

Exposition professionnelle aux agents d'infections nosocomiales en milieux de soins : mieux comprendre et contrôler la voie de propagation par aérosols

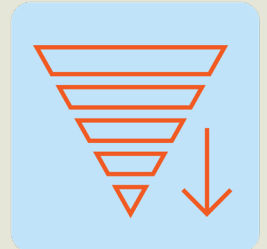
Rapport de recherche synthèse

Caroline Duchaine¹, Yves Longtin², Marc Veillette¹,
Adriana Larotta², Bianka Paquet Bolduc¹

Avec la collaboration de :

Nathan Dumont-Leblond¹, Samira Mubareka³, Lily
Yip³, Philippe Jovet⁴, Stéphane Godbout⁵,
Gary Kobinger⁶, Alisson McGeer⁷, Luc Bhérer⁸,
Karine Boissonneault⁹, Marie-Eve Dubuis¹,
Florent Rossi¹, Karl-Philippe Pelletier¹,
Annabelle Richer-Fortin¹, Jodelle Degois¹,
Nathalie Turgeon¹, Julie Jean¹⁰, Vincent Brochu¹,
Sandrine Chazelet¹¹, Philippe Duquenne¹¹

RS-1226-fr



¹ Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (IUCPQ), Université Laval, ² Hôpital général juif, Université McGill, ³ Sunnybrook Health Sciences Centre, Université de Toronto, ⁴ Centre hospitalier universitaire (CHU) Sainte-Justine, ⁵ Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), ⁶ Agence de la santé publique du Canada, ⁷ Hôpital Mont Sinai, ⁸ Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), ⁹ CHU de Québec-Université Laval, ¹⁰ Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation (FSAA), Université Laval, ¹¹ Institut national de recherche et de sécurité (INRS)



NOS RECHERCHES travaillent pour vous!

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Pour en savoir plus

Visitez notre dépôt institutionnel PhareSST! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

www.pharesst.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfolRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2026
ISBN 978-2-89797-337-7 (PDF)

<https://doi.org/10.70010/KIJZ2208>

Divulgarion de l'utilisation de
l'intelligence artificielle générative (IAG)



Aucune
IAG utilisée

© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail, 2026

Ce document est sous une licence Creative Commons.
[Attribution - Utilisation non commerciale - Pas d'œuvre dérivée 4.0 International](#). Cette licence autorise l'utilisation et le partage du document, à condition que l'IRSST soit cité en tant que source, que le contenu est diffusé sans modification et qu'il est utilisé à des fins non commerciales. Si vous souhaitez modifier son contenu ou l'utiliser à des fins commerciales, veuillez contacter : publications@irsst.qc.ca



IRSST — Service des communications et des relations publiques
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec) H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

Note au lectorat

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des autrices et auteurs. Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document n'ont pas fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information. Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle. Cette publication est disponible en version PDF sur le dépôt institutionnel de l'IRSST (PhareSST).

Cadre de référence pour la recherche en SST



Prévention des atteintes à l'intégrité physique et psychique



Réadaptation, retour et maintien au travail



Surveillance et prospection des données en SST



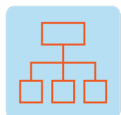
Identification des dangers, estimation et évaluation des risques



Élimination des dangers et maîtrise des risques



Métrologie appliquée à la SST



Organisation du travail



Santé mentale et psychologique



Population, société et SST

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour le financement essentiel apporté à ce projet, permettant la réalisation d'une recherche approfondie sur l'exposition professionnelle aux bioaérosols en contexte pandémique. Merci aux collaborateurs et aux nombreux coauteurs des travaux en lien avec ce projet. Nous remercions également les directions, le personnel, les intervenants et bien sûr les usagers des différents établissements de santé et de soins de longue durée ayant accueilli notre équipe de recherche avec ouverture et collaboration, malgré les défis opérationnels majeurs imposés par la pandémie de COVID-19. Leur disponibilité, leur professionnalisme et leur engagement ont été précieux et déterminants pour la réussite de ce projet. Enfin, nous saluons l'implication remarquable de tous les travailleurs de la santé, dont les efforts constants et le dévouement exceptionnel ont grandement facilité l'avancement de nos travaux dans un contexte sanitaire particulièrement difficile.

SOMMAIRE

Ce projet, mené dans le contexte de la pandémie de COVID-19, visait à mieux comprendre les risques liés à la présence de virus et de bactéries dans l'air des milieux de soins et à identifier les meilleures façons de protéger le personnel de la santé. Ce projet s'est articulé autour de trois grands volets de recherche complémentaires, menés en milieux réels et en laboratoire. Le **premier volet** visait à documenter la présence de virus comme le SARS-CoV-2 (responsable de la COVID-19), l'influenza ou le norovirus dans l'air d'hôpitaux et de centres de soins de longue durée. Des prélèvements dans les chambres de patients pendant des éclosions ont montré que, même si des systèmes de ventilation performants réduisent considérablement la quantité de virus dans l'air, des particules virales peuvent encore être détectées, parfois en quantité importante, surtout dans les chambres peu ventilées ou hébergeant des patients ayant des symptômes respiratoires. Ces résultats montrent que le personnel soignant peut être exposé à des virus présents dans l'air, malgré les mesures de confinement mises en place. Le **deuxième volet** s'est intéressé à un autre type de menace : les bactéries résistantes aux antibiotiques, plus précisément les entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC). L'air, les surfaces et les drains dans les chambres de patients hospitalisés ont été analysés. Une contamination importante des sols et de certaines surfaces a été constatée, ainsi qu'une possible dissémination dans les corridors. Ces résultats suggèrent que les travailleurs peuvent être exposés à ces bactéries même en dehors des contacts directs avec les patients, ce qui renforce l'importance des protocoles de nettoyage renforcés et d'une meilleure gestion de l'environnement hospitalier. Le **troisième volet** s'est déroulé en laboratoire pour tester l'efficacité de différentes mesures de protection. La capacité de l'ozone à désinfecter l'air contaminé par des virus et la performance de différents types de masques à réduire l'émission de particules virales ont été étudiées. Il a été observé que l'ozone peut être efficace dans certaines conditions, mais que son usage doit être bien contrôlé pour éviter des effets nocifs sur la santé. En ce qui concerne les masques, les résultats montrent que les modèles certifiés, comme les N95, offrent une bonne protection, mais seulement s'ils sont bien ajustés. Les masques artisanaux ou improvisés, quant à eux, filtrent souvent mal les particules. Ces données confirment que le choix et le port adéquat des équipements de protection sont essentiels pour la sécurité du personnel.

En somme, ce programme de recherche a permis de mieux comprendre les risques liés aux virus et aux bactéries dans l'air des milieux de soins, tout en testant concrètement des moyens de protection. Il en ressort que la ventilation, le nettoyage des surfaces, l'utilisation adéquate de masques et l'application de mesures de désinfection doivent faire partie intégrante des stratégies de prévention pour protéger le personnel soignant et réduire les risques d'exposition aux agents infectieux.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail.....	1
1.1.1 Infections nosocomiales transmises par aérosols.....	1
1.1.2 Les virus: des agents d'intérêt en milieu de soins.....	2
1.1.3 Entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC) : un casse-tête mondial.....	2
1.1.4 Traitement de l'air et réduction à la source	4
1.1.5 Originalité et pertinence du projet.....	4
1.2 Objectifs et hypothèses de recherche	5
1.2.1 Volet 1 : Mesure des virus aéroportés en milieux de soins et en milieu hospitalier	6
1.2.2 Volet 2 : Mesure des entérobactéries productrices de carbapénémases en milieu hospitalier.....	6
1.2.3 Volet 3 : Caractérisation in vitro de l'efficacité et la performance de mesures de mitigations comme le port du masque ou d'agents microbicides sur des microorganismes aéroportés	6
1.3 Arrimage entre les articles publiés et les objectifs de l'étude.....	7
2. RÉSUMÉS DES ARTICLES	10
2.1 Article 1: <i>Low incidence of airborne SARS-CoV-2 in acute care hospital rooms with optimized ventilation</i> (Dumont-Leblond et al., 2020)	10
2.2 Article 2 : <i>Positive no-touch surfaces and undetectable SARS-CoV-2 aerosols in long-term care facilities: An attempt to understand the contributing factors and the importance of timing in air sampling campaigns</i> (Dumont-Leblond et al., 2021).....	11
2.3 Article 3 : <i>The Omicron variant significantly increases viral load emissions in healthcare settings: implication for healthcare workers</i> (Rossi, Pelletier, Veillette, Paquet-Bolduc et Duchaine, 2025).....	12
2.4 Article 4 : <i>Characterization of the environment of patients colonized with carbapenemase-producing organisms: role of air and surfaces in the dissemination of key resistance genes</i> (Richer-Fortin et al., 2025).....	13
2.5 Article 5 : <i>Condensation sampler efficiency for the recovery and infectivity preservation of viral bioaerosols</i> (Degois, Dubuis, Turgeon, Veillette et Duchaine, 2021)	15
2.6 Article 6 : <i>Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models</i> (Dubuis et al., 2020).....	16

2.7	Article 7 : <i>Filtration efficiency of different protective masks against viral aerosols</i> (Brochu, Turgeon, Richer-Fortin, Veillette et Duchaine, 2025).....	17
2.8	Article 8 : <i>Total outward leakage reduction efficiency of different protective masks using model viruses</i> (Brochu, Chazelet, et al., 2025).....	18
3.	DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION.....	19
3.1	Volet 1 : Mesure des virus aéroportés en milieux de soins et en milieu hospitalier	19
3.2	Volet 2 : Mesure des entérobactéries productrices de carbapénémases en milieu hospitalier	20
3.3	Volet 3 : Caractérisation in vitro de l'efficacité et la performance de mesures de mitigations comme le port du masque ou d'agents microbicides sur des microorganismes aéroportés.....	21
3.4	Conclusion.....	21
	BIBLIOGRAPHIE	23

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Acronyme	Définition
ARN	Acide ribonucléique
ASPC	Agence de la santé publique du Canada
ASTM	American Society for Testing and Materials
CHSLD	Centre d'hébergement et de soins de longue durée
COVID-19	Maladie causée par le coronavirus SARS-CoV-2 (Coronavirus Disease, 2019)
EPC	Entérobactéries productrices de carbapénémases
EPI	Équipement de protection individuelle
HICPAC	Comité consultatif sur les pratiques de contrôle des infections en milieu de soins de santé (Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee)
HR	Humidité relative
HVAC	Chauffage, ventilation et climatisation (<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>)
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
IUCPQ	Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec
RT-qPCR	Réaction de polymérisation en chaîne avec transcription inverse et quantification en temps réel (<i>Reverse Transcription Quantitative Polymerase Chain Reaction</i>)
SARS-CoV-2	Syndrome respiratoire aigu sévère causé par un coronavirus de type 2 (<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>)
SST	Santé et sécurité du travail
µm	Micromètre (micron)

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail

Le contrôle des infections en milieu hospitalier représente un défi quotidien pour les travailleurs de la santé. Ceux-ci sont directement concernés, que ce soit en raison du risque d'infection auquel ils sont exposés ou de leur rôle potentiel en tant que vecteurs de transmission, encore mal compris. La propagation des maladies nosocomiales demeure difficile à maîtriser notamment parce que la transmission aérienne de certains agents pathogènes n'est pas encore clairement établie. Il est donc essentiel de développer des méthodes efficaces de traitement de l'air afin de compléter les équipements de protection individuelle et de mieux limiter la diffusion des agents infectieux en milieu hospitalier.

1.1.1 Infections nosocomiales transmises par aérosols

En 2023, le Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC) a entrepris une révision majeure de ses recommandations sur les précautions d'isolement, intégrant les données émergentes sur la transmission par aérosols (Siegel *et al.*, 2023). De son côté, l'Agence de la santé publique du Canada (ASPC) a actualisé ses recommandations dès janvier 2021 pour les milieux de soins actifs, reconnaissant que la transmission par aérosols pouvait se produire dans certains contextes spécifiques, notamment en milieu intérieur mal ventilé (ASPC, 2021). La transmission aéroportée est aujourd'hui bien documentée pour un nombre limité d'agents pathogènes et encadrée par des mesures strictes. Alors qu'il était historiquement réservé à des maladies comme la tuberculose, la rougeole, la varicelle et le zona disséminé, l'isolement de type « aérosols » est désormais aussi appliqué aux infections par le virus Influenza et le SARS-CoV-2, sur la base de preuves scientifiques croissantes (Klompas *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2020). Sur le plan économique, les infections nosocomiales ont un effet majeur sur les systèmes de santé. Elles peuvent doubler les coûts d'hospitalisation, allonger la durée moyenne des séjours d'environ deux semaines, et générer des coûts indirects considérables liés à l'absentéisme du personnel (Chen *et al.*, 2009; Raoofi *et al.*, 2023). Ces effets aggravent la pression sur les établissements de soins, particulièrement en contexte de pénurie de main-d'œuvre.

Sur le plan scientifique, la transmission aéroportée repose sur trois conditions essentielles : (A) l'émission d'aérosols contenant des agents pathogènes, (B) la capacité de ces agents à rester viables dans l'environnement, et (C) l'accessibilité d'un hôte réceptif (Jones & Brosseau, 2015). Toutefois, les preuves directes de cette transmission sont souvent limitées et reposent principalement sur des modèles expérimentaux ou épidémiologiques, ce qui complexifie l'évaluation du risque réel (Marks *et al.*, 2000; Marks *et al.*, 2003; Yu *et al.*, 2004). Dans le cadre de ce projet, le terme « transmission » désigne non seulement l'infection d'un individu via l'air, mais également le rôle de l'air dans la dispersion des agents pathogènes dans l'environnement, et leur dépôt sur les surfaces, augmentant ainsi le risque d'exposition indirecte par contact avec ces contaminants environnementaux.

1.1.2 Les virus: des agents d'intérêt en milieu de soins

Selon les données du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, plus de 325 000 travailleurs salariés œuvrent au sein du réseau de la santé, dont plus de 250 000 dispensent des soins directs aux usagers (MSSS, 2024). Cette population constitue un groupe particulièrement à risque en ce qui concerne l'exposition aux infections virales, largement répandues dans les milieux de soins. Le risque devient encore plus préoccupant lors des épisodes d'épidémies virales saisonnières ou d'éclosions dans les établissements, situations où plusieurs cas surviennent simultanément dans un environnement clos, complexifiant considérablement le contrôle des infections. Historiquement, les virus tels que le norovirus (responsable de gastroentérites) et l'influenza (grippe saisonnière) représentaient les principales menaces infectieuses dans les milieux de soins.

Toutefois, la pandémie de COVID-19, causée par le SARS-CoV-2, a profondément modifié le paysage de la prévention des infections. Contrairement à l'influenza, dont la transmission est majoritairement par gouttelettes, le SARS-CoV-2 peut se transmettre par aérosols, qui persistent dans l'air pendant plusieurs heures et peuvent voyager sur de longues distances, augmentant ainsi significativement le risque d'exposition pour le personnel soignant, même en dehors d'un contact direct (Klompas *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2020). Cette réalité s'est traduite par une augmentation marquée de l'absentéisme chez les travailleurs de la santé. Selon une étude de Schanzer et collaborateurs, les taux d'absentéisme peuvent atteindre 10,5 % lors d'une épidémie saisonnière d'influenza (Schanzer *et al.*, 2011). Or, durant la pandémie de COVID-19, ces taux ont été nettement plus élevés, atteignant jusqu'à 10 000 absences par jour au Québec lors des pics de contamination, exacerbant les tensions sur un système de santé déjà fragilisé (Alami *et al.*, 2021). En réponse à ces défis, les protocoles de prévention et d'isolement ont été progressivement renforcés. Des mesures telles que le port systématique de masques N95, l'amélioration de la ventilation dans les zones de soins, et l'ajustement des périodes d'exclusion du travail en fonction de la gravité des symptômes et du niveau de transmission communautaire ont été intégrées, conformément aux avancées scientifiques. Ces ajustements visent à mieux protéger le personnel soignant et à maintenir la continuité des soins, en période de crise comme en temps normal.

1.1.3 Entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC) : un casse-tête mondial

La présence d'entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC) dans les établissements de soins de longue durée et les centres d'hébergement est bien établie dans la littérature scientifique (Hidron *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2019). Ces bactéries, qui peuvent parfois se retrouver naturellement présentes dans la flore intestinale, sont capables de coloniser divers sites anatomiques, notamment les voies urinaires, les plaies et les voies respiratoires. Elles peuvent ainsi causer des infections graves,

particulièrement chez les personnes âgées, immunosupprimées ou atteintes de comorbidités, pouvant entraîner des complications sévères, voire le décès (Logan et Weinstein, 2017; Sukhum *et al.*, 2022).

Ce qui rend ces infections particulièrement préoccupantes, c'est le niveau élevé de résistance aux antibiotiques que présentent ces souches bactériennes. Les EPC produisent des enzymes capables d'hydrolyser les carbapénèmes, des antibiotiques souvent considérés comme l'ultime recours thérapeutique dans le traitement des infections bactériennes multirésistantes. La propagation de ces bactéries dans les milieux de soins représente donc un enjeu critique de santé publique et de santé et sécurité du travail (SST), nécessitant une surveillance étroite et la mise en œuvre de mesures rigoureuses de prévention et de contrôle des infections (World Health Organization [WHO], 2025).

Au Québec, les EPC sont en forte augmentation dans les milieux de soins. Entre 2023 et 2024, le taux d'infections nosocomiales à EPC a eu une hausse de 54,7 % des cas et un taux de létalité atteignant 13,1 % (Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], 2024). À l'échelle nationale, l'Agence de la santé publique du Canada signale une hausse annuelle de 44 % des isolats de bactéries productrices de carbapénémases. Toutefois, l'absence d'une obligation de signalement au Canada laisse présager une sous-estimation du problème. Bien que la transmission des EPC soit principalement attribuée au contact direct ou indirect, les mécanismes précis de dissémination dans l'environnement de ces bactéries multirésistantes demeurent incomplètement élucidés. La possibilité d'une transmission par voie aérienne, bien que souvent négligée, ne peut être écartée. Certaines études ont démontré que des bacilles à Gram négatif, tels qu'*Acinetobacter baumannii* producteurs de carbapénémases de type OXA, sont capables de se transmettre par voie aéroportée et de causer des infections respiratoires nosocomiales (Spellberg et Bonomo, 2014; Yakupogullari *et al.*, 2016).

Nos propres recherches, menées dans le cadre d'un essai pilote à l'Hôpital général juif en 2018, ont permis de détecter des microorganismes résistants dans la poussière sédimentée de chambres de patients porteurs d'EPC, suggérant un potentiel de remise en suspension de ces agents pathogènes dans l'air ambiant. Des travaux antérieurs menés par notre équipe ont également mis en évidence la présence de gènes de résistance à la colistine dans la flore nasopharyngée de travailleurs agricoles, plus précisément dans le secteur porcin, suggérant une voie d'exposition aérienne à des bactéries résistantes ou à des éléments génétiques mobiles (Pilote *et al.*, 2019).

D'autres études environnementales ont permis de détecter des gènes de résistance à l'érythromycine et à la tétracycline dans l'air de chambres d'hôpital, renforçant l'hypothèse d'une contamination de l'environnement aérien hospitalier par des éléments génétiques de résistance (Gilbert *et al.*, 2010). Dans un contexte où l'on observe une augmentation continue des cas d'EPC en milieu de soins, et où le portage potentiel chez les travailleurs

de la santé reste peu documenté, il devient urgent de mieux caractériser les voies de transmission possibles, incluant l'air, les surfaces et les poussières. Une telle compréhension est essentielle pour orienter l'élaboration de stratégies de prévention et de contrôle plus efficaces, visant à limiter la dissémination de ces bactéries multirésistantes et à protéger à la fois les patients et le personnel soignant.

1.1.4 Traitement de l'air et réduction à la source

Dans les environnements hospitaliers et les milieux de soins, des protocoles rigoureux de nettoyage sont mis en œuvre en présence de pathogènes reconnus pour leur transmission par voie aérienne. Toutefois, ces mesures se concentrent essentiellement sur les surfaces et les équipements, sans inclure de procédures spécifiques de désinfection de l'air ambiant, que ce soit pendant l'occupation des chambres ou après le départ des patients. Or, il est bien établi que certains microorganismes présents dans l'air peuvent se déplacer au-delà des chambres d'isolement, puis se déposer sur diverses surfaces, représentant ainsi une source potentielle de transmission indirecte pour le personnel soignant et les usagers.

Dans ce contexte, plusieurs approches émergentes pourraient être envisagées pour réduire la charge microbienne aéroportée et/ou altérer la viabilité des pathogènes présents dans les bioaérosols. L'évaluation de l'efficacité de certains agents biocides ou procédés de traitement de l'air, tels que l'ozone, les UV-C ou d'autres technologies, s'avère essentielle. Ces interventions pourraient contribuer à limiter l'exposition du personnel de la santé, particulièrement lors de périodes de forte circulation de virus respiratoires ou entériques, comme durant les épidémies saisonnières d'influenza ou de gastroentérites. Dans la mesure où aucune mesure d'assainissement de l'air n'est actuellement intégrée aux protocoles standards de prévention en milieu de soins, il devient crucial de mener des études expérimentales en laboratoire afin de caractériser l'effet de différents agents désinfectants sur les aérosols microbiens.

Une telle démarche permettra de proposer des solutions concrètes pour améliorer le contrôle de la propagation des pathogènes transmis par voie aérienne, en complément des mesures existantes de prévention des infections.

1.1.5 Originalité et pertinence du projet

La compréhension de la transmission aérienne des agents infectieux en milieu de soins constitue une priorité essentielle pour mieux contrôler les éclosions et limiter leurs effets sur la santé publique et la santé occupationnelle. Les projets réalisés précédemment (Duchaine *et al.*, 2019, Girard *et al.*, 2019) ont permis de développer des approches novatrices et sensibles de détection, validées pour plusieurs virus respiratoires et gastroentériques, ainsi que pour divers gènes de résistance aux antibiotiques. Ces méthodes, issues d'un travail rigoureux, constituent désormais une assise technologique solide sur laquelle s'est appuyé le présent projet.

Nos travaux ont précédemment démontré que certains virus, notamment le norovirus, conservent leur infectiosité après aérosolisation (Bonifait *et al.*, 2015), incitant plusieurs professionnels de la santé à adapter leurs pratiques, notamment en recommandant le port de protections respiratoires lors des soins auprès de patients atteints de gastroentérite d'allure virale. Cette étude a suscité un fort intérêt, avec des présentations sollicitées par le Gastro-Club de Québec, la JAPI, l'AIPI, le Toronto Invasive Bacterial Diseases Network et l'ASTM International. Elle a aussi bénéficié d'une large visibilité, ayant été relayée sur près d'une centaine de sites à travers le monde, se classant dans le 98^e percentile des articles les plus médiatisés de 2015, selon Altmetric, ce qui témoigne à la fois de sa pertinence scientifique, de son répercussion sociétale et de son rayonnement international. Le contrôle des infections nosocomiales représente toujours un défi de taille pour le réseau de la santé, en raison de leur contribution significative à l'absentéisme et à la pression sur les ressources humaines et matérielles.

La transmission d'agents pathogènes, tels que le SARS-CoV-2, l'influenza, le norovirus, ainsi que les EPC, continue de soulever des enjeux critiques, notamment en milieu clos ou mal ventilé, où la part de la voie aéropartée demeure encore mal définie (Atkinson et Wein, 2008; Klompas *et al.*, 2020; Liverman, 2009; Tang *et al.*, 2020). La pandémie de COVID-19 a relancé l'intérêt des chercheurs pour la transmission par bioaérosols, mais malgré cet élan, les données sur l'exposition professionnelle aux virus respiratoires ou entériques, ainsi qu'aux bactéries résistantes, restent limitées et fragmentaires. Bien que du matériel génétique viral ait été détecté dans l'air et sur certaines surfaces, la viabilité infectieuse est rarement démontrée, et les mécanismes environnementaux de dissémination des EPC, tout comme leur conséquence sur le personnel, sont encore peu documentés.

Ce projet a permis de documenter la présence de virus respiratoires et d'EPC dans les bioaérosols présents en milieu de travail, plus particulièrement dans les établissements de santé. Il visait également à cartographier l'étendue des zones contaminées, afin de mieux comprendre la dispersion environnementale de ces agents pathogènes. Par ailleurs, l'étude a inclus l'analyse de la présence d'EPC sur la peau du personnel soignant, dans le but d'évaluer un éventuel portage cutané à la suite d'un contact avec des patients infectés. Les résultats de cette recherche servent à orienter les pratiques de prévention et de contrôle des infections dans les milieux hospitaliers et d'hébergement, en identifiant des moyens concrets pour réduire l'exposition du personnel à ces agents microbiens.

Comme la problématique de transmission par bioaérosols ne se limite pas aux seuls milieux de soins, les connaissances générées pourront également être transférées à d'autres contextes à risque, tels que les centres de la petite enfance et les établissements d'enseignement, où la promiscuité et certains événements (tels que les vomissements ou la toux) favorisent la dispersion d'agents infectieux dans l'air ambiant.

1.2 Objectifs et hypothèses de recherche

IRSSST ■ Exposition professionnelle aux agents d'infections nosocomiales en milieux de soins : mieux comprendre et contrôler la voie de propagation par aérosols

Ce projet avait pour objectif principal de mieux comprendre l'exposition professionnelle des travailleurs en milieux de soins à divers agents microbiens, leur portage cutané, et étudier en laboratoire l'effet de diverses méthodes de mitigation afin de réduire la charge microbienne présente dans les bioaérosols.

1.2.1 Volet 1 : Mesure des virus aéroportés en milieux de soins et en milieu hospitalier

Objectif 1 : Documenter l'exposition ambiante et personnelle des intervenants en milieux de soins à divers agents pathogènes viraux aéroportés tels que norovirus, Influenza et SARS-CoV-2 lors d'éclosions.

Hypothèses 1: Des virus sont retrouvés dans l'air des milieux de soins en période d'éclosion et une exposition personnelle est observée, et ce malgré les mesures de confinement mises en place pendant ces dernières.

1.2.2 Volet 2 : Mesure des entérobactéries productrices de carbapénémases en milieu hospitalier

Objectif 2 : Évaluer la présence d'EPC dans l'air, les drains et sur les surfaces des milieux hospitaliers dans les aires de confinement des patients porteurs.

Hypothèse : Des EPC sont détectés dans l'air, les drains et les surfaces des milieux de soins dans les aires de confinement de patients porteurs.

Objectif 3 : Vérifier le portage des EPC chez des intervenants des milieux de soins dans les aires de confinement des patients porteurs.

Hypothèse : Le portage d'EPC sera rare chez les intervenants qui œuvrent auprès des patients porteurs d'EPC.

1.2.3 Volet 3 : Caractérisation in vitro de l'efficacité et la performance de mesures de mitigations comme le port du masque ou d'agents microbicides sur des microorganismes aéroportés

Objectif 4 : Vérifier l'efficacité des mesures de traitement d'air (ozone et humidité relative) sur la réduction de la charge microbienne en conditions expérimentales.

Hypothèse : La combinaison de certains paramètres environnementaux et d'agents microbicides à un effet significatif sur la réduction de la viabilité et de l'infectivité des virus et bactéries modèles utilisés.

Objectif 5 : Vérifier la performance de différents types de masques utilisés en milieu de soins afin de réduire l'émission à la source d'aérosols viraux.

Hypothèse : Les différents types de masques auront des performances différentes en ce qui a trait à la capacité filtrante des matériaux ou aux fuites.

1.3 Arrimage entre les articles publiés et les objectifs de l'étude

Un total de huit articles scientifiques en lien avec le présent projet sont présentés dans ce rapport. Ils s'intègrent étroitement aux objectifs des trois volets de recherche, qui visent à mieux comprendre les risques associés aux bioaérosols en milieu de soins et à évaluer l'efficacité des mesures de prévention. Ces recherches, menées en contexte réel et expérimental, offrent des données probantes permettant de confirmer plusieurs hypothèses initiales tout en alimentant les stratégies de gestion des risques biologiques en milieu de travail.

Dans le cadre du volet 1, qui visait à documenter l'exposition à divers agents pathogènes viraux aéroportés tels que le SARS-CoV-2, l'influenza et le norovirus, plusieurs articles publiés fournissent un éclairage crucial. En effet, les articles de Dumont-Leblond *et al.* (2020); Dumont-Leblond *et al.* (2021), et de Rossi *et al.* (2025) s'inscrivent directement dans l'objectif 1, en explorant la présence du SARS-CoV-2 dans l'air hospitalier à différentes phases de la pandémie. L'étude sur l'incidence faible mais détectable du SARS-CoV-2 dans des chambres bien ventilées (Dumont-Leblond *et al.*, 2020) confirme que, malgré des mesures de confinement strictes, des bioaérosols viraux peuvent circuler dans l'air. Cette observation est renforcée par les données de l'article de Dumont-Leblond *et al.* (2021) qui, bien qu'ayant détecté peu d'ARN viral dans l'air des CHSLD, a mis en évidence une contamination de surfaces non touchées, suggérant une exposition antérieure à des bioaérosols. L'article de Rossi *et al.* (2025) quant à lui, démontre une émission massive de bioaérosols viraux dans l'air par les patients infectés par le variant Omicron, documentant une exposition potentiellement accrue du personnel de santé, notamment en présence de symptômes respiratoires actifs. Ensemble, ces données soutiennent fortement l'hypothèse 1, selon laquelle des virus peuvent être retrouvés dans l'air et contribuer à une exposition professionnelle, même en présence de mesures de confinement.

Le volet 2, centré sur la présence des EPC dans les milieux hospitaliers, trouve un arrimage direct avec les conclusions de l'article de Richer-Fortin *et al.* (2025). Cette étude a mis en évidence une présence importante des gènes de résistance aux carbapénèmes (blaKPC, blaOXA-48, blaNDM) sur les surfaces et les sols dans les chambres de patients porteurs, avec une dispersion jusque dans les corridors et chambres témoins. Bien que la contamination de l'air ait été plus faible, un échantillon s'est révélé positif, ce qui permet de confirmer partiellement l'hypothèse de l'objectif 2, à savoir que les EPC peuvent être détectées dans l'air, les drains et sur les surfaces en zones de confinement. Cette étude souligne également l'importance de considérer les vecteurs indirects de transmission, tels que les chaussures ou les mouvements du personnel, dans l'analyse du risque d'exposition. En revanche, l'étude de contamination de la peau des travailleurs de la

santé qui œuvrent auprès des patients colonisés ou infectés par les EPC n'a pas détecté de contamination des mains, du cou et du front de ces travailleurs au terme d'un quart de travail. Cette donnée suggère que le port d'EPI est efficace pour protéger les travailleurs contre ces pathogènes et pourraient être utiles pour rassurer certains travailleurs qui craignent de travailler auprès de ces clientèles (manuscrit en cours de préparation). Toutefois, les données environnementales recueillies dans l'article de Richer-Fortin *et al.* (2025) renforcent la pertinence d'explorer cette piste.

Les travaux menés dans le cadre du volet 3 apportent une contribution significative à l'évaluation expérimentale de deux types de mesures de mitigation : les traitements de l'air par des agents microbicides et le port de masques faciaux comme mesure de réduction des émissions à la source. L'objectif 4, qui vise à tester l'efficacité de stratégies de désinfection de l'air en conditions contrôlées, est abordé directement par deux études expérimentales. L'article de Dubuis *et al.* (2020), centré sur l'utilisation de l'ozone, montre que son efficacité virucide dépend de paramètres comme la concentration de gaz et l'humidité relative ambiante. Une réduction substantielle de l'infectiosité a été observée pour plusieurs virus, notamment un norovirus humain, à des niveaux d'ozone et d'humidité bien définis. Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle la combinaison de facteurs environnementaux et d'agents chimiques permet de réduire la viabilité de virus en suspension dans l'air, et appuient le développement de protocoles de désinfection adaptés aux environnements professionnels à risque.

Parallèlement, l'article de Degois *et al.* (2021) démontre que la méthode d'échantillonnage joue un rôle crucial dans la mesure de cette efficacité, en particulier lorsqu'il s'agit de quantifier la viabilité virale. L'utilisation d'un échantillonneur à condensation (Aerosols Devices Spot Sampler™) s'est révélée supérieure aux cassettes 37mm pour préserver l'infectivité de virus aérosolisés, renforçant la pertinence de cette technologie pour évaluer de manière fiable les effets des traitements d'air. Ces deux études contribuent donc directement à la validation des outils et des conditions nécessaires pour mesurer les effets des mesures de contrôle sur les bioaérosols, dans le cadre de l'objectif 4. Quant à l'objectif 5, qui porte sur la performance des masques en tant que barrière à l'émission d'aérosols viraux, il est directement abordé dans les articles de Brochu, Turgeon, *et al.* (2025) et Brochu, Chazelet, *et al.* (2025) L'article de Brochu, Turgeon, *et al.* (2025), évalue l'efficacité intrinsèque des matériaux filtrants utilisés dans différents types de masques (médicaux, industriels, artisanaux), démontrant que les masques certifiés offrent une protection nettement supérieure. En revanche, les masques de remplacement improvisés présentent une variabilité importante et souvent insuffisante en matière de filtration des particules submicroniques.

L'article de Brochu, Chazelet, *et al.* (2025) approfondit ces résultats en examinant la fuite globale autour des masques lors de différentes activités simulées. Même les masques N95, réputés pour leur haute efficacité, peuvent voir leur performance significativement réduite en cas de mauvais ajustement. Ces résultats confirment pleinement l'hypothèse

voulant que la performance des masques varie non seulement en fonction du matériau, mais aussi selon l'ajustement facial et l'usage réel en situation de travail.

En somme, les résultats expérimentaux liés au volet 3 apportent des informations précieuses pour l'élaboration ou l'ajustement de protocoles de désinfection de l'air et pour le choix éclairé des équipements de protection individuelle. Ils permettent également de mieux anticiper les limites pratiques de ces mesures, notamment lorsqu'elles sont utilisées en période de crise sanitaire ou en contexte de pénurie. Ces données sont essentielles pour orienter les recommandations en SST sur les mesures de contrôle à la source et de protection collective dans les environnements à risque biologique. Dans l'ensemble, les neuf articles issus de cette initiative de recherche s'arriment de manière cohérente aux trois volets du projet.

Les volets 1 et 3 sont particulièrement bien documentés par des études empiriques et expérimentales qui confirment la présence de virus dans l'air en contexte d'éclosion, l'importance des symptômes dans l'émission de bioaérosols, la viabilité virale persistante dans l'environnement, et l'efficacité modulée des technologies de désinfection. Le volet 2, bien qu'abordé de façon plus restreinte, bénéficie de résultats originaux sur la contamination environnementale par les EPC et appelle à des investigations complémentaires sur le portage professionnel.

Ces travaux renforcent la pertinence des hypothèses posées et justifient la poursuite d'une approche intégrée en SST, qui combine la surveillance environnementale, l'expérimentation in vitro et l'évaluation des risques personnels pour les intervenants de la santé exposés à des agents infectieux aéroportés.

2. RÉSUMÉS DES ARTICLES

2.1 Article 1: *Low incidence of airborne SARS-CoV-2 in acute care hospital rooms with optimized ventilation (Dumont-Leblond et al., 2020)*

Référence complète : [Dumont-Leblond, N., Veillette, M., Mubareka, S., Yip, L., Longtin, Y., Juvet, P., . . . Duchaine, C. \(2020\). Low incidence of airborne SARS-CoV-2 in acute care hospital rooms with optimized ventilation. *Emerging Microbes & Infections*, 9\(1\), 2597-2605. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1850184>](https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1850184)

Cette étude visait à documenter la présence de SARS-CoV-2 dans l'air des chambres de soins aigus accueillant des patients atteints de COVID-19, dans un contexte où la ventilation avait été optimisée. Réalisée dans un hôpital québécois entre mars et juin 2020, l'étude a porté sur 22 chambres transformées en environnements à pression négative avec un taux moyen de renouvellement d'air de 4,85 échanges par heure. Aucun des patients n'était aux soins intensifs ni soumis à des procédures médicales fortement génératrices d'aérosols, bien que certains recevaient de l'oxygène par canule nasale. Au total, 100 échantillons d'air ont été collectés et analysés par RT-qPCR pour la détection de l'ARN viral du SARS-CoV-2. Seuls 11 échantillons, provenant de 6 chambres, se sont révélés positifs. Aucun virus viable n'a pu être isolé par culture cellulaire. Aucun lien clair n'a été établi entre la détection d'ARN viral dans l'air et des facteurs cliniques tels que les symptômes respiratoires, l'oxygénothérapie, ou le stade de la maladie. Un calcul tentatif de taux d'émission de virus a été effectué, en assumant une distribution uniforme du virus dans l'environnement et l'émission moyenne estimée était d'environ 48 600 génomes viraux par heure chez les patients dont les chambres présentaient une détection positive. Ce calcul permet de mieux comprendre le potentiel d'exposition des soignants dans un contexte de chambre mal ventilée et d'absence de port d'EPI. Dans une perspective de santé et sécurité au travail, ces résultats suggèrent que les environnements hospitaliers bien ventilés réduisent significativement le risque d'exposition professionnelle à des bioaérosols infectieux. Même si l'ARN viral a été détecté à quelques reprises, les faibles concentrations mesurées, combinées à l'absence de virus viable, indiquent une probabilité limitée de transmission par voie aérienne dans ces conditions. Cela met en évidence l'importance des mesures d'ingénierie comme la ventilation dans les stratégies de prévention des infections nosocomiales, particulièrement pour protéger le personnel soignant. En conclusion, cette étude appuie l'idée que des environnements cliniques dotés d'une ventilation adéquate contribuent à limiter l'exposition aux aérosols viraux, même en présence de patients atteints de la COVID-19. Elle souligne également la nécessité de poursuivre les recherches pour mieux caractériser les contextes à risque, notamment ceux impliquant des interventions générant des aérosols, afin d'orienter les pratiques de prévention en milieu de travail.

2.2 Article 2 : *Positive no-touch surfaces and undetectable SARS-CoV-2 aerosols in long-term care facilities: An attempt to understand the contributing factors and the importance of timing in air sampling campaigns* (Dumont-Leblond et al., 2021)

Référence complète : [Dumont-Leblond, N., Veillette, M., Bhérier, L., Boissoneault, K., Mubareka, S., Yip, L., . . . Duchaine, C. \(2021\). Positive no-touch surfaces and undetectable SARS-CoV-2 aerosols in long-term care facilities: An attempt to understand the contributing factors and the importance of timing in air sampling campaigns. *American Journal of Infection Control*, 49\(6\), 701-706. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.02.004>](#)

Les centres de soins de longue durée (CHSLD) ont été des foyers majeurs d'écllosion durant la pandémie de COVID-19, exposant à la fois une population très vulnérable et le personnel soignant à des risques accrus. Malgré l'application des mesures de prévention des infections (port d'EPI, isolement des usagers, limitation des visiteurs), les voies précises de transmission du SARS-CoV-2 dans ces milieux restent partiellement comprises. En particulier, la contribution des aérosols et la qualité de la ventilation intérieure suscitent des interrogations. Comprendre les dynamiques environnementales du virus dans ces établissements est essentiel pour adapter les stratégies de prévention et protéger adéquatement les travailleurs du secteur de la santé. Des chambres de résidents infectés par la COVID-19, réparties dans 7 CHSLD du Québec, ont été visitées en 2020. Des échantillons d'air et de surfaces hors d'atteinte (représentant ainsi des indicateurs passifs d'une contamination de l'air ambiant) ont été prélevés. L'ARN viral a été quantifié et la culture a été effectuée sur les échantillons positifs. La ventilation des établissements a aussi été caractérisée. Cette approche vise à mieux documenter les risques d'exposition environnementale du personnel en lien avec les conditions physiques du milieu. Alors qu'aucun échantillon d'air ($n = 31$) n'a permis de détecter l'ARN du SARS-CoV-2, 32 % des échantillons de surfaces (20 sur 62) étaient positifs, avec des charges allant jusqu'à 36 612 génomes/surface. Ces résultats suggèrent que le virus a été présent dans l'air suffisamment longtemps pour se déposer, même si l'échantillonnage de l'air a été réalisé après la période de plus forte excrétion virale des résidents (8 à 30 jours après le diagnostic). Aucun virus viable n'a pu être cultivé, ce qui réduit la probabilité d'infectiosité active des particules retrouvées. Les surfaces contaminées étaient davantage observées dans les CHSLD sans ventilation mécanique, indiquant que la ventilation joue un rôle central pour limiter l'accumulation de particules virales, et donc les risques d'exposition passive, en particulier sur les quarts prolongés ou lors d'activités générant des remises en suspension de poussières. Ainsi, les travailleurs peuvent avoir été exposés à des bioaérosols infectieux avant ou pendant les soins, notamment dans des environnements mal ventilés. Cette étude montre que la contamination environnementale dans les CHSLD peut persister au-delà de la période d'excrétion maximale du virus, et que la ventilation est un facteur clé de mitigation des risques. Même si le virus n'était pas viable sur les surfaces, sa présence indique un historique de circulation dans l'air.

2.3 Article 3 : *The Omicron variant significantly increases viral load emissions in healthcare settings: implication for healthcare workers* (Rossi, Pelletier, Veillette, Paquet-Bolduc et Duchaine, 2025)

Référence complète : [Rossi, F., Pelletier, K.-P., Veillette, M., Paquet-Bolduc, B. et Duchaine, C. \(2025\). The Omicron variant significantly increases viral load emissions in healthcare settings: Implication for healthcare workers. *Journal of Hospital Infection*, 163, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.002>](https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.002)

La pandémie de COVID-19, causée par le virus SARS-CoV-2, a mis en évidence la transmission par aérosols dans les milieux de soins, présentant des risques accrus pour les travailleurs de la santé. L'apparition du variant Omicron a entraîné une augmentation marquée des cas en milieu hospitalier, exacerbant potentiellement ces risques. Cette étude vise à quantifier l'émission de particules virales du variant Omicron dans l'air des chambres d'hôpital en pression négative afin d'évaluer précisément les risques d'exposition pour les travailleurs de la santé et d'identifier les facteurs influençant cette exposition pour mieux orienter les mesures de prévention. L'étude a été menée dans 10 chambres de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (IUCPQ), accueillant successivement 38 patients confirmés positifs au SARS-CoV-2 pendant l'année 2022. Des prélèvements d'air sur 24 heures ont été réalisés à l'aide de cassettes placées près de la tête des patients afin de simuler l'exposition potentielle du personnel soignant. La quantification du virus dans l'air a été effectuée par RT-qPCR, et les résultats ont été exprimés en taux d'émission virale en fonction du renouvellement d'air par heure de chaque chambre, un paramètre critique dans la gestion du risque de contamination pour les travailleurs. Le virus a été détecté dans l'air de 89 % des patients positifs, correspondant à une émission moyenne de $1,45 \times 10^5$ génomes par heure par patient. Ce résultat souligne un risque notable d'exposition professionnelle. L'expectoration était le seul symptôme associé à une augmentation significative des émissions virales, triplant pratiquement les taux d'émission comparativement aux patients sans ce symptôme, augmentant ainsi considérablement les risques professionnels associés à ces patients. Par ailleurs, les résultats montrent que l'historique d'occupation des chambres joue un rôle majeur, expliquant environ 50 % de la variabilité des émissions virales mesurées et accentuant l'importance d'une gestion rigoureuse des espaces d'isolement pour protéger les travailleurs. Cette étude met en évidence la nécessité d'adapter les stratégies de gestion des risques biologiques en milieu hospitalier. Elle souligne l'importance cruciale de la surveillance active de la qualité de l'air, de la gestion rigoureuse des chambres d'isolement, et de la prise en compte des symptômes générateurs d'aérosols dans l'évaluation et la prévention des risques professionnels pour les travailleurs de la santé.

2.4 Article 4 : *Characterization of the environment of patients colonized with carbapenemase-producing organisms: role of air and surfaces in the dissemination of key resistance genes (Richer-Fortin et al., 2025)*

Référence complète : [Richer-Fortin, A., Veillette, M., Rossi, F., Longtin, Y., Larrotta, A., Paquet-Bolduc, B. et Duchaine, C. \(2025\). Characterization of the environment of patients colonized with carbapenemase-producing organisms: Role of air and surfaces in the dissemination of key resistance genes. *Journal of Hospital Infection*, 164, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.003>](https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.003)

Les infections nosocomiales causées par des entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC) constituent un enjeu majeur en santé publique. L'étude avait pour objectif de déterminer le rôle potentiel de l'air et des surfaces dans la dissémination des gènes de résistance aux carbapénèmes (blaKPC, blaOXA-48, blaNDM) au sein d'environnements hospitaliers au Québec. Une étude observationnelle prospective a été réalisée dans quatre hôpitaux du Québec. Des prélèvements actifs d'air ainsi que des prélèvements de sols, cadres de porte, drains de lavabo et autres surfaces non régulièrement touchées ont été effectués dans des chambres occupées par des patients colonisés par des EPC et comparés à des chambres témoins. Des prélèvements supplémentaires ont été réalisés dans les corridors adjacents. L'abondance et la fréquence des gènes de résistance ont été quantifiées par qPCR. Les gènes de résistance aux carbapénèmes ont été détectés avec une fréquence très élevée sur les sols des chambres occupées par des patients colonisés (97 %), suivis des cadres de porte (52 %) et des autres surfaces peu touchées (42 %). En revanche, la contamination aérienne a été faible, un seul échantillon ayant testé positif. Ces gènes ont aussi été détectés fréquemment dans les corridors adjacents (92 %) et même dans les chambres témoins (100 %), bien que leur abondance diminue avec l'éloignement des chambres colonisées. Bien que les mesures actuelles de contrôle des infections se concentrent principalement sur la transmission directe (contacts patients-travailleurs), cette étude montre clairement que les sols représentent un vecteur important de contamination indirecte. La faible détection aérienne, mais réelle, indique également un potentiel risque de contamination par bioaérosols, ce qui nécessite une vigilance accrue, notamment lors des activités générant des aérosols (changement de literie, soins personnels). En termes de SST, il serait pertinent de renforcer les protocoles de nettoyage des sols, de revoir les équipements de protection individuelle pour inclure une protection efficace des chaussures ou favoriser l'utilisation d'équipements permettant de réduire la transmission via les déplacements du personnel. La sensibilisation et la formation continue du personnel en matière de contamination indirecte doivent être envisagées afin de réduire les risques professionnels liés à ces résistances bactériennes. L'étude démontre que les surfaces, particulièrement les sols, représentent des vecteurs importants pour la dissémination des gènes de résistance aux carbapénèmes dans les milieux hospitaliers. Elle souligne la nécessité d'intégrer davantage la gestion des risques liés aux bioaérosols

et aux surfaces dans les pratiques de prévention des infections, dans une optique de santé et sécurité du travail.

2.5 Article 5 : *Condensation sampler efficiency for the recovery and infectivity preservation of viral bioaerosols* (Degois, Dubuis, Turgeon, Veillette et Duchaine, 2021)

Référence complète : [Degois, J., Dubuis, M.-E., Turgeon, N., Veillette, M. et Duchaine, C. \(2021\). Condensation sampler efficiency for the recovery and infectivity preservation of viral bioaerosols. *Aerosol Science and Technology*, 55\(6\), 653-664. <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1889960>](https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1889960)

Cet article compare deux méthodes d'échantillonnage des bioaérosols viraux : l'approche classique par filtration à l'aide de filtres en polycarbonate dans des cassettes fermées (SKC 37mm) et une méthode innovante basée sur la condensation de particules en flux laminaire (Spot Sampler™). L'objectif était d'évaluer leur efficacité à récupérer des virus aérosolisés tout en préservant leur capacité infectieuse — un paramètre fondamental pour caractériser les risques réels de transmission aérienne. Quatre bactériophages (MS2, PhiX174, Phi6 et PR772), servant de modèles pour différents types de virus humains, ainsi que le virus influenza A (H1N1), ont été aérosolisés dans une chambre expérimentale. Les échantillons ont été prélevés en parallèle avec les deux dispositifs pendant 60 minutes et 4 heures, puis analysés par culture (pour mesurer l'infectivité) et par qPCR (pour estimer la quantité totale de génome viral). Les résultats montrent que le Spot Sampler™ en mode liquide permet une meilleure préservation de l'infectivité virale après 4 heures d'échantillonnage pour tous les virus testés, sauf MS2. Pour le virus influenza A, le Spot Sampler™ a permis de préserver une infectivité de trois ordres de grandeur supérieure à celle des échantillons collectés par CFC après 60 minutes. Alors que seule la détection de virus encore infectieux permet une évaluation fiable du risque d'exposition biologique, il apparaît important de mesurer non seulement la présence de matériel génétique viral mais aussi la capacité infectieuse réelle. Cela est particulièrement pertinent en SST, notamment dans les milieux à haut risque comme les hôpitaux, les laboratoires et les environnements industriels exposés à des agents infectieux. En conclusion, les échantillonneurs à condensation sont des outils pertinents pour les études environnementales et professionnelles liées à la transmission aéroportée des virus. La capacité à concentrer efficacement les virus dans un faible volume tout en maintenant leur infectivité en fait une technologie prometteuse pour la surveillance de la qualité de l'air, l'évaluation des risques en SST, et l'évaluation de l'efficacité des mesures de désinfection ou de protection collective.

2.6 Article 6 : Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models (Dubuis et al., 2020)

Référence complète: [Dubuis, M.-E., Dumont-Leblond, N., Laliberté, C., Veillette, M., Turgeon, N., Jean, J. et Duchaine, C. Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models. *PLoS One*, 15\(4\), article e0231164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231164>](#)

Cette étude visait à évaluer l'efficacité de l'ozone à faible concentration pour inactiver des virus en suspension dans l'air, en fonction du taux d'humidité relative (HR) et du temps d'exposition. Plusieurs phages (ϕ X174, PR772, MS2 et ϕ 6) et un virus eucaryote (MNV-1) ont été utilisés. La maîtrise de la transmission aéroportée est essentielle pour protéger les travailleurs, particulièrement dans les contextes de pandémie ou d'éclotions saisonnières. Les virus ont été aérosolisés dans une chambre environnementale rotative simulant les conditions de dispersion en milieu intérieur. Ils ont été exposés à de faibles concentrations d'ozone (1,13 ppm pour les phages et 0,23 ppm pour MNV-1), à trois taux d'humidité (20 %, 55 % et 85 %), et pour des durées de 10, 40 et 70 minutes. La viabilité virale a été mesurée par culture et par qPCR. Cette approche expérimentale simule des conditions réalistes d'interventions en milieux de soins peu ou non ventilés mécaniquement, avec l'objectif de développer des méthodes applicables sans danger pour les travailleurs, notamment durant les périodes d'inoccupation des locaux. L'efficacité virucide de l'ozone dépend fortement de l'humidité relative. À 85 % HR, une inactivation d'au moins deux ordre de magnitude a été obtenue après 40 minutes pour ϕ X174, MS2 et MNV-1. À 20 % HR, l'ozone était peu efficace, bien que certains virus perdent leur infectivité uniquement par effet de l'air sec. Ces résultats démontrent le potentiel d'un traitement de l'air sécuritaire et efficace, réalisable à faible concentration d'ozone, dans des conditions contrôlées. Ainsi, une désinfection de l'air ambiant pourrait être appliquée entre deux occupations de chambres de soins, réduisant le risque de contamination pour les intervenants sans ajouter de charge de travail importante. Comparé à d'autres désinfectants comme l'hypochlorite de sodium, l'ozone présente l'avantage de désinfecter l'air et les surfaces difficiles d'accès sans nécessiter la présence humaine, ce qui diminue l'exposition des travailleurs à des produits chimiques agressifs. Pour les milieux de soins, cela représente une mesure complémentaire simple à mettre en œuvre en afin de réduire les éclotions, les arrêts de travail et les risques pour les travailleurs de la santé. Cette stratégie de traitement de l'air pourrait être particulièrement utile dans les hôpitaux ne possédant pas de systèmes de ventilation mécanique (HVAC), offrant ainsi une solution économique, silencieuse et efficace pour améliorer la biosécurité des environnements de soins. Ces travaux, représentent une opportunité concrète pour diminuer l'exposition des travailleurs aux agents infectieux et limiter les répercussions organisationnelles liées aux infections acquises en milieu de travail.

2.7 Article 7 : *Filtration efficiency of different protective masks against viral aerosols* (Brochu, Turgeon, Richer-Fortin, Veillette et Duchaine, 2025)

Référence complète : [Brochu, V., Turgeon, N., Richer-Fortin, A., Veillette, M. et Duchaine, C. \(2025\). Filtration efficiency of different protective masks against viral aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 59\(2\), 227-237.](#)

Cet article évalue l'efficacité de filtration de différents types de masques faciaux, notamment ceux utilisés comme alternatives aux masques médicaux traditionnels lors de la pandémie de COVID-19, en période de pénurie. L'étude compare la performance de plusieurs modèles de masques, incluant des masques médicaux certifiés, des masques artisanaux en tissu, des masques de type industriel et des couvre-visages improvisés, en matière de filtration de particules de taille comparable aux aérosols respiratoires. Les tests ont été réalisés dans des conditions contrôlées pour mesurer la capacité des matériaux à filtrer des particules submicroniques (0,1 μm à 0,3 μm), tailles critiques pour la transmission aérienne de virus comme le SARS-CoV-2. Les masques médicaux standard (ASTM niveau 1 et 3) ont démontré une efficacité de filtration supérieure (> 95 %) comparée aux alternatives. En revanche, la majorité des masques artisanaux et autres substituts présentaient une efficacité très variable et souvent insuffisante, certaines variantes n'atteignant que 10 à 20 % de filtration. L'étude souligne que la qualité du matériau, l'ajustement du masque sur le visage et le nombre de couches jouent un rôle crucial dans la performance globale. De nombreux masques de remplacement, bien qu'utilisés en contexte hospitalier en situation d'urgence, ne répondaient pas aux standards de protection requis pour les milieux à risque élevé. Dans une perspective de SST, ces résultats sont très significatifs. Ils démontrent que le recours à des masques non homologués peut exposer les travailleurs de la santé et autres employés à un risque accru d'inhalation de particules virales. Cela justifie l'importance de maintenir des stocks stratégiques de masques certifiés et de développer des critères objectifs pour évaluer les solutions alternatives en période de crise. En conclusion, cette recherche met en lumière les limites de certaines alternatives utilisées durant la pandémie et souligne la nécessité d'encadrer l'évaluation des équipements de protection respiratoire dans les milieux professionnels. Elle offre également une base scientifique pour orienter les politiques en SST, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement, la validation de l'équipement en cas de pénurie et la protection adéquate des travailleurs exposés aux agents biologiques aéroportés.

2.8 Article 8 : Total outward leakage reduction efficiency of different protective masks using model viruses (Brochu, Chazelet, et al., 2025)

Référence complète : [Brochu, V., Chazelet, S., Loison, P., Pacault, S., Turgeon, N., Veillette, M., . . . Duchaine, C. \(2025\). Total outward leakage reduction efficiency of different protective masks using model viruses. *Aerosol Science and Technology*, 59\(8\), 921-932. <https://doi.org/10.1080/02786826.2025.2498993>](https://doi.org/10.1080/02786826.2025.2498993)

Cet article examine de manière quantitative la performance des masques respiratoires (masques chirurgicaux et N95) en contexte de soins de santé, en mettant l'accent sur les fuites de particules aux interfaces du visage. L'étude utilise une chambre d'essai simulée pour évaluer l'efficacité de ces masques lors de différentes procédures médicales génératrices d'aérosols (comme l'intubation ou l'auscultation), ainsi que l'effet du mouvement et de la parole sur leur étanchéité. Les résultats révèlent que, même si les masques N95 offrent une meilleure filtration intrinsèque que les masques chirurgicaux, leur efficacité globale peut être significativement réduite en présence de fuites au niveau du visage. Ces fuites peuvent permettre à des particules d'atteindre les voies respiratoires du porteur, en particulier lors de mouvements ou d'ajustements inadéquats du masque. Les masques chirurgicaux, quant à eux, présentent une efficacité encore plus limitée, avec des fuites détectées dans toutes les conditions testées. L'étude souligne l'importance de l'ajustement facial et de l'étanchéité du masque, deux éléments souvent négligés dans l'évaluation de la protection individuelle. Même un masque très performant en laboratoire peut perdre de son efficacité s'il est mal positionné, ou si le porteur bouge ou parle. Dans une optique de SST, ces résultats sont particulièrement préoccupants pour les travailleurs en milieux de soins, exposés à des agents biologiques transmissibles par voie aérienne. L'étude met en lumière que la simple distribution de masques, sans formation sur leur bon ajustement ni vérification de leur étanchéité, pourrait donner un faux sentiment de sécurité. Elle plaide ainsi pour l'intégration systématique de tests d'ajustement (*fit tests*) dans les protocoles de SST, et pour la conception de masques offrant à la fois haute filtration et meilleure ergonomie. En conclusion, cette recherche met en évidence que la performance réelle des masques en situation de travail dépend non seulement du matériau filtrant, mais aussi de la manière dont le masque est porté. Pour assurer une protection efficace contre les agents infectieux aéroportés, les stratégies de SST doivent tenir compte de ces paramètres en intégrant des pratiques rigoureuses de sélection, d'ajustement et de formation à l'utilisation des équipements de protection respiratoire.

3. DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

L'étendue des études publiées en lien avec cette initiative de recherche fournit une analyse multidimensionnelle des risques liés aux bioaérosols en milieu de soins, en conjuguant des observations en conditions réelles, des expérimentations en chambre contrôlée et certaines innovations technologiques. L'application de cette approche intégrée permet de mieux comprendre les mécanismes de dissémination des agents infectieux comme le SARS-CoV-2 ou les bactéries multirésistantes, ainsi que l'efficacité et l'effet des mesures de prévention existantes. Dans un contexte où la transmission par voie aérienne a été initialement sous-estimée lors de la pandémie de COVID-19, ces travaux contribuent à recentrer les stratégies de prévention sur des bases scientifiques solides, tout en tenant compte des réalités de terrain et des enjeux en SST.

3.1 Volet 1 : Mesure des virus aéroportés en milieux de soins et en milieu hospitalier

S'étant déroulé dans un contexte exceptionnel qu'était la pandémie de COVID-19, plusieurs publications se sont penchées sur la présence du SARS-CoV-2 dans l'air des milieux hospitaliers et de soins de longue durée. Dans les chambres de soins aigus dotées d'une ventilation optimisée, la détection du virus a été relativement faible, tant en fréquence qu'en concentration. Ces données sont particulièrement rassurantes pour les travailleurs de la santé, car elles suggèrent qu'un environnement bien ventilé, même en présence de patients contagieux, limite fortement l'exposition professionnelle à des particules virales infectieuses. Il est important de souligner que l'utilisation de méthodes d'échantillonnage différentes, telles que les appareils à condensation, aurait pu mener à la détection de virus cultivables.

Cependant, les résultats issus des milieux de soins de longue durée offrent un éclairage complémentaire et plus préoccupant. Bien que l'ARN viral n'ait pas été détecté dans l'air au moment de l'échantillonnage, plusieurs surfaces hors d'atteinte présentaient une contamination significative. Cela indique que le virus a circulé dans l'air à un moment antérieur, probablement pendant la phase de forte excrétion virale des résidents. Le fait que les surfaces contaminées soient davantage présentes dans les établissements dépourvus de ventilation mécanique suggère que l'accumulation de particules virales dans l'environnement est exacerbée par une mauvaise aération. Ces résultats soulignent une vulnérabilité structurelle de certains milieux de soins et la nécessité de considérer la ventilation comme une mesure de prévention essentielle, et non accessoire.

Le cas particulier du variant Omicron a permis de montrer que certains variant d'une même espèce virale peuvent présenter un potentiel d'émission nettement accru. Les chambres de patients infectés par Omicron ont révélé des concentrations d'ARN viral jusqu'à dix fois plus élevées que celles observées auparavant, alors que dans près de

90 % des cas, le virus a été détecté dans l'air. L'émission virale était fortement influencée par la présence de symptômes respiratoires actifs, notamment l'expectoration. De plus, l'occupation antérieure de la chambre expliquait une grande partie de la variabilité observée, illustrant que le virus peut potentiellement persister dans l'environnement au-delà du séjour des patients. Pour les professionnels de la santé, cela implique que le simple fait d'entrer dans une pièce récemment occupée par un patient contagieux peut constituer un risque, surtout si la gestion de la ventilation et du nettoyage n'est pas rigoureuse.

Sur le plan méthodologique, deux études ont comparé l'efficacité de dispositifs d'échantillonnage des bioaérosols. Le Spot Sampler™, basé sur un principe de condensation, s'est révélé supérieur aux cassettes filtrantes pour la préservation de l'infectivité virale. L'étude de la conservation du potentiel infectieux est cruciale dans une perspective de SST, car la seule détection d'ARN viral ne permet pas de conclure à un risque d'exposition infectieux réel. Cela ouvre des perspectives intéressantes pour la surveillance environnementale et l'analyse dans les milieux à haut risque.

3.2 Volet 2 : Mesure des entérobactéries productrices de carbapénémases en milieu hospitalier

Outre les virus respiratoires, un article portant sur les EPC a été publié (Richer-Fortin *et al.* 2025). Ce dernier, démontre que la dissémination de gènes de résistance peut également se faire par des voies environnementales. Les résultats sont particulièrement préoccupants : près de 100 % des sols de chambres colonisées étaient porteurs de gènes de résistance, avec une diffusion notable dans les corridors et même dans des chambres témoins. Cette contamination indirecte, peu documentée jusqu'à présent, révèle que les protocoles de nettoyage actuels ne suffisent peut-être pas à contenir la propagation de microorganismes résistants. Les résultats tendent à suggérer qu'il serait adéquat de reconsidérer quelles sont les surfaces à risque, en y incluant les sols. Une attention particulière à la protection des pieds, aux déplacements du personnel, ainsi qu'à la prévention des remises en suspension de poussières contaminées permettrait de limiter le portage et la dissémination environnementale de la part du personnel soignant.

Par ailleurs, nous avons aussi réalisé une étude observationnelle prospective pour évaluer la contamination cutanée à court terme par des EPC chez des professionnels de la santé affectés à une unité d'isolement en cohorte (UIC) (manuscrit en cours de rédaction). Cinquante travailleurs

(29 infirmières et 21 préposés) ont été échantillonnés immédiatement avant et après un quart de travail de 8 heures à trois sites : les mains (méthode « *glove-juice* » de rinçage de la main entière), le front (un indicateur de contamination par bioaérosols) et le cou (un marqueur d'autocontamination lors du retrait de l'EPI). Dans l'ensemble, aucune EPC n'a été isolée chez aucun participant à aucun site avant ou après les quarts. Ces résultats suggèrent un faible risque de contamination cutanée à court terme par des EPC chez des

travailleurs œuvrant dans une UIC dédiée aux EPC, ce qui indique que les EPI sont efficaces pour protéger les travailleurs.

3.3 Volet 3 : Caractérisation in vitro de l'efficacité et la performance de mesures de mitigations comme le port du masque ou d'agents microbicides sur des microorganismes aéroportés

Un autre aspect central des travaux concerne les équipements de protection respiratoire utilisés comme barrière à l'émission de bioaérosols. Les études sur les masques confirment que, même si le matériau filtrant est performant, l'ajustement du masque au visage est un facteur déterminant de l'efficacité globale. Des fuites au niveau du visage peuvent compromettre sérieusement la protection, particulièrement dans les contextes dynamiques de soins où le personnel parle, bouge ou ajuste fréquemment son masque. Cela est particulièrement vrai pour les masques N95, qui doivent faire l'objet de tests d'ajustement individuels pour offrir une protection optimale. Dans une optique SST, cela signifie que l'approvisionnement en EPI doit être accompagné d'un encadrement rigoureux de leur utilisation, incluant la formation, la vérification de l'ajustement et l'évaluation régulière de la conformité.

Enfin, l'étude sur l'ozone met en évidence son potentiel comme agent de désinfection de l'air dans les espaces clos. Toutefois, son efficacité est modulée par des paramètres comme l'humidité relative et le temps d'exposition alors que son usage n'est pas exempt de risques. L'ozone peut irriter les voies respiratoires et poser un danger pour le personnel si les concentrations ne sont pas rigoureusement contrôlées. Néanmoins, dans des environnements temporairement inoccupés ou lors de quarts de nuit, l'ozone pourrait constituer une stratégie de désinfection complémentaire, à condition de respecter des protocoles stricts de sécurité.

3.4 Conclusion

En définitive, les résultats de ces travaux scientifiques montrent que la gestion des bioaérosols en milieu de soins doit reposer sur une approche systémique et rigoureuse, qui intègre à la fois la prévention technique, l'organisation du travail et la protection individuelle.

L'environnement hospitalier est un écosystème dynamique et complexe dans lequel l'air, les surfaces, les pratiques cliniques et les caractéristiques architecturales interagissent et ont une incidence sur le risque d'exposition des travailleurs. Cette programmation de recherche apporte des données probantes démontrant que les mesures de prévention fondées sur une bonne ventilation, une gestion rigoureuse des espaces contaminés et l'utilisation d'équipements bien ajustés permettent de réduire considérablement les risques biologiques en SST.

Les retombées pratiques sont nombreuses. D'abord, la ventilation doit être considérée comme une infrastructure critique au même titre que l'approvisionnement en EPI. Ensuite, les pratiques de nettoyage doivent être réévaluées pour inclure les sols et les surfaces peu touchées, et les EPI doivent être choisis non seulement pour leur disponibilité, mais pour leur efficacité réelle dans le contexte d'utilisation. Les technologies d'échantillonnage doivent évoluer pour intégrer la notion de viabilité virale et les analyses rétrospectives doivent être envisagées comme un outil de compréhension des dynamiques épidémiques passées.

Du point de vue des politiques de SST, ces résultats justifient une mise à jour des normes en vigueur, notamment en ce qui concerne la biosurveillance environnementale, la gestion des risques biologiques, et la formation du personnel exposé. Ils appellent également à une meilleure résilience des établissements de soins, en prévision de futures pandémies ou de la circulation d'agents infectieux émergents ou résistants. Les recommandations formulées dans les différents articles publiés offrent des pistes concrètes pour renforcer la protection du personnel soignant, non seulement contre le SARS-CoV-2, mais contre l'ensemble des agents biologiques transmissibles par l'air. Ces connaissances représentent un socle solide sur lequel bâtir des environnements de soins plus sûrs, plus durables et mieux adaptés aux défis sanitaires du 21^e siècle.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de la santé publique du Canada. (2021). *Prévention et contrôle de la COVID-19 : Lignes directrices provisoires pour les établissements de soins actifs*. ASPC. Tiré de <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/2019-nouveau-coronavirus/professionnels-sante/prevention-contrôle-covid-19-lignes-directrices-provisaires-deuxieme-version.html>
- Alami, H., Lehoux, P., Fleet, R., Fortin, J.-P., Liu, J., Attieh, R., . . . Ag Ahmed, M. A. (2021). How can health systems better prepare for the next pandemic? Lessons learned from the management of COVID-19 in Quebec (Canada). *Frontiers in Public Health*, 9, article 671833. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.671833>
- Atkinson, M. P. et Wein, L. M. (2008). Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza. *Bulletin of Mathematical Biology*, 70(3), 820-867. <https://doi.org/10.1007/s11538-007-9281-2>
- Bonifait, L., Charlebois, R., Vimont, A., Turgeon, N., Veillette, M., Longtin, Y., ... & Duchaine, C. (2015). Detection and quantification of airborne norovirus during outbreaks in healthcare facilities. *Clinical infectious diseases*, 61(3), 299-304.
- Brochu, V., Chazelet, S., Loison, P., Pacault, S., Turgeon, N., Veillette, M., . . . Duchaine, C. (2025). Total outward leakage reduction efficiency of different protective masks using model viruses. *Aerosol Science and Technology*, 59(8), 921-932. <https://doi.org/10.1080/02786826.2025.2498993>
- Brochu, V., Turgeon, N., Richer-Fortin, A., Veillette, M. et Duchaine, C. (2025). Filtration efficiency of different protective masks against viral aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 59(2), 227-237. <https://doi.org/10.1080/02786826.2024.2420683>
- Chen, Y.-Y., Wang, F.-D., Liu, C.-Y. et Chou, P. (2009). Incidence rate and variable cost of nosocomial infections in different types of intensive care units. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 30(1), 39-46. <https://doi.org/10.1086/592984>
- Degois, J., Dubuis, M.-E., Turgeon, N., Veillette, M. et Duchaine, C. (2021). Condensation sampler efficiency for the recovery and infectivity preservation of viral bioaerosols. *Aerosol Science and Technology*, 55(6), 653-664. <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1889960>
- Dubuis, M.-E., Dumont-Leblond, N., Laliberté, C., Veillette, M., Turgeon, N., Jean, J. et Duchaine, C. (2020). Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models. *PLoS One*, 15(4), article e0231164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231164>
- Duchaine, C., Veillette, M., Dion-Dupont, V., Mbareche, H., Brisebois, É., Lavoie, J. et Beaudet, Y. (2019). Exposition aux bioaérosols dans les centres de traitement des eaux usées : application d'approches moléculaires et risque viral (Rapport n° R-1061). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique/90>

- Dumont-Leblond, N., Veillette, M., Bherer, L., Boissoneault, K., Mubareka, S., Yip, L., . . . Duchaine, C. (2021). Positive no-touch surfaces and undetectable SARS-CoV-2 aerosols in long-term care facilities: An attempt to understand the contributing factors and the importance of timing in air sampling campaigns. *American Journal of Infection Control*, 49(6), 701-706. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.02.004>
- Dumont-Leblond, N., Veillette, M., Mubareka, S., Yip, L., Longtin, Y., Jouvett, P., . . . Duchaine, C. (2020). Low incidence of airborne SARS-CoV-2 in acute care hospital rooms with optimized ventilation. *Emerging Microbes & Infections*, 9(1), 2597-2605. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1850184>
- Gilbert, Y., Veillette, M. et Duchaine, C. (2010). Airborne bacteria and antibiotic resistance genes in hospital rooms. *Aerobiologia*, 26(3), 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10453-010-9155-1>
- Girard, M., Duchaine, C., Godbout, S., Lévesque, A., Létourneau, V. et Lemay, S. P. (2019). Réduire l'exposition des travailleurs aux gaz, odeurs, poussières et agents pathogènes humains présents dans les bâtiments porcins (Rapport n° R-1074). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique/99>
- Hidron, A. I., Edwards, J. R., Patel, J., Horan, T. C., Sievert, D. M., Pollock, D. A. et Fridkin, S. K. (2008). Antimicrobial-resistant pathogens associated with healthcare-associated infections: Annual summary of data reported to the National Healthcare Safety Network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2006–2007. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 29(11), 996-1011. <https://doi.org/10.1086/591861>
- Institut national de santé publique du Québec. (2024). *Infections à bacilles à Gram négatif producteurs de carbapénémases au Québec, 2023-2024*. INSPQ.
- Klompas, M., Baker, M. A. et Rhee, C. (2020). Airborne transmission of SARS-CoV-2: Theoretical considerations and available evidence. *JAMA*, 324(5), 441-442. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12458>
- Liverman, C. T. (2009). *Respiratory protection for healthcare workers in the workplace against novel H1N1 influenza A: A letter report*. Institute of Medicine.
- Logan, L. K. et Weinstein, R. A. (2017). The epidemiology of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: The impact and evolution of a global menace. *The Journal of infectious diseases*, 215(suppl_1), S28-S36. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiw282>
- Marks, P. J., Vipond, I., Carlisle, D., Deakin, D., Fey, R. et Caul, E. (2000). Evidence for airborne transmission of Norwalk-like virus (NLV) in a hotel restaurant. *Epidemiology & Infection*, 124(3), 481-487. <https://doi.org/10.1017/S0950268899003805>

- Marks, P. J., Vipond, I., Regan, F., Wedgwood, K., Fey, R. et Caul, E. (2003). A school outbreak of Norwalk-like virus: Evidence for airborne transmission. *Epidemiology & Infection*, 131(1), 727-736. <https://doi.org/10.1017/S0950268803008689>
- Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2024). *Système de santé et de services sociaux en bref : le Ministère et ses partenaires*. MSSS. <https://www.msss.gouv.qc.ca/reseau/systeme-de-sante-et-de-services-sociaux-en-bref/le-ministere-et-ses-partenaires>
- Pilote, J., Létourneau, V., Girard, M. et Duchaine, C. (2019). Quantification of airborne dust, endotoxins, human pathogens and antibiotic and metal resistance genes in Eastern Canadian swine confinement buildings. *Aerobiologia*, 35(2), 283-296. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09562-6>
- Raofi, S., Pashazadeh Kan, F., Rafiei, S., Hosseinipalangi, Z., Noorani Mejareh, Z., Khani, S., . . . Zarabi, F. (2023). Global prevalence of nosocomial infection: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 18(1), article e0274248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274248>
- Richer-Fortin, A., Veillette, M., Rossi, F., Longtin, Y., Larrotta, A., Paquet-Bolduc, B. et Duchaine, C. (2025). Characterization of the environment of patients colonized with carbapenemase-producing organisms: Role of air and surfaces in the dissemination of key resistance genes. *Journal of Hospital Infection*, 164, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.003>
- Rossi, F., Pelletier, K.-P., Veillette, M., Paquet-Bolduc, B. et Duchaine, C. (2025). The Omicron variant significantly increases viral load emissions in healthcare settings: Implication for healthcare workers. *Journal of Hospital Infection*, 163, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.07.002>
- Schanzer, D. L., Zheng, H. et Gilmore, J. (2011). Statistical estimates of absenteeism attributable to seasonal and pandemic influenza from the Canadian Labour Force Survey. *BMC Infectious Diseases*, 11(1), article 90. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-11-90>
- Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., Chiarello, L. et The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. (2023). *2007 guidelines for isolation precautions: Preventing transmission of infectious agents in healthcare settings*. CDC. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2007.10.007>
- Song, J. E., Jeong, H., Lim, Y. S., Ha, E. J., Jung, I. Y., Jeong, W., . . . Park, E. S. (2019). An outbreak of KPC-producing *Klebsiella pneumoniae* linked with an index case of community-acquired KPC-producing isolate: Epidemiological investigation and whole genome sequencing analysis. *Microbial Drug Resistance*, 25(10), 1475-1483. <https://doi.org/10.1089/mdr.2018.0475>
- Spellberg, B. et Bonomo, R. A. (2014). The deadly impact of extreme drug resistance in *Acinetobacter baumannii*. *Critical Care Medicine*, 42(5), 1289-1291. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000181>

- Sukhum, K. V., Newcomer, E. P., Cass, C., Wallace, M. A., Johnson, C., Fine, J., . . . Dantas, G. (2022). Antibiotic-resistant organisms establish reservoirs in new hospital built environments and are related to patient blood infection isolates. *Communications Medicine*, 2(1), article 62. <https://doi.org/10.1038/s43856-022-00124-5>
- Tang, S., Mao, Y., Jones, R. M., Tan, Q., Ji, J. S., Li, N., . . . Shi, X. (2020). Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment International*, 144, article 106039.
- World Health Organization. (2025). *Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report*. WHO.
- Yakupogullari, Y., Otlu, B., Ersoy, Y., Kuzucu, C., Bayindir, Y., Kayabas, U., . . . Kizilkaya, C. (2016). Is airborne transmission of *Acinetobacter baumannii* possible: A prospective molecular epidemiologic study in a tertiary care hospital. *American Journal of Infection Control*, 44(12), 1595-1599. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.05.022>
- Yu, I. T. S., Li, Y., Wong, T. W., Tam, W., Chan, A. T., Lee, J. H. W., . . . Ho, T. (2004). Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *New England Journal of Medicine*, 350(17), 1731-1739. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa032867>