvent être transmis par l'air sur une distance de 9,2 km (Dee *et al.*, 2009).

L'efficacité de la bioexclusion (filtration de l'air entrant) pour contrôler la dissémination de maladies infectieuses chez les porcs a déjà été évaluée sur le terrain. Dans une étude de Dee *et al.* (2011), des porcelets sains étaient exposés pour des périodes de deux à quatre semaines à des bioaérosols provenant de porcelets positifs au vSRRP ou à *M. hyo* et situés dans un autre bâtiment à 120 m de distance. Les porcelets du bâtiment témoin, non filtré, ont été contaminés 28 fois sur 65 au vSRRP et 17 fois sur 39 au *M. hyo*. Par contre, dans les bâtiments filtrés, les porcelets n'ont jamais été contaminés. Parmi les filtres utilisés, il y avait des filtres mécaniques MERV 16 et 14 et des filtres antimicrobiens. La combinaison de mesures de biosécurité et de la filtration de l'air dans des maternités ventilées en pression négative a permis à Alonso *et al.* (2013a) de réduire le nombre de crises de SRRP entre 0,06 et 0,22 par an, contrairement à 0,75 crise par année en l'absence de mesures. La rentabilité de telles mesures pour une maternité de 3 000 truies a été estimée à 2,1 ans, considérant un système de ventilation où l'air entre par l'entretoit et au coût d'installation de 150 \$/truie (Alonso *et al.*, 2013b).

Quant au bioconfinement, en 2013, le CDPQ, en collaboration avec R. Robitaille et Fils (Dufour et Robitaille, 2013), a travaillé sur un système dédié aux bâtiments de quarantaine, lesquels sont souvent situés à moins de 100 m d'une maternité. Le système de bioconfinement permet de confiner les agents pathogènes dans le bâtiment de quarantaine, en cas d'introduction d'animaux contaminés, et ainsi de protéger le troupeau principal. Le système se composait d'un système d'ionisation, permettant de charger négativement les poussières pour qu'elles se collent sur les murs (diminution de 64 % de la concentration de poussières totales), et d'un système de filtration composé de préfiltres MERV 13 et de filtres antimicrobiens de 10 couches. Les filtres doivent être nettoyés entre chaque transfert de cochettes.

L'ozonation de l'air est un traitement reconnu pour réduire le nombre d'agents pathogènes aériens chez l'humain et il pourrait s'avérer un outil intéressant en production porcine pour traiter l'air sortant ou entrant des bâtiments d'élevage porcin. L'ozone, généré à partir de l'oxygène de l'air et soumis à un effet Corona ou à une radiation ultraviolette, a un potentiel de réduction de 2,07V et est donc très efficace contre les agents pathogènes, les moisissures et les odeurs organiques (<http://emo3.com>; Luengas *et al.*, 2015). De plus, un système d'ozonation, une fois installé, requiert peu de ressources en personnel pour l'entretien et l'utilisation du système. L'ozone est également moins corrosif que bien des agents nettoyants chimiques, tel le chlore, s'il est utilisé comme agent désinfectant (Franken, 2015). Dans un milieu gazeux, plusieurs matériaux ont une excellente compatibilité avec l'ozone, tels l'acier galvanisé, l'acier inoxydable et divers plastiques ([http://www.ozoneapplications.com/info/ozone\\_compatible\\_materials.htm](http://www.ozoneapplications.com/info/ozone_compatible_materials.htm)). Franken (2005) précise que la technologie est intéressante pour la prévention des maladies infectieuses chez les animaux d'élevage et suggère l'emploi de l'ozone à titre de désinfectant. Tseng et Li (2006) ont

étudié l'emploi de l'ozone pour l'inactivation de bactériophages, notamment les bactériophages Phi 6 et PhiX174. Pour un temps de contact de 13,8 secondes à 55 % d'humidité relative, 2,5 ppm et 3,43 ppm d'ozone étaient nécessaires afin de réduire de 99 % la concentration des bactériophages Phi6 et PhiX174 respectivement. À 85 % d'humidité relative, les concentrations d'ozone requises étaient 1,2 à 1,7 fois plus faibles. Huang *et al.* (2012) et Grinshpun *et al.* (2007) ont de même observé l'efficacité de l'ozone pour l'élimination de bactéries sporulantes ou non. Ils expliquent que l'ozone interagit avec l'eau pour former des radicaux hydroxyles (-OH) nocifs pour les microorganismes. De plus, l'efficacité de l'ozone diffère d'un agent pathogène à un autre. Sur le terrain, Elenbaas-Thomas *et al.* (2005) ont étudié les effets d'une concentration d'ozone maintenue à 0,1 ppm dans une salle d'élevage de porcs à l'engrais. Cette concentration correspond à la valeur limite d'exposition à l'ozone, déterminée en 1998 par l'*Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), pour une durée d'exposition de 8 heures. L'ozone était émis en continu à partir de conduites de 10 cm de diamètre, situées à 2,3 m de hauteur et espacées d'environ 5 m. Aucun changement significatif sur la concentration en poussières, les émissions de soufre et d'odeurs et sur les concentrations bactériennes de l'air n'a été observé en présence de cette concentration d'ozone. Toutefois, le gain quotidien des porcs (GMQ) de la salle traitée à l'ozone était de 0,76 kg, alors que le GMQ du troupeau témoin était de 0,89 kg. La concentration d'ammoniac était également significativement plus élevée dans la salle traitée.

Selon Santé Canada (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/in/poll/ozone/index-fra.php>), les valeurs limites d'exposition à l'ozone sont de 0,02 ppm pour une exposition continue et de 0,04 ppm pour une exposition de 8 heures. Pour une inactivation efficace des agents pathogènes, il faut ainsi employer des niveaux d'ozone supérieurs aux recommandations pour la santé humaine et animale. Un système de génération d'ozone et un destructeur d'ozone, thermique ou catalytique, devront donc être combinés afin de réduire l'ozone résiduel sortant du système de traitement de l'air à des taux adéquats. Pour l'une de leurs expériences, Kowalski *et al.* (2003) ont démontré que l'utilisation d'un catalyseur à base d'oxyde de métal permettait d'enlever l'ozone à la sortie d'un système de traitement d'air de façon efficace. Ils ont employé un catalyseur, de la Carulite 200 (un composé de dioxyde de magnésium, d'oxyde de cuivre et d'oxyde d'aluminium), et ont identifié un temps de contact requis avec l'air entre 0,36 et 0,72 seconde selon le taux d'humidité relative. Les débits variaient de 5 à 102 l/min selon une concentration d'ozone située entre 0,3 et 15,6 ppm. Le taux d'ozone résiduel n'a pas pu être mesuré à la sortie et a été estimé à < 0.01 ppm.

## 2 Objectifs

Ce projet propose d'évaluer le potentiel de l'ozonation de l'air pour réduire les taux d'agents pathogènes (ex. : syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP), influenza, *Mycoplasma*, etc.) de l'air de fermes porcines.

La présente étude a été conçue en 3 phases distinctes, avec des objectifs spécifiques pour chacune des phases.

### Phase 1 - Banc d'essai

Pour cette phase expérimentale, un tunnel de vent a été conçu et construit, afin de simuler des traitements de l'air avec de l'ozone. Les objectifs spécifiques à cette phase étaient :

- 1) Évaluer l'efficacité de l'ozonation de l'air à détruire le phage PhiX174 utilisé comme indicateur de performance, avec différentes concentrations d'ozone et différents temps de contact, sous deux conditions d'humidité relative;
- 2) Évaluer la concentration résiduelle en ozone à la sortie du banc d'essai.

### Phase 2 - Validation du modèle

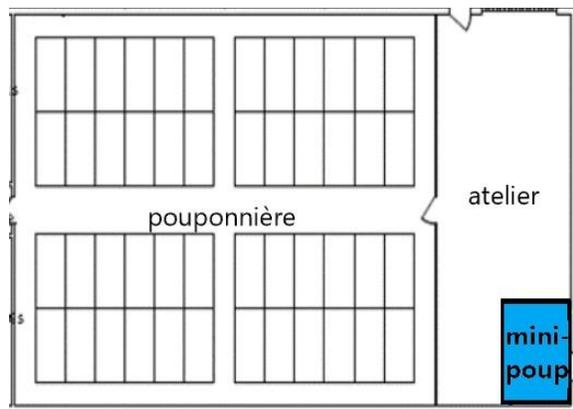
Les objectifs spécifiques à cette phase étaient :

- 1) Vérifier si l'air contaminé de la Station permet de contaminer les porcelets dans une mini-pouponnière, en absence d'ozonation;
- 2) S'assurer que le système de filtration d'air de la quarantaine et les mesures de biosécurité permettent de maintenir les porcelets exempts des maladies présentes dans la Station.

### Phase 3 - Bioessai

L'objectif initial de cette phase était d'exposer des porcs sains, logés dans la mini-pouponnière, à l'air de la ferme contaminé au vSRRP et traité par ozonation, afin d'évaluer leur statut sanitaire au regard du vSRRP, après une période déterminée d'exposition de 18 jours. Malheureusement, puisqu'une contamination constante des porcelets au vSRRP n'a pas été observée lors de la phase 2 (voir section 4.2 Phase 2 : Validation du modèle), l'objectif a dû être modifié afin d'obtenir plus d'information sur l'aérobiologie du SRRP. Le nouvel objectif était de déterminer quelles concentrations de virus pouvaient être présentes à l'entrée de la prise d'air dans la grande pouponnière et à la sortie du corridor d'air dans la mini-pouponnière et de corrélérer ces concentrations avec la proportion de porcelets positifs au vSRRP dans la grande pouponnière.





**Figure 2. Emplacement et photo de la mini-pouponnière dans la Station**

L'air qui était envoyé dans la mini-pouponnière était soit filtré, soit traité par le système d'ozonation, ou provenait directement de la pouponnière contaminée par le virus du SRRP. Un ventilateur à vitesse variable (Vortexfan, VTX400) poussait l'air dans une conduite d'air approvisionnant la mini-pouponnière. Pour éviter les trop grands courants d'air au niveau des porcelets, une valve, placée en amont ailleurs dans la chambre de la mini-pouponnière, permettait d'y rejeter le surplus d'air et de ralentir le débit à la sortie terminale (directement dans le parc de trois porcelets en mini-pouponnière), sans toutefois réduire le potentiel de contamination des porcelets.

a)



b)



c)



**Figure 3. Conduites permettant d'aspirer et d'acheminer l'air selon les différents essais : a) valve de rejet de surplus d'air dans la mini-pouponnière; b) prise d'air dans la pouponnière contaminée au vSRRP; c) sortie du corridor d'air directement dans le parc de trois porcelets dans la mini-pouponnière**

## 3.2 Équipement pour le traitement de l'air

### 3.2.1 Matériaux utilisés pour la fabrication du tunnel de vent

Un tunnel de vent a été conçu pour permettre de tester l'efficacité de l'ozonation selon différentes concentrations d'ozone et différents temps de contact entre l'ozone et les agents pathogènes. Le tunnel de vent, de 220 m de longueur, permet un temps de contact d'environ 6 minutes entre l'ozone et les phages lorsque la vitesse de l'air à l'entrée est de 0,6 m/s. Le tunnel est fait de tuyaux en acier galvanisé de 10 cm de diamètre. La résistance à l'ozone sous forme gazeuse de l'acier galvanisé est jugée bonne ([http://www.ozoneapplications.com/info/ozone\\_compatible\\_materials.htm](http://www.ozoneapplications.com/info/ozone_compatible_materials.htm)). Considérant, la durée du projet, les coûts et la disponibilité du matériel et la facilité d'assemblage de la conduite, le choix de l'acier galvanisé est un excellent compromis et ce choix fut approuvé par EmO<sub>3</sub>.

Le joint linéaire, de même que les joints entre les sections de tuyaux, ont été scellés avec du silicone, puis recouverts avec du ruban adhésif en aluminium pour maximiser l'étanchéité du tunnel. La résistance à l'ozone du silicone est jugée « excellente » et celle de l'aluminium jugée « bonne ».

Les sondes d'injections et d'échantillonnage ont été assemblées avec des tuyaux d'acier inoxydable dont la résistance à l'ozone est jugée excellente. Les buses d'échantillonnage, permettant un échantillonnage isocinétique à chaque port, étaient fabriquées en plastique de type ABS (Figure 4). Ce matériel offre une bonne résistance à l'ozone.



Figure 4. Buse d'échantillonnage du tunnel de vent

Pour ce qui est du raccordement au générateur d'ozone, des tuyaux en téflon furent utilisés. Les raccords de type compression étaient en acier inoxydable.

### 3.2.2 Instrumentation et validation du tunnel de vent

Afin de mesurer en continu la vitesse de l'air dans le tunnel, des iris (CFM continental fan, Model IRISS-04, stainless steel construction) étaient installés à l'entrée et à la sortie du tunnel. Le différentiel de pression aux iris était mesuré avec des capteurs de pression (Phidgets, MPXV7002DP). Le débit d'air dans le tunnel était ajusté avec la vitesse de rotation du ventilateur (Vortexfan, VTX400) et vérifié avant chaque essai. La température et l'humidité de l'air

(Measurement specialties, HTM2500LF) étaient également mesurées en continu à l'entrée et à la sortie du tunnel. Un humidificateur, installé à l'entrée du tunnel, permettait d'ajuster manuellement l'humidité relative de l'air dans le tunnel (Figure 5). Les mesures des différentes sondes étaient validées au début de chaque journée d'essai avec un anémomètre à fil chaud (Alnor, AVM440).



**Figure 5. Humidificateur sur le côté du tunnel avant son raccordement au tunnel**

Le ventilateur a été installé à la sortie du tunnel afin de maintenir la pression négative dans le tunnel et ainsi prévenir la sortie de l'ozone du tunnel. La pression dans le tunnel fut mesurée avec un manomètre (Kimo, MP210G) pour différentes vitesses d'air (Tableau 1).

**Tableau 1. Pression statique dans le tunnel de vent**

Vitesse d'air à l'entrée (m/s) à Pression statique dans le tunnel à différentes positions (Pa)						
Port 1	Entrée	Port 1	Port 4	Port 5	Port 8	Sortie
0,48	-12	-24	-32	-33	-45	-70
0,68	-29	-46	-62	-63	-89	-144
0,94	-56	-88	-120	-122	-177	-302

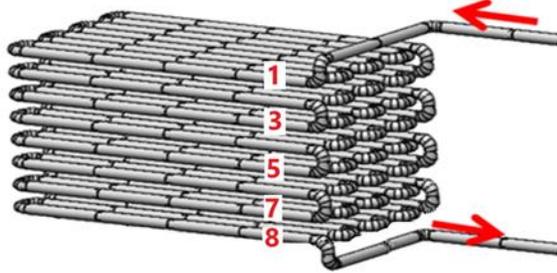
### 3.2.3 Génération des particules et échantillonnage de l'air

Un port localisé à la section 1 permettait d'injecter des particules « porteuses » de phages PhiX174 dans le tunnel. Les particules étaient générées avec un nébuliseur à six jets (Collison Nebulizers, BGI Incorporated, MA, É-U), puis asséchées avec un sécheur par diffusion (TSI, model 3074).

Des ports d'échantillonnages étaient installés aux sections 1, 4 et 8 afin de pouvoir mesurer et quantifier les particules avec un appareil optique (OPS, TSI model 3330). Le débit d'échantillonnage de cet appareil est de 1 l/min.

D'autres ports d'échantillonnages étaient installés aux sections 1, 3, 5, 7 et 8, permettant l'échantillonnage avec des échantillonneurs de type barboteur AGI 30 (Ace Glass, Impinger, BGI Instrument Inc.) actionnés par des pompes (Levitt Sécurité, Gilair Aircon II) à un débit de 12,5 l/minute. Les AGI-30 étaient remplis avec 20 ml de tampon de phage (20 mM Tris-HCl, 100 mM NaCl, 10 mM MgSO<sub>4</sub>, pH 7.5). Les échantillons d'air collectés permettaient de caractériser le taux de phages vivants à ce point du tunnel. Le port 1 était situé avant l'injection de l'ozone et servait ainsi de référence pour définir le taux de survie des phages après une exposition à l'ozone.

Lors des essais, les échantillonnages se faisaient simultanément à deux ports. La durée des essais était de 20 minutes. Les valves installées sur les sondes d'échantillonnage permettaient de débiter l'échantillonnage 10 minutes après le début de l'injection des particules. La Figure 6 illustre le tunnel de vent et met en évidence les numéros de sections, de même que le temps de présence des particules dans le tunnel lorsqu'elles arrivaient à la section. La configuration du tunnel faisait en sorte que le temps de présence aux ports 2, 4 et 6 étaient sensiblement les mêmes qu'aux ports 3, 5 et 7 respectivement.

Numéros des ports d'échantillonnage dans le tunnel		Distance depuis l'entrée du tunnel (m)	Temps de présence approximatif dans le tunnel (min)
	1	0	0
	2, 3	55	1,5
	4, 5	110	3
	6, 7	165	4,5
	8	220	6

**Figure 6. Emplacement des buses d'échantillonnages permettant d'obtenir différents temps de présence dans le tunnel de vent**

### 3.2.4 Ozone

Un générateur d'ozone et un destructeur d'ozone répondant aux besoins du projet furent fabriqués par EmO<sub>3</sub>. Le générateur fournissait un débit d'ozone fixe, ainsi, une valve de précision et un débitmètre furent ajoutés au circuit (Figure 8) afin d'ajuster manuellement la quantité d'ozone injectée dans le tunnel de vent lors des différents essais. Deux sondes d'ozone (Tongdy Control Technology Co.,Ltd, F2000IAQ-O3) interrompaient immédiatement la génération d'ozone, si la concentration d'ozone dans la pièce était supérieure à 0,05 ppm.

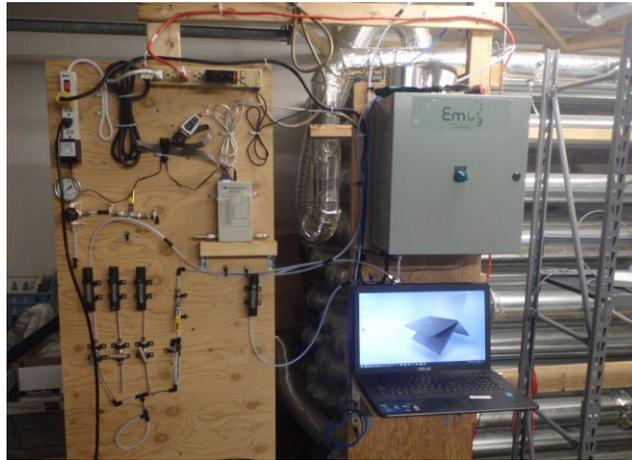


Figure 7. Circuit permettant l'ajustement de l'ozone injectée dans le tunnel

Le dosage de l'ozone (Figure 8) dans le tunnel fut évalué par des essais distincts avec une sonde portable (Kelisaïke, K60 series, 0-20 ppm) située à l'entrée du tunnel, puis aux sections 3 et 8, afin de définir l'ozone résiduel après différentes durées d'exposition (Figure 9).

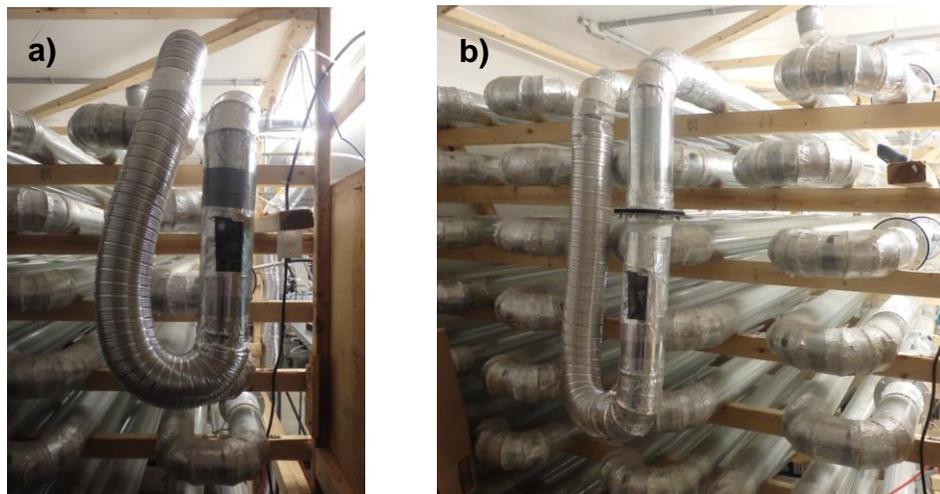
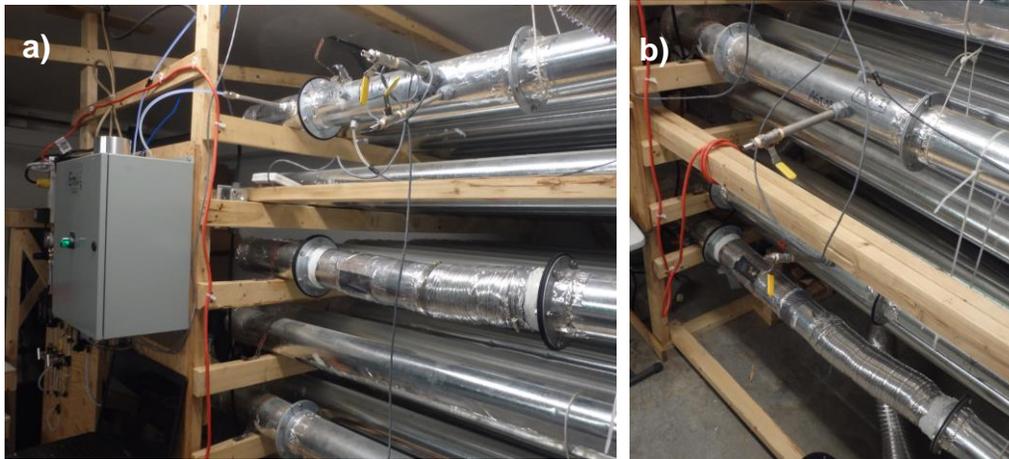


Figure 8. Adaptation du tunnel pour le dosage de l'ozone à des distances de 0.5 m (a) et de 6.5 m (b) de la sonde d'injection de l'ozone



**Figure 9. Adaptation du tunnel pour installer la sonde d'ozone aux sections 3 (a) et 8 (b)**

### 3.3 Protocole expérimental

#### Phase 1 - Banc d'essai

Les aérosolisations des phages PhiX174 ont été effectuées à température ambiante, soit entre 17 et 20 °C et à deux niveaux d'humidité relative différents, soit à 40 et 80 %. Chaque journée d'expérimentation était structurée de la manière suivante :

- 1) Stabilisation du débit et de l'humidité relative dans le tunnel;
- 2) Aérosolisation des phages sans ozone et prélèvement d'échantillons d'air à tous les ports de prélèvement. Cette étape est nécessaire pour connaître l'effet de la température et de l'humidité relative sur la viabilité des phages avant même qu'ils ne subissent un traitement d'ozonation. Les résultats de cette étape sont essentiels pour permettre de séparer ultérieurement l'effet de l'ozonation de l'effet du tunnel de vent sur la viabilité des phages;
- 3) Purge du tunnel de vent;
- 4) Génération d'ozone à la concentration désirée et aérosolisation des phages;
- 5) Stabilisation des concentrations dans le tunnel;
- 6) Prélèvement aux ports d'échantillonnage;
- 7) Répétition des points 3 à 6 avec une concentration d'ozone différente. Les différents essais ont été réalisés à l'une ou l'autre des concentrations d'ozone suivantes : 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 et 1,8 ppm.

Le nébuliseur Collison était démarré 10 minutes avant le début des échantillonnages afin de permettre une stabilisation de la concentration des particules dans le tunnel. Le nébuliseur fonctionnait en continu lors des essais. L'aérosolisation était interrompue entre chaque changement de condition (humidité relative et concentration d'ozone) afin de remplir le nébuliseur. La concentration de particules au port 1 était de  $2 \times 10^6$  particules/ml. Les échantillons d'air ont été prélevés deux à la fois selon la séquence suivante : ports 1 et 5, suivis des ports 3 et 8. D'autres combinaisons ont été testées lors des 2 premiers essais, soit les ports 1 et 5 suivis des ports 7 et 8 et les ports 1 et 5 suivis des ports 3 et 7.

Le contenu des échantillons d'air a été analysé par culture et par un test de réaction de polymérase en chaîne quantitative (qPCR pour *quantitative polymerase chain reaction*). La culture des phages a été effectuée sur la souche hôte HER1036 en utilisant la méthode de dilution sur gélose molle. L'analyse par qPCR en utilisant le protocole décrit par Verreault *et al.* (2010) a permis de mesurer la concentration totale de phages dans les échantillons. Le ratio des phages dénombrés par culture et des phages dénombrés par qPCR permet de calculer le pourcentage de phages vivants. Plus le traitement à l'ozone est efficace, plus le pourcentage infectieux est faible.

## Phase 2 - Validation du modèle

Dans le cadre du présent projet, en parallèle à l'étude sur la résistance aux maladies, neuf lots de trois porcelets de haut statut sanitaire ont été introduits aux trois semaines dans la mini-pouponnière et cette dernière était accessible uniquement par une porte extérieure (Figure 2).

Comme mentionné précédemment, l'air qui était envoyé dans la mini-pouponnière pouvait être soit filtré, soit traité par le système d'ozonation ou pouvait provenir directement de la pouponnière contaminée par le virus SRRP, et ce, selon l'essai à réaliser. Lorsque de l'air contaminé de la Station devait être envoyé dans la mini-pouponnière, un conduit de ventilation reliait alors la pouponnière de la Station à la mini-pouponnière. Ce conduit puisait l'air dans un parc de la grande pouponnière, et ce, juste au-dessus des porcelets malades et contaminés au vSRRP (figure 3b).

Le premier lot de porcelets entré le 24 avril 2017 n'a pas été exposé à l'air de la pouponnière contaminée au vSRRP. Cet essai avait pour but de valider l'efficacité des mesures de biosécurité mises en place afin de maintenir les porcelets exempts des maladies présentes dans la Station, plus particulièrement au regard du vSRRP. Le protocole de biosécurité mis en place incluait les mesures suivantes :

- 1) Respect d'un temps de retrait d'une nuit entre les soins des porcs contaminés de la Station et ceux de la mini-pouponnière (même personnel aux deux endroits);
- 2) Soins des porcelets de la mini-pouponnière effectués le matin avant d'entrer dans la Station contaminée au vSRRP;
- 3) Accès à la mini-pouponnière par la porte extérieure seulement;
- 4) Entrée danoise effectuée (port de bottes et d'un couvre-tout dédié à la mini-pouponnière et désinfection des mains)
- 5) Filtration de l'air qui entre dans la mini-pouponnière (débit de 150 l/min)

Par la suite, l'objectif des essais suivants était de vérifier si l'air contaminé de la Station permettait de contaminer les porcelets dans la mini-pouponnière.

Un premier essai en ce sens a été effectué le 15 mai 2017 et répété le 5 juin. Dans ces essais, 300 l/min d'air contaminé provenant de la pouponnière étaient aspirés dans le conduit de 25 m et passait par les 220 m du tunnel de vent avant d'être mélangés à 150 l/min d'air filtré. De ce mélange d'air contaminé et filtré, 150 l/min étaient envoyés directement dans le parc de porcelets dans la mini-pouponnière et le reste était évacué par une valve dans la même pièce.

Dans le but d'augmenter les chances de contaminer les porcelets dans la mini-pouponnière, les essais du 26 juin et du 17 juillet 2017 incluaient l'aspiration de 2900 l/min d'air contaminé de la pouponnière. Cet air passait par les 25 m du conduit amenant l'air dans les 220 m du tunnel de

vent. De cette quantité d'air, 600 l/min ont été envoyés dans la mini-pouponnière et le surplus (2300 l/min) rejeté à l'extérieur du bâtiment.

Pour les quatre essais subséquents (7 août, 28 août, 18 septembre et 9 octobre), la conduite d'aspiration de l'air contaminé de la pouponnière a été branchée directement à l'entrée d'air de la mini-pouponnière. Sur les 2900 l/min d'air contaminé aspiré, 900 l/min étaient envoyés dans le parc de porcelets dans la mini-pouponnière et le reste était envoyé ailleurs dans la chambre de la mini-pouponnière, pour s'assurer du bien-être des porcelets en évitant les courants d'air dans leur parc.

Pour chacun des neuf essais réalisés dans la mini-pouponnière, les porcelets sont restés 18 jours dans ce petit local isolé. Pour déterminer le statut des porcelets au regard du vSRRP, un échantillon de salive ou un échantillon sanguin était prélevé sur chacun d'entre eux. Ces échantillons ont été analysés en pools par qPCR afin de détecter la présence du virus du syndrome reproducteur et respiratoire porcin (vSRRP).

Le Tableau 2, présenté plus loin dans la section des résultats (section 2.5.2), synthétise les protocoles de ventilation utilisés pour chacun des essais et présente également les résultats obtenus pour chacun.

Quant aux porcelets présents dans la grande pouponnière au cours de cette même période (porcelets contaminants), tous les lots ont été testés le jour de la sortie vers l'engraissement pour détecter la présence du virus SRRP. Pour ce faire, des échantillons de 3 porcelets par lot ont été prélevés par échantillonnage sanguin (jugulaire ou à l'oreille) ou salivaire. Ces échantillons ont été analysés en pools de trois par qPCR.

### Phase 3 - Bioessai

Cette phase expérimentale, menée à l'automne 2017, a permis de suivre deux lots de porcelets contaminants. Des échantillons sanguins ont été prélevés à l'oreille (ponction d'une veine auriculaire et écouvillonnage sanguin) sur des porcelets de trois parcs situés à proximité de l'entrée du conduit d'air (7 à 9 porcelets par jour de prélèvement pour le lot 1 et 14 à 21 porcelets par jour pour le lot 2). Les jours d'échantillonnage pour chacun des lots sont :

- **Lot 1** : J2; J5; J7; J10; J13; J15, J17; J20; J22; J24 et J27 suivant l'introduction des porcelets contaminants dans la grande pouponnière (J0);
- **Lot 2** : J1, J3, J6, J8, J10, J13, J15, J17; J20; J22; J24 et J27.

Les échantillons ont été congelés à -20 °C, puis envoyés le mardi suivant au laboratoire de virologie de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Montréal (FMV) pour détecter la présence du virus du SRRP par qPCR. Un pourcentage des porcelets ayant obtenu un résultat positif (présence de virus) a été établi pour chaque jour de prélèvement et est considéré représentatif de la dynamique d'infection et de propagation du virus dans la grande pouponnière.

Pour les deux lots, l'air a été échantillonné sur filtres électrostatiques avec un échantillonneur d'air SASS3100 (Research International Inc.), les mêmes jours que l'échantillonnage des porcelets. La séquence quotidienne de prélèvement d'échantillons d'air a été établie en commençant par l'endroit théoriquement le moins contaminé au vSRRP et en terminant par le plus contaminé, soit :

- 1) blanc de terrain extérieur (lorsque la météo le permettait);
- 2) sortie du corridor d'air en mini-pouponnière;
- 3) entrée du corridor d'air dans la grande pouponnière.

À la fin de la collecte quotidienne, le collecteur d'air était désinfecté avec une lingette Lysol®, puis entreposé dans l'atelier de la ferme. Avant de procéder à une autre journée de collecte d'échantillons d'air, une autre désinfection du collecteur était effectuée pour ainsi éliminer toute contamination croisée potentielle dû à l'entreposage du collecteur dans l'atelier.

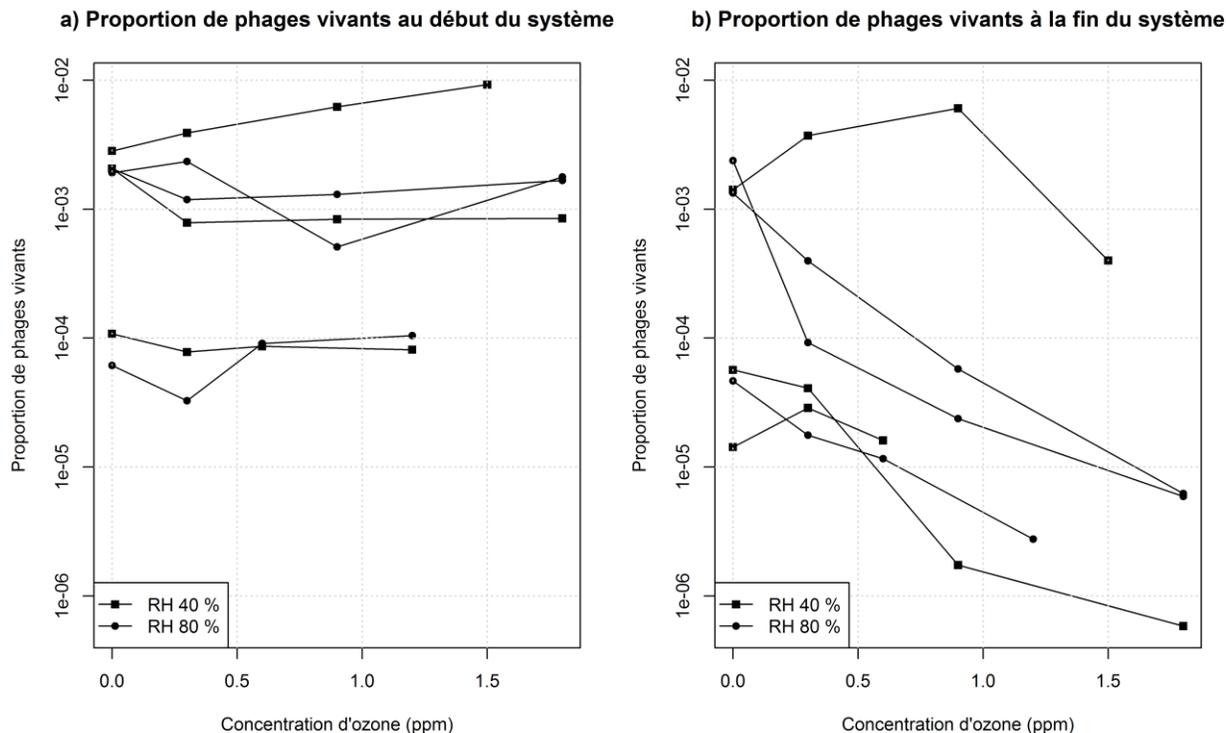
Sauf pour quelques exceptions, les échantillons d'air étaient apportés sur glace le jour-même au laboratoire de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (IUCPQ, Université Laval) pour le traitement des échantillons. Dans les rares cas où le transport n'était pas possible, les échantillons étaient conservés au réfrigérateur, puis apportés au laboratoire deux jours plus tard, avec les échantillons suivants.

À leur arrivée à l'IUCPQ, les échantillons ont été élués des filtres en utilisant un extracteur de particules SASS 3010 (Research International Inc.) dans 5 ml de tampon d'extraction (138mM NaCl, 2,7mM KCl, 10mM tampon phosphate pH 7,4, 0,05 % Triton X-100, 0,1 % azide de sodium).

Une fois l'extraction faite, les aliquotes obtenues ont été conservées au congélateur à -20 °C, jusqu'à l'envoi des échantillons au laboratoire de virologie de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Montréal, où la détection du vSRRP par qPCR a été faite.

## 4 Analyse des résultats

### 4.1 Phase 1 - Banc d'essai



**Figure 10. Proportions de phages vivants au début du tunnel de vent (avant l'injection d'ozone, Figure 10a) et à la fin (ports 7 et 8, Figure 10b) selon la concentration d'ozone**

La Figure 10 montre que moins de 1 % des phages ( $<1e-02$ ) sont vivants lors de la culture des échantillons prélevés au port 1, et ce, pour tous les essais réalisés. Ce phénomène, déjà documenté (Turgeon *et al.*, 2014), s'explique par le fait que seulement 0,1 à 10 % des phages utilisés dans le liquide de nébulisation sont infectieux, c'est-à-dire qu'ils sont vivants. Dans le cas présent, deux lots différents du phage PhiX174 ont été utilisés. Le premier lot (jours d'échantillonnage 1 et 2) avait un pourcentage infectieux de 0,2 %. Pour les essais suivants, le lot de phage utilisé avait un pourcentage infectieux de 7 %.

La proportion de phages vivants est constante pour chaque séance d'essai (taux relativement constant pour chaque courbe). Ces résultats indiquent que :

- 1) puisque l'ozone est injecté après le port d'échantillonnage 1 dans le tunnel, l'ozone n'a aucun effet sur la survie des phages au port 1 ;
- 2) pour une même séance d'essai, on obtient une bonne répétabilité des résultats (le biais d'échantillonnage est constant pour une même journée).

À la Figure 10b on constate que plus les concentrations d’ozone utilisées sont élevées, plus la proportion de phages vivants retrouvés à la fin du système est faible. L’ozone a donc bel et bien un effet délétère sur la survie des phages.

Lorsqu’on compare les courbes de la Figure 10b aux courbes de la Figure 10a, on observe que même lorsqu’aucun ozone n’est nébulisé (valeur de 0 en abscisse), les proportions de phages vivants à la fin du système sont généralement plus faibles que celles observées au début du système, et ce, particulièrement pour les valeurs obtenues à 40 % d’humidité relative. Ces constatations peuvent être expliquées par deux phénomènes. Premièrement, il y a un biais causé par l’effet tunnel (discuté en détails un peu plus loin dans la discussion) qui entraîne une légère perte de phages retrouvés à la fin du tunnel par rapport aux proportions retrouvées au début du tunnel. Ce biais est constant, donc sensiblement le même pour chaque essai effectué. Deuxièmement, il y a l’effet du temps de résidence dans le tunnel sur la survie des phages. En effet, la survie des phages est affectée par les conditions d’environnement rencontrées par ceux-ci, telles que la température et l’humidité relative et cette survie dépend également de la durée d’exposition à ces conditions. Le phage PhiX174 est un phage qui survit mal à des températures élevées et à de faibles taux d’humidité (Turgeon *et al.*, 2014; Verreault *et al.*, 2015). Dans la présente étude, la température ambiante était relativement stable (17 à 20 °C) d’une séance d’essai à l’autre. Quant à l’humidité relative, les différents essais ont été effectués à des taux de 40 % et de 80 %. La sensibilité des phages à des conditions ambiantes plus sèches explique que les proportions de phages vivants récoltés à la fin du tunnel (durée d’exposition plus longue) soient plus faibles que les proportions obtenues au début du tunnel (durée d’exposition plus courte), particulièrement lors des essais à 40 %.

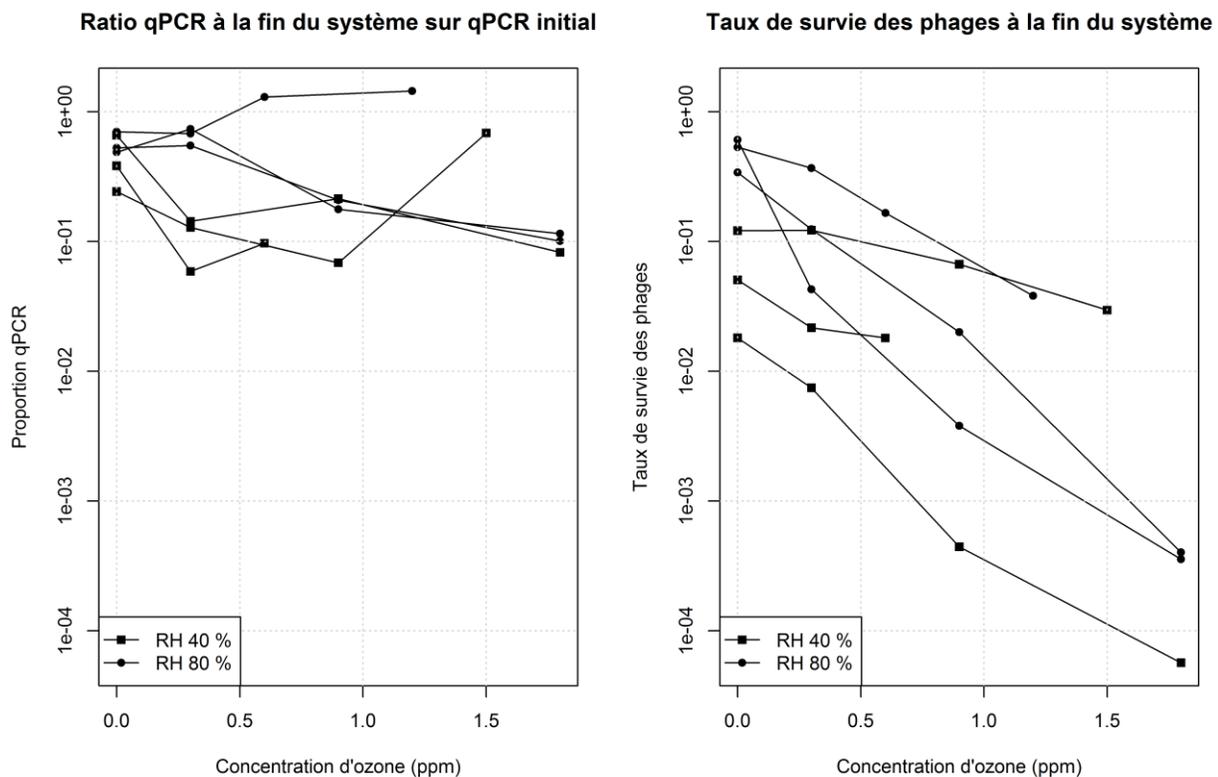


Figure 11. Proportions restantes du matériel génétique (qPCR fin/qPCR début) (Figure 11a) et de phages vivants (vivant fin/vivant début) (Figure 11b) à la fin du système

La Figure 11a permet de constater que l’ozone n’a pas ou peu d’effet sur la détection des phages par qPCR, car il agit principalement sur les protéines du phage. Cependant, lorsqu’on met les phages en culture (Figure 11b), on constate que l’ozone a un effet délétère sur ces derniers. Plus la concentration d’ozone est élevée, moins il y a de phages vivants au port 8. Selon la modélisation présentée dans ce projet, l’ozone serait donc un moyen efficace pour tuer les pathogènes. Cependant, les taux de survie bruts des phages doivent être corrigés pour tenir compte de deux biais non liés à l’ozone dans l’air, soit 1) l’effet tunnel, 2) l’effet de l’ozone dans les échantillonneurs.

### **Biais 1 - Effet tunnel :**

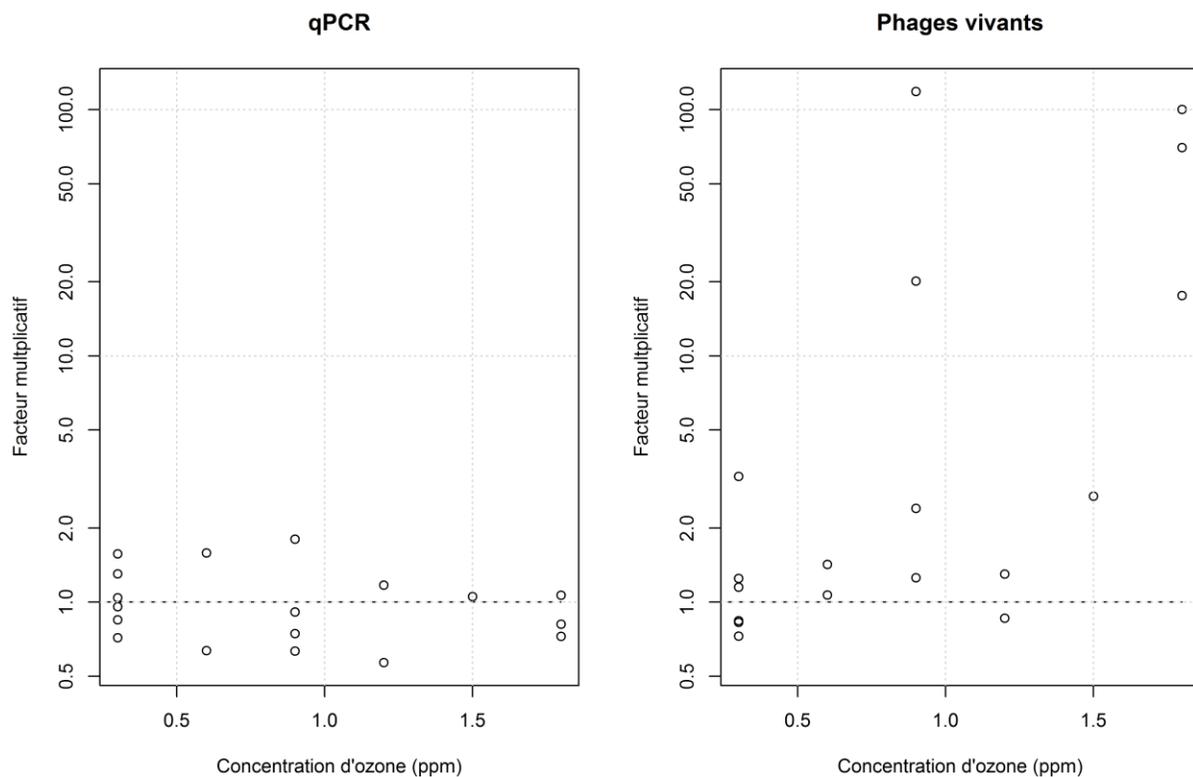
Deux facteurs entrent en ligne de compte dans ce biais. D’abord, le tunnel conçu n’était pas entièrement étanche. Ainsi, puisque l’air dans le tunnel était aspiré par un ventilateur à la fin du tunnel, de l’air s’y infiltre par les joints non étanches, créant donc un effet de dilution de l’ozone et des phages d’un port de mesure à l’autre. De plus, le tunnel étant conçu en serpentif (plusieurs coudes), la cinétique de l’air peut avoir fait en sorte qu’au fur et à mesure de leur progression, certaines des particules d’ozone et certains phages aient pu se déposer sur les parois du tunnel, créant ainsi un effet de perte dans l’air récolté aux différents ports. Ces deux effets de « pertes » combinés constituent un biais appelé « effet tunnel » affectant également les deux types de mesures des phages, soit les cultures (phages vivants) et les qPCR (phages totaux).

Afin de corriger les données pour ce biais, à chaque séance d’échantillonnage, un essai avec nébulisation des phages sans nébulisation d’ozone a permis de mesurer des quantités de référence phages vivants (cultures, taux de survie) et totaux (qPCR). Pour chaque mesure prise, il est donc possible d’obtenir des valeurs corrigées en divisant la valeur brute obtenue (proportion qPCR ou proportion de phages vivants) à la fin du système pour une concentration d’ozone donnée par la valeur correspondante obtenue lors de l’essai sans ozone.

### **Biais 2 - Effet de l’ozone dans les échantillonneurs :**

Tel que décrit précédemment, l’ozone réagit chimiquement avec les molécules d’eau pour produire des radicaux libres  $\text{OH}^\cdot$  qui peuvent tuer les phages. Puisque la méthode d’échantillonnage des phages impliquait le passage de l’air dans des aliquotes à base d’eau, l’ozone présent dans l’air a pu interagir avec les aliquotes pour y former des ions  $\text{OH}^\cdot$  et ainsi tuer certains phages récoltés dans ces aliquotes. Cet effet devrait principalement affecter les mesures obtenues par culture des phages (phages vivants).

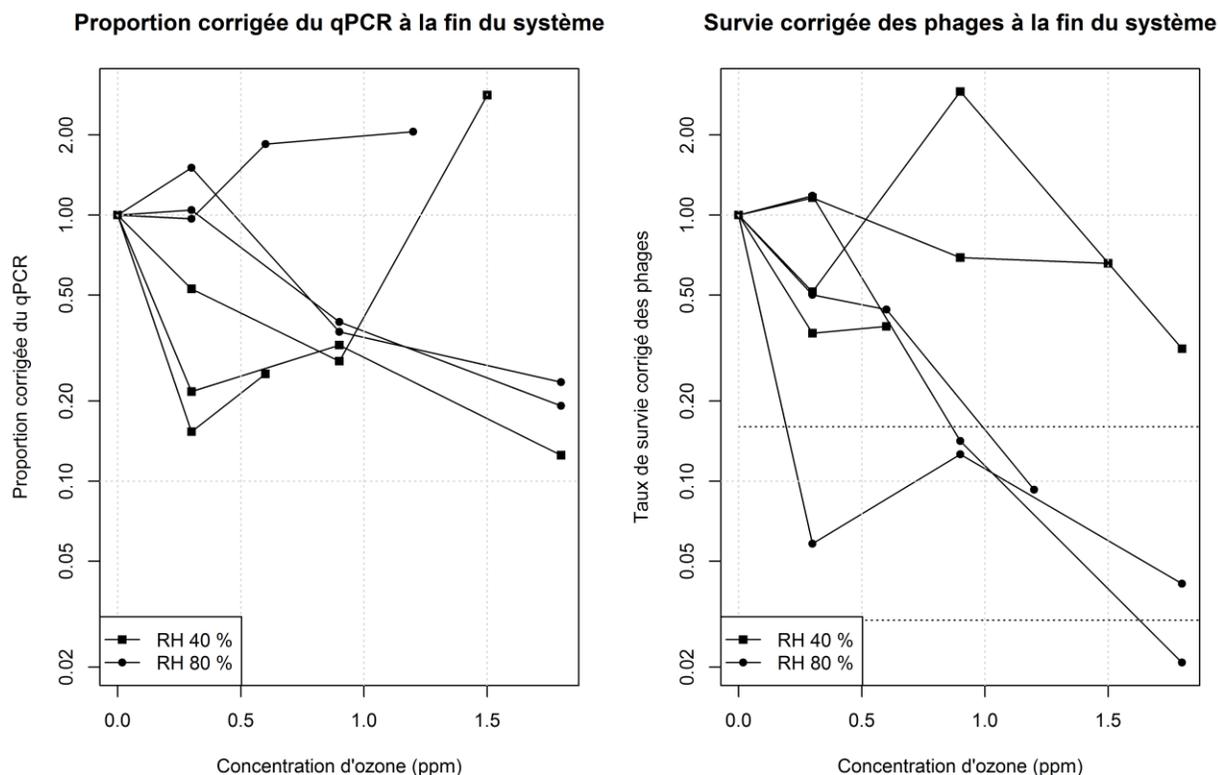
Pour corriger les données de culture pour ce biais, des essais de contrôle ont été effectués au début de chaque séance d’échantillonnage. Pour ces essais de contrôle, des quantités connues de phages ont été incluses directement dans les solutions aliquotes aux ports 1 et 3 et des mesures ont été prises aux différentes concentrations d’ozone utilisées dans le projet. Un facteur de correction multiplicatif a été calculé pour chaque concentration d’ozone à chaque jour d’essai (Figure 12). Ce facteur est le ratio de la valeur de phages totaux (qPCR; Figure 12a) ou vivants (Figure 12b) dans la solution au port 1 sur la valeur dans la solution au port 3.



**Figure 12. Estimation pour chaque essai de la correction du biais causé par l'effet de l'ozone dans l'échantillonneur en fonction de la concentration initiale d'ozone pour la proportion de qPCR (Figure 12a) et le taux de survie des phages (Figure 12b)**

La Figure 12a montre qu'il y a une certaine incertitude quant à l'estimation de l'effet de l'ozone dans les échantillonneurs. Ceci étant dit, il n'y a pas de biais systématique; les facteurs multiplicatifs sont centrés autour de 1. Il a donc été décidé de ne pas apporter de correction pour l'effet de l'ozone dans les échantillonneurs pour la proportion qPCR. Le constat est cependant différent pour le taux de survie des phages (Figure 12b). La plupart des facteurs de correction multiplicatifs sont plus grands que 1 et peuvent atteindre la valeur 100 (dans un tel cas, cela signifie que 99 % des phages seraient tués dans l'échantillonneur). Bien que le biais semble dépendre de la concentration d'ozone initiale (Figure 12b), ce qui corroborerait la théorie de l'effet délétère des ions  $\text{OH}^-$ , la variabilité de l'estimation de l'effet de l'ozone dans les échantillonneurs est trop grande pour permettre une relation directe avec la concentration d'ozone. Il y a vraisemblablement un effet aléatoire du jour où le contrôle a été effectué. Il a donc été décidé d'appliquer un facteur de correction unique à chaque test, basé sur le contrôle réalisé le même jour à la même concentration d'ozone.

Les proportions qPCR et les taux de survie des phages corrigés pour l'effet de la perte dans le tunnel et l'effet dans l'ozone dans l'échantillonneur (uniquement pour survie des phages) sont présentés à la Figure 13. La correction a eu peu d'effet sur les valeurs de qPCR (Figure 13a). L'effet des corrections est plus important pour le taux de survie. Alors que les taux de survie bruts pouvaient descendre sous le centième de pourcent ( $1\text{e-}04$ ; Figure 11b), les taux de survie corrigés sont tous supérieurs à 1 % (0,01; Figure 13b).



**Figure 13. Valeurs corrigées pour la proportion qPCR (Figure 13a) et le taux de survie des phages (Figure 13b). Les lignes pointillées à la Figure 13b sont les taux de survie estimés avec des filtres de type MERV 14 (16 %) et MERV 16 (3 %)**

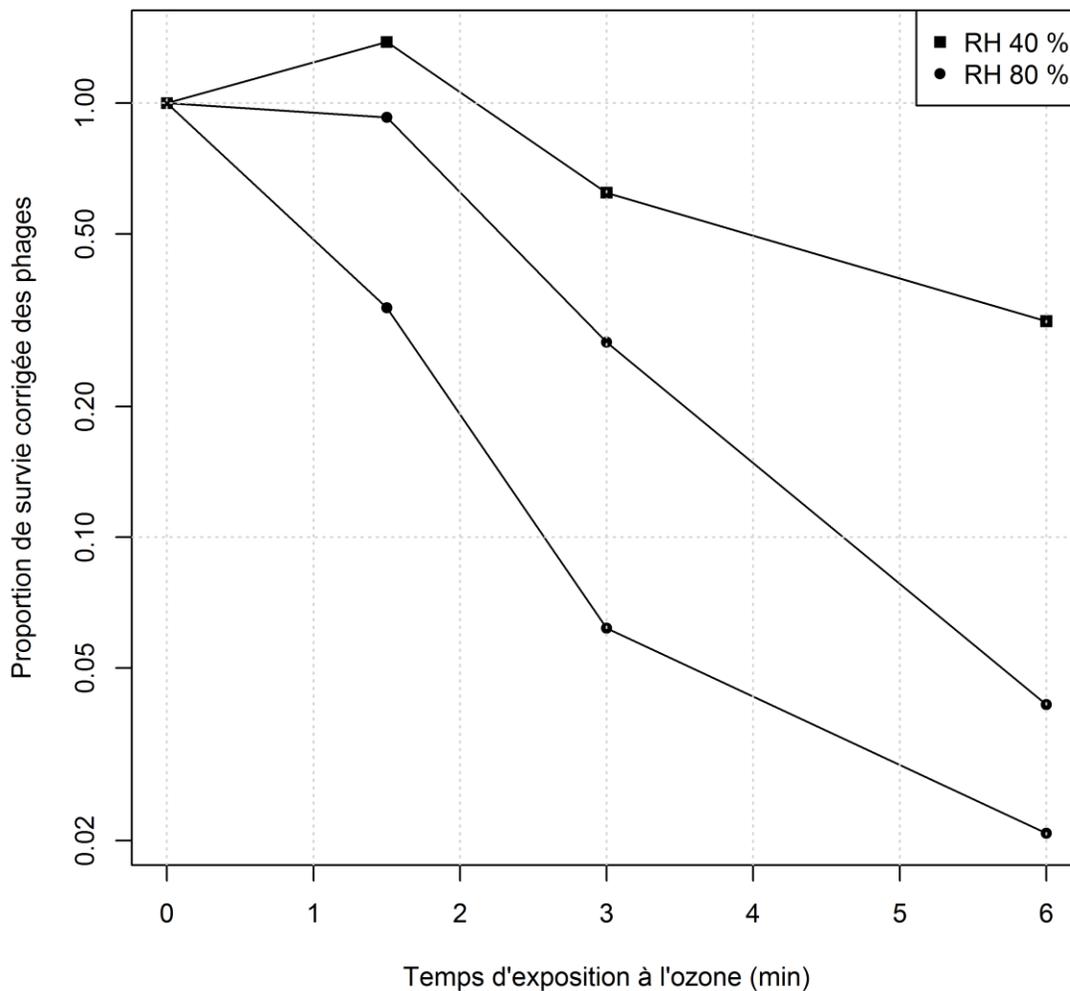
L'analyse de la Figure 13b permet de relever des tendances communes entre la présente étude et celle de Tseng et Li (2006), malgré que ces derniers aient utilisé une méthode d'extraction de phages différente de celle utilisée dans la présente étude. Les deux constats communs sont :

- 1) Plus le taux d'humidité relative est élevé, plus l'ozone sera efficace pour tuer les phages, donc moins d'ozone sera requis pour atteindre la même efficacité (même taux de survie).
- 2) Pour un même taux d'humidité et un même temps de contact, plus les concentrations d'ozone utilisées sont élevées, plus la proportion de phages vivants récoltés est faible (meilleure est l'efficacité de l'ozonation).

Selon les données observées à la Figure 13b, lorsque les phages sont exposés pendant 6 minutes à 1,8 ppm d'ozone et à 80 % d'HR, leurs taux de survie se situent autour de 3 % (ozonation efficace à 97 %). Cela signifie que selon le modèle proposé, l'ozonation de l'air dans les conditions mentionnées (1,8 ppm, 6 minutes, 80 % d'HR) permettrait d'atteindre une efficacité de réduction du vSRRP de l'ordre de 96 à 98 %, ce qui est comparable à l'efficacité reconnue des filtres MERV 16, soit  $97 \pm 1 \%$  (Létourneau *et al.*, s.d.). Quant aux filtres MERV 14, leur efficacité reconnue est de  $84 \pm 2 \%$  (données présentées à la Figure 13b), ce qui signifie que selon le modèle et les conditions proposés (1,8 ppm, 6 minutes, 80 % d'HR), l'ozonation serait plus efficace que les filtres MERV 14 pour réduire le risque lié au vSRRP dans l'air.

Dans une autre étude réalisée par le CDPQ (Pouliot *et al.*, 2011), des comparaisons entre les filtres de type MERV et les filtres NOVEKO ont été présentées. Les filtres NOVEKO de 10 couches étaient comparables aux filtres MERV 14, quant aux filtres NOVEKO de 15 couches, ils étaient comparés aux filtres MERV 16. On peut donc faire l'extrapolation suivante : selon le modèle et les conditions proposés, l'ozonation serait plus efficace que les filtres NOVEKO de 10 couches pour réduire le risque lié au vSRRP dans l'air, mais aurait une efficacité comparable aux filtres NOVEKO de 15 couches.

### Taux de survie corrigé des phages vs temps d'exposition à l'ozone



**Figure 14. Taux de survie des phages en fonction du temps d'exposition à une concentration d'ozone de 1,8 ppm.**

Plus la durée d'exposition à l'ozone est longue, moins le taux de survie des phages est élevé (Figure 14). Pour les trois courbes à une concentration de 1,8 ppm, la baisse la plus importante du taux de survie sur l'échelle logarithmique est constatée entre 1,5 et 3 minutes d'exposition. On constate aussi que plus le taux d'humidité relative est élevé, plus cette diminution du taux de survie est rapide. Dans le présent modèle, à 80 % d'HR, l'ozonation à 1,8 ppm permet

d'approcher l'efficacité des filtres MERV 14 (survie de 16 %) à partir de 3 minutes d'exposition et atteint l'efficacité des filtres MERV 16 (survie de 3 %) après environ 6 minutes de temps de contact.

Ces données laissent croire que si des concentrations plus grandes d'ozone étaient utilisées, il serait possible de réduire le temps de contact requis pour atteindre un même taux d'efficacité. Des études supplémentaires seraient nécessaires afin de vérifier cette hypothèse. De telles études permettraient également de mesurer les quantités d'ozone résiduel lors de l'utilisation de plus fortes concentrations d'ozone et de définir de niveau de dangerosité de la technologie si cet ozone résiduel était rejeté directement dans l'environnement.

De plus, les conditions d'air à la sortie des fermes sont différentes de celles utilisées dans la présente étude. En effet, on peut s'attendre entre autres à trouver des taux d'humidité relative variables et un plus grand nombre de particules biologiques en aérosol dans l'air sortant d'une chambre remplie d'animaux. Ces conditions différentes ont le potentiel d'affecter l'efficacité de l'ozonation. Des études complémentaires permettraient de clarifier ces points de questionnement.

## 4.2 Phase 2 - Validation du modèle

Le Tableau 2 présenté ci-dessous décrit les différents protocoles d'apport d'air contaminé à la mini-pouponnière et y résume les résultats obtenus pour chacun des essais.

**Tableau 2. Description des essais, statuts sanitaires espérés et obtenus lors des 9 essais réalisés**

Date de début du lot	Description des essais	Débit d'air possiblement contaminé (l/min)	Distance du circuit d'air (m)	Statut ESPÉRÉ des porcelets au vSRRP	Statut RÉEL des porcelets au vSRRP
24 avril	Validation des mesures de biosécurité. 150 l/min d'air filtré	0	0	Négatif	Négatif
15 mai	Circuit d'air passant par le tunnel de vent : aspiration de 300 l/min d'air de la pouponnière contaminée au SRRP et ajout de 150 l/min d'air filtré; rejet du surplus d'air dans la mini-pouponnière	150	257	Positif	Négatif
5 juin				Positif	Négatif
26 juin	Circuit d'air passant par le tunnel de vent : aspiration de 2900 l/min d'air de la pouponnière contaminée; rejet d'une partie du surplus d'air à l'extérieur (2300 l/min) et le reste dans la mini-pouponnière (600 l/min)	600	257	Positif	Négatif
17 juillet				Positif	Négatif
7 août	Circuit d'air direct sans passer par le tunnel de vent; aspiration de 2900 l/min d'air de la pouponnière contaminée; rejet du surplus d'air dans la mini-pouponnière	900	25	Positif	Négatif
28 août		900	25	Positif	<b>Positif</b>
18 septembre		900	25	Positif	Négatif
9 octobre		900	25	Positif	Négatif

Les porcelets de la mini-pouponnière sont restés négatifs au vSRRP tout au long des 18 jours de la durée du premier essai (validation des mesures de biosécurité), ce qui prouve que les mesures de biosécurité pour ce lot ont été efficaces.

Dans les deux essais suivants, les porcelets de la mini-pouponnière sont restés négatifs au vSRRP pendant les 18 jours de la durée des essais, malgré un apport d'air en partie prélevé dans un endroit contaminé.

Dans les deux essais du 26 juin et du 17 juillet, malgré les changements apportés pour emmener plus d'air contaminé dans la mini-pouponnière, les porcelets de la mini-pouponnière sont également restés négatifs au vSRRP durant les 18 jours des essais.

L'hypothèse que le virus ne survivait peut-être pas au long voyage de 245 m à l'intérieur du conduit de ventilation de 10 cm de diamètre a alors été soulevée. Les résultats de la phase 1 concernant l'effet tunnel n'étaient pas encore disponibles lors de la réalisation de la phase 2. Depuis, l'effet tunnel a été confirmé et peut expliquer en partie les résultats obtenus lors de la phase 2.

Parmi les quatre essais suivants, lors desquels l'air entrant provenait directement de la pouponnière contaminée, seul le lot de porcelets entré le 28 août a été contaminé au vSRRP, tel qu'espéré. Les trois autres essais effectués avec les mêmes paramètres n'ont pas permis la contamination par voie aérienne des porcelets dans la mini-pouponnière.

En résumé, un seul des neuf lots de porcelets a eu des résultats positifs au vSRRP, suivant la période d'exposition de 18 jours en mini-pouponnière.

Les conclusions de cette phase expérimentale sont que les mesures de biosécurité prises étaient suffisantes pour maintenir les porcelets exempts de SRRP, mais que les installations ainsi que l'air contaminé de la Station n'ont pas permis de contaminer de façon constante les porcelets. Les installations ne pouvaient donc pas servir afin de tester l'efficacité de l'ozonation de l'air par rapport au vSRRP (Phase 3 - Bioessai).

### 4.3 Phase 3 - Bioessai

Pour chaque journée d'échantillonnage, un taux de porcelets positifs au vSRRP a pu être déterminé selon les résultats des analyses sanguines (qPCR). Les résultats sont présentés au Tableau 3.

**Tableau 3. Proportion de porcelets testés positifs au vSRRP**

Jour d'épreuve	Lot 32			Lot 33		
	N positifs	N testés	% positifs	N positifs	N testés	% positifs
J1				0	21	0 %
J2	1	9	11 %			
J3				4	21	19 %
J5	6	9	67 %			
J6				14	21	67 %
J7	8	8	100 %			
J8				20	21	95 %
J10	9	9	100 %	17	19	89 %
J13	8	8	100 %	18	18	100 %
J15	9	9	100 %	17	17	100 %
J17	7	7	100 %	15	16	94 %
J20	8	8	100 %	16	16	100 %
J22	7	7	100 %	11	16	69 %
J24	9	9	100 %	10	15	67 %
J27	9	9	100 %	6	14	43 %

Les résultats du Tableau 3 indiquent que le virus du SRRP s'est bel et bien propagé dans la grande pouponnière pendant la période d'échantillonnage. Les résultats démontrent que la contamination des animaux s'est faite rapidement. Pour le lot 33, 100 % des porcelets étaient contaminés au vSRRP après seulement 7 jours dans la pouponnière où étaient présents des porcelets plus vieux, positifs au vSRRP. Pour le lot 34, la contamination de tous les animaux a pris presque deux fois plus de temps, soit 13 jours. Il est intéressant de noter que pour ce lot, le pourcentage de porcelets positifs par qPCR au vSRRP commence à diminuer à partir du jour 22. Cette observation ne signifie pas que les porcelets n'étaient plus contaminés par le virus du SRRP. En effet, la virémie (présence de virus dans le sang) au vSRRP est généralement plus courte que l'état de porteur (le virus peut se trouver dans d'autres tissus, plus particulièrement dans les macrophages alvéolaires dans le cas du vSRRP). Néanmoins, on peut émettre l'hypothèse suivante : les animaux qui n'étaient plus virémiques étaient également moins susceptibles d'excréter le virus dans l'air. Il est donc possible qu'à mesure que les taux de virémie baissaient, la charge virale dans l'air diminuait également.

De plus, dans le cadre d'une autre étude menée en parallèle à celle-ci, des échantillons de salive ont été prélevés sur les mêmes porcelets lors de ces jours d'échantillonnage et testés par qPCR pour la détection du vSRRP. Plusieurs de ces échantillons de salive étaient positifs pour le vSRRP, avec une moyenne de détection des sujets positifs de 82 % par rapport à la technique d'échantillonnage sanguin à la jugulaire. Lors de cette autre étude, les signes cliniques observés sur les animaux prélevés étaient également notés. Un grand pourcentage des animaux a

présenté des symptômes respiratoires lors de cette période, principalement de la détresse respiratoire (du pompage), mais également un peu de toux. Selon ces constatations, puisque des gouttelettes de salive sont propulsées dans l'air lorsque les animaux toussent, on peut donc affirmer que la période d'échantillonnage a eu lieu pendant la période d'excrétion du vSRRP.

Cependant, il n'a pas été possible de détecter l'ARN du vSRRP dans les échantillons d'air prélevés dans la grande pouponnière au cours de cette même période. En effet, malgré que l'échantillonnage ait eu lieu durant la période d'excrétion et de propagation virale, aucun des 19 échantillons prélevés ne s'est révélé positif. Étant donné que les échantillons qui avaient le plus grand potentiel de détection du vSRRP (charges virales potentielles les plus élevées à la source, plus près des animaux) se sont tous révélés négatifs, les échantillons d'air de la mini-pouponnière n'ont pas été analysés. Les blancs de terrain pour ces dates d'échantillonnage se sont également révélés négatifs (résultat attendu).

Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer cette incapacité à détecter le virus du SRRP dans l'air de la pouponnière contaminée :

- 1) La hauteur du collecteur d'air n'était peut-être pas la bonne selon des courants d'air et de la température dans la chambre. En effet, le patron de dispersion du virus SRRP dans l'air est inconnu et est possiblement influencé par les courants d'air et la température de l'air à différents endroits dans la chambre;
- 2) Bien que l'échantillonnage de l'air ait eu lieu pendant la période d'excrétion virale des porcelets (virémie et symptômes respiratoires confirmés), l'échantillonnage n'a peut-être pas été fait pendant la période d'excrétion maximale du virus;
- 3) Les particules virales de SRRP n'ont peut-être pas survécu au processus d'échantillonnage (collecte, récupération, congélation, décongélation, test). Le vSRRP est reconnu comme étant un virus peu résistant à différentes conditions environnementales. L'ARN viral a peut-être été dégradé lors d'une des étapes d'échantillonnage et d'analyse, rendant la PCR incapable de détecter le virus. L'échantillonneur d'air utilisé n'était peut-être pas approprié pour le virus du SRRP. Cet échantillonneur a été choisi pour 4 raisons : 1) collecte d'un grand volume d'air (maximise la concentration de l'échantillon); 2) longue durée de la batterie; 3) facilité d'utilisation (peut être manipulé par le personnel de la ferme); 4) bonne performance pour la détection d'adénovirus dans un projet précédant. Il est possible que les adénovirus récoltés dans le projet précédant soient plus résistants à l'échantillonnage que le virus du SRRP;
- 4) Il est possible que le principal mode de propagation de la souche virale présente dans la pouponnière se fasse par une autre voie (ex : vecteurs, contacts directs). En effet, il est reconnu que certaines souches d'Influenza sont fortement excrétées par les voies respiratoires et d'autres faiblement. Il est possible que ce soit également le cas pour le vSRRP et que la souche présente à la Station soit faiblement excrétée au niveau respiratoire, donc faiblement en aérosol. En effet, seulement un peu de toux a été constatée lors de la période d'échantillonnage de ces deux essais. Le principal symptôme respiratoire observé était plutôt de la détresse respiratoire (pompage).

D'autres études seront nécessaires afin d'éclaircir les raisons pour lesquelles il n'a pas été possible de détecter le virus dans l'air de la pouponnière contaminée lors de la présente étude. Par exemple, l'utilisation en parallèle de plusieurs types d'échantillonneurs d'air, combinée avec une modélisation des déplacements d'air dans la pouponnière pour déterminer le meilleur positionnement des échantillonneurs apporterait plus de lumière sur ces questions.

## 5 Analyse économique

Tel que déjà mentionné, les deux concepts généraux de la biosécurité sont le bioconfinement, qui consiste à éviter la propagation des pathogènes hors d'un bâtiment afin de protéger les élevages voisins, et la bioexclusion, visant à réduire les risques d'introduction d'agents pathogènes dans un élevage.

Les problématiques rencontrées dans un contexte d'utilisation de l'ozone comme traitement de l'air en bioexclusion, c'est-à-dire dans un but de protéger un élevage porcin contre l'introduction d'agents infectieux, seraient les suivantes :

1. Important volume d'air à traiter :

- L'efficacité de l'ozonation de l'air augmente en fonction du temps de contact entre l'ozone et l'air à traiter. Afin d'obtenir un temps de contact suffisant pour atteindre le degré d'efficacité voulu, il faudrait d'énormes conduites d'entrée d'air. Il serait très difficile et coûteux d'adapter les bâtiments existants pour y arriver.

2. Concentration de l'ozone dans l'air :

- Plus la concentration d'ozone est élevée, plus son efficacité est grande. Cependant, travailler à de fortes doses d'ozone entraîne davantage d'ozone résiduel dans l'air de la porcherie, ce qui représente un potentiel néfaste, l'ozone ayant un impact négatif sur la santé et les performances des animaux et sur la santé des humains travaillant en ferme. En effet, Elenbaas-Thomas *et al.* (2005) ont étudié les effets d'une concentration d'ozone maintenue à 0,1 ppm dans une salle d'élevage de porcs à l'engrais. Ils ont trouvé que le gain moyen quotidien (GMQ) des porcs de la salle traitée à l'ozone était de 0,76 kg, alors que le GMQ du troupeau témoin était de 0,89 kg. Pour ce qui est de la santé humaine, selon Santé Canada (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/in/poll/ozone/index-fra.php>), les valeurs limites d'exposition à l'ozone sont de 0,02 ppm pour une exposition continue et de 0,04 ppm pour une exposition de 8 heures.
- Il existe des destructeurs d'ozone, mais ces équipements sont très dispendieux pour les volumes d'air à traiter.

Pour ces raisons, le scénario de traitement de l'air à l'entrée du bâtiment n'est pas retenu.

Cependant, le traitement de l'air par ozonation s'appliquerait beaucoup plus facilement au concept de bioconfinement, dont l'objectif est d'éviter la propagation des pathogènes hors d'un bâtiment afin de protéger les élevages voisins. Dans ce cas, l'ozone résiduel n'est possiblement pas problématique, car l'air traité provenant de la sortie des ventilateurs de la ferme contient plusieurs contaminants (poussières, bactéries, virus, composés odorants...) qui accélèrent le processus de dégradation de l'ozone. Dans ces conditions, le temps de demi-vie de l'ozone est inférieur à 30 minutes (<https://www.lenntech.fr/ozone/ozone-decomposition.htm#ixzz58bdJb8Gj>).

De plus, l'air traité pouvant contenir de l'ozone résiduel est dilué dans l'air extérieur et se retrouve donc sous les seuils de dangerosité.

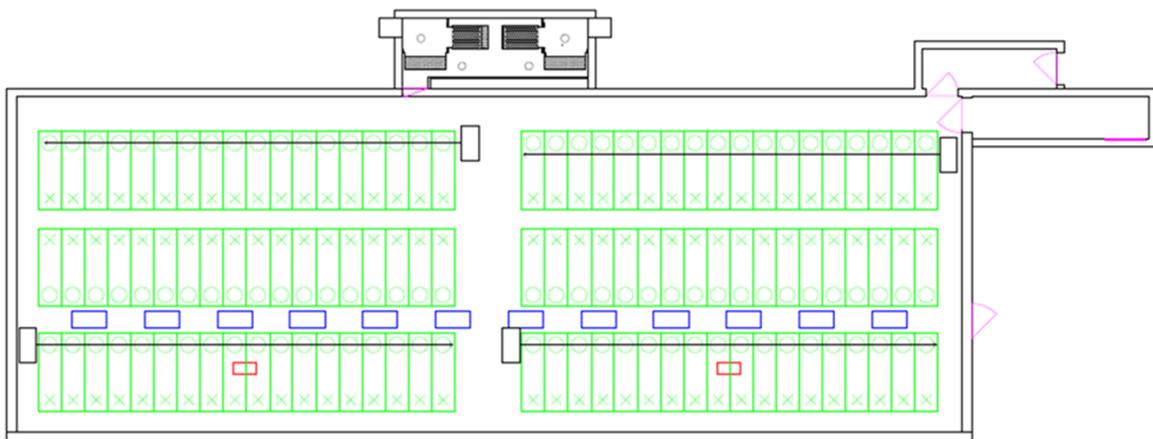
En production porcine, le concept de bioconfinement est surtout utilisé dans les sections de bâtiment appelées quarantaines. Ces quarantaines sont soit situées très près du bâtiment principal de maternité, soit font partie du bâtiment principal, occupant une des extrémités du bâtiment. La quarantaine est utilisée pour s'assurer que les nouveaux animaux qui entreront dans

l'unité principale sont exempts des maladies. Les animaux y séjournent habituellement un minimum de 30 jours, le temps nécessaire pour voir l'apparition de signes cliniques de maladie et pour procéder à certains tests de laboratoire sur des échantillons prélevés sur les animaux. Le but du bioconfinement est d'empêcher la contamination de l'unité principale, entre autres par voie aérienne/aérosol, dans le cas éventuel où les animaux de la quarantaine seraient porteurs de maladies contagieuses.

Il existe actuellement une méthode de bioconfinement aérien et elle consiste à utiliser des filtres, parfois combinés à un système d'abattement de la poussière par ionisation. La problématique liée à l'utilisation de ce système est qu'il nécessite un entretien régulier et un changement/lavage des filtres à toutes les nouvelles introductions d'animaux dans la quarantaine.

Dans le but d'évaluer si le traitement de l'air par ozonation pourrait être avantageux dans un contexte de bioconfinement d'une quarantaine, comparativement à la méthode de filtration de l'air à la sortie, le même scénario que celui qui avait été étudié dans un précédent projet du CDPQ (Pouliot *et al.*, 2013) a été repris pour analyse.

Dans ce projet de bioconfinement par filtration d'air, une quarantaine pouvant loger jusqu'à 108 cochettes était annexée à une maternité (Figure 15). Cette quarantaine était séparée de la maternité par un mur et des portes étanches, afin qu'il n'y ait pas de communication et d'échange d'air entre les deux sections. Les ventilateurs et le système de filtration d'air à la sortie étaient localisés dans une salle dédiée au traitement de l'air et construite au bout de la quarantaine. Quatre ventilateurs de 500 mm de diamètre assuraient la ventilation du bâtiment (104CFM/cochette).



**Figure 15. Schéma de la quarantaine en bioconfinement du projet : « Essai d'un concept de bioconfinement en quarantaine - filtration d'air et réduction du taux de colmatage des filtres »**

Un système d'abattement de la poussière par ionisation avait été utilisé pour diminuer la quantité de poussière dans l'air ambiant et ainsi diminuer le colmatage des filtres à la sortie d'air (Figure 16).



**Figure 16. Lignes de décharge d'ions avec pointes et isolateur du système d'ionisation**

En partant de ce scénario, la mise en place d'un système de traitement de l'air par ozonation demanderait quelques modifications à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

Les modifications à considérer à l'intérieur du bâtiment sont minimales. Elles consistent seulement à acheminer de petites conduites d'ozone devant chaque ventilateur pour s'assurer d'envoyer l'ozone à l'extérieur du bâtiment en même temps que l'air à traiter.

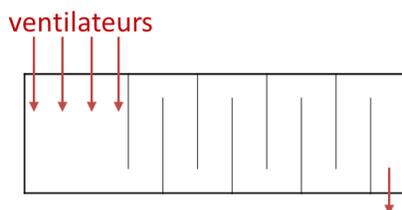
Il serait nécessaire de canaliser l'air sortant des ventilateurs dans le but d'obtenir le temps de contact requis avec l'ozone pour tuer les microorganismes (bactéries et virus) présents dans l'air sortant de la quarantaine.

Pour ce faire, une annexe devrait être construite pour récupérer l'air des quatre ventilateurs de la quarantaine. Cette annexe devrait être suffisamment grande pour s'assurer que le temps de contact visé entre l'air et l'ozone soit suffisant. Dans le présent projet, les différents essais ont été faits avec une concentration maximale de 1,8 ppm d'ozone. À cette concentration, 6 min étaient nécessaires pour tuer 97 % des phages.

Cependant, dans le but de traiter de gros volumes d'air à la sortie des ventilateurs et de diminuer le temps de contact requis avec l'ozone, il serait préférable de travailler avec des concentrations d'ozone plus élevées. Cela permettrait d'atteindre un niveau d'efficacité comparable à celui obtenu avec le système de filtration de référence (Préfiltres MERV 13, filtres Noveko de 10 couches, combinés à un système d'abattement des poussières par ionisation), soit une efficacité estimée à  $84 \pm 2$  % (voir discussion suivant la Figure 13 dans la section 4.1 - Phase 1 - Banc d'essai). Le temps de contact a un impact direct sur le dimensionnement de l'annexe à construire, car le volume de cette annexe doit pouvoir contenir tout l'air sortant pour une durée précise lorsque la ventilation fonctionne à son débit maximum ( $108 \text{ cochettes} \times 104 \text{ CFM/truie} = 11232 \text{ CFM}$  où l'abréviation CFM signifie «cubic feet per minute» ou pied cube d'air par minute).

En utilisant les résultats des travaux de Tseng et Li (2006) faits sur des bactériophages où, pour un temps de contact de 13,8 secondes à 55 % d'humidité relative, 2,5 ppm et 3,43 ppm d'ozone étaient nécessaires afin de réduire de 99 % la concentration des bactériophages Phi6 et PhiX174 respectivement, il a été décidé d'accorder une marge de sécurité pour être plus que certains que l'efficacité du traitement de l'air par ozonation soit au moins équivalent ou supérieur à la filtration de l'air à la sortie. Donc les paramètres suivants ont été utilisés pour dimensionner l'annexe; soit l'utilisation de l'ozone à 5 ppm pour un temps de contact de 15 secondes.

Pour être en mesure d'avoir un temps de contact de minimum 15 secondes entre l'air sortant des ventilateurs et l'ozone, l'annexe à construire doit avoir un volume minimum de 2808 pi<sup>3</sup> (11 232 pi<sup>3</sup>/min ÷ 60 sec/min x 15 sec = 2808 pi<sup>3</sup>). En supposant une hauteur du plafond de 8 pieds, c'est une annexe de 351 pi<sup>2</sup> qui doit être construite. L'intérieur de ce bâtiment doit être subdivisé en différentes section pour former un conduit géant et ainsi s'assurer que l'air séjourne le temps voulu (Figure 17).



**Figure 17. Schéma illustrant le fonctionnement du corridor d'air**

Il est important de mentionner que les temps de contact seront supérieurs à 15 secondes lorsque le système de ventilation ne fonctionne pas à plein régime. Par exemple, par temps froid, lorsque le taux de ventilation est au minimum, le temps de contact pourrait atteindre un peu plus de 2,5 minutes.

En considérant un coût de 35 \$/pi<sup>2</sup> pour la construction de cette annexe en plus des matériaux pour former le conduit géant, ainsi que de la sortie d'air mécanisée, un coût de 18 192 \$ est à prévoir.

Le Tableau 4 présente le coût des installations d'ozonation pour un traitement d'air à la sortie du bâtiment. Un bâtiment annexe à la quarantaine serait ajouté pour récupérer l'air sortant afin d'avoir un temps de contact d'au moins 15 secondes entre l'ozone et l'air pour éliminer les agents pathogènes.

**Tableau 4. Coûts des installations d'ozonation pour traiter l'air à la sortie**

Types de dépenses	Coûts estimés
<b>Système d'ozonation (180 g d'O<sub>3</sub>/heure)<sup>a</sup></b>	28 000,00 \$
<b>Annexe pour récupérer l'air des 4 ventilateurs</b>	18 192,00 \$
<b>Quincaillerie</b>	500,00 \$
<b>Total</b>	46 692 \$

<sup>a</sup> Les coûts du système d'ozonation nous proviennent de l'entreprise EmO<sub>3</sub>

Dans le cas éventuel où le taux d'ozone résiduel recommandé à la sortie serait dépassé, un destructeur d'ozone serait nécessaire. Le prix d'un tel équipement est d'environ 8 000 \$.

Les coûts qui avaient été estimés dans le projet de filtration en bioconfinement du CDPQ (Pouliot *et al.*, 2013) sont présentés au Tableau 5. Puisque ce projet date de 2012-2013, les coûts ont été actualisés en dollars d'aujourd'hui à l'aide de la feuille de calcul de l'inflation de la Banque du

**Tableau 5. Coûts des installations de filtration en bioconfinement**

Types de dépenses	Coûts estimés
Filtres	10 050,00 \$
Préfiltres	1 250,00 \$
Système d'ionisation	18 700,00 \$
Main d'œuvre	5 775,00 \$
Quincaillerie	625,00 \$
Total (2013)	36 400 \$
Total (en dollars 2018)	39 300 \$

Les coûts d'installation du système d'ionisation, la quincaillerie et 75 % des coûts de main-d'œuvre ont été amortis sur 10 ans, soit la durée de vie utile de ce système. Les filtres et les préfiltres ainsi que 25 % de la main d'œuvre, eux, ont été amortis sur 5 ans, représentant leur durée de vie et le coût d'installation de ces derniers.

Il a été évalué qu'une journée par année était nécessaire à l'entretien du système d'ozonation (lavage de l'annexe une fois par année), comparativement à une demi-journée par entrée de cochettes, soit aux huit semaines pour le système de filtration d'air, car les filtres et préfiltres doivent être lavés à cette fréquence. Le salaire horaire considéré pour les calculs du coût en main d'œuvre, incluant les avantages sociaux, est de 18,66 \$/heure (CECPA, 2014).

**Tableau 6. Coûts d'entretien annuel des deux systèmes de traitement de l'air en bioconfinement**

	Heures	\$
<b>Ozonation de l'air</b>	8	149,28
<b>Filtration de l'air</b>	26	485,16

Les coûts des deux systèmes de bioconfinement ont été calculés et ramenés par place de quarantaine. Le taux d'intérêt considéré pour ce calcul est de 6,5 %, capitalisé mensuellement.

**Tableau 7. Coût par place des systèmes de traitement de l'air**

	Ozonation	Filtration de l'air
Coût d'investissement par place	432,00 \$	364,00 \$
Annuité par place	58,91 \$	61,87 \$
Coût d'entretien par place	1,38 \$	4,49 \$
Total des coûts annuels d'exploitation/place	60,29 \$	66,37 \$

On constate que le système d'ozonation a un coût d'investissement plus élevé que la filtration de l'air, mais il revient moins dispendieux à opérer annuellement, du fait que les filtres doivent être remplacés aux 5 ans et qu'ils doivent être lavés aux 8 semaines.

Il est important de mentionner que ces coûts sont préliminaires et théoriques. Ils ne proviennent pas d'une installation concrétisée. Les coûts pourraient donc varier. Une analyse plus poussée serait nécessaire pour valider les coûts réels de construction.

En théorie, le coût d'installation d'un système de traitement de l'air à la sortie d'une quarantaine annexée à la maternité peut être compensé par des économies par rapport à une quarantaine qui serait éloignée de la maternité. Cependant, compte tenu du fait que la situation varie d'une maternité à l'autre (situation physique, plan de bâtiment, taille, etc.), chaque projet de quarantaine sera différent. Cela implique que le résultat net entre les coûts supplémentaires et les économies entre les projets avec et sans traitement de l'air risque d'être parfois négatif.

Le principal élément à prendre en compte lors de la prise de décision quant à doter ou non la quarantaine d'un système de traitement de l'air sortant ne doit pas être le coût d'installation, mais plutôt le risque de contamination du troupeau de truies au vSRRP lié à l'introduction des cochettes de remplacement.

Il a été estimé que la productivité d'une maternité de statut sanitaire négatif au virus du SRRP est de 27,2 porcelets sevrés par truie en inventaire, avec en moyenne un taux de mortalité des truies de 6,5 %. En revanche, si une maternité était aux prises avec une crise de SRRP, les performances diminueraient à 23,7 porcelets sevrés par truie en inventaire et ce, avec une mortalité des truies de 7,3 %. Cette réduction des performances engendrerait des pertes de l'ordre de 126 \$/truie/an (CECPA, 2014). Cela ne tient pas compte des pertes de performances possibles en pouponnière et en engraissement des porcelets survivants, des frais vétérinaires supplémentaires et d'une possible éradication. De plus, le prix de vente des porcelets sevrés pourrait diminuer s'ils ont été exposés au virus du SRRP.

Plusieurs facteurs sont donc à considérer dans le processus de décision quant à la construction ou la rénovation d'une quarantaine et à l'installation d'un système de traitement de l'air sortant, notamment un système d'ozonation.

## 6 Conclusion

Le présent projet sur l'ozonation de l'air en porcherie à des fins de biosécurité a permis de répondre à la majorité des objectifs. Il est intéressant de constater que les résultats obtenus sur le banc d'essais vont dans le même sens que ceux que l'on retrouve dans la littérature, soit que l'efficacité de l'ozonation de l'air est augmentée par :

- Une concentration d'ozone plus grande ;
- Une humidité de l'air plus élevée.

Plus précisément, il a été évalué que le traitement de l'air à 80 % d'HR avec 1,8 ppm d'ozone a permis de tuer 97 % des phages en moyenne lorsque le temps de contact était de 6 minutes.

Aussi, il a été démontré, dans la phase 2 du projet, que les mesures de biosécurité mises en place étaient efficaces et ont permis de garder les porcelets négatifs au virus du SRRP. Malheureusement, il n'a pas été possible de contaminer à tout coup par voie aérienne les porcelets de la mini-pouponnière au virus du SRRP, et ce, malgré la confirmation que les porcelets de la Station étaient contaminés. D'autres études seront nécessaires afin d'éclaircir les raisons pour lesquelles il n'a pas été possible de détecter le virus dans l'air de la pouponnière contaminée et afin de comprendre pourquoi il a été difficile de contaminer les porcelets de la mini-pouponnière par voie aérienne.

Finalement, le traitement de l'air par ozonation pourrait être une alternative intéressante et moins dispendieuse que la filtration de l'air à la sortie des ventilateurs dans les cas de bioconfinement en quarantaine.

## 7 Références

- Alonso, C., Murtaugh, M.P., Dee, S.A. et P.R. Davies. 2013a. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Preventive Veterinary Medicine*, 112 : 109-117.
- Alonso, C., Davies, P.R., Polson, D.D., Dee, S.A et W.F. Lazarus. 2013b. Financial implications of installing air filtration systems to prevent PRRSV infection in large sow herds. *Preventive Veterinary Medicine*, 111(3-4) : 268-277.
- Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2014. Étude sur le coût de production : Porcelets et porcs 2012. Lévis: CECPA, 78 p.
- Dee, S., Pitkin, A., Otake, S. et J. Deen. 2011. A four-year summary of air filtration system efficacy for preventing airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Journal of Swine Health and Production*, 19(5) : 292-294.
- Dee, S.A., Otake, S., Oliviera, S. et J. Deen. 2009. Evidence of long distance airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Veterinary Research*, 40 : 39.
- Dufour, V. et C. Robitaille. 2013. Bioconfinement en quarantaine : Un nouveau concept donne de bons résultats. *Porc Québec*, septembre : 35-36.
- Elenbaas-Thomas, A.M., Zhao, L.Y., Hyun, Y., Wang, X., Anderson, B., Riskowski, G.L., Ellis, M. et A.J. Heber. 2005. Effects of room ozonation on air quality and pig performance. *Transactions of the ASAE*, 48(3) : 1167-1173.
- Franken, L. 2005. The Application of ozone technology for public health and industry : White paper. Kansas State University, 16 p.
- Grinshpun, S.A., Adhikari, A., Honda, T., Kim, K.Y., Toivola, M., Ramchander Rao, K.S. et T. Reponen. 2007. Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environmental Science and Technology*, 41(2) : 606-612.
- Huang, H.L., Lee, M.G. et J.H. Tai. 2012. Controlling indoor bioaerosols using a hybrid system of ozone and catalysts. *Aerosol and Air Quality Research*, 12 : 73-82.
- Kowalski, W.J., Bahnfleth, W.P., Striebig, B.A. et T.S. Whittam. 2003. Demonstration of a hermetic airborne ozone disinfection system: studies on *E. coli*. *AIHA Journal*, 64(2) : 222-227.
- Létourneau, V., Ricard, M.A., Turgeon, J.G., Batista, L., Godbout, S. et C. Duchaine. S.d. Air filtration as bio-exclusion and bio-containment strategies for Canadian pig buildings. Québec: CDPQ, non publié.
- Luengas, A., Barona, A., Hort, C., Gallastegui, G., Platel, V. et A. Elias. 2015. A review of indoor air treatment technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3) : 499-522.

Pouliot, F., Dufour, V., Morin, M., Duchaine, C., Létourneau, V., Robitaille, C. et M.A. Ricard. 2013. Essai d'un concept de bioconfinement en quarantaine - filtration d'air et réduction du taux de colmatage des filtres. Québec: CDPQ, 45 p.

Pouliot, F., Ricard, M.A., Dufour, V., Bonneau, M. et S. Messier. 2011. Systèmes de filtration d'air pour bâtiments porcins canadiens. Québec: CDPQ, CCSP, Guide technique, 32 p.

Ricard, M.A., Gobeil Tremblay, E., Dufour, V. et F. Pouliot. 2013. La filtration d'air dans les bâtiments porcins : état de la situation. Revue de littérature. Québec: CDPQ, 33 p.

Tseng, C.C. et C.S. Li. 2006. Ozone for inactivation of aerosolized bacteriophages. *Aerosol Science and Technology*, 40(9) : 683-689.

Turgeon, N., Toulouse, M.J., Martel, B., Moineau, S. et C. Duchaine. 2014. Comparison of five bacteriophages as models for viral aerosol studies. *Applied and Environmental Microbiology*, 80 (14) : 4242-4250.

Verreault, D., Rousseau, G.M., Gendron, L., Massé, D., Moineau, S. et C. Duchaine. 2010. Comparison of polycarbonate and polytetrafluoroethylene filters for sampling of airborne bacteriophages. *Aerosol Science and Technology*, 44(3) : 197-201.

Verreault, D., Marcoux-Voiselle, M., Turgeon, N., Moineau, S. et C. Duchaine. 2015. Resistance of Aerosolized Bacterial Viruses to Relative Humidity and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(20) : 7305-7311.



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](mailto:cdpq@cdpq.ca) • [www.cdpq.ca](http://www.cdpq.ca)

 @cdpqinc