Développement et adaptation des méthodes de détection du virus du SRRP dans l'environnement et les mouches

Septembre 2021 Rapport de recherche

Auteurs

Christian Klopfenstein Ph. D. (CDPQ), Claudia Coulombe (CDPQ) et Marie-Claude Poulin DMV, DA, Consultante.

CDPQ
Centre de développement du porc du Québec inc.

©Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2025
978-2-925175-00-1
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada

Équipe de réalisation

Répondant et direction scientifique	Christian Klopfenstein, Ph. D (CDPQ)
Chargés de projet	Claudia Coulombe, TSA (CDPQ) Israël Michaud (CDPQ) Marie-Claude Poulin, DMV, DA (Consultante)
Collaborateurs (CDPQ)	Frédéric Fortin M. Sc., Patrick Gagnon Ph. D., Léonie Morin Doré M. Sc.
Collaborateurs (diagnostic SRRP)	Carl Gagnon Ph.D. et Chantal Provost Ph.D. (Laboratoire de biologie moléculaire de la Faculté de médecine vétérinaire (FMV) de l'Université de Montréal)
Collaboratrices (aérobiologie)	Caroline Duchaine Ph.D. et Valérie Létourneau Ph.D. (Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (IUCPQ))
Collaboratrice (entomologie)	Amélie Grégoire Taillefer, Ph.D. (Bio-éco environnement)
Soutien technique	Hélène Fecteau (CDPQ) pour l'identification des mouches et Jean-Gabriel Turgeon (CDPQ) pour l'Impression 3D des pièces du XFAN
Rédaction	Christian Klopfenstein, Ph. D. (CDPQ) Claudia Coulombe, TSA (CDPQ) Marie-Claude Poulin, M.V. (Consultante)

Remerciements

Ce projet a été financé par l'entremise du programme Innov'Action Agroalimentaire, en vertu du Partenariat canadien pour l'Agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec, et par PigGen Canada.

PARTENARIAT CANADIEN pour l'AGRICULTURE

Canada Québec

PigGen Canada

Résumé

Le résumé du projet est une adaptation du contenu de la publication réalisée dans la revue Porc Québec du mois de juin 2021 (Klopfenstein *et al*., 2021).

Le virus du syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP) est bien connu au Québec. Invisible, mais ravageur, il est la cause de mortalités, d'avortements et d'importants problèmes de santé dans les troupeaux porcins québécois. La gestion des conséquences de la circulation de ce virus exige la disponibilité d'outils qui permettent de détecter sa présence dans les différentes populations porcines. La plupart des méthodes de diagnostic actuelles sont basées sur des prélèvements effectués sur les animaux infectés (sérums, fluides oraux, fluides testiculaires ou poumons). Plusieurs médecins vétérinaires reconnaissent que la recherche de la présence du virus par la collecte de matériel contaminé dans l'environnement des porcins serait intéressante, mais les techniques pour le faire ne sont pas connues ni validées. L'équipe de recherche du CDPQ a voulu vérifier si c'était possible de trouver le virus dans l'environnement des porcs infectés sans avoir à prélever des échantillons provenant d'animaux.

L'objectif du projet était de déterminer les meilleures méthodes de détection du virus du SRRP dans l'environnement et de vérifier le rôle des mouches et aérosols comme vecteurs potentiels de transmission du virus du SRRP. Plus spécifiquement, ce projet a permis de quantifier et de comparer la quantité de virus du SRRP dans les principaux bassins susceptibles de contenir du virus, d'identifier des méthodes de détection du virus du SRRP dans l'environnement et d'explorer le potentiel des mouches et des souris présentes dans l'environnement comme vecteurs potentiels de contamination.

La recherche s'est déroulée pendant 8 mois, en deux phases, à la station de recherche de Deschambault sur des lots d'animaux contaminés par le virus du SRRP. Les bassins de prélèvements ont été divisés en six catégories soit; 1 : les fluides et sécrétions des porcs; 2 : les aérosols et poussières; 3 : le bâtiment et les équipements; 4 : les outils, 5 : les mouches; 6 : les souris. Dans la première phase, l'équipe de recherche a exploré les possibilités de retrouver le virus du SRRP dans les six catégories avec différentes méthodes. Dans la deuxième phase du projet, six journées de collecte étalées sur six lots d'animaux ont permis de préciser le potentiel de collecte du virus du SRRP dans l'environnement avec les méthodes les plus prometteuses. Dans ce projet, la recherche de virus a été réalisée par le laboratoire de diagnostic de la Faculté de médecine vétérinaire. La technique utilisée donne une estimation de la quantité de virus dans l'échantillon; négatif (CT≥ 35), suspect (CT≥ 32 et <35), positif+ (CT≥ 26 et <32), positif++ (CT≥ 20 et <26) et positif+++ (CT < 20)). Dans toutes ces évaluations, la collecte de sérums et de fluides oraux chez les porcs contaminés servait de référence positive. L'analyse des données des deux phases du projet a montré qu'on retrouvait le virus du SRRP dans tous les prélèvements effectués sur les porcins.

Durant la première phase du projet, la plupart des méthodes de collecte consistaient à prélever du matériel sur les surfaces potentiellement contaminées avec des écouvillons ou des lingettes. Quatre techniques innovatrices ont été développées par l'équipe de recherche spécifiquement pour ce projet soit : 1) la collecte, l'identification et la classification des mouches pour faire une recherche de virus par catégories de mouches; 2) la collecte de souris; 3) le développement de collecteurs d'aérosols (particules en suspension dans l'air) par filtration mécanique à travers deux sortes de filtres (méthode XFAN); 4) la collecte des poussières qui retombent naturellement sur un papier d'aluminium (méthode ALU) durant différentes durées (1, 2, 4 et 24 heures).

Les résultats de cette première phase suggéraient que les techniques de collecte d'aérosols avec les deux outils du CDPQ (XFAN et ALU) permettaient de détecter la présence du virus du SRRP. Les tests réalisés sur les mouches et les souris suggéraient que ce sont de piètres moyens de transport du virus. Finalement, la collecte de matériel biologique sur les divers équipements de ferme et les outils potentiellement contaminés n'ont pas permis de révéler la présence de grande quantité de virus.

Durant la deuxième phase du projet, l'équipe du CDPQ a mis l'accent sur la recherche de virus dans les particules de poussières collectées avec les deux techniques de collecte des aérosols (XFAN + ALU). Les collecteurs d'aérosols (XFAN + ALU) ont été placés à différentes distances des porcs infectés et durant différentes durées (1 et 2 heures) pour six lots de porcs consécutifs. La présence du virus dans les aérosols de différentes parties du local a été vérifiée en plaçant les collecteurs d'aérosols au-dessus des mangeoires (< 2 m), sur le plancher d'un parc vide avoisinant (< 2 m), sur le plancher d'un parc distant (5-8 m) et à la sortie d'air à l'extérieur du bâtiment (> 12 m).

Le virus du SRRP a été retrouvé dans tous les échantillons de particules de poussières obtenus par la méthode de collecte sur un papier d'aluminium placé près des porcs contaminés (< 2 m) pour des durées d'une heure et plus. La collecte d'aérosols par les outils mécaniques (XFAN) près des porcs contaminés (< 2 m) a également donné de bons résultats (> 70 % positifs). La probabilité de trouver le virus diminuait avec la distance de la collecte des aérosols par rapport au parc des animaux contaminés. En effet, seulement 16°% (3/18) des prélèvements des aérosols effectués à plus de 5 mètres de distance étaient positifs après une heure de collecte. Toutefois, la collecte d'aérosols pour une plus grande durée (2, 4 et 24 heures) aux mêmes localisations (> 5 m) a permis d'augmenter substantiellement la proportion d'échantillons positifs (100 % après 4 h). Finalement, la plupart des collectes effectuées à la sortie du bâtiment, durant 1 heure, étaient négatives ou suspectes (aucun positif). Il est important de souligner qu'il n'est pas possible de conclure à l'absence de virus à l'extérieur des bâtiments, car aucune collecte de plus longue durée (> 1 h) n'a été réalisée.

Ce projet de recherche a permis de montrer que : 1- le principal bassin du virus du SRRP se trouve dans les fluides corporels des porcins (sérums, fluides oraux, urine et peau); 2- Les particules de poussières, collectées avec les techniques développées par l'équipe du CDPQ (papier d'aluminium et XFAN), contiennent des quantités de virus facilement mesurables. Les outils, les équipements, les mouches et les souris contiennent peu de virus.

En plus, il faut souligner que les techniques de prélèvement des particules d'aérosols développées par l'équipe du CDPQ et utilisées dans ce projet (XFAN + ALU) sont des techniques novatrices qui permettaient de trouver le virus du SRRP sur tous les échantillons prélevés près des porcs contaminés conformément à l'idée qui suggèrent la grande transmissibilité de ce virus par les particules en suspension dans l'air.

Table des matières

Introduction 6

1 Objectifs du projet 6

2 Revue conceptuelle 6

2.1 La transmission par aérosol du virus du SRRP et d'autres virus 7

2.2 Mouches dans les porcheries 8

2.2.1 Diversité des mouches attendues 8

2.2.2 Les mouches comme vecteur de transmission du virus du SRRP 9

2.3 Aérosols, bioaérosols et particules (principes généraux) 10

2.3.1 Nature des aérosols et bioaérosols 10

2.3.1 Suspension, transport et déposition 11

2.3.2 Charges électrostatiques et les effets triboélectriques 13

2.4 Aérosols, bioaérosols et particules (élevage porcin) 14

2.4.1 Nature des aérosols et bioaérosols 14

2.4.2 Diamètre aérodynamique des particules en élevages 14

2.4.3 Concentration des particules (masse et nombre) 15

2.4.4 Charges électrostatiques 15

2.5 Les systèmes de collectes de particules aérosols (bioaérosols) 16

2.5.1 Collecteurs d'aérosols (bioaérosols) actifs 16

2.5.2 Collecteurs d'aérosols (bioaérosols) passifs 17

2.6 Cadre conceptuel pour trouver le SRRP sans les aérosols 17

3 Matériel et méthodes 18

3.1 Dispositif expérimental 18

3.2 Le modèle d'infection naturelle des porcs 18

3.3 Phase exploratoire, volet mouche 20

3.4 Phase exploratoire, volet collecteur de particules 21
3.5 Phase exploratoire, volet identification des bassins les plus prometteurs 23
3.6 Bassins retenus pour la phase de vérification (3 lots x 2 temps J14 et J21)..... 24
3.7 Prélèvements sur les porcs et dans l'environnement 24
3.8 Préparation et gestion du matériel de prélèvement 25
3.9 Classification des mouches 26
3.10 Analyse en laboratoire 27
4 Résultats 28
4.1 Fluides corporels 28
4.2 Aérosols et poussières 28
4.3 Bâtiment, équipement, mouche et souris 29
4.4 Distribution spatiale de la concentration du virus du SRRP..... 29
5 Discussion 31
Conclusion 32
Glossaire terminologique 33
Références 35
Annexe 1. Tableaux du rapport 39
Annexe 2 Clé visuelle pour identifier l'ordre, la famille et l'espèce potentielle d'insecte des élevages porcin. 44
Annexe 3 Brèves descriptions techniques de collecteurs de particules d'air 45
Filtres, cassettes et pompes mécaniques 45
Technologie « SKC biosampler»..... 46
Technologie « SASS 3100 Dry air Sampler » 47
Technologie « Coriolis µ » 48
Technologie XFAN (CDPQ) 49

Liste des figures

Figure 1 Représentation schématique de la taille des particules et de celle des molécules de gaz (O2, N2, Ar, CO2 et H20) retrouvées dans l'air..... 12

Figure 2 Illustrations des quatre blocs de parcs du local de la pouponnière de la station de recherche du CDPQ à Deschambault. La section « C » est isolée des autres sections. 19

Figure 3 Distributions des cotes de santé moyennes par parc (30 lots, 114 parcs) entre durant le séjour des porcelets dans le local de la pouponnière (J0 – J28). 20

Figure 4 Bassins et techniques retenus pour vérifier la présence du virus du SRRP durant la phase deux du projet (3 lots x deux temps J14 et J21). 24

Figure 5 Récolte des aérosols et poussières avec deux XFAN et une feuille d'aluminium dans un parc près des porcs 25

Figure 6 Le matériel d'échantillonnage est préparé au bureau avant l'épreuve en ferme. Le matériel est identifié et chaque trousse contient des gants..... 25

Figure 7 Les gazes et les filtres Merv 11 sont installés sur les collecteurs de particules XFAN à la ferme dans la salle des employés le matin de la journée de l'échantillonnage. 26

Figure 8 Classification des mouches..... 27

Figure 9 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les différents fluides corporels. 28

Figure 10 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières. 28

Figure 11 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières avec la durée de la collecte avec le papier d'aluminium. 29

Figure 12 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé sur les objets, les mouches et les souris. 29

Figure 13 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières collectés à différents endroits dans le local de la pouponnière. 30

Figure 14 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières collectés à l'intérieur et à l'extérieur de la pouponnière 30

Figure 15 Illustrations du collecteur de particule inséré dans une cassette collectée à une pompe Aircon-2 (panneau de droite)[5] et une illustration de l'assemblage d'une cassette qui contient la membrane filtrante. L'air circule du bouchon bleu vers le bouchon rouge. 45

Figure 16 Illustration du collecteur de particule d'air « SKC Biosampler™ » avec la pompe BioLite™ 46

Figure 17 Illustration du collecteur de particules d'air programmable (panneau de droite) de et du média filtrant électret, c'est-à-dire un matériau diélectrique présentant un état de polarisation électrique quasi permanent 47

Figure 18 L'appareil Coriolis µ 48

Liste des tableaux

Tableau 1 Contribution relative des principaux gaz de l'air de l'air à l'ensemble des molécules, à la masse volumique (MV) (g/m^3) et aux nombres de molécules gazeuses (MG) (mole/m^3 et n/m^3). La fraction molaire (FM) de chaque gaz est exprimée en partie par million (PPM), en pourcentage (%)..... 39

Tableau 2 Nombre et taille des particules retrouvées en élevage porcin 40

Tableau 3 Le virus du SRRP dans les fluides corporels des porcs et dans les aérosols (poussières) récoltées à proximité des porcs infectés. 40

Tableau 4 Liste des différents prélèvements effectués dans le cadre de ce projet (Bassins et méthodes). 41

Introduction

Le syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) est connu comme étant la principale maladie à incidence économique en Amérique du Nord. Au Québec seulement, le virus du SRRP affecte les élevages et cause des pertes économiques se chiffrant à plus de 50 millions $ par année (Morin et Klopfenstein, 2015). Le plan stratégique de la filière porcine québécoise (2015), « Ensemble, vers une filière porcine au sommet », mentionne que la santé des animaux est au cœur des préoccupations du secteur pour les années à venir. Le virus du SRRP se transmet par contact direct entre les animaux contaminés et sains, par les virus transportés par l'air (aérosols), mais aussi par divers vecteurs contaminés par le virus tel que les mouches, les bottes des travailleurs, etc. (Pileri et Mateu, 2016). Ce virus affecte seulement les porcs et ce n'est pas une préoccupation pour la santé des humains.

Les travaux publiés dans la littérature scientifique montrent que le virus du SRRP qui se retrouve dans l'environnement des animaux contaminés provient principalement des sécrétions nasales, des fluides oraux, de l'urine, des fèces, des sécrétions mammaires et de la semence des porcs virémiques (Pileri et Mateu, 2016).

L'évaluation de la présence de virus du SRRP dans le sérum, les fluides oraux ou les fluides testiculaires obtenus lors de la castration est aujourd'hui (2020) la méthode de référence pour évaluer la présence du virus chez les individus ou dans un groupe d'animaux. On suspecte la présence de virus dans les bioaérosols des locaux des porcheries qui hébergent des porcs virémiques, car il y a beaucoup d'observation en station de recherche et sur le terrain qui montre que le virus du SRRP peut se transmettre entre les animaux contaminés et les animaux sains sans autres vecteurs que les aérosols. De façon surprenante, les chercheurs qui ont fait des tentatives de détecter le virus dans les aérosols ont souvent des résultats peu concluants. Le rôle potentiel des mouches comme vecteurs de transmission du virus est connu, mais on a peu de données sur la quantité de virus que l'on pourrait retrouver sur les mouches d'un local qui héberge des porcs contaminés par le virus du SRRP.

1 Objectifs du projet

L'objectif principal du projet était de déterminer les meilleures méthodes de détection du virus du SRRP dans l'environnement des porcs (poussières, aérosols, fèces, mangeoires, outils, etc.). Plus spécifiquement, quantifier et comparer la quantité de virus du SRRP dans les principaux bassins potentiels du virus et explorer le potentiel des mouches présentes dans l'environnement comme vecteurs de contamination.

2 Revue conceptuelle

Pour être en mesure de saisir les enjeux associés à la réalisation de ce projet, le rapport comporte une brève revue conceptuelle sur les thématiques suivantes :

1. La transmission par aérosol du virus du syndrome respiratoire porcin (SRRP);
2. Mouches dans les porcheries;
3. Aérosols, bioaérosols et particules, cadre général;
4. Aérosols, bioaérosols et particules dans les élevages porcins;
5. Les principaux systèmes de collecte des particules;
6. Cadre conceptuel pour trouver le virus dans les aérosols.

2.1 La transmission par aérosol du virus du SRRP et d'autres virus

Plusieurs virus qui affectent les animaux et les humains sont reconnus et décrits dans la littérature scientifique comme étant potentiellement transportés et transmis par des aérosols (Verreault *et al.,* 2008; Arruda *et al*., 2019; Wang *et al.*, 2021). Il est important de faire la distinction entre le concept de transport de particules virales et le concept de transmission d'une infection virale entre les individus malades et excréteurs et les individus sains non immunisés par les aérosols.

La possibilité de détecter des particules virales dans les aérosols est étudiée et documentée depuis les années 1930 (Whyte *et al.*, 2007). Les différents chercheurs qui ont étudié les bioaérosols au courant des 90 dernières années ont été en mesure de montrer que les aérosols produits par le système respiratoire de plusieurs espèces peuvent contenir divers pathogènes incluant des virus (Verreault *et al.*, 2008; Arruda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021). La présence de virus ou de particules virales sur les aérosols ne veut pas nécessairement dire que ces virus sont encore infectieux.

Les travaux de différents chercheurs ont permis de montrer plusieurs aspects liés à la transmission aéroportée des virus tels que la capacité des agents pathogènes à se propager dans l'air, la capacité des agents pathogènes à rester infectieux dans l'air, le rôle joué par les conditions environnementales dans la dissémination des agents pathogènes, et la souche du virus comme facteur de risque de transmission aérienne (Arruda *et al.*, 2019). Les premiers travaux expérimentaux sur l'étude de la transmission du virus du SRRP suggéraient que ce virus ne se transmettait pas par les aérosols (Cho *et al*., 2007). Les chercheurs ont ensuite réalisé que la souche utilisée pour les premiers travaux de recherche ne se transmettait pas (MN-30100), mais que d'autres souches se transmettaient de façon évidente (MN-184).

La littérature abonde d'exemples où les chercheurs ont montré que certains virus peuvent se transmettre entre les animaux malades et les animaux sains sur de courtes (< 1 m), moyennes (> 10 mètres) et de longues distances (> 1 km) et maintenir leur pouvoir infectieux (Arruda *et al*., 2019; Wang *et al.*, 2021). Plus spécifiquement pour le virus du SRRP, les travaux de l'équipe de recherche de Dr Scott Dee de l'Université du Minnesota ont montré que le virus pouvait être retrouvé à une distance de l'ordre de 10 km de la source et qu'il était encore infectieux (Otake *et al.*, 2010). Finalement, le secteur porcin américain a rapidement adopté le concept de la filtration de l'air comme méthode de mitigation des risques de crise sanitaire associés aux nouvelles infections par le virus du SRRP.

En 2021, le débat scientifique n'est plus de comprendre si la transmission par aérosol des virus entre des individus malades et des individus sains, non immunisés est possible, mais de mieux saisir la fréquence de ce genre d'événements et de trouver de meilleurs outils pour mieux documenter et gérer la transmission par les aérosols sur le terrain (Arruda *et al.*, 2019). La revue de Arruda et ses collaborateurs (2019) recense des études réalisées dans des conditions expérimentales, semi-expérimentales et des conditions de terrain qui montrent clairement que le virus du SRRP peut se transmettre par les aérosols. Finalement, les auteurs soulignent que les méthodes de détection et de caractérisation du virus SRRP dans les aérosols ne sont pas bien développées et affinées pour bien documenter et gérer la transmission du virus du SRRP sur le terrain. Il est important de souligner que la plupart des tentatives de caractérisation des virus dans les aérosols provenant d'élevages de porcs qui hébergent des animaux infectés sont souvent décevantes.

L'inadéquation entre, d'une part, l'importance accordée à la transmission par aérosols du virus d'un point de vue épidémiologique et d'autre part, la très grande difficulté de trouver le virus dans

les aérosols créer un obstacle épistémologique à notre capacité collective à comprendre et à gérer la transmission de la maladie entre les populations. La faible probabilité de trouver du virus du SRRP dans les aérosols se traduit par deux syllogismes possibles :

Syllogisme A

- *Prémisse sur les méthodes d'identification et de caractérisation des aérosols viraux (étalon or) :* Les processus de travail pour identifier la présence du virus du SRRP dans les aérosols sont robustes.
- *Prémisse sur les méthodes d'identification du processus de transmission du SRRP entre les porcs (hypothèse falsifiable) :* Toutes les observations du terrain et en station expérimentale qui suggère fortement la transmission du virus du SRRP par les aérosols doivent être considérées comme étant falsifiables si on ne trouve pas le virus dans les particules collectées dans l'air avec les techniques reconnues (étalon or).
- *Conséquence :* Considérant que la majorité des résultats de recherche du virus du SRRP dans les aérosols suggère que ce virus ne se trouve pas dans les particules en suspension, il faut alors envisager que l'hypothèse de la transmission de ce virus par les aérosols est probablement fausse.

Syllogisme B

- *Prémisse sur les processus d'identification du processus de transmission du SRRP entre les porcs (étalon or) :* Toutes les observations du terrain et en station expérimentale qui suggèrent fortement la transmission par aérosol du virus du SRRP doivent être considérées étant réelles.
- *Prémisse sur les processus d'identification et de caractérisation des aérosols viraux (hypothèse falsifiable) :* Les processus de travail pour identifier et caractériser la nature des aérosols sont mal adaptés à la détection de la présence du virus du SRRP.
- *Conséquence :* Considérant que la majorité des résultats des recherches du virus du SRRP dans les aérosols n'arrivent pas à détecter sa présence, il faut considérer l'hypothèse que les méthodes utilisées sont inadéquates.

Les résultats de ce projet montrent clairement qu'il est possible de trouver du virus du SRRP dans les aérosols avec des méthodes différentes (collecte passive sur papier d'aluminium). Par conséquent, le syllogisme B doit être considéré comme plus proche de la réalité.

2.2 Mouches dans les porcheries

2.2.1 Diversité des mouches attendues

La diversité des mouches dans les fermes porcines du Québec n'a pas été étudiée de façon exhaustive, mais on sait que les principaux insectes sont des diptères[1] (ex. : mouches et moustiques) et qu'il y a beaucoup de mouches domestiques (*Musca domestique*[2]). On sait

[1] Diptera. (2021, 30 août). *Wikipédia* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Diptera&oldid=185911981

[2] Mouche domestique. (2021, 24 septembre). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mouche_domestique&oldid=186574783

également qu'on peut retrouver d'autres arthropodes[3] tel que les araignées, les tiques, les mites, etc. Finalement, les porcins peuvent également être infestés (parasités) par *Haematopinus suis*[4] ***et*** certains acariens tels que *Sarcoptes Scabei*[5]*,* un arthropode responsable de la gale sarcoptique.[6]

Dans une récente étude, les auteurs ont étudié la diversité des diptères dans 12 fermes porcines de l'Estonie. Ils ont identifié 22 groupes (famille : genre : espèce) de diptères et ils ont aussi collecté certains arthropodes (Tummeleht *et al*., 2020). Les cinq espèces dominantes (99,9 %) étaient les mouches domestiques (*Musca domestica*[2]*,* 88,5 %), les drosophiles (*Drosophilidae.spp*[7]*,6,6 %,* les mouches piquantes (*Stomoxys calcitrans*[8]*, 1,15 %*), une mouche qui vit dans le lisier *(Hydrotaea dentipes*[9]*, 0,29 %),* différents moustiques (*Culicidae spp., 0,06 %*[10]*)* et divers arthropodes (3,35 %). Cette description de la diversité des mouches est très similaire à la diversité des mouches retrouvées dans les locaux de la station de Deschambault (voir résultats).

2.2.2 Les mouches comme vecteur de transmission du virus du SRRP

Les mouches (*Musca domestica)* ont été identifiées et étudiées par les chercheurs de l'Université du Minnesota comme source de virus et comme vecteur potentiel de la transmission du virus. Les différents travaux, réalisés dans des conditions expérimentales, ont montré que les mouches domestiques pouvaient être porteuses du virus du SRRP et même transmettre le virus entre des animaux malades et des sains (Otake *et al*., 2002; Otake *et al*., 2003a; S. Otake *et al.*, 2003b; Otake *et al*., 2004; Boorman *et al*., 2004; Pitkin *et al*., 2009). De plus, certains travaux, réalisés par la même équipe, ont montré que le virus du SRRP pouvait également être transmis par certains moustiques (Otake *et al*., 2002). D'un autre côté, un autre groupe de chercheur a étudié la mouche piquante (*Stomoxys calcitrans)* comme porteur ou vecteur de transmission (Rochon *et al.*, 2011). Ces derniers ont également montré que la mouche piquante transporte des parties de virus (test PCR positif), mais ils n'ont pas été capables d'observer de retransmission de virus entre un lot de porcs contaminés et un lot de porcs sains. Finalement, il semble que la survie du virus dans les mouches domestiques (*Musca domestica)* serait de seulement 6 heures après l'ingestion de virus (Otake *et al*., 2003b). Tous ces travaux montrent que les mouches et les moustiques sont de possibles vecteurs de transmission du virus du SRRP.

---

[3] Arthropodes. (2021, 13 septembre). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Arthropodes&oldid=186305217

[4] *Haematopinus suit*. (2021, 26 juillet). *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Haematopinus_suis&oldid=1035586199

[5] *Sarcoptes scabiei*. (2021, 28 avril). *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sarcoptes_scabiei&oldid=1020400351

[6] *Gale sarcoptique porcine : situation actuelle*. (s. d.). https://www.3trois3.com/articles/gale-sarcoptique-porcine-situation-actuelle_12117/

[7] Drosophile. (2021, 14 juillet). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Drosophile&oldid=184642263

[8] Mouche charbonneuse. (2021, 25 juillet). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mouche_charbonneuse&oldid=184945338

[9] *Hydrotaea*. (2021, 7 septembre). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydrotaea&oldid=186129521

[10] Moustique. (2021, 28 septembre). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Moustique&oldid=186698933

2.3 Aérosols, bioaérosols et particules (principes généraux)

Le terme « aérosol » décrit un ensemble de particules en suspension dans un milieu gazeux (voir le glossaire). La composante gazeuse de l'air ambiant est constituée de 78 % de diazote (N_2), de 21 % dioxygène (O_2), mais également d'autres gaz tels que l'argon (Ar), le dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O) (tableau 1).

Les bioaérosols sont définis comme des particules aéroportées contenant des micro-organismes vivants (virus, bactéries, moisissures et protozoaires) ou des substances ou produits provenant de ces organismes (ex. : toxines, micro-organismes morts ou fragments de microorganismes) (voir le glossaire). Plusieurs virus ont été détectés dans les particules extraites de l'air et, par conséquent, ils sont reconnus comme étant aéroportés (Verreault *et al*., 2008).

Les particules de l'air de différents environnements sont habituellement décrites selon leur nature, leur taille, leur quantité massique, leur nombre et leur potentiel électrostatique.

2.3.1 Nature des aérosols et bioaérosols

La nature des aérosols et bioaérosols est avant tout déterminée par les activités humaines ou naturelles à proximité du lieu de prélèvement des particules de l'air. Par exemple, on retrouvera beaucoup plus de particules polluantes produites par les automobiles dans l'air des villes que dans l'air prélevé sur le bord de la mer ou dans les élevages porcins et aviaires. De façon similaire, on retrouvera beaucoup plus de résidus organiques des grains dans les particules de l'air prélevé dans les meuneries et les bâtiments d'élevages que dans l'air prélevé dans les centres-villes ou au bord de la mer.

L'étude de la nature des aérosols et bioaérosols dans leur milieu naturel est reconnue comme étant très complexe. Par conséquent, les chercheurs vont souvent réaliser des simulations en laboratoire avec des modèles pour mieux comprendre la dynamique des aérosols et des bioaérosols dans les milieux de travail ou encore dans l'atmosphère. Certaines compagnies se spécialisent pour créer des poussières standardisées pour représenter différents milieux (ex. : Particle Technology)[11]: finalement, le comportement des bioaérosols viraux est souvent étudié avec des phages comme substituts au virus ciblés par la recherche.

La concentration des bioaérosols dans l'air (nombre et masse) est souvent très faible comparativement aux autres particules. Bref, la détermination de la nature des bioaérosols et leur quantification est nécessairement plus complexe que la caractérisation des particules dominantes. D'autres parts, il faut comprendre que la plupart des techniques de caractérisation des bioaérosols est basée sur la collecte de l'ensemble des aérosols sur des filtres ou des liquides suivis de tests qui permettront d'identifier et de caractériser ces bioaérosols (ex : culture ou des recherches d'antigène par PCR).

Le « National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) propose des lignes directrices pour identifier et caractériser les bioaérosols. On explique que l'identification des bioaérosols implique la mise en œuvre et l'optimisation de trois processus (Lindsley *et al*., 2017).

[11] Test Dust. (s.d.). *Particle Technology*. https://www.particletechnology.com/products/test-dust/

1. Sélection d'un processus de collecte des particules (bioaérosols) qui permet de conserver les bioaérosols;
2. Extraction des particules d'intérêts de l'ensemble des bioaérosols;
3. Identification et énumération des bioaérosols.

Les auteurs des lignes directrices sur la caractérisation des bioaérosols (NIOSH) reconnaissent que les techniques pour identifier et caractériser les bactéries et les champignons aérosols sont mieux connues et mieux définies que celles qui permettent de caractériser les virus aérosols (Lindsley *et a*l., 2017). La plus grande difficulté avec les virus pourrait s'expliquer par le fait que plusieurs font partie des particules nanométriques (≤ 100 nm) comparativement aux bactéries et champignons qui font partie des particules micrométriques (figure 1). Cette idée ne fait pas l'unanimité, car on présume qu'une grande proportion de virus libérés dans l'air lors de la respiration des individus malades vont s'agréger avec d'autres particules et ainsi former des particules de plus grosses tailles porteuses de virus.

L'air ambiant à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments contient plusieurs types de particules en suspension qui peuvent être classifiées selon différents critères tels que les caractéristiques des particules (poussières, bioaérosols, bactérie, virus, etc.) et leur taille (figure 1).

2.3.1 Suspension, transport et déposition

Les molécules de gaz et les particules en suspension ont certaines caractéristiques physico-chimiques similaires, mais aussi de grandes différences. Les deux sont en mouvement continuel dans l'air et certaines peuvent être polarisées. Les particules en suspension sont plus grosses que les molécules de gaz et toutes les particules en suspension vont éventuellement retomber au sol. Les molécules de gaz ne retombent jamais au sol à moins de passer par un changement de phase (ex. : eau).

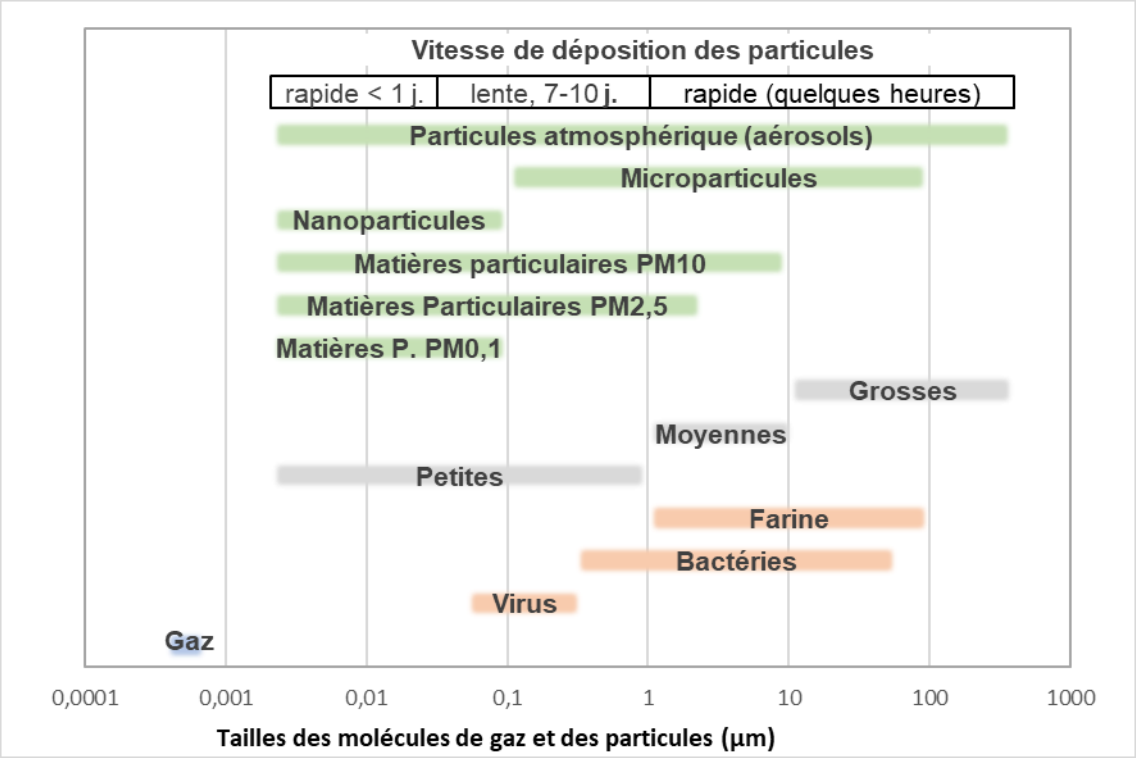


Figure 1 Représentation schématique de la taille des particules et de celle des molécules de gaz (O_2, N_2, Ar, CO_2 et H_20) retrouvées dans l'air. La classification en matières particulaires (PM?) est un concept adapté aux barrières des voies respiratoires des humains:[12]. Le concept (petites moyennes et grosses) est une classification basée sur la taille des particules en micromètres. La classification de la vitesse de déposition des particules provient de la revue sur les caractéristiques physicochimiques des particules de l'air (Kwon et al., 2020). L'étendue des tailles pour la farine, les bactéries et les virus proviennent de la compilation du site web de « Engineering ToolBox[13] ».

Quatre mécanismes majeurs expliquent la déposition des particules en suspension dans les voies respiratoires, dans les bâtiments et à l'extérieur des bâtiments : turbulence; impaction; sédimentation; diffusion (Tsuda *et al.*, 2013; CCHST, 2021). Les mêmes mécanismes s'appliquent pour tous les processus de déposition.

1. **Interception** : L'interception se produit lorsqu'une particule qui suit un courant de gaz arrive à moins d'un rayon de particule d'une surface fixe (mur, circonvolution des voies respiratoires, filtre, etc.). La particule touche la surface fixe et elle est capturée, étant ainsi retirée du flux de gaz.
2. **Impaction** : L'impaction inertielle se produit lorsque les particules ont une quantité de mouvement (inertie) suffisante et ne peuvent pas suivre le flux de gaz lorsque le flux est dévié par un obstacle (ex. : mur, circonvolution des voies respiratoires, filtre, etc.); elles auront tendance à poursuivre leur trajectoire, frapper l'obstacle et y adhérer. Ce mécanisme s'applique principalement pour les plus grosses particules en suspension (> 1 µm). C'est le principal mécanisme de plusieurs outils de collecte de particules.

[12] Particulates. (2021, 16 septembre). *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Particulates&oldid=1044625349

[13] Engineering Toolbox. (s.d.). *Particle Sizes*. https://www.engineeringtoolbox.com/particle-sizes-d_934.html

3. **Sédimentation** : La sédimentation est le dépôt des particules dû à la gravité et au temps. Plus les particules sont grosses, plus rapide sera le processus de sédimentation. Une récente revue suggère les temps suivants pour un dépôt de 1,5 m : particule de 100 µm = 5 secondes; particule de 5 µm = 33 minutes; particule de 1 µm = 12,2 heures (Wang *et al*., 2021).
4. **Diffusion** : Toutes les particules dans l'air subissent des collisions avec les molécules de l'air (O_2, N_2, H_2O, CO_2, etc.). Les effets de ces impacts seront inversement proportionnels à la taille des particules en suspension. Plus elles sont petites, plus elles seront influencées par ces impacts et plus elles auront un mouvement aléatoire de type brownien. L'augmentation des mouvements aléatoire se traduira par une augmentation des chances de se faire intercepter par de plus grosses particules et d'être déposées par sédimentation.

La vitesse de déposition des particules dépend de ces quatre mécanismes qui sont fortement influencés par le diamètre aérodynamique des particules. Les plus grosses particules (> 1 µm) vont se déposer rapidement par le processus de sédimentation. Les plus petites particules (< 0,03 µm) se déposent également rapidement, car elles sont affectées par le mouvement de diffusion. Finalement, les particules de taille intermédiaire (> 30 nm et < 1 µm) ont tendance à avoir une durée de vie atmosphérique plus longue (7-30 jours), car elles sont moins influencées par les deux principaux mécanismes qui permettent la déposition des particules (Kwon *et al*., 2020). Il est intéressant de souligner que la gamme de taille des particules qui peuvent rester dans l'air durant de longue période correspond à la taille des virus et des plus petites bactéries telle que les mycoplasmes (figure 1). À titre indicatif, les virus influenza et SRRP ont une taille de moins de 120 nm et la bactérie *Mycoplasma Hyopneumoniae* a une taille de 400 à 1200 nm.

2.3.2 Charges électrostatiques et les effets triboélectriques

La polarisation d'une particule en suspension ou d'une molécule dépendra de sa nature et des interactions entre les différentes particules ou molécules. Du côté des gaz, la principale molécule polaire est la molécule d'eau « H_2O ». Les autres molécules dominantes de l'air (O_2, N_2, Ar et CO_2) sont des molécules non polaires.[14] Du côté des particules, on sait que certaines sont positivement chargées (donneuses d'électrons) et d'autres sont négativement chargées (réceptrices d'électrons). Du côté des particules, on utilise le terme de « charges électrostatiques » pour définir ces caractéristiques électriques. Les particules avec des charges opposées seront attirées entre elles et celles qui ont des charges similaires seront repoussées. La force d'attraction ou de répulsion en deux particules électrostatiquement chargées est déterminée par la loi de coulomb[15]

« L'intensité de la force électrostatique entre deux charges électriques est proportionnelle au produit des deux charges et est inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges. »

Il est également important de rappeler que, dans tous les systèmes (ex. : air d'un local ou l'atmosphère), il y a nécessairement une conservation des charges (autant de particules positives que de particules négatives).

---

[14] Polarité (chimie). (2021, 15 mars). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Polarit%C3%A9_(chimie)&oldid=180903181

[15] Loi de Coulomb (électrostatique). (2021, 13 août). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_de_Coulomb_(%C3%A9lectrostatique)&oldid=185454502

Tous les chercheurs qui étudient les caractéristiques de l'air et des particules en suspension sont conscients de l'importance des charges électriques dans la dynamique des interactions entre particules et molécules. En effet, on sait que la distribution des charges électrostatiques sur les particules de différentes tailles constitue une composante fondamentale qui explique plusieurs propriétés physico-chimiques des particules (Johnson *et al*., 2020).

L'échange des charges entre particules en suspension dans l'air peut être induit par des équipements (ex. : ventilateurs), par l'exposition à des ions bipolaires, à des ions unipolaires et par les frottements (collisions) entre les particules dans l'air (Zhao *et al*., 2002; Johnson *et al*., 2020; Mallios *et al*., 2021). La compréhension des phénomènes d'échanges de charges entre les particules de l'air est encore partielle, mais on semble comprendre que les plus grosses particules vont acquérir des charges positives et les plus petites les charges négatives (Mallios *et al*., 2021).

2.4 Aérosols, bioaérosols et particules (élevage porcin)

2.4.1 Nature des aérosols et bioaérosols

L'objectif de cette section est de décrire les principales caractéristiques des particules en suspension retrouvées dans les bâtiments porcins similaires à ceux retrouvés au Québec. Essentiellement des bâtiments fermés avec des porcs nourris avec des rations alimentaires sèches constituées de céréales (mais, soya, blé, orge). Ce concept est important, car les caractéristiques des aérosols d'une porcherie qui hébergent des animaux nourris avec de la soupe pourraient être fort différentes.

La poussière des sites de production porcine est essentiellement (70-90 %) constituée de particules organiques (Yang *et al*., 2015; Girard *et al*., 2019; Guingand *et al*., 2021). De plus, cette poussière organique serait principalement constituée de fragments de produits alimentaires (80-90 %) et d'excréments desséchés (2-8 %) (Lagadec et Landrain, 2014).

La présence de bioaérosols d'origine bactérienne a été démontrée dans les élevages de porcs du Québec par les travaux de l'équipe de Dr Caroline Duchaine de l'Institut de cardiologie et de pneumologie du Québec de l'Université Laval (Girard *et a*l., 2019; Pilote, 2020; Vyskocil, 2021). Les bioaérosols d'origine bactérienne proviendraient principalement des lisiers et des animaux. Les travaux réalisés par Pilote (2020) ont montré que l'on retrouve des endotoxines, des bactéries et des gènes de résistance aux antibiotiques dans les particules en suspension collectées dans les bâtiments (n = 10) porcins du Québec (Pilote, 2020).

Il y a eu quelques tentatives québécoises pour trouver le virus du SRRP dans les aérosols collectés à la station de Deschambault, mais ces tentatives ont été infructueuses (aucune publication).

2.4.2 Diamètre aérodynamique des particules en élevages

Il y a peu d'information sur l'étendue du diamètre aérodynamique des particules dans les élevages porcins (minimum et maximum). Toutefois, on sait qu'il y a plus de grosses particules (> 10 µm) dans les élevages porcins que celles retrouvées à l'extérieur des bâtiments. Les travaux réalisés par l'équipe américaine du département de l'Agriculture de l'université de l'Illinois à Urbana suggèrent que les plus grosses particules en suspension dans les élevages de porcs peuvent

atteindre 200 µm (Yang *et al.*, 2015). Cette estimation de valeur maximale est supérieure aux valeurs maximales rapportées en zone urbaine (≈ 40 µm)[16] (Tian *et al.*, 2017).

2.4.3 Concentration des particules (masse et nombre)

La masse totale des particules collectées dans les élevages porcins peut atteindre des valeurs qui varient entre 160 et 3400 µg/m^3 (Girard *et al.*, 2019; Guingand *et al.*, 2021). Les valeurs maximales de 3400 µg/m^3 ont été obtenues par gravimétrie, mais des valeurs beaucoup plus élevées (9600 µg/m^3) ont été obtenues dans les mêmes élevages par un lecteur optique (DustTrakTM RXAerosol Monitor) (Girard *et al.*, 2019). Cette divergence de résultats montre les difficultés techniques associées à l'estimation de la concentration de masse des particules. La grande quantité de poussière organique dans les locaux des porcins est un concept plus ou moins important en regard du SRRP sauf que la grande quantité de poussière dans les élevages bloque les lecteurs optiques de particules (Lagadec et Landrain, 2015). De plus, cette grande quantité de poussière augmente probablement les difficultés techniques pour trouver le virus du SRRP sur les particules.

Le nombre de particules par mètre cube d'air a été estimé dans différents élevages porcins en France (Guingand *et al.*, 2021) et aux États-Unis (Rosentrater, 2003). Les différents travaux montrent que le nombre de particules par mètre cube attendu dans les locaux qui hébergent des porcs varie entre 76 et 169 millions de particules par mètre cube. De plus, ces travaux montrent que la majorité des particules sont de petites tailles (inférieures à 5 et 2,5 µm) et, par conséquent, qu'elles peuvent atteindre les voies respiratoires inférieures (tableau 2).

Il est important de considérer que la plupart des estimations du nombre de particules dans l'air des porcheries ont été réalisées par des compteurs optiques qui lisent dans une gamme trop étroite pour comptabiliser les plus grosses particules et pour comptabiliser les nanoparticules (< 0,1 µm). Par exemple, le lecteur utilisé par l'équipe française (tableau 2) compte les particules dans la gamme de 0,25 – 32 µm (Grimm modèle 1.129).

2.4.4 Charges électrostatiques

Il est raisonnable penser que les particules dans les élevages porcins sont électriquement chargées (50 % positivement et 50 % négativement). Il n'existe aucune information sur ces propriétés fondamentales des particules des locaux d'élevage. Toutefois, on sait que les particules en suspension dans les élevages de porcs peuvent échanger leurs charges électriques, car les équipements d'ionisation de l'air commerciaux (ex. : EPIair^{MC})[17] permettent d'ioniser les particules de poussières et ainsi accélérer la vitesse de leur sédimentation. Ce genre de système d'ionisation de l'air permet de réduire les poussières en suspension de 50 % et de réduire les odeurs de 30 %. Ce système permet également de réduire le nombre de particules virales (SRRP, DEP et Influenza) dans l'air (Alonso *et al.*, 2016).

[16] Particules en suspension. (2021, 25 avril). *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Particules_en_suspension&oldid=182293499

[17] https://epiair.com/

2.5 Les systèmes de collectes de particules aérosols (bioaérosols)

La majorité des systèmes de collectes de bioaérosols sont basés sur les technologies développées pour la collecte des aérosols. On présume qu'une grande proportion de virus libérés dans l'air lors de la respiration des individus malades va s'agréger avec d'autres particules et va ainsi former des particules de plus grosses tailles porteuses de virus (Verreault *et al*., 2008; Jayaweera *et al*., 2020; Wang *et al*., 2021). Bref, le défi est de trouver la bonne méthodologie pour collecter les particules en suspension qui sont porteuses de virus.

Les systèmes de collectes d'aérosols (bioaérosols) peuvent être classifiés en deux catégories soit les collecteurs d'aérosols passifs et les collecteurs d'aérosols actifs, c'est-à-dire les systèmes qui sont basés sur l'utilisation de pompes qui permettent de mesurer le volume d'air échantillonné (Haig *et al*., 2016; Lindsley *et al*., 2017; Mainelis, 2020). De façon générale, la plupart des chercheurs préfèrent les méthodologies actives, car elles permettent d'estimer la concentration des pathogènes dans l'air (Haig *et al*., 2016).

2.5.1 Collecteurs d'aérosols (bioaérosols) actifs

Les méthodes actives les plus communément utilisées pour récolter les aérosols (bioaérosols) sont basées sur la filtration et l'impaction sur une plaque de sédimentation (ex. : impacteur en cascade Andersen), dans une gélose ou dans un liquide (ex. : impinger, cyclonic) (Verreault *et al.*, 2008; Mainelis, 2020; Raynor *et al*., 2021). Les méthodes basées sur l'impaction sont souvent décrites comme les méthodes « aérodynamiques », car elles fonctionnent sur le principe des flux d'air (particule) rapide. Ces méthodes sont souvent jugées les plus intéressantes, car l'efficacité de la collecte a un point de coupure franc. C'est-à-dire qu'elles sont très efficaces (souvent > 95 %) pour collecter l'ensemble des particules qui ont un diamètre supérieur au point de coupure « d_{50} » et qu'elles sont totalement inefficaces pour les particules d'un diamètre inférieur au point de coupure. Bref, ce sont les techniques de choix et ces techniques devraient être privilégiées lorsqu'on sait que la majorité des bioaérosols recherchée (virus bactéries) sont sur des particules de taille supérieure à la d_{50} de la méthodologie retenue (Lindsley *et al*., 2017) . Les techniques sur filtres n'ont pas nécessairement de valeur « d_{50} » aussi tranchée que les techniques basées sur l'impaction. Ces méthodes récupèrent une partie des particules de toutes les tailles. Par conséquent, les techniques de collecte sur filtres sont souvent priorisées lorsqu'on ne connaît pas la gamme de distribution de la taille des particules qui transportent le bioaérosol ciblé.

Toutes les techniques de collecte de collecte de particules basées sur la filtration et l'impaction exigent de connaître la gamme de distribution des tailles de particules qui sont les plus susceptibles d'être porteuses de la bactérie ou du virus d'intérêt pour pouvoir optimiser les techniques de collecte de particules. Le concept est facile à comprendre, mais la mise en œuvre sur le terrain est complexe, car il y a beaucoup de facteurs qui peuvent changer avec les différents environnements (ex. : laboratoire versus élevage) et les méthodes de collecte de particules. La récente revue de Mainelis (2020) exprime très bien les défis des techniques d'échantillonnage et de caractérisation des bioaérosols soit :

1. Les résultats obtenus par différentes techniques sont souvent non-comparables et non-reproductibles;
2. Le choix du type de collecteur de particule d'air est souvent implicitement associé à une technique d'analyse et un environnement de travail et vice et versa;
3. Avec quelques exceptions, la concentration en bioaérosols est relativement faible et elle n'est pas détectée par plusieurs techniques basées sur des temps d'échantillonnage trop

courts et des volumes d'air trop petits pour être en mesure de confirmer la présence des bioaérosols. Bref, il peut y avoir beaucoup de « faux négatifs ».

Ces techniques problématiques sont sans conséquence tant que l'objectif de travail de recherche est de montrer et documenter l'existence d'un processus dans un environnement de laboratoire (ex. : présence d'un virus sur une particule). Ces problèmes méthodologiques deviennent problématiques lorsqu'on veut utiliser le concept de détection de la présence de virus dans les aérosols pour gérer des maladies en temps réel (ex. : le SRRP chez les porcins (Arruda *et al*., 2019); la COVID chez les humains (Jayaweera *et al*., 2020)).

2.5.2 Collecteurs d'aérosols (bioaérosols) passifs

L'échantillonnage passif d'aérosols (bioaérosols) fait référence à la collecte des particules qui retombent naturellement par gravité sur un dispositif de collecte, tel qu'une plaque de culture (pétri), une plaque de sédimentation neutre ou une plaque de sédimentation chargée d'électricité statique (charges positives ou négatives). Par rapport à l'échantillonnage actif, l'échantillonnage passif des bioaérosols présente plusieurs avantages notamment la simplicité, le faible coût, l'absence de perturbation de l'air ambiant et la capacité de collecter pendant de longues périodes (Lindsley *et al*., 2017).

Les collecteurs de particules d'air passifs qui exploitent les propriétés électrostatiques doivent être catégorisés en deux groupes, soit ceux qui sont chargés négativement (ex. : tissus pour ramasser la poussière tels que le Swiffer®) et ceux qui sont chargés positivement (ex. : papier d'aluminium). Certains matériaux sont naturellement électrostatiquement chargés alors que d'autres matériaux sont fabriqués spécifiquement pour obtenir une charge positive ou négative. Ce type de matériaux est défini par le terme « électret » (voir le glossaire).

Plusieurs chercheurs ont utilisé des tissus ou d'autres matériaux chargés négativement pour collecter les particules dans les habitations et les lieux de travail (Lindsley *et al*., 2017). Ces techniques ont principalement été explorées pour la collecte de champignons et de bactéries et pas nécessairement pour les virus. D'autres parts, il est intéressant de constater que le concept d'utilisation de filtre électrostatiquement chargé est un processus bien documenté et utilisé de façon commerciale pour retirer les virus dans l'eau (Cashdollar et Wymer, 2013; Junter et Lebrun, 2017). Les techniques de collecte de particules d'air basées sur les principes de l'exploitation des propriétés électrostatiques n'ont jamais été explorées pour les virus porcins.

Le résultat des collecteurs de particules d'air passifs est souvent jugé plus difficile à interpréter, car on ne connaît pas le volume d'air échantillonné. Certains suggèrent d'utiliser les collecteurs passifs en parallèle avec les collecteurs actifs pour bonifier voire optimiser l'efficacité des collecteurs actifs (Haig *et al*., 2016). L'idée est intéressante, mais pas nécessairement aussi simple, car dans certaines conditions, les deux méthodes (passive et active) ne donnent pas nécessairement le même résultat et on ne peut certainement pas affirmer que le résultat des collecteurs actifs est meilleur que celui obtenu par des collecteurs passifs (Cox *et al*., 2017).

2.6 Cadre conceptuel pour trouver le SRRP sans les aérosols

Les techniques de tomographie électronique suggèrent que le virus du SRRP a une taille moyenne de 56 nm (Dokland, 2010). À titre comparatif, la taille du virus de l'influenza A serait de 80 – 120 nm (Jilani *et al*., 2021) et celle du virus responsable de la COVID-19 serait de 100 nm (Bar-On *et al*., 2020). Il est intéressant de constater que le virus du SRRP est un virus de plus petite taille que celui de l'influenza et celui de la COVID-19.

Une équipe de chercheurs américains a étudié la gamme de distribution de la taille des particules qui transportent le virus du SRRP, de l'influenza et celui de la diarrhée épidémique porcine (DEP) (Alonso *et al*., 2015). Ils ont utilisé un impacteur en cascade Andersen de 8 niveaux avec les valeurs de d_{50} suivantes (9,5, 7,4, 5,3, 4,0, 2,7, 1,6, 0,9, 0,5 µm). Pour identifier les particules porteuses de virus, ils ont échantillonné l'air d'un local qui hébergeait des porcelets infectés par les virus ciblés. Ils ont trouvé le virus influenza et celui de la DEP sur les particules des 8 niveaux, mais le virus du SRRP a été retrouvé seulement sur les particules des quatre niveaux supérieurs (> 3 µm). La majorité des virus du SRRP (7/13) se trouvaient sur les plus grosses particules évaluées (9 -10 µm). Il faut souligner que l'équipe de recherche a recensé le virus du SRRP sur seulement 10 % des échantillons de particules collectées sur les quatre plages supérieures (13/136), un taux de récolte totalement en deçà des attentes pour un virus qui est reconnu pour sa grande transmissibilité par aérosols.

3 Matériel et méthodes

3.1 Dispositif expérimental

Les animaux et le local sélectionné pour identifier les principaux bassins du virus du SRRP étaient des animaux naturellement exposés à ce virus depuis au moins 14 jours après leur introduction (J0) dans un élevage de pouponnière géré en continu. Le projet décrit dans ce rapport a été réalisé avec les animaux d'un projet canadien qui vise à développer des outils génomiques pour améliorer la santé, la performance et la résilience aux maladies des porcs dirigées par PigGen Canada[18] (Projet PigGen Canada). Un sommaire de certains résultats de ce projet est accessible en ligne (Dekkers *et al*., 2021).

3.2 Le modèle d'infection naturelle des porcs

Les porcelets étaient hébergés dans 4 parcs du bloc B et 4 parcs du bloc D (figure 2). Le bloc C a été isolé des autres blocs pour recevoir un nouveau lot de porcelets toutes les trois semaines. Les porcelets séjournaient dans le bloc C pour une durée de 3 semaines (7 - 15 kg). Ils étaient ensuite déménagés dans une des rangées des blocs B et D et placés en face des porcelets âgés de trois semaines de plus. Ils séjournaient dans les parcs des blocs B et D durant une période de 28 jours (J0 – J28, 15 – 25 kg). Les porcs du local de pouponnière étaient déménagés dans le local d'engraissement au jour 28.

[18] https://piggencanada.org/

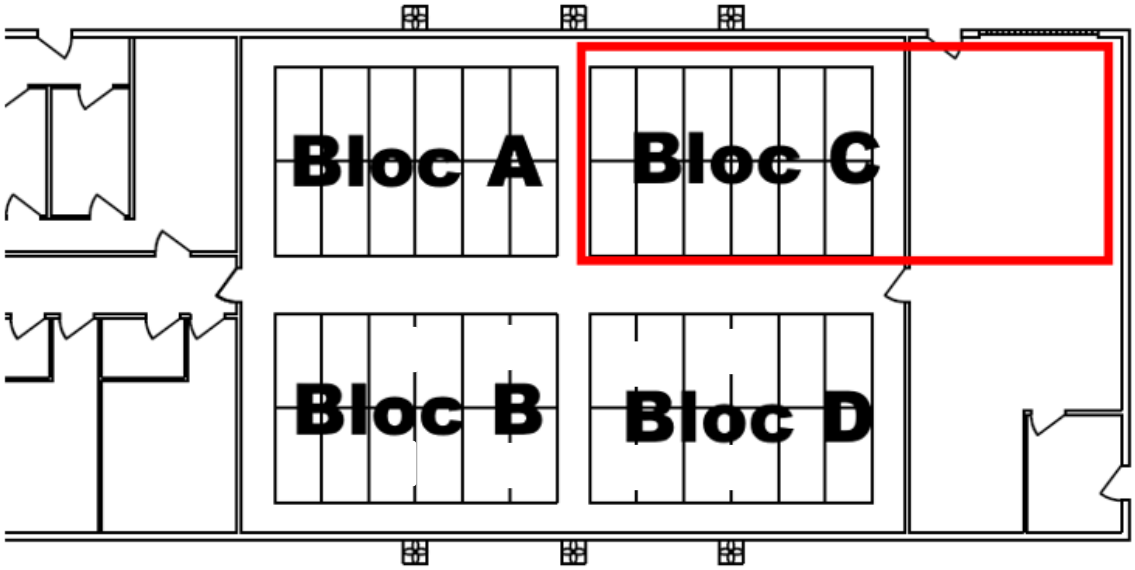


Figure 2 Illustrations des quatre blocs de parcs du local de la pouponnière de la station de recherche du CDPQ à Deschambault. La section « C » est isolée des autres sections.

Ce dispositif permettait l'exposition et l'infection des porcelets durant leurs séjours de 28 jours dans la pouponnière. Les 60 porcelets qui arrivaient dans le Bloc C aux trois semaines provenaient d'élevage exempt du virus du SRRP et de la bactérie responsable de la pneumonie enzootique (*Mycoplasma hyopneumoniae*). Le statut sanitaire de chaque lot d'animaux était vérifié par des prises de sang le matin de leur transfert dans le local de la pouponnière (J0), ces animaux sains étaient alors exposés aux pathogènes présents dans ce local.

Le projet PigGen Canada a débuté en 2015 avec le lot numéro 1. Le présent projet a été réalisé avec les porcs des lots 67 à 78 (octobre 2019-mai 2020). Des tests sanguins réalisés systématiquement sur tous les lots de porcs du projet PigGen Canada confirment que les nouveaux arrivants ont été infectés par le virus du SRRP durant la première semaine de présence dans le local de la pouponnière (Bloc B et D) avec un pic épidémique à J14 (figure 3).

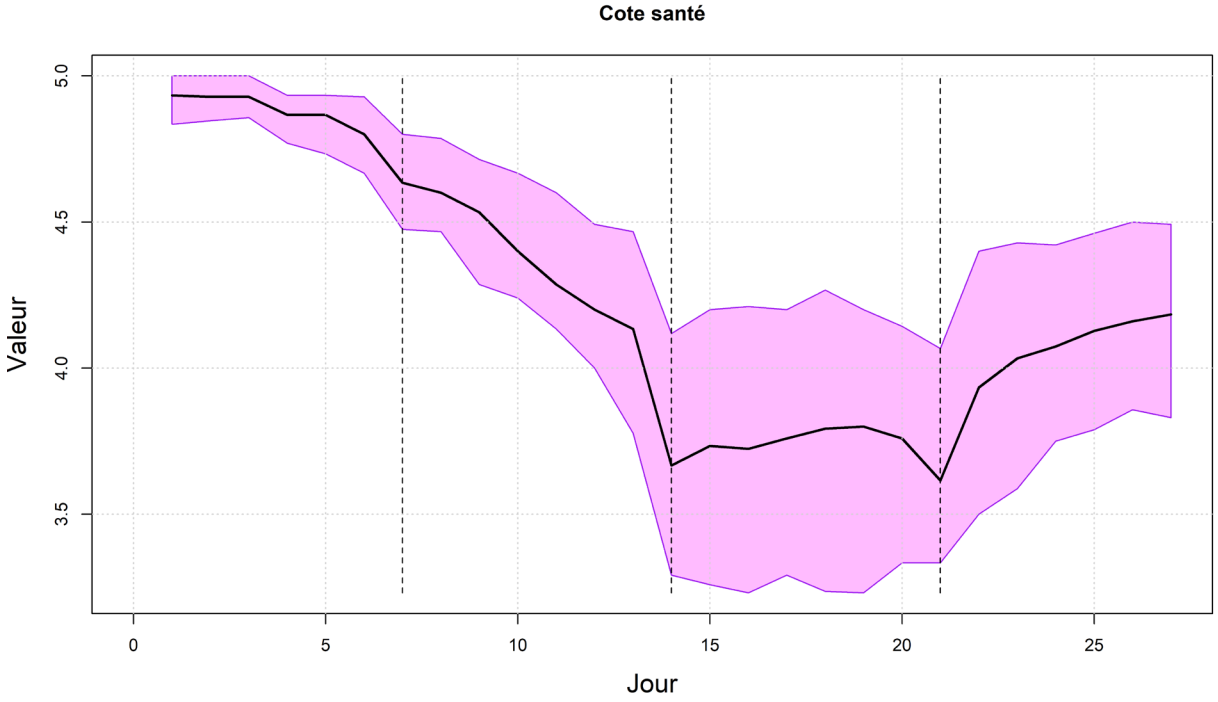


Figure 3 Distributions des cotes de santé moyennes par parc (30 lots, 114 parcs) entre durant le séjour des porcelets dans le local de la pouponnière (J0 – J28). Cote de santé : 5 - En parfaite santé; 4 - Signes cliniques légers sans dépérissement ou dépérissement légers; 3 - Signes cliniques légers à modérer avec ou sans dépérissement; 2 - Signes cliniques sévères sans dépérissement; 1 - Signes cliniques sévères avec dépérissement.

Le projet a été réalisé en deux phases :

- Phase exploratoire, 10 octobre 2019 au 28 janvier 2020 (16 visites à la station)
- Phase d'enquête, 4 février 2020 au 1 juin 2020. Six (6) visites à la station (3 lots x à J14 et J27 (04 février 2020, Lot 73, J14; 17 février 2020, Lot 73 J27; 25 février 2020, Lot 74 J14; 09 mars 2020, Lot 74 J27; 17 mars 2020, Lot 75 J14; Pause Covid; 01 juin 2020, Lot 78 J27

Durant la première phase, l'équipe du CDPQ à explorer, documenter et bonifier les méthodes de collecte de matériel biologique et à identifier les bassins de virus qui semblaient les plus prometteurs pour la phase deux. Trois activités ont été réalisées dans la phase exploratoire soit : 1- trouver l'expertise pour préparer une grille de classification des diptères (mouches) présents dans le bâtiment du CDPQ; 2- explorer différents outils de collectes des aérosols pour identifier celui qui serait le plus adéquat; 3- réaliser des tests préliminaires sur différents bassins potentiels pour identifier ceux qui seraient retenus pour une étude plus approfondie durant la phase deux du projet.

3.3 Phase exploratoire, volet mouche

L'équipe du CDPQ à engager une entomologiste (Mme Amélie Grégoire Taillefer, Ph. D. bio-éco environnement) et lui a donné trois mandats :

1. Faire la description des insectes retrouvés à la station de Deschambault
2. Partager son expertise pour l'installation de pièges à mouches
3. Préparer une grille d'identification et de classification des mouches (Annexe 2)

Le travail exploratoire a permis de montrer que les principaux diptères retrouvés à la station sont les mouches domestiques, les mouches des drains, les drosophiles et les phores.

***Muscidae (Musca domestica)*, mouche domestique**

Les mouches domestiques de la famille des Muscidae mesurent de 5 à 8 mm de long. Leur thorax est gris, avec quatre lignes noires longitudinales sur le dos. La face ventrale de l'abdomen est grise à orangé. Les côtés de l'abdomen ont souvent des taches orangées. Elles ont les yeux rouges.

***Psychodidae, (Clogmia albipunctata)*, mouche des drains.**

Les mouches des drains ou mouches papillon de la famille des *Psychodida*e sont de petits moucherons ressemblant à de petits papillons de nuit. La taille varie de 1 à 5 mm, le corps et les ailes sont couverts de soie ce qui leur donne un air poilu. Elles sont plutôt de couleur uniforme gris, brun et ivoire avec quelques points blancs et noirs. Au repos, les ailes sont couchées horizontalement sur le corps ou disposées en forme de toit. Les ailes sont pointues au bout. Elles ont un vol erratique, elle marche ou saute le plus souvent. Lorsqu'on les collecte, elles perdent facilement leurs soies.

***Drosophilidae, (Drosophila busckii et repleta),* drosophiles.**

Les mouches Drosophiles de la famille des *Drosophilidae* sont de petite mouche de 3 à 4 mm. Elles sont de couleur brun clair à jaune. Les antennes sont courtes et dotées d'extrémités plumeuses. La drosophile est facile à reconnaître grâce à ses yeux rouge vif. Les différentes espèces arborent des bandes jaunes et des bandes noires caractéristiques sur le thorax et l'abdomen. Il y a environ 180 espèces dans 18 genres en Amérique du Nord.

***Phoridae,* phores.**

Les phores sont des petites mouches noires, brunes ou jaunes dont la taille varie entre 1 et 7 mm. Elles ont les nervures des ailes caractéristiques : foncées et regroupées près du corps et très pâle sur le reste de l'aile. Elles sont difficilement identifiables à l'espèce. Elles regroupent 376 espèces connues dans 50 genres en Amérique du Nord. Les adultes ont tendance à courir de façon erratique sur les surfaces au lieu de voler.

3.4 Phase exploratoire, volet collecteur de particules

L'équipe du CDPQ à demander la collaboration de l'équipe de Caroline Duchaine pour proposer des collecteurs de particules qui permettraient de détecter le virus du SRRP chez les porcs de la station. L'équipe du CDPQ et Mme Valérie Létourneau ont choisi conjointement quatre outils de collecte de virus pour maximiser les chances de le détecter.

1. SKC_Cassette de 37 mm @ 2/L min, 240 min, ≈ 480 litres[19].
    a. Collecte de particule sur un filtre polycarbonate 0,8 µm.
    b. Principe : filtration; vitesse de l'air: 0,04 m/s.
    c. Ce type de filtre peu capter des particules de différentes tailles.
    d. Concept : faible vitesse (< 1 m/s) et petit volume (< 1000 L) avec un filtre hydrophobe.
2. SASS_3100 de 47 mm @ 320/L min, 30 min, ≈ 9600 litres.
    a. Collecte de particule sur un filtre electret.
    b. Principe : impaction; vitesse de l'air: 3,51 m/s.
    c. Filtre électret qui capture les particules de 0,3 à 0,5 µm à plus de 50 %[20].
    d. Concept : haute vitesse (> 1 m/s) et haut volume (> 1000 L) avec un filtre hydrophobe.
3. Coriolis µ @ 100/L min, 30 min, ≈ 3000 litres.
    a. Collecte de particule dans 15 ml MEM.
    b. Principe : impaction; vitesse de l'air: 4,38 m/s.
    c. Cet appareil a été conçu pour capturer les particules de 0,5 à 20 µm[21].
    d. Concept : haute vitesse (> 1 m/s) et haut volume (> 1000 L) sans filtre.
4. SKC-Biosampler @ 12,5/L min, 30 min, ≈ 375 litres.
    a. Collecte de particule dans 20 ml MEM.
    b. Principe : impaction; vitesse de l'air : 11,71 m/s.
    c. Cet appareil devrait capturer les particules de 0,3 à 8 µm[21].
    d. Concept : haute vitesse (> 1 m/s) et haut volume (> 1000 L) sans filtre.

Théoriquement, les quatre outils sélectionnés avaient les bonnes caractéristiques fonctionnelles pour collecter les particules qui transportent les virus du SRRP. En effet, tel qu'expliqué dans la section « Cadre conceptuel pour trouver le SRRP sans les aérosols » les travaux disponibles suggèrent que le virus du SRRP devrait se trouver sur des particules de plus de 9 µm (Alonso *et al*., 2015). De plus, ces quatre outils de collecte de particules sont connus et bien documentés (Lindsley *et al*., 2017).

L'équipe du CDPQ en collaboration avec le personnel de l'équipe de Caroline Duchaine a élaboré un plan d'échantillonnage des particules de l'air à trois endroits différents : 1- au-dessus d'un parc qui hébergeait des porcs en infectés par le virus du SRRP; près de l'extracteur d'air du local de la pouponnière; 3- à côté du nez d'un cochon virémique sous anesthésie générale. Toute l'équipe avait des attentes élevées, car tout le monde a travaillé très fort pour obtenir 34 prélèvements de particule. Tous les tests de laboratoire sont sortis « Négatifs ».

L'équipe du CDPQ a été confrontée à l'obstacle épistémologique présenté dans la section 2.1. L'équipe avait l'option de conclure que le virus était absent des particules d'air du local de la pouponnière ou de considérer que les outils utilisés n'ont pas collecté la bonne taille de particules

[19] Le diamètre des pores d'un filtre n'est pas un bon indicateur de sa performance. La performance de ce filtre pour des particules de différentes tailles n'est pas connue, mais on sait que ce type de filtre peut retenir des particules plus petites que le diamètre des pores.

[20] Guide pour l'usager (SASS3100) https://www.resrchintl.com/SASS_3100_air_sampler.html

[21] Lindsley, W. G., Green, B. J., Blachere, F. M., Martin, S. B., Jensen, P. A. et Schafer, M. P. (2020). Sampling and characterization of bioaerosols. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th Edition (p. 935). CDC.

ou qu'ils n'ont pas échantillonné suffisamment d'air pour être en mesure de retrouver les virus présents dans les particules collectées.

L'équipe du CDPQ a décidé de développer et d'implanter des outils d'échantillonnage de l'air différents en espérant obtenir des résultats plus intéressant et conforme à l'idée que le virus du SRRP est présent dans les aérosols de la station. Trois outils de collecte de particules ont été développés et déployés (XFAN avec un filtre MERV-11(XFAN|MERV-11); XFAN avec une gaze en coton (XFAN|Gaze) et collecte sur un papier d'aluminium (ALU); voir Annexe 3).

1. XFAN|MERV-11, 80 mm @ 74/L min, 60 min, ≈ 4440 litres.
    a. Collecte de particule sur un filtre en polyester MERV-11.
    b. Principe : filtration; vitesse de l'air : 0,25 m/s.
    c. Le filtre MERV-11 capture les particules de 1 - 10 µm à plus de 85 %[22].
    d. Concept faible vitesse (< 1 m/s) et grand volume (> 1000 l) avec un filtre hydrophobe.

2. XFAN|Gaze, 80 mm @ 96/L min, 60 min, ≈ 5760 litres.
    a. Collecte de particule sur une gaze en coton (4x4).
    b. Principe : filtration; vitesse de l'air : 0,32 m/s.
    c. La capacité de capture d'une gaze de coton est inconnue. Une gaze a des pores de 900 µm entre les fibres.
    d. Concept faible vitesse (< 1 m/s) et grand volume (> 1000 l) avec un filtre hydrophile.

3. Papier d'aluminium @ 0/L min, 60 min, ≈ 0 litre.
    a. Collecte de particule sur un papier d'aluminium de 4500 cm^2.
    b. Principe : sédimentation; vitesse de l'air : 0,00 m/s.
    c. Avec ce dispositif on capture les particules qui sédimentent naturellement.
    d. La vitesse de sédimentation dans un milieu sans courant d'air est : 0,03 mm/s, @ 1 µm; 0,76 mm/s, @ 5 µm; 30 cm/s, @ 100 µm[23].

On remarquera que les deux outils XFAN du CDPQ font des prélèvements de particules à faible vitesse (< 1 m/s) et grand volume (> 1000 L) comparativement aux quatre outils initiaux qui était soit : faible vitesse (< 1 m/s) et petit volume (< 1000 L) ou haute vitesse (> 1 m/s) et haut volume (> 1000 L). Ce rapport ne contient aucune argumentation pour expliquer la divergence des résultats obtenus avec les deux séries de collecteurs de particules d'air (quatre outils commerciaux versus les trois outils du CDPQ).

3.5 Phase exploratoire, volet identification des bassins les plus prometteurs

L'équipe du CDPQ a vérifié, validé, bonifié plusieurs processus de collecte des matières biologiques. Les différents bassins et techniques évalués durant la phase 1 du projet sont présentés au tableau 3.

[22] http://www.epa.gov/iaq/pdfs/residential_air_cleaners.pdf

[23] Wang, C. C., Prather, K. A., Sznitman, J., Jimenez, J. L., Lakdawala, S. S., Tufekci, Z. et Marr, L. C. (2021). Airborne transmission of respiratory viruses. Science, 373(6558), 1-12. https://doi.org/10.1126/science.abd9149

3.6 Bassins retenus pour la phase de vérification (3 lots x 2 temps J14 et J21)

Les différents basins et techniques retenus pour la phase deux du projet sont présentés à la figure 4. Il est important de souligner que les collectes d'aérosols étaient toujours effectuées par les trois outils en parallèle (voir la figure 5, XFAN|MERV-11; XFAN|GAZE; ALU).

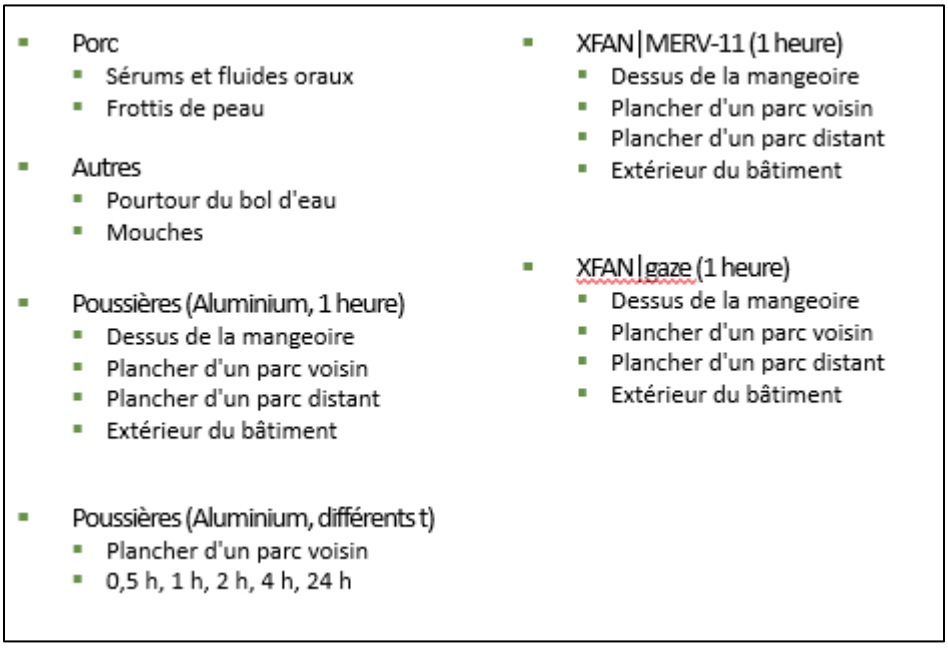


Figure 4 Bassins et techniques retenus pour vérifier la présence du virus du SRRP durant la phase deux du projet (3 lots x deux temps J14 et J21).

3.7 Prélèvements sur les porcs et dans l'environnement

Tous les prélèvements nécessaires à ce projet ont été réalisés à proximité des parcs qui hébergeaient les porcs entre le 14e et le 27e jour de présence dans le local de la pouponnière.

Les prélèvements de matériel biologique (sérums, fluides oraux frottis de peau, etc.) et de matériel environnemental (souris, mouches, poussières, aérosols, etc.) étaient habituellement collectés le matin et acheminés vers le laboratoire de diagnostic moléculaire de la faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal en moins de 24 heures. Les envois étaient envoyés dans une glacière avec un bloc réfrigérant par Purolator.

Les différentes techniques de prélèvement sont décrites au tableau 3.

Figure 5 Récolte des aérosols et poussières avec deux XFAN et une feuille d'aluminium dans un parc près des porcs

3.8 Préparation et gestion du matériel de prélèvement

Tout le matériel requis pour les prélèvements à la ferme a été préparé en avance dans les bureaux du CDPQ. Plusieurs mesures et stratégies ont été mise en place pour prévenir la contamination du matériel de prélèvement (figures 6 et 7)

Figure 6 Le matériel d'échantillonnage est préparé au bureau avant l'épreuve en ferme. Le matériel est identifié et chaque trousse contient des gants.

Figure 7 Les gazes et les filtres Merv 11 sont installés sur les collecteurs de particules XFAN à la ferme dans la salle des employés le matin de la journée de l'échantillonnage. Chaque collecteur de particule et chaque filtre est identifié par un numéro pour faciliter le suivi. La salubrité de chaque collecteur de particule était vérifiée avant l'épreuve (essuyage et test PCR).

La figure 7 montre les 8 collecteurs de particules XFAN du CDPQ. Ce nombre d'outils permettait la collecte d'aérosols à quatre endroits différents en même temps. Pour chaque endroit de collecte l'équipe du CDPQ plaçait toujours deux XFAN et un papier d'aluminium.

3.9 Classification des mouches

Les mouches collectées dans les différents pièges ont été classifié par famille pour effectuer la recherche de virus du SRRP (figure 6). Les regroupements suivants ont été classifiés et testés :

1. *Muscidae* (avec abdomen brun)
2. *Muscidae* (sans abdomen brun)
3. Phoridae
4. Calliphoridae
5. Psychodidae
6. Multi-espèce (trois x)

Figure 8 Classification des mouches

3.10 Analyse en laboratoire

Les gazes et les tissus MERV-11 secs ont été laissés dans les sacs, puis un volume entre 3 à 5 ml de PBS a été ajouté. Pour les sacs dont les gazes étaient humides, le personnel du laboratoire n'ajoutait pas de PBS.

L'extraction de l'ARN a été effectuée sur un volume de 200 µl de liquide (sérum, fluides oraux ou PBS). L'ARN a été extrait par adsorption avec un Qiacube sur une colonne QiaAMP Mini Spin Colunm selon le protocole (PON-MOL-106)[24]. L'élution a été effectuée dans 100 µl de solution tampon AVE[25]. La détection du virus du SRRP a été effectuée selon le protocole (PON-MOL-029). 5 µL de solution contenant l'ARN ont été utilisés pour faire la RT-qPCR (PCR en temps réel Rotor-Gene; Qiagen). Les amorces et séquences de la sonde du test de détection du virus du SRRP (RT-qPCR) ne peuvent être divulguées, car ils sont la propriété du Laboratoire de diagnostic moléculaire de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal.

Il est à noter, qu'une équation log-linéaire pour quantifier la quantité de copies du génome du virus du SRRP par ml ou gramme d'échantillons a été établie en utilisant une courbe standard déterminée selon des normes commerciales (Tetracore). L'équation a été établie comme suit : $y = 10 (-0{,}307x + 10{,}390) \times 100$; y = nombre de copies du génome viral, x = valeur RT-qPCR Cq et 100 = le volume d'élution d'ARN en µL.

[24] Procédure opérationnelle normalisée (PON) du laboratoire de biologie moléculaire de la Faculté de médecine vétérinaire. Le laboratoire est accrédité par l'American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians [AAVLD].

[25] La solution tampon « AVE » est une solution vendue par la compagnie Quiagen

4 Résultats

4.1 Fluides corporels

La concentration du virus SRRP retrouvée dans les différents fluides corporels est présentée à la figure 9 et au tableau 3. On constate que les plus grandes concentrations de virus sont retrouvées dans le sérum et les fluides oraux.

	Valeurs CT										
Bassin (technique)	**35**	**32**	**29**	**26**	**23**	**20**	**17**	**14**	**11**	**PCR**	**n**
Sérum (jugulaire|POOL 5)				2	1	1	3	2		9	45
Fluides oraux (cordes)			1	2	1	3				7	7
Urine			2	1	1					4	4
Sang (écouv. BBL|POOL 4)					1					1	4
Frottis peau (gaze|PBS|POOL 5)	2		6	7						15	75
Fluides oraux (écouv. floqué|POOL 5)			1	1						2	10
Fèces (cartes FTA|POOL 5)	1	1	1							3	15
Sécrétion nasale (écouv. floqué|POOL 5)			1							1	5
Sécrétion nasale (gaze|PBS|POOL 5)		1								1	5
Total	**3**	**2**	**12**	**13**	**4**	**4**	**3**	**2**	**0**	**43**	**170**

Figure 9 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les différents fluides corporels.

4.2 Aérosols et poussières

La concentration du virus SRRP retrouvée dans les aérosols (poussières) collectés avec les trois outils sont présentés à la figure 10 et 11 et au tableau 3. On constate que les plus grandes concentrations de virus sont retrouvées dans le sérum et les fluides oraux, mais on en détecte aussi dans les poussières récupérées avec les deux collecteurs de particules (XFAN et ALU).

	Valeurs CT										
Bassin (technique)	**35**	**32**	**29**	**26**	**23**	**20**	**17**	**14**	**11**	**PCR**	**n**
Sérum (jugulaire|POOL 5)				2	1	1	3	2		9	45
Fluides oraux (cordes)			1	2	1	3				7	7
Aérosols|Poussières (XFAN|Gaze)	8	11	14	1						34	34
Poussières (aluminium|gaze|PBS)	11	12	28	18						69	69
Total	**19**	**23**	**43**	**23**	**2**	**4**	**3**	**2**	**0**	**119**	**155**

Figure 10 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières.

La figure 11 montre que la quantité de bioaérosols (poussières avec du virus) collectés augmente avec la durée de la collecte des aérosols qui sédimentent sur la feuille d'aluminium.

L'équipe du CDPQ est très fière de trouver du virus du SRRP dans la plupart les prélèvements d'aérosols obtenus avec les trois outils du CDPQ (XFAN|MERV-11; XFAN|GAZE; ALU). Ces outils sont très rudimentaires, mais ils permettent de donner un portait de la présence du virus du SRRP conforme avec l'idée que ce virus se transporte par les aérosols. De plus, il est intéressant de constater que la concentration du virus dans la poussière collectée augmente avec la durée de l'exposition (figure 11).

Différents temps (un outil)	Valeur CT					
Papier aluminium	**35**	**32**	**29**	**26**	**23**	**n**
Plancher d'un parc distant (0.5h)	1	4	1			6
Plancher d'un parc distant (1h)	3	3				6
Plancher d'un parc distant (2h)		1	5			6
Plancher d'un parc distant (4h)			5	1		6
Plancher d'un parc distant (24h)			1	3		4
Total	**4**	**8**	**12**	**4**	**0**	**28**

Figure 11 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières avec la durée de la collecte avec le papier d'aluminium.

4.3 Bâtiment, équipement, mouche et souris

La concentration du virus SRRP retrouvée sur les différents objets, les mouches et les souris sont présentées à la figure 12 et au tableau 3. On constate qu'on trouve globalement peu de virus du SRRP sur les objets, les mouches et les souris.

	Valeurs CT										
Bassin (technique)	**35**	**32**	**29**	**26**	**23**	**20**	**17**	**14**	**11**	**PCR**	**n**
Sérum (jugulaire|POOL 5)				2	1	1	3	2		9	45
Fluides oraux (cordes)			1	2	1	3				7	7
Équipement (bol d'eau|swiffer)	1	1	9	5						16	16
Mouches (piège|congelation)	3	4	2							9	9
Outils (Aiguille|POOL 5)			1							1	5
Outils (Lasso)	3	1								4	4
Bâtiment (lisier de dalot|tube)		1								1	1
Bâtiment (mur du parc|swiffer)		1								1	1
Bâtiment (ventilateur|swiffer)		1								1	1
Outils (Couvre soulier|POOL 5)		1								1	5
Équipement (mangeoire|swiffer)		1								1	1
Bâtiment (plancher parc|swiffer)	2									2	2
Outils (Gant|POOL 5)	1									1	5
Souris (pièges|congélation|POOL 5)	3									3	15
Total	**48**	**11**	**13**	**9**	**2**	**4**	**3**	**2**	**0**	**57**	**117**

Figure 12 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé sur les objets, les mouches et les souris.

4.4 Distribution spatiale de la concentration du virus du SRRP

La concentration du virus SRRP retrouvée à différents endroits du local de la pouponnière est présentée aux figures 13 et 14 et au tableau 3.

Différents endroits (intérieur)	Valeur CT					
Temps = 1 heure	35	32	29	26	23	n
Dessus de la mangeoire (< 2m)						
Papier aluminium			1	5		6
XFAN (Gaze)		1	4	1		6
XFAN (MERV-11)	1	1	4			6
Total	**1**	**2**	**9**	**6**	**0**	**18**
Plancher d'un parc voisin (<2 m)						
Papier aluminium			2	4		6
XFAN (Gaze)		1	5			6
XFAN (MERV-11)	1	2	3			6
Total	**1**	**3**	**10**	**4**	**0**	**18**
Plancher d'un parc distant (5-8 m)						
Papier aluminium	1	3	2			6
XFAN (Gaze)	1	4	1			6
XFAN (MERV-11)	3	3				6
Total	**5**	**10**	**3**	**0**	**0**	**18**

Figure 13 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières collectés à différents endroits dans le local de la pouponnière.

Intérieur du bâtiment (1-8 m)	Valeur CT					
Temps = 1 heure	35	32	29	26	23	n
Papier aluminium	1	3	5	9		18
XFAN (Gaze)	1	6	10	1		18
XFAN (MERV-11)	5	6	7			18
Total	**7**	**15**	**22**	**10**	**0**	**54**

Extérieur du bâtiment (> 12 m)	Valeur CT					
Temps = 1 heure	35	32	29	26	23	n
Papier aluminium	6					6
XFAN (Gaze)	6					6
XFAN (MERV-11)	3	3				6
Total	**15**	**3**	**0**	**0**	**0**	**18**

Figure 14 Concentrations de virus (valeur CT) trouvé dans les aérosols et les poussières collectés à l'intérieur et à l'extérieur de la pouponnière

On constate que la concentration de virus trouvée dans les aérosols diminue lorsqu'on s'éloigne des porcs contaminés. Cette observation suggère que plusieurs particules virales qui transportent le virus sont probablement assez grosses pour qu'elles se déposent rapidement près des porcs contaminés.

5 Discussion

Les résultats de la première phase suggéraient que les techniques de collecte d'aérosols avec les deux outils du CDPQ (XFAN et ALU) permettaient de détecter la présence du virus du SRRP. Les tests réalisés sur les mouches et les souris suggéraient que ce sont de piètres moyens de transport du virus. Finalement, la collecte de matériel biologique sur les divers équipements de ferme et les outils potentiellement contaminés n'ont pas permis de révéler la présence de grande quantité de virus.

Durant la deuxième phase du projet, l'équipe du CDPQ a mis l'accent sur la recherche de virus dans les particules de poussières collectées avec les deux techniques de collecte des aérosols développée par le CDPQ (XFAN + ALU). Les collecteurs d'aérosols ont été placés à différentes distances des porcs infectés et durant différentes durées (1 et 2 heures) pour six lots de porcs consécutifs. La présence du virus dans les aérosols de différentes parties du local a été vérifiée en plaçant les collecteurs d'aérosols au-dessus des mangeoires (< 2 m), sur le plancher d'un parc vide avoisinant (< 2 m), sur le plancher d'un parc distant (5-8 m) et à la sortie d'air à l'extérieur du bâtiment (> 12 m).

Le virus du SRRP a été retrouvé dans tous les échantillons de particules de poussières obtenus par la méthode de collecte sur un papier d'aluminium placé près des porcs contaminés (< 2 m) pour des durées d'une heure et plus. La collecte d'aérosols par les collecteurs de particules d'air mécaniques (XFAN) près des porcs contaminés (< 2 m) a également donné de bons résultats (> 70 % positifs). La probabilité de trouver le virus diminuait avec la distance de la collecte des aérosols par rapport au parc des animaux contaminés. En effet, seulement 16 % (3/18) des prélèvements des aérosols effectués à plus de 5 mètres de distance étaient positifs après une heure de collecte. Toutefois, la collecte d'aérosols pour une plus grande durée (2, 4 et 24 heures) aux mêmes localisations (> 5 m) a permis d'augmenter substantiellement la proportion d'échantillons positifs (100 % après 4 h). Finalement, la plupart des collectes effectuées à la sortie du bâtiment, durant 1 heure, étaient négatives ou suspectes (aucun positif). Il est important de souligner qu'il n'est pas possible de conclure à l'absence de virus à l'extérieur des bâtiments, car aucune collecte de plus longue durée (> 1 h) n'a été réalisée.

De plus, il faut souligner que les techniques de prélèvement des particules d'aérosols développées par l'équipe du CDPQ et utilisées dans ce projet (XFAN + ALU) sont des techniques novatrices qui permettaient de trouver le virus du SRRP sur tous les échantillons prélevés près des porcs contaminés conformément à l'idée qui suggère la grande transmissibilité de ce virus par les particules en suspension dans l'air.

Conclusion

- Le principal bassin du virus du SRRP se trouve dans les fluides corporels des porcins (sérums, fluides oraux, urine et peau).
- Les poussières et les aérosols contiennent des quantités de virus facilement quantifiable avec les techniques développées par l'équipe du CDPQ (papier d'aluminium et XFAN)
- Les outils, les équipements, les mouches et les souris contiennent peu de virus (CT > 30).
- Les techniques de prélèvement des particules d'aérosols développées par l'équipe du CDPQ et utilisées dans ce projet (XFAN + ALU) sont des techniques novatrices qui pourront s'appliquer à d'autres projets pour améliorer nos connaissances sur la dispersion aérosols de ce virus et ainsi mieux gérer la maladie.

Glossaire terminologique

Aérosol : Un aérosol est un ensemble de fines particules, solides ou liquides, d'une substance chimique ou d'un mélange de substances, en suspension dans un milieu gazeux.
Adapté de : https://fr.wiktionary.org/wiki/a%C3%A9rosol; https://fr.wikipedia.org/wiki/A%C3%A9rosol.

Bioaérosol : Les bioaérosols sont définis comme des particules aéroportées contenant des microorganismes vivants (virus, bactéries, moisissures et protozoaires) ou des substances ou produits provenant de ces organismes (ex. : toxines, microorganismes morts ou fragments de microorganismes).
Adapté de : https://www.irsst.qc.ca/bioaerosol/groupes-risques.aspx; https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioa%C3%A9rosol

Concentration massique : La concentration massique, concentration pondérale ou masse volumique partielle d'un soluté en solution, est le rapport (ou le quotient) de la masse de ce soluté au volume total de solution.
Adapté de : https://en.wikipedia.org/wiki/Mass_concentration_(chemistry);

Diamètre aérodynamique : Le diamètre aérodynamique est le diamètre d'une particule sphérique qui possède la même vitesse terminale de sédimentation qu'une autre particule, quelles que soient sa forme, sa taille et sa densité.
Adapté de : https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/how_do.html.

Électret : Un électret est un matériau diélectrique présentant un état de polarisation électrique quasi permanent. Dans un certain sens, c'est l'équivalent en électrostatique d'un aimant permanent. Le terme électret, mot-valise formé à partir de l'anglais « electricity » et « magnet ».
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectret

Épidémiologie : L'épidémiologie est une discipline scientifique qui étudie les ennuis de santé dans les populations humaines, leur fréquence, leur distribution dans le temps et dans l'espace, ainsi que les facteurs influant sur la santé et les maladies de populations.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89pid%C3%A9miologie

Granulométrique : La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments finis de matière naturelle ou fractionnée.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Granulom%C3%A9trie

Fraction massique : La fraction massique *w* est une grandeur utilisée en chimie et en métallurgie pour représenter la composition d'un mélange ou d'un alliage, en indiquant la proportion de chaque composant dans le mélange. La fraction massique *wi* du composant *i* est le rapport de la masse *mi* de ce composant à la masse totale *mtot* du mélange. Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fraction_massique.

Filtre HEPA : Un filtre HEPA est un filtre à air qui a une haute efficacité de rétention des particules de différentes tailles. HEPA est l'acronyme anglais pour « High-Efficiency Particulate Abosrbing filter » ou encore « High-Efficiency Particulate Arrestance filter »). La dénomination HEPA s'applique à tout dispositif capable de filtrer, en un passage, au moins plus de 99,95 % des particules de diamètre supérieur ou égal à 0,3 µm.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_HEPA;https://en.wikipedia.org/wiki/HEPA.

Masse volumique : La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume. *Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_volumique*.

Matières particulaires (PM) : Le terme matières particulaires (Particulate Matter en anglais) décrit toutes les ***particules*** solides ou liquides en ***suspension*** dans l'atmosphère. Les matières particulaires en suspension dans l'air peuvent être décrites selon leur distribution granulométrique (nombre par catégories de taille) et leur concentration massique (g / m^3).
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Particules_en_suspension.

Microparticule : Dans le domaine de la physique, une microparticule est une particule dont la taille est comprise entre 0,1 et 100 µm.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Microparticule

Nanoparticule : Une nanoparticule est selon la norme ISO TS/27687 un nano-objet dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire une particule dont le diamètre nominal est inférieur à 100 nm environ.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Nanoparticule

Particules en suspension : Les particules en suspension sont toutes les particules (solides ou en aérosols) portées par l'eau ou par l'air, quantifiables par filtration ou par d'autres procédés physiques. *Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Particules_en_suspension*.

Obstacle épistémiologique : L'obstacle épistémologique est un concept inventé par le philosophe Gaston Bachelard dans La Formation de l'esprit scientifique en 1938, désignant ce qui vient se placer entre le désir de connaître du scientifique et l'objet qu'il étudie. Cet obstacle l'induit en erreur quant à ce qu'il croit pouvoir savoir du phénomène en question. Il est pour Bachelard interne à l'acte de connaître puisque c'est l'esprit qui imagine des explications aux choses.
Adapté de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Obstacle_%C3%A9pist%C3%A9mologique

Références

Alonso, C., Raynor, P.C., Davies, P.R., Morrison, R.B. et M. Torremorell. 2016. Evaluation of an electrostatic particle ionization technology for decreasing airborne pathogens in pigs. Aerobiologia, 32(3) : 405-419.

Alonso, C., Raynor, P.C., Davies, P.R. et M. Torremorell. 2015. Concentration, Size Distribution, and Infectivity of Airborne Particles Carrying Swine Viruses. PLOS ONE, 10(8) : e0135675.

Arruda, A.G., Tousignant, S., Sanhueza, J., Vilalta, C., Poljak, Z., Torremorell, M., Alonso, C. et C.A. Corzo. 2019. Aerosol Detection and Transmission of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV): What Is the Evidence, and What Are the Knowledge Gaps? Viruses, 11(8) : 712.

Bar-On, Y.M., Flamholz, A., Phillips, R. et R. Milo. 2020. SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers. eLife, 9 : e57309.

Boorman, J., Dee, S., Moon, R., Rossow, K., Otake, S. et C. Pijoan. 2004. Spatial dispersal of PRRS virus contaminated flies following contact with experimentally infected pigs. Proceedings of the 18th IPVS Congress, Hamburg : 28.

Cashdollar, J.l. et L. Wymer. 2013. Methods for primary concentration of viruses from water samples: a review and meta-analysis of recent studies. Journal of Applied Microbiology, 115(1) : 1-11.

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST). 2021. Comment les matières particulaires passent-elles dans l'appareil respiratoire? : Fiches d'information Réponses SST. [En ligne]. https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/how_do.html

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

Cox, J., Indugula, R., Vesper, S., Zhu, Z., Jandarov, R. et T. Reponen. 2017. Comparison of indoor air sampling and dust collection methods for fungal exposure assessment using quantitative PCR. Environmental Science: Processes & Impacts, 19(10) : 1312-1319.

Dekkers, J., Cheng, J., Fortin, F., Dyck, M., Harding, J. et G. Plastow. 2021. Genetics and early predictors of disease resilience. National Hog Farmer. [En ligne]. https://www.nationalhogfarmer.com/agenda/genetics-and-early-predictors-disease-resilience

Dokland, T. 2010. The structural biology of PRRSV. Virus Research, 154(1-2) : 86-97.

Girard, M., Duchaine, C., Godbout, S., Lévesque, A., Létourneau, V. et S.P. Lemay. 2019. Réduire l'exposition des travailleurs aux gaz, odeurs, poussières et agents pathogènes humains présents dans les bâtiments porcins. [En ligne]. https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/101046/n/exposition-travailleurs-gaz-odeurs-poussieres-agents-pathogenes-humains-batiments-porcins

Guingand, N., Lagadec, S. et A.L. Boulestreau-Boulay. 2021. Qualité de l'air en élevage porcin, les particules en bâtiment d'élevage. [En ligne]. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/webinaire_particules_porcs_180621.pdf

Haig, C.W., Mackay, W.G., Walker, J.T. et C. Williams. 2016. Bioaerosol sampling: sampling mechanisms, bioefficiency and field studies. Journal of Hospital Infection, 93(3) : 242-255.

Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B. et J. Manatunge. 2020. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. Environmental Research, 188 : 109819.

Jilani, T.N., Jamil, R.T. et A.H. Siddiqui. 2021. H1N1 Influenza. Dans: StatPearls. StatPearls Publishing. [En ligne]. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513241/

Johnson, T.J., Nishida, R.T., Irwin, M., Symonds, J.P.R., Olfert, J.S. et A.M. Boies. 2020. Measuring the bipolar charge distribution of nanoparticles: Review of methodologies and development using the Aerodynamic Aerosol Classifier. Journal of Aerosol Science, 143 : 105526.

Junter, G.A. et L. Lebrun. 2017. Cellulose-based virus-retentive filters: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 16(3) : 455-489.

Klopfenstein, C., Coulombe, C. et M.C. Poulin. 2021. Chercher ce virus qu'on ne voit pas. Porc Québec, juin : 32-35.

Kwon, H.S., Ryu, M.H. et C. Carlsten. 2020. Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. Experimental & Molecular Medicine, 52(3) : 318-328.

Lagadec, S. et P. Landrain. 2015. Mesure des concentrations massiques en PM10 et PM2,5 par méthode optique dans des salles de post-sevrage. Journées de la Recherche Porcine, 47 : 183-184.

Lagadec, S. et P. Landrain. 2014. Les particules dans l'air en élevage de porcs. Synthèse chambre d'agriculture de Bretagne :7 p.

Lindsley, W.G., Green, B.J., Blachere, F.M., Martin, S.B., Jensen, P.A. et M.P. Schafer. 2017. Sampling and characterization of bioaerosols. Dans: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th Edition. CDC, NIOSH, 115 p.

Mainelis, G. 2020. Bioaerosol sampling: Classical approaches, advances, and perspectives. Aerosol Science and Technology, 54(5) : 496-519.

Mallios, S.A., Papangelis, G., Hloupis, G., Papaioannou, A., Daskalopoulou, V. et V. Amiridis. 2021. Modeling of Spherical Dust Particle Charging due to Ion Attachment. Frontiers in Earth Science, 9 : 709890.

Morin, M. et C. Klopfenstein. 2015. Contrôler le SRRP pour de meilleures performances financières. Porc Québec, décembre : 41-43.

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(3-4) : 198-208.

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

Otake, S., Dee, S.A., Moon, R.D., Rossow, K.D., Trincado, C., Farnham, M. et C. Pijoan. 2003a. Survival of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in houseflies. Canadian Journal of Veterinary Research, 67(3) : 198-203.

Otake, S., Dee, S.A., Rossow, K.D., Moon, R.D., Trincado, C. et C. Pijoan. 2003b. Transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by houseflies (Musca domestica). Veterinary Record, 152(3) : 73-76.

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

Pileri, E. et E. Mateu. 2016. Review on the transmission porcine reproductive and respiratory syndrome virus between pigs and farms and impact on vaccination. Veterinary Research, 47(1) : 108.

Pilote, J. 2020. Quantification des poussières, des pathogènes humains et des gènes de résistance dans les bâtiments porcins québécois. Mémoire. Québec : Université Laval. [En ligne]. https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/66282/1/34762.pdf

Pitkin, A., Deen, J., Otake, S., Moon, R. et S. Dee. 2009. Further assessment of houseflies (Musca domestica) as vectors for the mechanical transport and transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus under field conditions. Canadian Journal of Veterinary Research, 73(2) : 91-96.

Raynor, P.C., Adesina, A., Aboubakr, H.A., Yang, M., Torremorell, M. et S.M. Goyal. 2021. Comparison of samplers collecting airborne influenza viruses: 1. Primarily impingers and cyclones. PLOS ONE, 16(1) : e0244977.

Rochon, K., Baker, R.B., Almond, G.W. et D.W Watson. 2011. Assessment of Stomoxys calcitrans (Diptera: Muscidae) as a vector of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Journal of Medical Entomology, 48(4) : 876-883.

Rosentrater, K.A. 2003. Performance of an electrostatic dust collection system in swine facilities. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development, 5.

Tian, Z., Kaminski, U., Sauer, J., Maschowski, C., Stille, P., Cen, K., Gieré, R., Sommer, F., Dietze, V. et A. Baum. 2017. Coarse-Particle Passive-Sampler Measurements and Single-Particle Analysis by Transmitted Light Microscopy at Highly Frequented Motorways. Aerosol and Air Quality Research, 17(8) : 1939-1953.

Tsuda, A., Henry, F.S. et J.P. Butler. 2013. Particle transport and deposition: basic physics of particle kinetics. Comprehensive Physiology, 3(4) : 1437-1471.

Tummeleht, L., Jürison, M., Kurina, O., Kirik, H., Jeremejeva, J. et A. Viltrop. 2020. Diversity of Diptera Species in Estonian Pig Farms. Veterinary Sciences, 7(1) : 13.

Verreault, D., Moineau, S. et C. Duchaine. 2008. Methods for Sampling of Airborne Viruses. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 72(3) : 413-444.

Vyskocil, J. M. 2021. Bioaerosols in Swine Confinement Buildings: Nature, Fate, and Mitigation. Thèse. Québec : Université Laval. [En ligne]. https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/67952/1/36587.pdf

Wang, C.C., Prather, K.A., Sznitman, J., Jimenez, J.L., Lakdawala, S.S., Tufekci, Z. et L.C. Marr. 2021. Airborne transmission of respiratory viruses. Science, 373(6558) : 1-12.

Whyte, W., Green, G. et A. Albisu. 2007. Collection efficiency and design of microbial air samplers. Journal of Aerosol Science, 38(1) : 97-110.

Yang, X., Lee, J., Zhang, Y., Wang, X. et L. Yang. 2015. Concentration, size, and density of total suspended particulates at the air exhaust of concentrated animal feeding operations. Journal of the Air & Waste Management Association, 65(8) : 903-911.

Zhao, H., Castle, G.S.P. et I.I. Inculet. 2002. The measurement of bipolar charge in polydisperse powders using a vertical array of Faraday pail sensors. Journal of Electrostatics, 55(3-4) : 261-278.

Annexe 1. Tableaux du rapport

Tableau 1 Contribution relative des principaux gaz de l'air de l'air à l'ensemble des molécules, à la masse volumique (MV) (g/m³) et aux nombres de molécules gazeuses (MG) (mole/m³ et n/m³). La fraction molaire (FM) de chaque gaz est exprimée en partie par million (PPM), en pourcentage (%).

Composition de l'air à TPN[1] (HR = 0 % et VM = 22,41 l/mole)[2]					
Composante	**FM[3] (ppm)**	**FM[3] (%)**	**MV[4] (g/m³)**	**MG[4] (mole/m³)**	**MG[4] (n/m³)**
Azote (N_2)	780800	78,08	976	34,84	2,10E+25
Oxygène (O_2)	209500	20,95	299	9,35	5,63E+24
Autres (Argon, etc.)	9300	0,93	17	0,41	2,50E+23
Gaz carbonique (CO_2)	400	0,04	0,8	0,02	1,07E+22
Eau (H_20)[5]	0	0,00	0	0,00	0,00E+00
Total	**1000000**	**100,00**	**1292**	**44,62**	**2,69E+25**
Composition de l'air à TPA[6] (HR= 60 % et VM = 24,05 l/mole)[2]					
Composante	**FM[3] (ppm)**	**FM[3] (%)**	**MV[4] (g/m³)**	**MG[4] (mole/m³)**	**MG[4] (n/m³)**
Azote (N_2)	769986	77,00	962	32,01	1,93E+25
Oxygène (O_2)	206599	20,66	295	8,59	5,17E+24
Autres (Argon, etc.)	9171	0,92	16	0,38	2,30E+23
Gaz carbonique (CO_2)	394	0,04	0,8	0,02	9,87E+21
Eau (H_20)[5]	13849	1,38	11	0,58	3,47E+23
Total	**1000000**	**100,00**	**1286**	**41,57**	**2,50E+25**

[1] Conditions de température et de pression normalisées (TPN). Température de 273,15 K (0 °C); Pression de 100 kPa (760 mm de mercure).

[2] L'humidité relative de l'air HR), ou degré hygrométrique (φ). Le volume molaire a TPN et TPT est corrigé pour la température par l'équation des gaz parfaits (PV = nRT).

[3] La fraction molaire des principales composantes gazeuses de l'air (atmosphère), exprimé en partie par million (PPM), est bien documentée par différentes organisations de recherche. Les données retenues proviennent de la compilation de Wikipédia (https://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air#Composition).

[4] La masse volumique de l'air, exprimée en gramme par m³, et ke nombre de molécules gazeuses (MG) par mètre cube (mole/m³ et n/m³) sont estimés par la formule de la loi des gaz parfaits (PV = nRT). La masse volumique de l'air, exprimée en gramme par m³, est estimée par la fraction molaire en utilisant la loi des gaz parfaits (PV = nRT).

[5] La contribution de l'eau gazeuse à la masse volumique de l'air est estimée par la pression partielle de l'eau à une température donnée (relation de Claudius- Clapeyron) et par la loi des gaz parfaits (PV = nRT). La valeur de la pression partielle de l'eau utilisée dans le calcul provient de Wikipédia (https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vapour_pressure_of_water&oldid=1029344944).

[6] Conditions de température et pression ambiantes (TPA). Température de 293,15 K (20 °C); Pression de 100 kPa (760 mm de mercure).

Tableau 2 Nombre et taille des particules retrouvées en élevage porcin

Particules[1]	Concentration des particules dans l'air			
	Nombre (nb/litre)	% (totale)	Masse (µg/m3)	% (totale)
Grosses particules (10 – 32 µm)	126	0,1	607	47,6
Moyennes particules (2,5 – 10 µm)	3 650	3,8	625	49,0
Petites part. (0,25 – 2,5 um)	91 183	96,0	44	3,4
Totale (0,25 – 32 µm)[2]	94 959	100,0	1276	100,0
PM10 (≤ 10 µm)	94 833	99,9	669	52,4
PM2,5 (< 2.5 µm)	91 183	96,0	44	3,4

[1] Données proposées par: Guingand, N., Lagadec, S. et Boulestreau-Boulay, A.-L. (2021, 28 juin). Qualité de l'air en Élevage porcin, les particules en bâtiment d'élevage. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/webinaire_particules_porcs_180621.pdf

[2] Les limites inférieures et supérieures des tailles de particules totales en suspension varient avec les appareils. Les valeurs proposées proviennent des spécifications techniques du lecteur optique Grimm modèle 1.129 (minimum 0,25 µm, 250 nm et maximum 32 µm).

Tableau 3 Le virus du SRRP dans les fluides corporels des porcs et dans les aérosols (poussières) récoltées à proximité des porcs infectés.

Bassin	Positifs (%)	Suspects (%)	Négatifs (%)	Total
Porc				
Sérums et fluides oraux	30 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	30
Frottis de peau	30 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	30
Poussières (XFAN, 1 heure)				
Dessus de la mangeoire	9 (75%)	2 (17%)	1 (8%)	12
Plancher d'un parc voisin	8 (67%)	3 (25%)	1 (8%)	12
Plancher d'un parc distant	1 (8%)	7 (58%)	4 (33%)	12
Extérieur du bâtiment	0 (0%)	3 (25%)	9 (75%)	12
Poussières (Aluminium, 1 heure)				
Dessus de la mangeoire	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	6
Plancher d'un parc voisin	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	6
Plancher d'un parc distant	2 (33%)	3 (50%)	1 (17%)	6
Extérieur du bâtiment	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)	6
Autres				
Pourtour du bol d'eau	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	6
Mouches	2 (22%)	4 (44%)	3 (33%)	9
Total général	**100 (68%)**	**22 (15%)**	**25 (17%)**	**147**

Tableau 4 Liste des différents prélèvements effectués dans le cadre de ce projet (Bassins et méthodes).

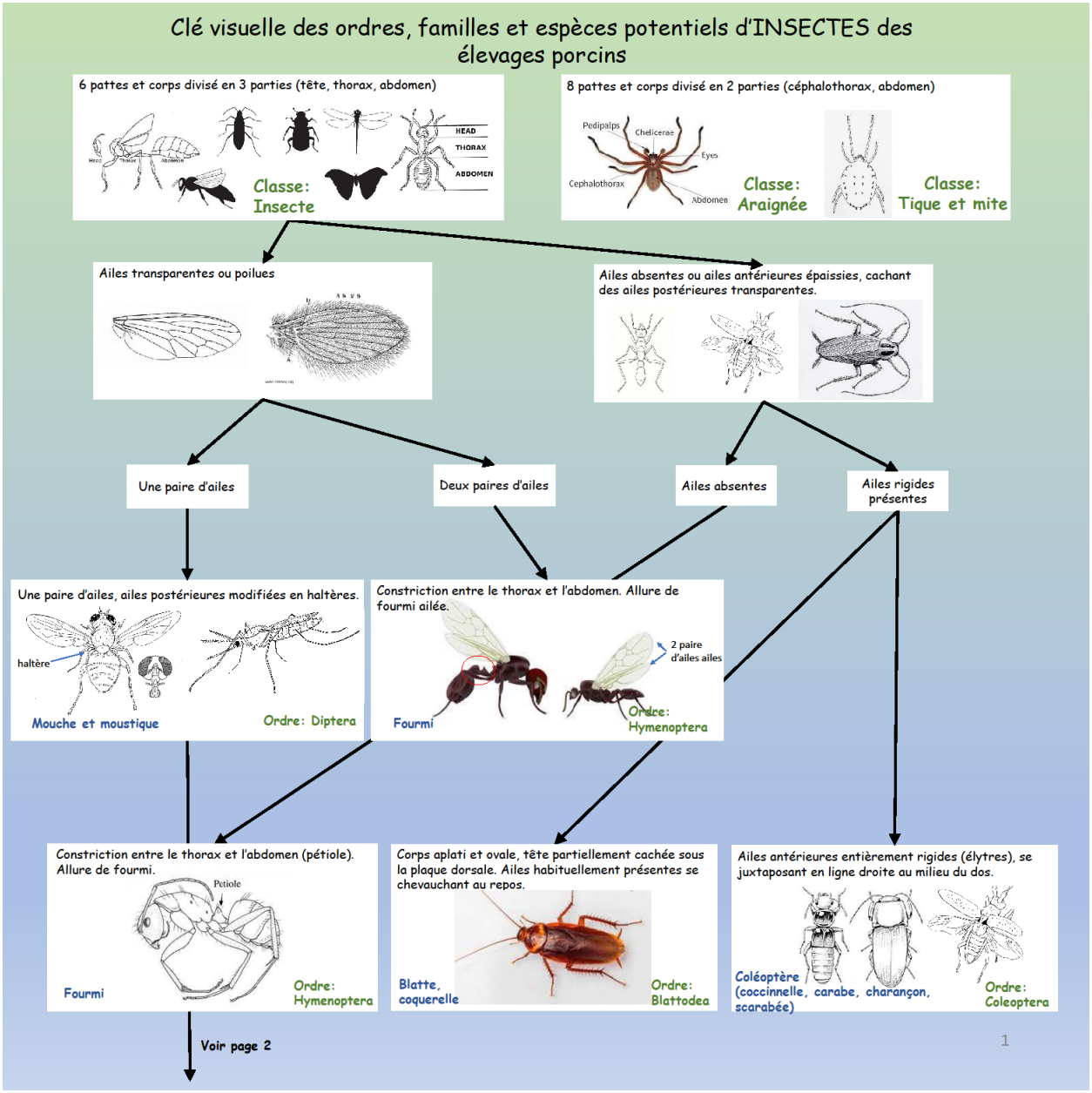
Bassins et méthodes	N	N	Total
Porc	**119**	**71**	**190**
Frotter le flanc des porcs avec une gaze (avec PBS)	34	35	69
Prise de sang dans la jugulaire	24	30	54
Frotter le flanc des porcs avec une gaze (sec)	15		15
Fèces collectées avec un écouvillon floqué (flocked swab) envoyé dans un tube de prélèvement	9		9
Fluides oraux collectés avec la technique de la corde 20 minutes	1	6	7
Fluides oraux collectés avec un écouvillon floqué (flocked swab) envoyé dans un tube de prélèvement	9		9
Sécrétions nasales collectées avec un écouvillon floqué (flocked swab) envoyé dans un tube de prélèvement	5		5
Prendre avec écouvillon BBL, une goutte de sang sur l'oreille	4		4
100 µl de fèces transférées sur les cartes FTA	4		4
100 µl de fluides oraux transférés sur les cartes FTA	4		4
100 µl de sang transférés sur les cartes FTA	4		4
Urine obtenue après euthanasie	3		3
Urine récoltée par pression manuelle	3		3
Aérosols (particules de poussières)	**77**	**95**	**172**
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (1 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	11	24	35
XFAN 80 mm, Gaze (60 min x 96 L/min. = 5760 L)	4	24	28
XFAN 80 mm, MERV-11 (60 min x 74 L/min. = 4440 L)	4	24	28
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (2 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	5	6	11
SKC-biosampler -humide (30 min x 12.5 L/min. = 375 L)	9		9
Coriolisus - Cyclonic - humide (30 min x 100 L/min. = 3000 L)	8		8
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (24 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	3	5	8
SASS_3100 - Sec (30 min x 300 L/min. = 9000 L)	8		8
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (0,5 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	1	6	7
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (4 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	1	6	7
Cassettes de 37 mm - sec (240 min x 2 L/min. = 480 L)	6		6
XFAN 80 mm, Gaze (120 min x 96 L/min. = 11520 L)	6		6
XFAN 80 mm, MERV-11 (120 min x 74 L/min. = 8880 L)	6		6
Cassettes de 37 mm - sec (30 min x 2 L/min. = 60 L)	3		3
Papier d'aluminium (4500 cm²), Exp. (48 h) Gaze 3x3 (avec PBS)	2		2

Bassins et méthodes	N	N	Total
Mouches		**10**	**10**
Mouches multi espèces envoyées congelées dans un tube. Piège Dynatrap 48:00. Multi-espèce		3	3
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Pour test de métagénomique		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Multi-espèce		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Psychodidae		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Muscidae (avec abdomen brun)		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Muscidae (sans abdomen brun)		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Phoridae		1	1
Mouches envoyées congelées dans un tube. Utiliser piège CO_2 et UV. Calliphoridae		1	1
Souris	**15**		**15**
Souris congelées	15		15
Outils	**22**		**22**
Aiguille envoyée dans un tube de prélèvement sans PBS	5		5
Gant utilisé pour manipuler les porcs	5		5
Couvres bottes utilisées durant la procédure puis envoyées dans un ziploc®	4		4
Divers outils propres	2		2
Frotter le lasso avec une gaze (avec PBS)	2		2
Couvres bottes utilisées durant la procédure	1		1
Gant non utilisé envoyé dans un ziploc®	1		1
Aiguille non utilisée envoyée dans un ziploc®	1		1
Couvre botte non utilisée envoyée dans un ziploc®	1		1
Bâtiment et équipement	**16**	**6**	**22**
Swiffer® au pourtour du bol d'eau	1	6	7
Swiffer® au bord du bol d'eau	3		3
Swiffer® autour du bol d'eau	3		3
Swiffer® dans le bol d'eau	3		3
Lisier collecté directement dans la fosse	1		1

Bassins et méthodes	N	N	Total
Swiffer® autour de la mangeoire	1		1
Swiffer® le mur des parcs	1		1
Swiffer® de l'urine et des fèces dans le parc	2		1
Swiffer® le XFAN	1		1
Contrôles négatifs (vérification absence de contamination)	**19**	**55**	**74**
Frotter le XFAN avec une gaze (avec PBS)	13	50	63
Contrôle après le nettoyage	2		2
Frotter le bac de récolte des mouches avec une gaze (avec PBS)		2	2
Cassettes de 37 mm - sec (0 x 0 L/min. = 0 L)	1		1
Coriolisus - Cyclonic - humide (0 x 0 L/min. = 0 L)	1		1
Papier d'aluminium (4500 cm2) (avec PBS)		1	1
SASS_3100 - sec (contrôle négatif)	1		1
SKC-biosampler -humide (contrôle négatif)	1		1
XFAN 80 mm, Gaze (contrôle négatif)		1	1
XFAN 80 mm, MERV-11 (contrôle négatif)		1	1
Total	**268**	**237**	**505**

Annexe 2 Clé visuelle pour identifier l'ordre, la famille et l'espèce potentielle d'insecte des élevages porcin.

Une contribution de Amélie Grégoire Taillefer, Ph.D. Bio-éco environnement.



Annexe 3 Brèves descriptions techniques de collecteurs de particules d'air

Cette annexe contient certaines informations techniques sur les modalités de fonctionnement des collecteurs de particules contenues dans l'air utilisé dans le cadre de ce projet.

Filtres, cassettes et pompes mécaniques

Plusieurs méthodologies de capture des particules de l'air sont basées sur un le principe de la filtration. Les filtres sont souvent installés dans un support de plastique décrit par le terme « cassette ». Il existe des cassettes de différentes tailles mais les plus commune sont celles de 37 mm et 47 mm de diamètres.

L'utilisation d'une cassette pour filtrer de l'air exige la disponibilité d'une pompe mécanique qui permettra s'aspirer l'air a travers le filtre contenu dans la cassette.

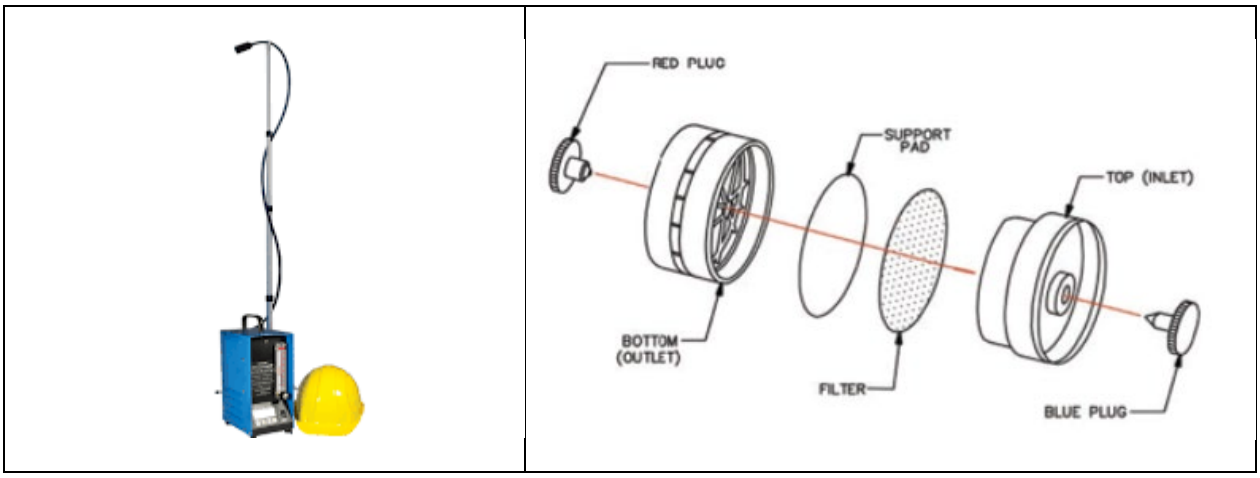


Figure 15 Illustrations du collecteur de particule inséré dans une cassette collectée à une pompe Aircon-2 (panneau de droite)[5] et une illustration de l'assemblage d'une cassette qui contient la membrane filtrante[26]. L'air circule du bouchon bleu vers le bouchon rouge.

[26] « Air Sampling Handbook ». Consulté le 22 septembre 2021 https://www.casellasolutions.com/content/dam/casella/ecommerce/documents/handbooks/air-sampling-handbook/AirSamplingSolutionsHandbook.pdf.

Technologie « SKC biosampler»

Avec sa conception spéciale et sa méthode de collecte de liquide tourbillonnant, le BioSampler® réduit le rebond des particules, minimise la réaérosolisation et préserve la viabilité des bioaérosols. Utilisez le BioSampler avec plusieurs liquides différents. SKC recommande l'huile minérale ViaTrap® pour une efficacité de collecte constante sur une période d'échantillonnage de huit heures. Le BioSampler fonctionne avec une pompe à débit sonique, telle que la BioLite+ Sample Pump. Utilisez BioSampler pour les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, le contrôle des infections, la recherche biologique et les enquêtes sur les maladies infectieuses et pour mesurer l'exposition sur le lieu de travail dans les usines de pâtes/papiers et les usines de traitement des eaux usées (traduction de la description de la technologie disponible sur le site web de la compagnie SKC)[27] .

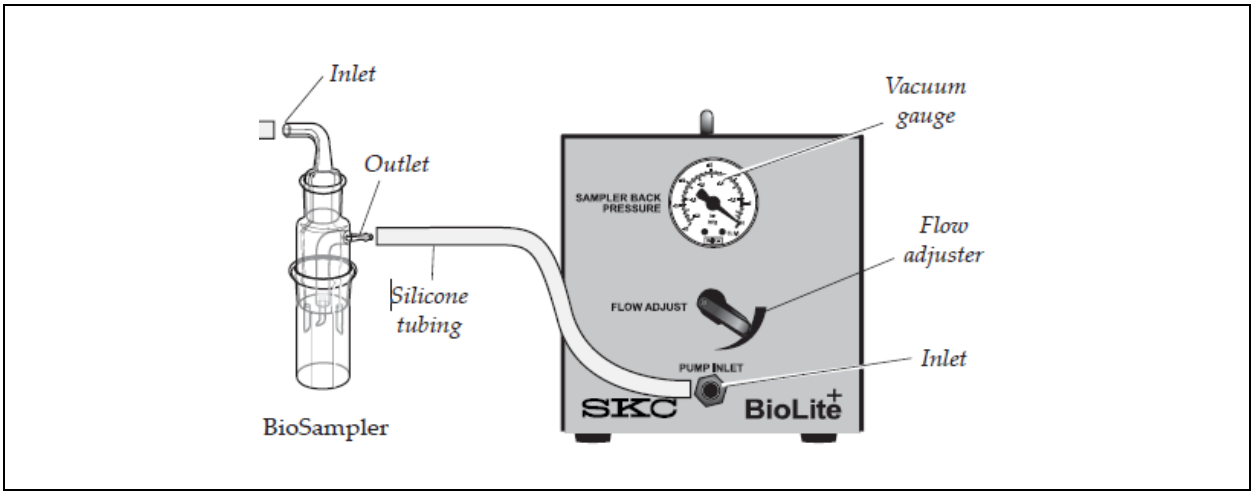


Figure 16 Illustration du collecteur de particule d'air « SKC Biosampler™ » avec la pompe BioLite™[28]

Ce système de collecteur de particule d'air est calibré pour obtenir un flux d'air de l'ordre de 12,5 L/minutes.

[27] « BioSampler | View Our BioSampler at SKC, Inc. ». Consulté le 21 septembre 2021. https://www.skcinc.com/categories/biosampler.

[28] « BioSampler Bioaerosol Collection Device 225 Series OI.pdf ». Consulté le 21 septembre 2021. https://www.skcinc.com/media/documents/KnowledgeCenter/Technical%20Information/Product%20Publications/Operating%20Instructions/BioSampler%20Bioaerosol%20Collection%20Device%20225%20Series%20OI.pdf.

Technologie « SASS 3100 Dry air Sampler »

Le système d'échantillonnage d'air sec SASS® 3100 est un collecteur de particule d'air portable compact, robuste et contrôlé par microprocesseur, conçu pour être utilisé avec un média filtrant électret, c'est-à-dire un matériau diélectrique présentant un état de polarisation électrique quasi permanent. Il est parfaitement adapté à la collecte d'aérosols biologiques et radioactifs. Lors de tests indépendants effectués par des tiers, il a surpassé tous ses concurrents en termes d'efficacité et d'adéquation de la collecte (traduction et adaptation de la description de la technologie disponible sur le site web de la compagnie Research International qui distribue le produit)[29].

Figure 17 Illustration du collecteur de particules d'air programmable (panneau de droite) de et du média filtrant électret, c'est-à-dire un matériau diélectrique présentant un état de polarisation électrique quasi permanent

Cette technologie permet de réaliser l'échantillonnage de l'air avec des flux qui varient entre 50 et 300 litres par minutes. La compagnie propose deux sortes de filtres électret : 1- filtre régulier; 2- filtre HEPA. Ce colleteur de particules d'air est programmable et, avec le filtre régulier, il permet la modulation du flux d'air entre 120 et 300 litres par minutes. Le filtre HEPA étant beaucoup plus restrictif, permets un flux d'air maximal de 49 litres par minutes. Avec le disque régulier, les particules d'un diamètre compris entre 0,3 et 0,5 µm sont capturées avec une efficacité de près de 50 %, tandis que les particules de 1,0 µm de diamètre ou plus sont capturées avec une efficacité de 80 % ou plus. Le disque HEPA permettrait la capture de 95 % des particules avec une taille supérieure 0,3 µm[30].

[29] « SASS 3100 Dry Air Sampler | Research International ». Consulté le 22 septembre 2021. https://www.resrchintl.com/SASS_3100_air_sampler.html.

[30] « Caractéristiques techniques de la technologie SASS 3100. ». Consulté le 23 septembre 2021. https://www.resrchintl.com/Data_Sheets/SASS3100-DS.pdf.

Technologie « Coriolis µ »

L'outil Coriolis µ est un collecteur de particule à cyclone humide Coriolis® (Bertin Technologies, Montigny-leBretonneux, France). Le Coriolis µ est un appareil avec un débit réglable entre 100 et 300 L/min. Les échantillons sont prélevés dans environ 15 ml de solution. Le Coriolis® a un D50 de 0,5 µm. Le fonctionnement est basé sur la formation d'un cyclone dans le récipient de collecte qui impacte les particules dans la solution tourbillonnante et la paroi du récipient.

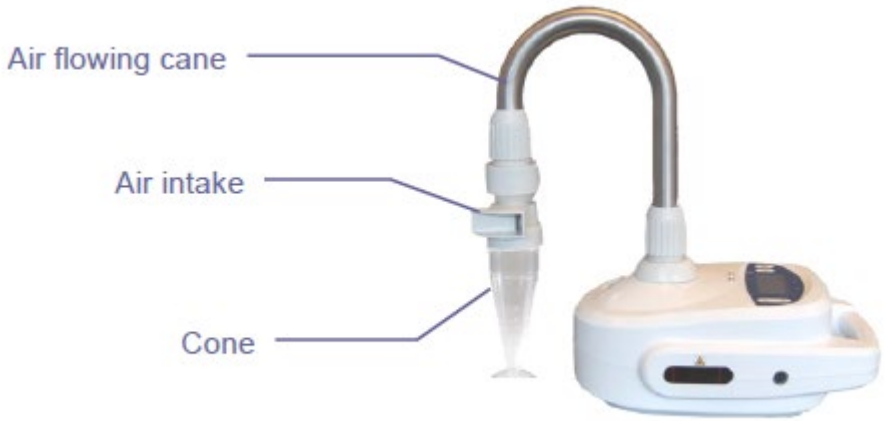


Figure 18 L'appareil Coriolis µ

Technologie XFAN (CDPQ)

La technologie du CDPQ est un simple assemblage d'un ventilateur destiné aux ordinateurs (XFAN modèle RAH8025B2) et d'un tuyau en plastique (ABS) fabriqué par notre ingénieur (Jean-Gabriel Turgeon) avec une imprimante 3D.

Cet appareil est rudimentaire mais, il a l'avantage d'avoir une ouverture de 80 mm et il est bon marché (≈ 20 $). Le flux d'air de cet appareil sera dépendant de la porosité de la membrane filtrante. Le flux d'air a été estimé à 74 et 96 L/minute pour respectivement le filtre MERV-11 et le filtre constitué d'une gaze en coton 4 x 4. La grande ouverture permet le maintien d'une faible vitesse de l'air (< 0,5 m/s) malgré le flux assez important (> 70 L/minute). Cette faible vitesse peut être considérée comme un problème ou un avantage dépendamment de notre conceptualisation des facteurs qui favorisent la collecte des particules porteuses du virus du SRRP.

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
@cdpqinc