

SYNTHÈSE

(ARCHIVÉ) La transmission de la COVID-19 par les gouttelettes respiratoires et les aérosols... Ce que nous savons jusqu'à présent

Publication : octobre 2021

Archivé : février 2022

ARCHIVÉ

Ce matériel archivé est disponible uniquement à des fins de recherche historique et de référence. SPO ne met plus à jour ce matériel et il se peut qu'il ne reflète plus les directives actuelles.

Introduction

Santé publique Ontario (SPO) surveille, examine et évalue activement les renseignements pertinents concernant la maladie à coronavirus 2019 (COVID-19). La série de documents « Ce que nous savons jusqu'à présent sur... » offre un examen rapide des données probantes relatives à divers aspects ou enjeux émergents liés à la COVID-19. Le syndrome respiratoire aigu sévère 2 (SRAS-CoV-2) se transmet de différentes façons; cependant, le présent document porte sur la transmission par les gouttelettes respiratoires et les aérosols.

Éléments clés

- La distinction historique que l'on a établie entre la transmission par gouttelettes et par aérosols, même si elle se révèle utile pour mettre en place des stratégies de prévention et de contrôle des infections (SPCI), ne rend pas compte avec exactitude de la complexité de la transmission des maladies respiratoires d'origine virale, y compris le SRAS-CoV-2.
- Le SRAS-CoV-2 se transmet le plus souvent et le plus facilement sur de courtes distances, par une exposition à des particules inhalables dont la taille varie des grosses gouttelettes, qui tombent rapidement au sol, aux particules plus fines, appelées aérosols, qui peuvent rester en suspension dans l'air.
- Des données semblent indiquer qu'une transmission sur de longues distances peut survenir lorsque certaines conditions sont favorables, impliquant ainsi les aérosols dans cette transmission.

- Le rôle relatif des grosses gouttelettes par rapport à celui des particules fines dans la transmission sur de courtes distances est difficile à quantifier. Leurs contributions respectives dans le cadre d'une interaction cas-contact spécifique varient en fonction de facteurs propres au contexte, notamment les caractéristiques de la source et du récepteur (p. ex. expulsion de particules associées au chant, à la toux, aux éternuements; charge virale) et les caractéristiques de la trajectoire (p. ex. durée de l'exposition, conditions environnementales, comme la ventilation, la température, l'humidité, les rayons ultraviolets; le contrôle à la source; et l'usage d'équipement de protection individuelle).
- Pour traduire ce sommaire en mesures de contrôle, il faut tenir compte d'autres informations, notamment les données entourant l'efficacité des mesures de contrôle instaurées à ce jour. Plusieurs mesures de contrôle appliquées ensemble et de manière à se chevaucher (ce qui comprend une vaste couverture vaccinale et des restrictions concernant les espaces fermés, les endroits surpeuplés et les contacts étroits) sont susceptibles d'être efficaces, sans égard à la contribution relative des gouttelettes ou des aérosols.

Contexte

Le diamètre des particules inhalables qui contiennent des micro-organismes pouvant causer des infections respiratoires s'échelonne d'environ 0,01 micromètre (μm) à plus de 100 μm ¹. Les particules de plus de 100 μm jouent un rôle dans la transmission des infections respiratoires en entrant en contact avec les surfaces muqueuses, comme les narines, la bouche et les yeux. Les particules de moins de 100 μm peuvent être inhalées ou se déposer sur les surfaces muqueuses. Certaines particules sont assez petites pour rester en suspension dans l'air pendant des périodes plus ou moins longues (ce sont les aérosols)². Certains facteurs environnementaux, comme la circulation de l'air et l'humidité, influent sur ces particules, p. ex. sur la façon dont elles se déplacent et s'évaporent, et la période pendant laquelle elles restent en suspension dans l'air³. Par conséquent, le mode de transmission est influencé par trois éléments clés : la source, la trajectoire et le récepteur. Selon les caractéristiques uniques de chacun de ces éléments, certains modes de transmission sont plus fréquents que d'autres.

Traditionnellement, les particules inhalables de >5 ou 10 μm sont qualifiées de gouttelettes : on croyait qu'elles entraient en contact direct avec les muqueuses, alors que les plus petites particules étaient inhalées. Cette distinction quant aux voies de transmission a servi de fondement aux mesures de prévention des infections dans les environnements de soins du monde entier. Cependant, ces voies de transmission ne s'excluent pas mutuellement puisque les gouttelettes de plus de 5 μm peuvent demeurer en suspension dans l'air pendant un certain temps et être inhalées. Sur une courte distance, dans un rayon de 2 mètres (m), l'infection peut être causée par les aérosols inhalés ainsi que par les gouttelettes qui se déposent sur les muqueuses (transmission sur une courte distance). Dans le présent document, on entend par transmission sur une longue distance, ce que l'on appelait traditionnellement la transmission aérienne par inhalation d'aérosols qui sont demeurés en suspension dans l'air sur de longues distances et de longues périodes^{4,5}.

Nous décrivons la transmission au moyen d'études épidémiologiques, d'expériences ou d'études de simulation, ainsi que par une modélisation statistique ou mathématique. La modélisation montre ce qui est possible, les expériences, ce qui est plausible, et les études épidémiologiques, ce qui se produit réellement, et chaque type de données est assujéti à certaines limites. Cependant, les voies de transmission exactes du SRAS-CoV-2 dans des cas réels ne peuvent qu'être déduites des données disponibles.

Ce bref aperçu a pour but de présenter les faits concernant la transmission du SRAS-CoV-2 par les gouttelettes et les aérosols. Nous avons résumé les données en fonction d'une transmission sur une courte distance, attribuable aux grosses gouttelettes respiratoires ou aux aérosols, et d'une transmission sur une longue distance, attribuable aux aérosols.

Méthode et portée

Les impératifs de faisabilité, de portée et de réactivité nous ont poussés à utiliser l'examen rapide pour mettre à jour notre sommaire sur la transmission du SRAS-CoV-2 par gouttelettes respiratoires et aérosols. Un examen rapide est une synthèse des connaissances effectuée en omettant certaines étapes du processus d'examen systématique aux fins d'une publication en temps opportun (p. ex. double contrôle)⁶.

Nous avons effectué une recherche documentaire dans MEDLINE (22 avril 2021) et dans le volet COVID-19 des National Institutes of Health (prépublication) (27 avril 2021). Nos stratégies de recherche sont disponibles sur demande. Nous avons également consulté PubMed et Google Scholar le 28 avril 2021 afin de trouver d'autres articles pertinents.

Nous avons inclus des documents rédigés en anglais, révisés ou non par les pairs, qui décrivent les voies de transmission de la COVID-19 par grosses gouttelettes respiratoires et aérosols, tout en limitant nos recherches aux articles publiés après le 1^{er} janvier 2020. Cet examen rapide portait principalement sur les données probantes tirées des revues systématiques et des méta-analyses, et complétées par la littérature primaire, lorsque cela était jugé pertinent. Nous avons passé en revue les documents cités dans les articles retenus pour repérer des études additionnelles.

Avant l'étape de la publication, des experts de SPO passent en revue tous les documents de la série Ce que nous savons jusqu'à présent. Comme les données scientifiques évoluent rapidement, l'information contenue dans le présent document reflète l'information qui était à jour au moment de nos recherches documentaires.

L'examen des stratégies de prévention et de contrôle des infections (SPCI) concernant des contextes et scénarios de transmission individuelle ne relevait pas de la portée du présent document. L'application de mesures de contrôle progressives hors des établissements de soins de santé fait l'objet d'une brève discussion dans la section conclusion. Pour obtenir d'autres renseignements sur les SPCI dans les établissements de soins, veuillez consulter le document technique de SPO intitulé *Recommandations en PCI concernant l'utilisation d'équipements de protection individuelle pour la prise en charge des personnes dont l'infection à la COVID-19 est suspectée ou confirmée* et *Lignes directrices provisoires sur la prévention et le contrôle des variants préoccupants du SRAS-CoV-2 à l'intention des lieux de soins de santé*^{7,8}. Veuillez noter que la Directive no 1 du ministère de la Santé constitue la norme de base pour la distribution d'équipement de protection individuelle dans les hôpitaux, les établissements de soins de longue durée et les maisons de retraite, et que la Directive no 5 du ministère de la Santé vise à inciter les travailleurs de la santé à prendre des décisions professionnelles concernant le port d'équipements de protection individuelle pour la prise en charge de patients ou de résidents dont l'infection à la COVID-19 est suspectée ou confirmée^{9,10}. Les données sur la transmission par contact/matières contaminées, et sur les facteurs liés au virus et à l'hôte (source/récepteur) n'ont pas été examinées dans le présent document, mais ces éléments sont reconnus comme contribuant à une transmission sur une courte et une longue distance. D'autres voies de transmission sont examinées dans le document de synthèse intitulé *Les voies de transmission de la COVID-19 – Ce que nous savons jusqu'à présent*¹¹.

Transmission sur une courte distance

Principales observations

Le SRAS-CoV-2 se transmet le plus souvent et le plus facilement sur de courtes distances. La transmission sur une courte distance survient généralement dans un rayon de 2 m d'une personne infectée (p. ex. lors d'une conversation où la distanciation n'est pas suffisante, sans mesure barrière et sans équipement de protection individuelle). En théorie, la transmission sur une courte distance peut être attribuable aux gouttelettes ou aux aérosols, mais la contribution relative de chacun est spécifique à l'interaction cas-contact, qui elle-même varie selon certains facteurs propres au contexte, comme la source et le récepteur et les caractéristiques de la trajectoire.

Facteurs environnementaux qui influent sur la trajectoire des gouttelettes et aérosols sur une courte distance

En plus des facteurs liés au virus et à l'hôte, certains facteurs environnementaux sont associés à une transmission virale sur une courte distance. La distance parcourue par les grosses gouttelettes respiratoires est généralement de <2 m, mais elle peut atteindre 8 m dans certaines circonstances. Dans une étude de Guo et coll. (2020), on a trouvé le virus du SRAS-CoV-2 sur le sol jusqu'à une distance de 4 m d'un patient¹². Dans une revue systématique des études évaluant la distance horizontale parcourue par les gouttelettes respiratoires, Bahl et coll. (2020) rapportent que les gouttelettes peuvent parcourir jusqu'à 8 m¹³. Au moyen d'un modèle mathématique établi par Chen et coll. (2021), les chercheurs rapportent que les gouttelettes respiratoires de >100 µm de diamètre ne jouent un rôle concluant dans la transmission du virus que lorsqu'elles parcourent une distance de moins de 0,2 m si la personne infectée parle, ou une distance de 0,5 m si la personne infectée tousse¹⁴. La modélisation de Wang et coll. (2021) (prépublication) laisse entendre que les gouttelettes de >100 µm ne dépassent pas généralement une distance de 1,75 m (la plupart des gouttelettes de >100 µm de diamètre se déposent dans un rayon inférieur à 1,25 m)¹⁵.

Dans un examen de la transmission des virus respiratoires, Leung (2021) a rapporté que certains facteurs environnementaux ont une incidence sur la transmission, notamment la température, l'humidité relative, la ventilation, la circulation de l'air et les rayons ultraviolets (UV)¹⁶. La ventilation, la circulation de l'air et l'expulsion violente (éternuement ou toux) peuvent transporter les particules inhalables au-delà de 2 m^{14,17}. Les températures élevées et un faible taux d'humidité contribuent à réduire la taille de gouttelettes, qui peuvent ainsi rester en suspension dans l'air pendant de plus longues périodes¹⁸.

Même sur de courtes distances, la ventilation peut jouer un rôle dans la transmission. De Oliveira et coll. (2021) ont établi un modèle du risque d'infection dans des espaces ventilés (10 changements d'air à l'heure [CAH]) et non ventilés sans protection respiratoire pendant une période d'exposition d'une heure, à 2 m de distance¹⁹. L'effet de la ventilation sur la dissipation du virus dans l'air était significatif. Les chercheurs ont estimé que le risque d'infection était au moins trois fois inférieur, selon les paramètres et hypothèses sur lesquels reposait leur modèle. Les auteurs ont également mentionné que la direction dans laquelle l'air circule peut avoir un effet important – une circulation d'air ascendante contribue à maintenir les aérosols au niveau du visage, ce qui augmente considérablement le risque d'infection.

Les milieux intérieurs constituent un facteur de risque de transmission prédominant. Dans une revue systématique de cinq études, Bulfone et coll. (2020) rapportent que la cote de transmission était 18,7 fois supérieure (intervalle de confiance [IC] de 95 % : 6,0 à 57,9) à l'intérieur qu'à l'extérieur, et que moins de 10 % des infections sont survenues à l'extérieur²⁰. Très peu d'événements superpropagateurs ont été observés à la suite d'une exposition exclusivement extérieure. Ce constat peut s'expliquer par de multiples facteurs, notamment par des différences importantes au niveau de la ventilation, des rayons UV, de l'humidité, mais aussi par des différences de comportement possibles.

Études épidémiologiques et de modélisation décrivant la transmission sur une courte distance

Dans cette section, on examine les données épidémiologiques et issues des exercices de modélisation qui étayaient la transmission de la COVID-19 sur une courte distance. On se penche sur le taux de reproduction de base et résume les études épidémiologiques et de modélisation en fonction du contexte, soit dans les transports, dans les établissements de soins et lors d'activités sportives.

Le taux de reproduction (R_0) du SRAS-CoV-2 ne semble pas correspondre à la transmission habituellement observée sur une longue distance, puisque les virus qui se transmettent généralement sur une longue distance tendent à afficher un R_0 plus élevé¹⁶. Par exemple, dans une revue systématique, Guerra et coll. (2017) montrent qu'avant l'apparition du vaccin contre la rougeole, le R_0 pour cette maladie était de 6,1 à 27,0²¹, comparativement à un spectre médian de 2,7 à 3,3 pour le SRAS-CoV-2²². Il importe de noter que le R_0 n'est pas une mesure directe ou une indication de la voie de transmission, puisque le R_0 peut être spécifique à un contexte et à une population, et être influencé par des facteurs comme les comportements humains. Le R_0 du SRAS-CoV-2 témoigne également d'une dispersion accrue, puisque le R_0 général est inférieur à celui de pathogènes qui se transmettent généralement par aérosols sur de longues distances, mais un petit nombre de cas sont associés à des taux de reproduction équivalant aux intervalles typiques de virus qui se transmettent habituellement par aérosols sur de longues distances²³ (p. ex. événements superpropagateurs). Ces cas montrent la variabilité potentielle de la transmission de la COVID-19, selon les caractéristiques de la source/du récepteur et de l'environnement.

Dans une étude rétrospective d'une cohorte de 18 vols à long et moyen courriers (durée médiane du vol de 115 minutes) vers l'Angleterre, depuis le début de la pandémie²⁴, les chercheurs ont retenu l'hypothèse de la transmission sur une courte distance. Le taux d'infection était de 0,2 % (intervalle de confiance de 95 % [IC] : 0,1 à 0,5) pour tous les cas dépistés à la suite d'un vol, et atteignait 3,8 % (IC de 95 % : 1,3 à 10,6) si l'analyse d'un sous-groupe était effectuée uniquement pour les contacts dans un rayon de deux sièges. On a émis l'hypothèse selon laquelle personne ne portait de masque, puisque la pandémie ne faisait que commencer.

Les repas en famille présentent un risque de transmission élevé. Lo Menzo et coll. (2021) ont rapporté que le variant préoccupant B.1.1.7 avait été transmis à 8 des 9 membres d'une famille lors d'un repas²⁵. Le seul membre de la famille qui n'a pas été infecté aurait été immunisé par une infection antérieure (titres élevés d'anticorps et résultat négatif à l'épreuve de réaction en chaîne de la polymérase (PCR)). La transmission par contact et surfaces contaminées ne peut être exclue de ce type d'événement.

Dans une étude cas-témoin menée auprès de 154 patients âgés de 18 ans et plus aux États-Unis (É.-U.), Fisher et coll. (2020) rapportent qu'un contact étroit avec une personne atteinte de la COVID-19 a été signalé plus souvent parmi les cas (42,2 %) que parmi les témoins (14,5 %) ($p < 0,01$)²⁶.

La transmission sur une courte distance a été documentée en milieux scolaires. Quatre événements de transmission élève à élève et un événement de transmission élève à enseignant ont été rapportés dans le comté Salt Lake, en Utah²⁷. Pour quatre événements de transmission, sans protection, on note qu'il y a eu exposition sur une courte distance. Il n'y a pas eu de transmission à d'autres élèves à une distance médiane de 1 m pendant les cours, mais ces derniers respectaient les mesures de contrôle instaurées par l'école. Cependant, lorsque des cas secondaires associés à une transmission intrafamiliale ont été évalués, on a constaté que la transmission était élevée dans 3 des 5 ménages où se trouvaient des cas secondaires. Dans ces trois ménages, 6 des 8 membres du ménage ont également été infectés, une situation qui pourrait être attribuable à la difficulté de maintenir la distanciation physique et d'imposer le port du masque, et aux surfaces communes dans la maison.

En procédant au séquençage du génome complet du SRAS-CoV-2 dans des échantillons cliniques (n=50) à Dublin, en Irlande, Lucey et coll. (2020) ont étudié des cas de COVID-19 contractée à l'hôpital et rapporté que la majorité des infections sont survenues chez des patients qui recevaient des soins intensifs et prolongés²⁸. Les auteurs concluent que la transmission probable des travailleurs de la santé aux patients s'est faite sur une courte distance et à la suite d'un contact étroit, plutôt que sur une longue distance. Il importe de préciser que le recours aux masques par les soignants n'était pas généralisé et que les patients ne portaient pas de masque non plus.

Trois événements de transmission sur une courte distance dans un milieu de soins ont été rapportés où la transmission par gouttelettes respiratoires était moins probable, puisque la source ou le contact portait un masque et que dans deux des trois événements, le contact portait également une protection oculaire²⁹. Dans le premier cas, un patient asymptomatique ne portant pas de masque a transmis le virus à deux travailleurs de la santé qui portaient un masque médical et un couvre-visage à la suite de plusieurs heures d'exposition dans une chambre avec un débit de 6 CAH (changements d'air à la minute). Le second cas est survenu lorsqu'un travailleur de la santé présymptomatique portant un masque a transmis le virus à un patient ne portant pas de masque dans une chambre avec un débit de 6 CAH. Le troisième cas impliquait un patient présymptomatique portant un masque qui a transmis le virus à un travailleur de la santé qui portait un masque et des lunettes de protection lors d'une discussion de 45 minutes, face à face, à une distance d'un mètre. Dans ce troisième cas, le masque du patient a dû être retiré temporairement pour un examen de l'oropharynx. Même si le séquençage du génome complet a été vérifié pour chaque cas, on ne dispose pas de suffisamment de détails sur la nature exacte de ces rencontres (p. ex. distance, durée, possibilité de contact direct, possibilité d'erreurs quant à la procédure de changement des EPI), et aucune étude sur la circulation de l'air n'a été effectuée.

Une analyse des infections au SRAS-CoV-2 au sein d'une équipe de rugby jouant à l'extérieur, comprenant l'étude d'une vidéo où l'on peut observer des contacts étroits inhérents à la nature du jeu, montre qu'aucun cas dépisté parmi les joueurs ne peut être attribué à un contact étroit lors de parties extérieures³⁰. La transmission est plutôt liée à d'autres événements survenus à l'intérieur, sur une courte distance. Même si cette étude montre qu'il n'y a pas eu d'exemples de transmission extérieure par contacts étroits, les chercheurs n'ont pas pu documenter suffisamment de contacts étroits pour écarter toute transmission par contact étroit dans le contexte d'une partie de rugby à l'extérieur.

Dans une étude de modélisation, Zhang et Wang (2020) ont rapporté que le risque d'infection médian attribuable aux aérosols sur une longue distance (10^{-6} à 10^{-4}) était beaucoup plus faible que le risque d'infection par contact étroit (10^{-1})³¹. Le modèle reposait sur une exposition d'une heure dans une pièce contenant une zone de 10 à 400 m² où se trouvait une personne infectée et où le taux de ventilation était de 0,1 à 2,0 CAH. Dans une étude de modélisation de Hu et coll. (2020), le risque de transmission

mesuré à partir des données épidémiologiques des passagers d'un train était de 0 % à 10,3 % (IC de 95 % : 5,3 % à 19,0 %) ³². Les voyageurs se trouvant à proximité du cas index présentaient un taux d'infection nettement supérieur (risque relatif [RR] : 18,0; IC de 95 % : 13,9 à 23,4), et le taux d'infection diminuait en fonction de la distance.

Taux d'infection secondaire dans les ménages et dans d'autres milieux

Selon le consensus établi à partir des revues systématiques, dans les ménages où la distanciation physique, le port constant du masque par les personnes contaminées et la désinfection des surfaces communes sont pratiquement impossibles, le risque d'infection est plus élevé que dans les milieux où les contacts sont occasionnels (17 % à 27 % par rapport à 0 % à 7 %). Cependant, le taux d'infection secondaire dans les ménages n'est pas aussi élevé qu'il pourrait l'être si le SRAS-CoV-2 se propageait facilement sur une longue distance (p. ex. >90 % pour la rougeole) ^{16,33}.

Dans une revue systématique et une méta-analyse de 54 études et de 77 758 patients, Madewell et coll. (2020) ont rapporté que le taux d'infection secondaire dans les ménages était de 16,6 % (IC de 95 % : 14,0 à 19,3) ³⁴. Dans une revue systématique et une méta-analyse de 45 études, Thompson et coll. (2021) ont estimé que le taux d'infection secondaire dans les ménages était de 21,1 % (IC de 95 % : 17,4 à 24,8; 29 études) ³⁵. Les autres milieux présentaient des taux d'infection secondaire plus faibles : 1) contextes sociaux avec des amis et parents (5,9 %; IC de 95 % : 0,3 à 9,8; 7 études); 2) déplacements (5,0 %; IC de 95 % : 0,3 à 9,8; 5 études); 3) milieux de soins (3,6 %; IC de 95 % : 1,0 à 6,9; 10 études); lieux de travail (1,9 %; IC de 95 % : 0,0 à 3,9; 7 études); et milieux de contacts occasionnels avec d'autres personnes (1,2 %; IC de 95 % : 0,3 à 2,1; 7 études). Koh et coll. (2020), dans une méta-analyse de 43 études, ont rapporté que le taux d'infection secondaire dans les ménages était de 18,1 % (IC de 95 % : 15,7 à 20,6; 43 études), soit beaucoup plus que le taux d'infection secondaire dans les milieux de soins (0,7 %; IC de 95 % : 0,4 à 1,0; 18 études) ³⁶. Dans une revue systématique et une méta-analyse de 24 études, Lei et coll. (2020) ont rapporté que le taux d'infection secondaire dans les ménages était de 27 % (IC de 95 % : 21 à 32); le risque d'infection secondaire était 10 fois plus élevé dans les ménages que dans d'autres milieux (rapport des cotes (RC) : 10,7; IC de 95 % : 5,7 à 20,2; $p < 0,001$) ³⁷. Tian et Huo (2020), dans une méta-analyse de 18 études, ont rapporté que le taux d'infection secondaire dans les ménages était de 20 % (IC de 95 % : 15 à 28; 15 études; $n = 3\,861$ patients), suivi des rassemblements sociaux à 6 % (IC de 95 % : 3 à 10; 5 études; $n = 2\,154$ patients) et des milieux de soins à 1 % (IC de 95 % : 1 à 2; 4 études; $n = 1\,320$ patients) ³⁸.

Transmission sur une longue distance

Principales observations

La transmission du SRAS-CoV-2 sur de plus longues distances (généralement >2 m) et de plus longues périodes survient par inhalation d'aérosols lorsque certaines circonstances favorables sont réunies, notamment dans le cas d'une exposition prolongée dans un espace mal ventilé. Les données récentes étayaient la transmission « opportuniste » du SRAS-CoV-2 sur une longue distance dans certaines circonstances, mais cela se produit de manière aléatoire, et ce type de transmission n'est pas prédominant. Les études épidémiologiques et de modélisation montrent que la transmission par aérosols sur de longues distances est réelle. Tous ces exemples reposent sur une combinaison de facteurs favorables touchant la source et le récepteur, ainsi que les voies de transmission, comme une ventilation inadéquate, une exposition prolongée, une charge virale élevée, certaines activités (chant, exercice physique, cris, etc.) et l'absence de masque permettant un contrôle à la source chez le cas index.

Facteurs environnementaux qui influent sur la dispersion des aérosols sur de longues distances

Dans leurs modèles expérimentaux, des chercheurs ont montré que la transmission sur de longues distances était possible. Dans une série d'expériences, de simulations et d'exercices de modélisation, Wang et coll. (2021) (prépublication) ont rapporté que les aérosols pouvaient demeurer en suspension plus longtemps qu'on ne le pensait¹⁵. En général, le nombre de copies/ml ou la concentration diminue lorsque l'on s'éloigne de la source. Leurs travaux montrent que le temps d'évaporation des grosses gouttelettes respiratoires est plus long que prévu, surtout lorsque l'humidité relative est plus élevée (90 %). Dans un « panache » d'éternuement, les plus grosses gouttelettes respiratoires (>100 µm) se trouvent au centre du panache, et les plus petites gouttelettes et aérosols, en périphérie. Les plus grosses gouttelettes contiennent plus de copies du virus, mais sont moins abondantes car elles se déposent rapidement au sol, alors que les plus petites gouttelettes contiennent moins de copies du virus, mais sont plus abondantes et demeurent en suspension dans l'air. Les auteurs concluent que même si la transmission par aérosols est importante au-delà d'un mètre de la source, elle est probablement plus importante sur de plus courtes distances.

Les études de modélisation ont également montré la possibilité d'une transmission par aérosols à des distances variées. Xu et coll. (2021) ont analysé les données de 197 cas de COVID-19 symptomatiques lors de l'éclosion à bord du bateau de croisière Diamond Princess et ont conclu qu'il n'y a pas eu de transmission sur de longues distances entre les cabines compte tenu de la distribution aléatoire des cas symptomatiques sur tous les ponts et de l'absence d'infections attribuables à des contacts étroits (dans les cabines)³⁹. Les auteurs présumant que la transmission est essentiellement survenue dans des lieux publics, avant la quarantaine, possiblement en raison d'un fort achalandage et d'une ventilation insuffisante de ces espaces. Les auteurs croient également qu'il n'y a eu aucune transmission entre les cabines de passagers pendant la période de quarantaine et que le système de chauffage, de ventilation et de climatisation central (CVC) du navire n'a pas contribué à la transmission du SRAS-CoV-2. Cependant, les auteurs ont noté que l'absence de données sur 109 des 306 patients symptomatiques et sur les 328 patients asymptomatiques pourrait modifier leur estimation. En outre, leur estimation n'a pas tenu compte de la transmission possible entre les membres de l'équipage et les passagers. Un autre modèle de la même éclosion estimait que la transmission sur de courtes distances (par gouttelettes ou aérosols) représentait une médiane de 36 % (moyenne : 35 %) des événements de transmission et les surfaces contaminées représentaient une médiane de 21 % (moyenne : 30 %); la transmission sur de longues distances (médiane : 41 %; moyenne : 35 %) contribuant aux autres événements⁴⁰.

Une étude des particules en suspension dans l'air (<5 µm de diamètre) par Dobramysl et coll. (2021) (prépublication) rapportait que le temps d'infection suit à peu près linéairement l'éloignement de la source, cette distance constituant le paramètre le plus important du temps d'infection⁴¹. Le fait d'être exposé à une personne qui respire normalement (simulant une personne asymptomatique) à une distance d'un mètre entraîne une infection après 90 minutes; cependant, une toux survenant toutes les cinq minutes entraîne une infection après 15 minutes. Le port du masque et une ventilation, même minimale, augmente le temps d'infection à partir d'une certaine distance. L'importance de la ventilation est également décrite dans une étude de modélisation de Jones (2020), qui laisse entendre que l'exposition aux particules inhalables survient essentiellement (80 %) en cas de proximité étroite avec le patient⁴². Sans circulation d'air, les aérosols montent au-dessus de la tête; cependant, les déplacements d'air peuvent modifier la trajectoire des aérosols contenant le virus, rapprochant les aérosols du visage⁴³⁻⁴⁵. Une étude de modélisation de Sen (2021) montrait que lorsque le ventilateur de plafond d'un ascenseur était éteint, environ 11 % des gouttelettes expulsées en toussant tombaient au sol, alors que

98 % s'évaporaient et se contractaient⁴⁶. Après s'être déplacées vers le sol lors d'un déplacement d'air induit par la toux pendant environ 6 secondes, les gouttelettes de 50 µm tendent à remonter et à s'éparpiller en hauteur dans la partie supérieure de l'ascenseur. Si un passager tousse à 30° d'un autre passager, jusqu'à 40 % des gouttelettes peuvent entrer en contact avec le visage d'un autre passager de l'ascenseur. Cependant, lorsque le ventilateur est activé, jusqu'à 50 % des gouttelettes sont rabattues au sol en moins de 3 secondes.

Le sous-sol d'un grand marché de vente en gros, à la source d'une éclosion majeure à Beijing, en Chine, a fait l'objet d'une enquête⁴⁷. De nombreux facteurs ont contribué à la propagation du virus par de multiples voies de transmission possibles, notamment la transmission sur une longue distance. Une étude du terrain faisant appel à des poudres fluorescentes et à des microsphères comme traceurs a permis aux auteurs de conclure que même s'il y avait circulation d'air, cet air n'était pas filtré et l'apport en air frais était minimal; en outre, les auteurs ont observé un taux d'humidité élevé, des températures basses, des articles d'hygiène des mains insuffisants dans les salles de bain et une contamination importante des surfaces, en partie attribuable à la remise en suspension des gouttelettes à partir des planchers mouillés.

Comme la persistance des aérosols dans le temps est un facteur contribuant à la transmission sur une longue distance, la viabilité du SRAS-CoV-2 dans les aérosols est un élément important à considérer. La demie-vie du SRAS-CoV-2 dans les aérosols est d'environ une heure^{48,49}. L'humidité a un effet moins marqué sur la viabilité du SRAS-CoV-2 dans les aérosols que les rayons du soleil ou la température^{50,51}. L'augmentation de la température entraîne une diminution de la demie-vie du SRAS-CoV-2 dans les aérosols⁵²⁻⁵⁴. Dans le cadre d'une expérience faisant appel à un tambour rotatif, similaire à d'autres études sur la viabilité du SRAS-CoV-2, une lumière solaire simulée (UVA/UVB) a été appliquée à un virus en aérosol à travers une fenêtre du tambour⁵¹. Les résultats ont montré que 90 % des particules virales étaient inactivées en 20 minutes.

Une ventilation inadéquate peut contribuer à la diffusion des aérosols, lorsque l'accumulation d'aérosols contaminés est inversement proportionnelle au nombre d'échanges d'air⁵⁵⁻⁵⁷. Dans une étude de modélisation, Schijven et coll. (2021) ont évalué le risque de transmission du SRAS-CoV-2 par aérosols à une distance supérieure à 1,5 m attribuable à la respiration continue, au fait de parler ou de chanter, à un épisode de toux ou à un éternuement dans un environnement intérieur de 100 m³⁵⁸. Lorsqu'il n'y avait pas de ventilation, le risque moyen de transmission (dérivé des données dose-effet pour le coronavirus humain 229E) après 20 minutes d'exposition à une personne présentant une charge virale de 10⁷ copies d'ARN/ml de mucus était estimé à 0,1 %, sauf dans le cas d'un éternuement produisant un volume d'aérosols élevé (40 000 picolitres/éternuement). Le risque moyen de transmission dépasse 30 % dans le cas d'un éternuement produisant un fort volume d'aérosols et dépasse 10 % lors d'un épisode de chant après une exposition de deux heures à une personne dont la charge virale est supérieure à 10⁸ copies d'ARN/ml de mucus. Un débit de 1 CAH réduit le risque environ de moitié. Pour un débit de 6 CAH, le risque de transmission est réduit par un facteur de 8 à 13 pour la toux et les éternuements, et par un facteur de 4 à 9 lorsque les sujets chantent, parlent et respirent.

Les estimations de la dose infectieuse minimale, de la quantité de virus viable dans les aérosols et des taux d'exposition quantifiés sont insuffisantes. Dans une étude prépubliée, on a examiné des événements superpropagateurs liés à une transmission sur une longue distance afin de déterminer la dose infectieuse minimale menant à une transmission⁵⁹. Le modèle faisait appel à un taux d'élimination du virion en aérosol fondé sur les données d'autres coronavirus, et à un taux de déstabilisation mesuré pour le SRAS-CoV-2. Les auteurs ont rapporté un seuil d'exposition critique pour la transmission par aérosols de 50 virions. Une caractérisation informatique des gouttelettes inhalées par Basu (2021)

estimait la dose infectieuse inhalée à environ 300 virions, ce qui est similaire aux estimations de 500 virions chez les furets⁶⁰. L'auteur reconnaît que cette estimation peut varier considérablement, selon certains facteurs biologiques environnementaux et individuels.

Études épidémiologiques et de modélisation décrivant la transmission sur une longue distance

Les études de cas épidémiologiques rapportent une transmission du SRAS-CoV-2 sur une longue distance exclusivement dans des milieux intérieurs (p. ex. autobus, restaurant, salle de concert, immeuble d'appartements, bureaux)⁶¹⁻⁶⁷. Dans la plupart des cas, la transmission sur une longue distance était considérée comme la voie de transmission dominante, puisque les personnes infectées se trouvaient généralement à plus de 2 m des cas index. En outre, dans ces études de cas, des personnes susceptibles d'être infectées ont été exposées à des cas index pour des périodes prolongées (>50 minutes) dans des milieux intérieurs où la ventilation était inadéquate et, dans certains cas, où les activités exercées (p.ex. chant, cris, exercices physiques) entraînaient un débit respiratoire accru. On ajoutera que ni les cas index, ni les contacts ne portaient de masque. Comme dans la plupart des études épidémiologiques sur des événements de transmission, il a été difficile d'exclure d'autres voies contribuant à la transmission. Nous résumons dans les présentes quelques-unes de ces études de cas, en décrivant les milieux et les facteurs contextuels contribuant à une transmission sur une longue distance.

La stagnation de l'air dans un milieu intérieur peut contribuer à la diffusion des aérosols. Dans un cas particulier, une série de transmissions a pu être reliée à une personne qui a développé des symptômes à peu près au moment où elle jouait au squash sur un court non ventilé⁶⁸. Les joueurs qui sont arrivés dans les heures suivantes et qui ont joué sur le même court ont par la suite été déclarés positifs, mais d'autres voies (p. ex. contacts avec des membres du personnel non identifiés, surfaces communes) pourraient avoir contribué à cette transmission et sa source n'a pas pu être confirmée. En comparaison, une analyse postopératoire des patients susceptibles d'être infectés (qui n'ont jamais contracté le SRAS-CoV-2 ou qui n'ont pas été vaccinés) dans un bloc opératoire dans les 48 heures suivant l'utilisation du bloc pour des patients atteints du SRAS-CoV-2 n'a révélé aucun événement de transmission. Le taux d'événement était inférieur à celui d'un groupe de référence (0 % c. 1,9 %) ⁶⁹. La ventilation a été un facteur prépondérant pour prévenir la transmission dans le bloc opératoire.

Dans une étude menée aux Pays-Bas sur six événements où les participants chantaient dans un milieu intérieur (dont cinq avec transmission), Shah et coll. (2021) (prépublication) ont rapporté que la transmission sur une longue distance était sans doute la voie de transmission probable (la transmission sur une courte distance pourrait être en cause dans trois de ces événements et la transmission par contact, dans un de ces événements)⁶². Les auteurs ont établi que cette transmission était soit moins probable, soit possible; cependant, les auteurs ne précisent pas comment ils en sont venus à cette évaluation. Le taux d'infection s'échelonnait de 25 % à 74 % (9 à 21 personnes âgées de 20 à 79 ans étaient présentes lors de ces événements) et les auteurs émettent l'hypothèse que la transmission est attribuable à l'activité en cause, soit le chant. Les auteurs notent qu'ils ne peuvent pas quantifier la contribution de chaque voie de transmission. Un séquençage génomique, qui aurait permis d'écarter d'autres sources du SRAS-CoV-2, n'a pas été effectué.

Dans une chorale (Washington, É.-U.), 53 des 60 choristes (excluant le patient index) ont été infectés (cas confirmés) ou étaient fortement suspectés d'avoir été infectés lors d'une répétition de 2,5 heures dans une salle de concert⁶⁴. Les personnes qui se sont déplacées dans une autre section du bâtiment,

loin du cas index, pour s'exercer pendant 45 minutes étaient moins susceptibles d'être infectées que celles qui sont demeurées dans la salle pendant toute la durée de la répétition.

Douze cas secondaires du SRAS-CoV-2 ont été reliés à un cas index, soit un choriste de 18 ans avec une charge virale élevée qui a chanté lors de quatre services religieux d'une heure⁷⁰. Le cas index était assis à un piano surélevé à environ 3 m du sol, faisant dos aux cas secondaires. Les cas secondaires étaient assis de 1 à 15 m (distance horizontale) du cas index. Le port du masque n'était pas imposé et la ventilation lors du service religieux était minimale (le système de ventilation et les ventilateurs n'étaient pas en marche, et les portes et fenêtres étaient essentiellement fermées). Il est intéressant de souligner qu'aucun nouveau cas n'a été relié à une exposition survenue le jour où sont apparus les symptômes respiratoires, et rien ne permet d'expliquer pourquoi seulement une certaine section de la salle, près du choriste, a été touchée, alors que les autres sections (incluant celles se trouvant directement devant le cas index) ont été épargnées.

Dans une étude de cas de Shen et coll. (2020), des passagers qui ne portaient pas de masque ont été exposés à un patient index présymptomatique pendant 100 minutes, à bord d'un autobus, dans l'est de la Chine⁶¹. Vingt-quatre des soixante-sept passagers ont été infectés, dont plusieurs passagers assis à plus de 2 m de distance. L'autobus contenant le patient index était chauffé et il y avait circulation d'air, sans filtration. Les infections se sont produites chez des passagers aux deux extrémités de l'autobus, et le cas index était assis environ au milieu du véhicule. Le risque d'infection était modérément plus élevé pour les personnes assises près du patient index. En comparaison, sept personnes sur cent soixante-douze assistant au même service religieux ont été déclarées positives. Certaines ont reçu un test positif plus de 14 jours suivant l'exposition; par conséquent, la transmission n'est probablement pas survenue dans l'autobus pour ces cas particuliers. Les auteurs de l'étude avancent que la mauvaise ventilation dans l'autobus étaye la thèse de la transmission par aérosols dans cette cohorte; cependant, d'autres voies de transmission, comme les contacts étroits attribuables aux déplacements des passagers dans l'autobus et les surfaces contaminées, ne peuvent être exclues.

Les véhicules sont des environnements propices à une transmission sur une courte et une longue distance. Une fourgonnette transportant des patients a été impliquée dans une transmission par aérosols sur une longue distance, malgré la distanciation physique observée par les conducteurs infectés, lors de deux événements de transmission distincts⁷³. Un conducteur ne portait pas de masque, mais tous les passagers portaient un masque à une seule épaisseur. Les passagers ont été exposés pendant deux heures, lors des deux événements. La transmission a été confirmée par le séquençage du génome entier. Les ventilateurs fonctionnaient à vitesse moyenne et les fenêtres étaient fermées. Des expériences sur la circulation d'air ont été effectuées avec des aérosols de différentes tailles, démontrant le caractère plausible d'une propagation attribuable au conducteur.

Une enquête épidémiologique portait sur une chaîne de transmission qui a débuté sur un vol de l'Inde vers la Nouvelle-Zélande, et s'est poursuivie lors du transport en autobus jusqu'au site de quarantaine, du séjour dans le site de quarantaine, du transport en autobus jusqu'à l'aéroport et ensuite dans les ménages⁷². À partir des dates des tests positifs, le séquençage du génome, la position des passagers dans l'avion et l'emplacement des chambres à l'hôtel, les événements de transmission ont été attribués à une transmission sur une courte et une longue distance à bord de l'avion, dans le site de quarantaine et dans les ménages. Le masque était exigé à bord de l'avion et de l'autobus. Un des événements de transmission est survenu entre deux chambres d'hôtel adjacentes du site de quarantaine. Les auteurs ont fait appel à des vidéos et accumulé plus de 20 heures de visionnement montrant des épisodes où certains articles étaient partagés et d'autres où aucun contact n'était observé. Les auteurs en ont conclu que la transmission par surfaces contaminées était peu probable et ont attribué la transmission aux

aérosols dans les couloirs à l'extérieur des chambres d'hôtel, qui constituaient un lieu fermé et non ventilé. Et surtout, les chambres elles-mêmes, selon une étude du système de ventilation, exerçaient une pression positive par rapport au couloir.

Une enquête menée par Lin et coll. (2021) sur une éclosion de neuf cas de COVID-19 dans trois familles habitant des unités verticalement alignées d'un immeuble d'appartements à Wuhan, en Chine, étaye la possibilité d'une transmission sur une longue distance⁶⁶. L'analyse phylogénétique d'échantillons respiratoires a montré que tous les cas ont été infectés par la même souche du SRAS-CoV-2. L'enquête épidémiologique a montré que 4 cas sur 5 dans la famille index et occupant l'appartement 15-b avaient voyagé à Wuhan, alors que les autres cas dans les appartements 25-b et 27-b n'avaient jamais voyagé à Wuhan et n'avaient pas eu de contacts étroits avec des cas de COVID-19 avant leur infection. La transmission par contact étroit dans les ascenseurs a été jugée peu probable car les enregistrements vidéo ne montrent aucun contact étroit entre la famille index et les cas des unités 25-b et 27-b. Cependant, un incident est survenu où un occupant de l'unité 27-b ne portant pas de masque a pris l'ascenseur 8 minutes après que deux occupants de la famille index, ne portant pas de masque, sont sortis de l'ascenseur. Sur le plan épidémiologique, le taux d'infection pour les résidents des unités b était considérablement plus élevé ($p < 0,05$) que dans les unités a et c. Des tests sur la vitesse de circulation de l'air au niveau du drain de la baignoire et de la bonde de sol ont montré que la circulation d'air provoquée par la chasse d'eau des toilettes à un étage pouvait se répercuter dans l'ensemble du bâtiment, puisque les tuyaux d'écoulement des toilettes et les conduites d'égout reliés aux bondes de sol étaient également reliés au tuyau d'évacuation. Une expérience réalisée au moyen d'un gaz témoin révélait que le gaz pouvait se répandre d'un étage à un autre par les systèmes d'évacuation et de ventilation, d'autant que les joints des siphons en U des bondes de sol étaient asséchés dans certaines unités et que l'utilisation des ventilateurs aspirants pouvait créer une pression négative dans le système de tuyauterie. Une situation similaire impliquant des conduites d'aération dans un complexe d'appartement naturellement ventilé a été rapportée à Séoul, en Corée du Sud⁶⁷. Il n'y avait aucune soupape bloquant l'arrivée d'air dans les salles de bain à partir des puits de ventilation naturelle communs (qui ne servaient pas à la ventilation de l'immeuble ou des appartements). Cette enquête accuse cependant certaines limites, puisqu'elle ne comprenait pas de séquençage du génome ni d'échantillonnage de l'air. L'applicabilité directe de ces cas au contexte canadien est probablement limitée en raison des différences quant aux codes et pratiques de construction.

Indépendamment de la ventilation, les déplacements d'air d'une personne infectée vers les personnes à proximité peuvent constituer un facteur important dans la transmission sur une longue distance. La circulation d'air directe a été impliquée dans un événement de transmission sur une longue distance dans un restaurant, en Corée⁷¹. Le cas index suspecté était assis à 4,8 m et 6,5 m de deux cas secondaires assis à deux tables différentes, et se trouvait directement en amont de la source d'air propulsé dans l'établissement. Neuf autres clients du restaurant ont été déclarés négatifs au SRAS-CoV-2, même si au moins deux d'entre eux ont été plus près du cas index pendant plus longtemps, mais ne se trouvaient pas dans la trajectoire directe de l'air propulsé en amont du cas index. On soulignera que dans un cas, la transmission serait survenue après une exposition de seulement cinq minutes, et que trois clients assis avec les cas secondaires, mais faisant dos au cas index, n'ont pas été infectés.

Une enquête de Lu et coll. (2020) sur une éclosion de COVID-19 dans un restaurant de Guangzhou, en Chine, implique trois familles assises à trois tables très proches les unes des autres pendant environ une heure. Les auteurs ont conclu que le système de climatisation avait probablement contribué à la transmission⁶³. Dans ce scénario, un cas index présymptomatique et des cas secondaires se sont trouvés dans une même zone pendant une période allant de 53 à 73 minutes. L'unité de climatisation qui

fonctionnait de façon continue se trouvait dans la trajectoire du flux d'air des cas secondaires, dans un milieu fermé. Aucun cas secondaire n'a été dépisté chez le personnel ou aux tables adjacentes à l'extérieur de la « colonne d'air » probable. La distance maximale entre le cas index et les cas secondaires était d'environ 3 m. D'autres enquêtes ont révélé que les ventilateurs aspirants avaient été fermés en raison des températures extérieures très froides⁷². L'étude du flux d'air montre que l'air recirculait dans une zone définie, exposant ainsi les trois familles.

Un rapport sur des exercices physiques effectués en groupe dans trois établissements à Hawaï, aux É.-U., a révélé un taux d'infection de 25 % à 100 %⁷⁴. Il n'y avait aucun apport d'air frais et l'exposition est survenue sur une durée d'une heure. Les contacts étroits pendant une période prolongée et l'absence de masque ont été mis en cause dans la transmission.

Une éclosion est survenue dans une chambre d'hôpital de plusieurs lits, où trois patients et six travailleurs de la santé ont été infectés, malgré le port du masque et un débit de 3 à 4 CAH⁷⁶. Le cas index présymptomatique était un parent assis dans un fauteuil à côté du lit de son enfant, près de l'entrée de la chambre; il portait un masque chirurgical en tout temps. L'appareil de conditionnement d'air était situé au plafond et les chercheurs ne disposaient d'aucun détail sur son fonctionnement (p.ex. fonctionnement constant, à la demande ou par intermittence) ni sur la quantité d'air frais qu'il permettait de faire circuler. Il n'y avait aucun ventilateur aspirant sur le plan de la chambre. L'exposition des travailleurs de la santé a duré de 10 à 15 minutes, la plupart sur une distance de plus de 2 m du patient index. Le rapport montre que les travailleurs de la santé portaient un masque, ainsi qu'un équipement de protection individuelle. La transmission a été révélée par les données épidémiologiques de l'éclosion, sans corroboration par une analyse génomique des infections.

Détection du SARS-CoV-2 dans des échantillons d'air

L'échantillonnage de l'air aux fins de détection de virus réfère au procédé qui consiste à prélever des volumes d'air au moyen d'un dispositif dans le but de déterminer la présence de virus dans des aérosols. Le prélèvement peut varier selon le diamètre aérodynamique des aérosols captés, la durée du prélèvement, le volume d'air prélevé par seconde et le milieu sur lequel les échantillons se déposent. Les échantillons d'air sont ensuite analysés au moyen de méthodes moléculaires comme la réaction de transcriptase inverse et d'amplification en chaîne de la polymérase (RT-PCR) pour amplifier les acides nucléiques viraux ou la culture virale. La RT-PCR ne peut pas préciser si les microorganismes détectés sont viables. Par ailleurs, la culture virale est utilisée pour déterminer si un échantillon contenant le virus peut se répliquer. Bien que plusieurs facteurs influencent les probabilités d'infection, la réplication constitue une mesure substitut d'induction de l'infection. Pour établir la viabilité des microorganismes, les chercheurs appliquent un échantillon sur une culture cellulaire sensible qu'ils font incuber pendant quelques semaines pour en observer les changements morphologiques.

La détection de l'ARN du SARS-CoV-2 dans des échantillons d'air ne s'est pas révélée cohérente⁷⁷. Les multiples analyses d'échantillons d'air prélevés à proximité de cas confirmés de COVID-19 n'ont pas permis de détecter la présence du virus par RT-PCR⁷⁸⁻⁸⁶. Kenarkoohi et coll. ont détecté l'ARN du SARS-CoV-2 par RT-PCR dans un cinquième des échantillons provenant d'une salle où se trouvaient des patients gravement malades et intubés, mais n'a trouvé aucun échantillon d'air positif dans d'autres secteurs de l'hôpital comme les salles accueillant des patients dont le diagnostic était probable ou confirmé ou qui étaient atteints d'une maladie légère (la culture du virus n'a pas été tentée dans cette étude)⁸⁷. Dans une étude élargie de Ong et coll. (2020), Chia et coll. (2020) ont détecté l'ARN du SARS-CoV-2 par RT-PCR dans des échantillons d'air prélevés à environ un mètre de patients hospitalisés dans trois chambres d'isolement pour infections aéroportées (aucune culture virale tentée)⁸⁸. Lei et coll. (2020) ont rapporté une détection limitée de l'ARN du SARS-CoV-2 par échantillonnage de l'air dans des

salles communes, des chambres d'isolement individuelles et des salles de bain⁸⁵. Un échantillon d'air positif à la PCR a été obtenu durant une intubation trachéale à environ 10 cm de la tête d'un patient d'une chambre naturellement ventilée (fenêtre ouverte à laquelle était fixé un ventilateur), tandis que onze échantillons d'air obtenus près des patients et 17 échantillons prélevés à l'extérieur des chambres et aux postes du personnel infirmier se sont révélés négatifs à la PCR⁸⁹. Le stade de l'infection et le degré d'infectiosité des populations de patients étudiées n'ont pas été signalés.

Dans une étude sur l'ARN du SARS-CoV-2 obtenu dans des échantillons d'air prélevés dans des lieux différents, Liu et coll. (2020) ont déclaré que les concentrations les plus élevées d'ARN viral ont été détectées dans les échantillons provenant des zones réservées aux patients et au personnel des hôpitaux, par comparaison aux zones ouvertes au public⁹⁰. Gharehchahi et coll. (2021) (prépublication) ont détecté de l'ARN du SARS-CoV-2 dans 7 des 17 échantillons d'air (41,2 %) qui avaient été prélevés dans un hôpital pour patients atteints de la COVID-19, incluant dans une zone temporaire de stockage des déchets mécaniquement ventilée, deux bureaux ventilés naturellement (un dans la zone d'admission et de congé et un autre dans un secteur administratif) ainsi qu'à deux mètres des lits dans deux unités de soins intensifs, une chambre à pression négative et une salle réservée aux urgences et aux accidents qui étaient ventilés mécaniquement, avec ou sans ventilation naturelle⁹¹. L'ARN du SARS-CoV-2 n'a pas été détecté dans les quatre échantillons prélevés aux postes du personnel infirmier situés de deux à cinq mètres des lits des patients. Les auteurs ont formulé l'hypothèse selon laquelle la détection de l'ARN dans des zones non cliniques pourrait s'expliquer par une ventilation inadéquate et par la présence occasionnelle de travailleurs de la santé infectés.

Après un échantillonnage de l'air dans des lieux se trouvant à l'extérieur des zones de soins aux malades dans un hôpital de soins actifs, Stern et coll. (2021) ont observé que 8 des 90 échantillons prélevés (9 %) contenaient des concentrations allant de 5 à 51 copies/m³ d'ARN du SARS-CoV-2⁹². La taille des échantillons ARN positifs variait de $\leq 2,5$ à ≥ 10 μ m. Les lieux adjacents aux salles à pression négative réservées aux patients atteints de la COVID-19 ne semblaient pas augmenter la probabilité de détection de l'ARN viral, présenter une charge virale plus élevée, ni fournir des échantillons d'air contenant des particules de tailles spécifiques. Cependant, une association significative a été observée entre le nombre moyen de patients COVID-19 hospitalisés durant chacune des périodes d'échantillonnage, et la probabilité qu'un échantillon d'air soit positif pour l'ARN du SARS-CoV-2. De plus, les zones de rassemblement du personnel étaient associées à des échantillons d'air positifs durant les périodes de forte transmissibilité communautaire de la COVID-19. Fait à signaler, un échantillon d'air ARN positif a été prélevé quand l'unité était fermée pour des raisons de nettoyage et donc, non maintenue sous pression négative, et que les portes étaient laissées ouvertes à l'intention du personnel d'entretien qui devait passer par l'échantillonneur d'air pour accéder au secteur à nettoyer.

Lorsque les échantillons d'air étaient positifs à la RT-PCR, les tentatives de culture cellulaire donnaient rarement des résultats concluants. À la suite d'une revue systématique et d'une méta-analyse de 24 études, Birgand et coll. (2020) ont signalé que 17,4 % (82/471) des échantillons d'air provenant de l'environnement de patients étaient ARN positifs (il n'y avait aucune différence en termes de positivité à ≤ 1 m [2,5 %] ou 1 à 5 m [5,5 %]; $p = 0,22$), tandis que la mise en culture a produit un virus viable dans 8,6 % (7/81; 2 des 5 études) des échantillons⁹³. Une étude menée par Guo et coll. (2020) a détecté le SARS-CoV-2 par RT-PCR dans 35 % (14/40) des échantillons d'air prélevés dans une unité de soins intensifs et 12,5 % (2/16) des échantillons prélevés dans une salle de soins généraux où étaient hospitalisés des patients atteints de la COVID-19. Quinze des 16 échantillons d'air positifs à la RT-PCR avaient été prélevés à moins de 2 mètres des patients, et un échantillon positif sur huit, à 4 mètres d'eux¹². Ben-Shmuel et coll. (2020) ont procédé à un échantillonnage limité (en général un échantillon d'air par secteur) dans des chambres où se trouvaient des patients ventilés et non ventilés, dans un

poste de personnel infirmier et dans des endroits privés et publics d'un hôtel de quarantaine⁹⁴. Des échantillons positifs à la RT-PCR ont été détectés dans la chambre d'un patient ventilé (la distance par rapport au patient n'était pas précisée) ($n = 1/1$), à un poste de personnel infirmier ($n = 1/1$) et dans une chambre d'un hôtel de quarantaine ($n = 1/1$). Toutefois, il n'y avait aucun échantillon d'air positif dans les chambres de patients non ventilés ($n = 0/3$), dans une zone réservée au retrait de l'ÉPI ($n = 0/1$) et dans une aire commune d'un hôtel de quarantaine ($n = 0/1$). Les auteurs ont tenté de faire une culture virale; cependant, aucun échantillon n'était positif.

À l'heure actuelle, seules trois études, soit deux menées par le même groupe de chercheurs et une prépublication datant de juillet 2020, ont réussi à obtenir un virus viable en culture à partir d'échantillons d'air. La prépublication et une étude publiée ci-dessus avaient déjà été mentionnées dans le rapport de Birgand et coll. (2020). Dans d'autres études, les techniques et l'équipement d'échantillonnage peuvent avoir été responsables de l'absence de viabilité de culture malgré la détection par RT-PCR. D'autres études devraient tenter de reproduire l'utilisation de l'équipement et des méthodes de culture de ces études.

Lednický et coll. (2021) ont utilisé un prototype et une version commerciale d'un échantillonneur d'air et des sondes RT-PCR spécialisées pour détecter le SARS-CoV-2 dans une chambre où se trouvaient deux patients. Un patient avait reçu son congé peu après le début des périodes d'échantillonnage et après avoir obtenu un résultat négatif à un test RT-PCR⁹⁵. L'autre patient avait commencé à éprouver des difficultés respiratoires deux jours avant son arrivée dans la chambre. L'étude a détecté des échantillons d'air positifs à la RT-PCR après trois heures d'échantillonnage, ainsi que des cultures virales positives. Les chercheurs avaient installé les échantillonneurs à environ 2 à 4,8 mètres de la tête du patient récemment symptomatique. L'unité de ventilation fournissait 6 changements d'air à l'heure, filtrant l'air et le traitant par irradiation UV avant de le recycler. Les quantités approximatives de virus par volume d'air variaient de 6 à 74 unités de dose infectieuse₅₀ en culture tissulaire (DICT)/L d'air. Récemment, une deuxième étude a été menée par Lednický et coll. pour détecter le virus SARS-CoV-2 viable dans la zone du siège du passager avant d'une voiture conduite par un patient positif pour le SARS-CoV-2 n'ayant pas de toux⁹⁶. Cette étude faisait appel à un échantillonneur fixé au pare-soleil du côté passager pour recueillir des particules dont la taille variait de $< 0,25 \mu\text{m}$, $0,25$ à $0,50 \mu\text{m}$, $0,50$ à $1,0 \mu\text{m}$, $1,0$ à $2,5 \mu\text{m}$ et $> 2,5 \mu\text{m}$. Le patient a conduit pendant 15 minutes, fenêtres fermées et climatiseur allumé. L'échantillonneur a été arrêté deux heures après le trajet de 15 minutes du patient. Le virus viable a été cultivé uniquement à partir de la fraction de $0,25$ à $0,5 \mu\text{m}$, qui affichait également la plus grande quantité de copies détectables de l'ARN viral.

D'autres études s'imposent pour éliminer les divergences entre la détection d'ARN viral et la viabilité virale dans des échantillons d'air, malgré l'observation d'échantillons positifs à la RT-PCR sur les surfaces des appareils de ventilation⁹⁷. Ces divergences peuvent être attribuables à plusieurs facteurs, notamment : 1) la possibilité que les dispositifs d'échantillonnage de l'air ne puissent maintenir la viabilité des virus captés; 2) la chronologie de l'échantillonnage d'air varie selon la période écoulée depuis le début des symptômes, la gravité de la maladie et la charge virale; et 3) les conditions de ventilation (contrôles techniques) qui réduisent les concentrations d'aérosols viraux à des niveaux indétectables. L'examen des aérosols de SARS-CoV-2 mené par Tang et coll. révèle que même dans des chambres à taux élevés de renouvellement d'air, des copies d'ARN viral peuvent encore être détectées dans des échantillons d'air prélevés dans des chambres de patients ($1,8$ à $3,4$ copies d'ARN viral/ m^3), des toilettes (19 copies/ m^3) et des salles réservées au retrait de l'équipement de protection individuelle (18 à 42 copies/ m^3)⁹⁸. Dans une étude effectuée sur plusieurs types de chambres distincts (deux chambres d'isolement pour infections aéroportées avec plus de 15 changements d'air à l'heure, une chambre d'isolement sans pression négative et une chambre d'isolement de cohorte partagée) accueillant des

patients hospitalisés dans les sept jours suivant l'apparition de leurs symptômes, Kim et coll. ont rapporté que 32 échantillons d'air étaient négatifs et que 20 échantillons provenant d'antichambres étaient aussi négatifs⁸⁶. La mise en culture de virus représente un défi au plan technique et par conséquent, l'absence de résultats positifs ne signifie pas nécessairement une absence de virus infectieux. Par ailleurs, la détection d'ARN viral du SARS-CoV-2 sur des surfaces rarement touchées indique que le virus peut y être transporté par voie aérienne⁹⁹.

Conclusions

La transmission des virus respiratoires s'inscrit dans un spectre, allant des plus grosses gouttelettes qui se propagent sur de courtes distances aux aérosols présents sur de longues distances, mais qui peuvent également contribuer à la transmission à longue distance. En conséquence, catégoriser la transmission du SARS-CoV-2 selon la transmission par gouttelettes ou la transmission par aérosols ne reflète pas exactement ce spectre. Il a aussi été établi que la transmission d'autres virus respiratoires, comme celui de l'influenza, se fait sur un spectre de gouttelettes de différentes tailles^{100,101}.

L'exposition (< 2 mètres) non protégée (inobservance de plusieurs précautions sanitaires) à une personne contagieuse constitue probablement le risque le plus élevé de transmission du SARS-CoV-2. Bien que le risque de transmission soit moins élevé sur de plus longues distances dans le cas d'une exposition non protégée, ce type de transmission n'a été observé que dans certaines conditions précises, impliquant habituellement une ventilation inadéquate ou une recirculation d'air non filtré ou non traité lors d'activités entraînant une fréquence d'expiration ou d'expulsion accrue (p. ex., crier, chanter, faire de l'exercice) qui sont souvent pratiquées sans port du masque pour le contrôle à la source¹⁰². Il n'a pas été possible de définir des mesures ou des seuils de ventilation inadéquate en se fondant sur les descriptions proposées des contextes dans lesquels la ventilation inadéquate avait été rapportée comme un facteur de transmission. Cependant, elles incluaient des situations où l'air circule sans filtration ni échange d'air frais, où il n'y a pas de ventilation (p. ex., chambres aveugles sans système de ventilation) et où la taille de la chambre et le taux de renouvellement d'air par rapport à la quantité d'aérosols infectieux générés dépassent un seuil de risque inconnu pour l'infection. Les variants préoccupants sont susceptibles de se propager plus efficacement, peu importe la voie de transmission; cependant, il n'y a aucune preuve que les voies de transmission des variants préoccupants sont fondamentalement différentes¹⁰³⁻¹⁰⁵.

La détermination des contributions relatives de la projection d'aérosols et de grosses gouttelettes respiratoires sur de courtes distances et de la projection d'aérosols sur de longues distances par rapport aux modèles de transmission généraux est compliquée par la convergence variable de facteurs dynamiques liés à la source et au récepteur, et de facteurs liés à la voie de transmission. À titre d'exemple, chaque interaction entre un infectant et un infecté est influencée par les activités de la source et sa charge virale (p. ex., l'expulsion forcée de gouttelettes durant la toux ou le chant, et sa chronologie dans l'évolution de la maladie), la conformité de la source et du récepteur aux mesures de prévention en vigueur (p. ex., lavage des mains, distanciation physique, désinfection des surfaces, port du masque et ventilation) et les facteurs liés à la trajectoire de transmission qui incluent la circulation d'air, les rayons ultraviolets, la température et l'humidité dans les lieux intérieurs ou extérieurs¹⁶. Il est probable que le rôle relatif de la taille des particules respiratoires dans la transmission du virus dépendra de ces associations factorielles.

Nous assistons à l'émergence d'une masse de données probantes sur le SARS-CoV-2. Les études portant sur l'identification d'un mode donné de transmission sont généralement de piètre qualité. Par ailleurs, les données provenant de différents domaines (p. ex., épidémiologie par rapport à modélisation)

peuvent diverger en ce qui a trait aux conclusions tirées sur le rôle des gouttelettes de différentes tailles dans la transmission sur de courtes distances et l'importance relative des activités liées à la transmission sur de longues distances. Une étude continue s'impose pour enrichir les données sur la quantité de particules virales nécessaires pour causer l'infection. Une évaluation additionnelle de la viabilité du SARS-CoV-2 dans les aérosols est également nécessaire. Enfin, l'identification des facteurs de risque spécifiques au milieu (p. ex., différences entre les facteurs liés à la source et au récepteur et facteurs liés à la voie de transmission dans les milieux de soins de santé, les immeubles résidentiels, les établissements scolaires, les entrepôts et les moyens de transport) pourrait nous permettre de préciser les mécanismes de transmission du virus.

La pandémie de COVID-19 a fait ressortir l'importance de la collaboration pluridisciplinaire pour comprendre la transmission du virus et établir un lexique pour la décrire. En effet, lorsque l'analyse et l'interprétation des données sont compliquées par les différentes terminologies utilisées par les intervenants de la santé publique, les cliniciens, les spécialistes des aérosols et le public, l'identification et l'application de mesures d'atténuation appropriées s'en trouvent d'autant retardées¹⁰⁶.

Répercussions sur la pratique

Le présent document présente un résumé des données émergentes sur la transmission du virus par les particules respiratoires et fait ressortir le rôle des gouttelettes plus grosses et des aérosols à cet égard. Bien que notre compréhension du mode de transmission ait évolué et que le rôle relatif des gouttelettes et des aérosols demeure à l'étude, cela nous indique qu'il n'est peut-être pas nécessaire de modifier les mesures de contrôle des infections, tout en soulignant néanmoins l'importance de recourir à plusieurs niveaux de contrôle des infections pour freiner la propagation. La traduction de ces renseignements en recommandations concrètes pour l'élaboration de mesures de contrôles doit aussi prendre en compte les données actuelles sur l'efficacité globale des mesures de contrôle qui n'ont pas été examinées dans le présent document : 1) l'efficacité des mesures, tant isolément qu'en association, comme méthode de contrôle progressive; 2) l'efficacité des mesures dans la communauté par rapport aux milieux de soins de santé; et 3) l'efficacité de ces mesures et les répercussions de la conformité aux mesures.

Une évaluation détaillée des données probantes sur les mesures de prévention et de contrôle des infections ne s'inscrivait pas dans la portée de ce document, ce qui limite en conséquence l'examen de certaines mesures recommandées dans différents contextes. Fait à noter, la vaccination contre le SARS-CoV-2 est une mesure relativement récente qui est très efficace pour réduire la transmission, peu importe le mode, et devrait être privilégiée tant dans les milieux de soins de santé que dans la communauté¹⁰⁷.

Les recommandations relatives aux mesures de PCI dans les milieux de soins de santé sont décrites dans les documents intitulés *Recommandations en PCI concernant l'utilisation d'équipements de protection individuelle pour la prise en charge des personnes dont l'infection à la COVID-19 est suspectée ou confirmée* et *Lignes directrices provisoires sur la prévention et le contrôle des variants préoccupants du SARS-CoV-2 à l'intention des lieux de soins de santé*^{7,8}. Ces documents intègrent les données actuelles concernant les gouttelettes, les aérosols et la transmission par contact à l'expérience à ce jour des territoires en matière de mesures de contrôle et de gestion des éclosions, et recommandent l'utilisation de la hiérarchie de contrôle des risques pour réduire le risque de transmission.

On observe surtout la transmission de la maladie dans la communauté et les lieux de travail, non dans les lieux de soins de santé. Étant donné que le SARS-CoV-2 se transmet au début de l'infection, plus communément pendant la période asymptomatique ou présymptomatique¹⁰⁸⁻¹¹¹, et dans les deux premiers jours suivant l'apparition des symptômes, les personnes infectées ne consultent peut-être pas

durant la période où la maladie est le plus contagieuse. Il est nécessaire dans tous les milieux d'utiliser plusieurs mesures de contrôle pour freiner les facteurs de transmission dynamiques et éliminer les voies de transmission potentielles. Les mesures de contrôle des infections devraient aussi être reliées au contexte et prendre en compte la situation et la couverture vaccinales, la capacité de respecter la distanciation physique et d'éviter les rassemblements, la faisabilité du port adéquat de l'équipement de protection individuelle et de l'équipement de contrôle à la source, la formation et l'éducation en matière d'utilisation appropriée de l'équipement de protection individuelle, le lavage des mains, la désinfection des surfaces, la ventilation intérieure ainsi que la détection et la mise en isolement précoces des personnes contagieuses. Enfin, l'application des mesures devrait se faire en fonction des taux globaux de transmission communautaire et des risques d'exposition.

Il existe plusieurs ressources d'orientations communautaires (p. ex., pour les lieux de travail autres que ceux des soins de santé, les espaces publics et privés) en matière de réduction des risques de transmission du SARS-CoV-2 au moyen de l'instauration graduelle de multiples mesures de santé publique conçues pour contrer la transmission sur de courtes et de longues distances¹¹²⁻¹¹⁴. De façon générale, ces mesures misent sur l'évitement des 3 C : espaces fermés (*closed spaces*), espaces densément peuplés (*crowded spaces*) et milieux ne permettant pas la distanciation physique (*close contact settings*). La mesure dans laquelle il est nécessaire ou possible de recourir aux différents niveaux d'atténuation du risque de transmission dépendra du lieu et du contexte de risque. La transmission peut être endiguée grâce aux moyens suivants :

- Se faire vacciner^{115,116} (une couverture vaccinale plus élevée dans la population peut réduire les risques d'infection pour les personnes qui ne peuvent pas se faire vacciner)
- Rester chez soi quand on est malade^{117,118} (p. ex., dépistage actif ou passif avant d'entrer dans un lieu public)
- Limiter le nombre et la durée des contacts avec des personnes ne faisant pas partie de notre ménage
- Respecter la distanciation physique¹¹⁴ et éviter les endroits surpeuplés
- Porter en tout temps et correctement un masque bien conçu (constitué de 2 à 3 couches) et bien ajusté aux fins de contrôle à la source ainsi qu'un équipement de protection individuelle¹¹⁹⁻¹²²
- S'assurer que les systèmes de ventilation¹²³ sont bien entretenus et que leur fonctionnement est optimal en faisant appel à des professionnels, conformément aux recommandations à cet égard (p. ex., celles de l'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) ou en privilégiant autant que possible les milieux extérieurs.
- Pratiquer l'hygiène des mains, l'étiquette respiratoire et le nettoyage de l'environnement¹²⁴

Les mesures ci-dessus sont efficaces pour réduire le risque de transmission sans égard à la contribution relative des gouttelettes et des aérosols. Certaines mesures se révéleront plus utiles que d'autres et c'est donc en association qu'elles freineront le plus efficacement la propagation de la maladie.

Références

1. Milton DK. A Rosetta Stone for understanding infectious drops and aerosols. J Pediatr Infect Dis Soc. 2020;9(4):413-5. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/jpids/piaa079>
2. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Aerosols [En ligne]. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; 2010 [cité le 30 avril 2021]. Disponible à : <https://www.cdc.gov/niosh/topics/aerosols/>
3. Xie X, Li Y, Chwang AT, Ho PL, Seto WH. How far droplets can move in indoor environments-- revisiting the Wells evaporation-falling curve. Indoor Air. 2007;17(3):211-25. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x>
4. Agence de la santé publique du Canada. Pratiques de base et précautions additionnelles visant à prévenir la transmission des infections dans les milieux de soins. Ottawa, ON : Sa Majesté la Reine du chef du Canada; 2016. Disponible à : <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/documents/services/publications/diseases-conditions/routine-practices-precautions-healthcare-associated-infections/pratiques-de-base-precautions-infections-aux-soins-de-sante-2016-FINAL-fra.pdf>
5. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario), Comité consultatif provincial des maladies infectieuses. Pratiques de base et précautions supplémentaires dans tous les établissements de soins de santé. 3^e édition. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2012. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/b/2012/bp-rpap-healthcare-settings.pdf?la=fr>
6. Khangura S, Konnyu K, Cushman R, Grimshaw J, Moher D. Evidence summaries: the evolution of a rapid review approach. Syst Rev. 2012;1(1):10. Disponible à : <https://doi.org/10.1186/2046-4053-1-10>
7. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Recommandations en PCI concernant l'utilisation d'équipements de protection individuelle pour la prise en charge des personnes dont l'infection à la COVID-19 est suspectée ou confirmée [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 30 avril 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/updated-ipac-measures-covid-19.pdf?la=fr>
8. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario), Comité consultatif provincial des maladies infectieuses. Lignes directrices provisoires sur la prévention et le contrôle des variants préoccupants du SARS-CoV-2 à l'intention des lieux de soins de santé. 1^{re} révision [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 30 avril 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/voc/2021/02/pidac-interim-guidance-sars-cov-2-variants.pdf?la=fr>
9. Ontario. Médecin hygiéniste en chef; ministère de la Santé; ministère des Soins de longue durée. COVID-19 - Directive n° 5 à l'intention des hôpitaux au sens de la *Loi sur les hôpitaux* et des foyers de soins de longue durée au sens de la Loi de 2007 sur les foyers de soins de longue durée, diffusée en vertu de l'article 77.7 de la Loi sur la protection et la promotion de la santé (LPPS), L.R. O. 1990, chapitre H.7 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2020 [cité le 2 mars 2021]. Disponible à : https://www.health.gov.on.ca/fr/pro/programs/publichealth/coronavirus/docs/directives/public_hospitals_act.pdf

10. Ontario. Médecin hygiéniste en chef; ministère de la Santé; ministère des Soins de longue durée. COVID-19 - Directive n° 1 à l'intention des fournisseurs de soins de santé et des entités chargées de la fourniture des soins de santé - Révisée le 30 mars 2020 diffusée en vertu de l'article 77.7 de la Loi sur la protection et la promotion de la santé (LPPS), L.R. O. 1990, chapitre H.7 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : https://www.health.gov.on.ca/fr/pro/programs/publichealth/coronavirus/docs/directives/health_care_providers_HPPA.pdf
11. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Les voies de transmission de la COVID-19 : ce que nous savons jusqu'à présent [Internet]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2020 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2020/12/routes-transmission-covid-19.pdf?la=fr>
12. Guo ZD, Wang ZY, Zhang SF, Li X, Li L, Li C, et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(7):1583-91. Disponible à : <https://doi.org/10.3201/eid2607.200885>
13. Bahl P, Doolan C, de Silva C, Chughtai AA, Bourouiba L, MacIntyre CR. Airborne or droplet precautions for health workers treating COVID-19? *J Infect Dis.* 16 avril 2016 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa189>
14. Chen W, Zhang N, Wei J, Yen H-L, Li Y. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Build Environ.* 2020;176:106859. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106859>
15. Wang J, Alipour M, Soligo G, Roccon A, Paoli MD, Picano F, et al. Short-range exposure to airborne virus transmission and current guidelines. *medRxiv* 21255017 [Prépublication]. 9 avril 2021 [cité le 29 avril 2021]. Disponible à : <https://doi.org/10.1101/2021.04.06.21255017>
16. Leung NHL, Lewis NM, Duca LM, Marcenac P, Dietrich EA, Gregory CJ, et al. Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nat Rev Microbiol.* 22 mars 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00535-6>
17. Bourouiba L. Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: potential implications for reducing transmission of COVID-19. *JAMA.* 2020;323(18):1837-8. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4756>
18. Zhao L. COVID-19: effects of environmental conditions on the propagation of respiratory droplets. *Nano Lett.* 2020;20(10):7744-50. Disponible à : <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>
19. de Oliveira PM, Mesquita LCC, Gkantonas S, Giusti A, Mastorakos E. Evolution of spray and aerosols from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission. *Proc R Soc A.* 20 janvier 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0584>
20. Bulfone TC, Malekinejad M, Rutherford GW, Razani N. Outdoor transmission of SARS-CoV-2 and other respiratory viruses: a systematic review. *J Infect Dis.* 2021;223(4):550-62. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa742>
21. Guerra FM, Bolotin S, Lim G, Heffernan J, Deeks SL, Li Y, et al. The basic reproduction number (R0) of measles: a systematic review. *Lancet Infect Dis.* 2017;17(12):e420-e8. Disponible à : [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30307-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30307-9)

22. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Paramètres épidémiologiques de la COVID-19 - ce que nous savons jusqu'à présent [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2020 [cité le 30 avril 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2021/01/wwksf-epidemiological-parameters.pdf?la=fr>
23. Endo A, Abbott S, Kucharski A, Funk S. Estimating the overdispersion in COVID-19 transmission using outbreak sizes outside China [version 3; révision par des pairs : 2 approbations]. Wellcome Open Res. 2020;5(67):1-18. Disponible à : <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15842.3>
24. Blomquist PB, Bolt H, Packer S, Schaefer U, Platt S, Dabrera G, et al. Risk of symptomatic COVID-19 due to aircraft transmission: a retrospective cohort study of contact-traced flights during England's containment phase. Influenza Other Respi Viruses. 2021;15(3):336-44. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/irv.12846>
25. Lo Menzo S, Marinello S, Biasin M, Terregino C, Franchin E, Crisanti A, et al. The first familial cluster of the B.1.1.7 variant of SARS-CoV-2 in the northeast of Italy. Infect. 10 avril 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1007/s15010-021-01609-6>
26. Fisher KA, Tenforde MW, Feldstein LR, Lindsell CJ, Shapiro NI, Files DC, et al. Community and close contact exposures associated with COVID-19 among symptomatic adults >18 years in 11 outpatient health care facilities - United States, July 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2020;69(36):1258-64. Disponible à : <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6936a5>
27. Hershow RB, Wu K, Lewis NM, Milne AT, Currie D, Smith AR, et al. Low SARS-CoV-2 transmission in elementary schools — Salt Lake County, Utah, December 3, 2020–January 31, 2021. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2021;70(12):442-8. Disponible à : <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7012e3>
28. Lucey M, Macori G, Mullane N, Sutton-Fitzpatrick U, Gonzalez G, Coughlan S, et al. Whole-genome sequencing to track SARS-CoV-2 transmission in nosocomial outbreaks. Clin Infect Dis. 19 septembre 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1433>
29. Klompas M, Baker MA, Griesbach D, Tucker R, Gallagher GR, Lang AS. Transmission of SARS-CoV-2 from asymptomatic and presymptomatic individuals in healthcare settings despite medical masks and eye protection. Clin Infect Dis. 11 mars 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciab218>
30. Jones B, Phillips G, Kemp S, Payne B, Hart B, Cross M, et al. SARS-CoV-2 transmission during rugby league matches: do players become infected after participating with SARS-CoV-2 positive players? Br J Sports Med. 11 février 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103714>
31. Zhang X, Wang J. Dose-response relation deduced for coronaviruses from COVID-19, SARS and MERS meta-analysis results and its application for infection risk assessment of aerosol transmission. Clin Infect Dis. 2020 Oct 29 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1675>
32. Hu M, Lin H, Wang J, Xu C, Tatem AJ, Meng B, et al. Risk of coronavirus disease 2019 transmission in train passengers: an epidemiological and modeling study. Clin Infect Dis. 2021;72(4):604-10. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1057>

33. Rodgers DV, Gindler JS, Atkinson WL, Markowitz LE. High attack rates and case fatality during a measles outbreak in groups with religious exemption to vaccination. *The Pediatric infectious disease journal*. 1993;12(4):28-91. Disponible à : <https://doi.org/10.1097/00006454-199304000-00006>
34. Madewell ZJ, Yang Y, Longini Jr IM, Halloran ME, Dean NE. Household transmission of SARS-CoV-2: a systematic reiview and meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2020;3(12):e2031756. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.31756>
35. Thompson HA, Mousa A, Dighe A, Fu H, Arnedo-Pena A, Barrett P, et al. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) setting-specific transmission rates: a systematic review and meta-analysis. *Clin Infect Dis*. 9 février 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciab100>
36. Koh WC, Naing L, Chaw L, Rosledzana MA, Alikhan MF, Jamaludin SA, et al. What do we know about SARS-CoV-2 transmission? A systematic review and meta-analysis of the secondary attack rate and associated risk factors. *PLoS One*. 2020;15(10):e0240205. Disponible à : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240205>
37. Lei H, Xu X, Xiao S, Wu X, Shu Y. Household transmission of COVID-19-a systematic review and meta-analysis. *J Infect*. 2020;81(6):979-97. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.08.033>
38. Tian T, Huo X. SARS-CoV-2 setting-specific transmission rates: a systematic review and meta-analysis. *J Infect Dev Ctries*. 2020;14(12):1361-7. Disponible à : <https://doi.org/10.3855/jidc.13256>
39. Xu P, Jia W, Qian H, Xiao S, Miao T, Yen HL, et al. Lack of cross-transmission of SARS-CoV-2 between passenger's cabins on the *Diamond Princess* cruise ship. *Build Environ*. 2021;198:107839. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107839>
40. Azimi P, Keshavarz Z, Cedeno Laurent JG, Stephens B, Allen JG. Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the *Diamond Princess* cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021;118(8):e2015482118. Disponible à : <https://doi.org/10.1073/pnas.2015482118>
41. Dobramysl U, Sieben C, Holcman D. Mean time to infection by small diffusing droplets containing SARS-CoV-2 during close social contacts. *medRxiv* 21254802 [Prépublication]. 7 avril 2021 [cité le 29 avril 2021]. Disponible à : <https://doi.org/10.1101/2021.04.01.21254802>
42. Jones RM. Relative contributions of transmission routes for COVID-19 among healthcare personnel providing patient care. *J Occup Environ Hyg*. 2020;17(9):408-15. Disponible à : <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1784427>
43. Edge BA, Paterson EG, Settles GS. Computational study of the wake and contaminant transport of a walking human. *J Fluids Eng*. 2005;127(5):967-77. Disponible à : <https://doi.org/10.1115/1.2013291>
44. Wei J, Li Y. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *Am J Infect Control*. 2016;44(9 Suppl):S102-8. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.06.003>
45. Liu L, Wei J, Li Y, Ooi A. Evaporation and dispersion of respiratory droplets from coughing. *Indoor Air*. 2017;27(1):179-90. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/ina.12297>
46. Sen N. Transmission and evaporation of cough droplets in an elevator: numerical simulations of some possible scenarios. *Phys Fluids*. 12 mars 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1063/5.0039559>

47. Li X, Wang Q, Ding P, Cha Ye, Mao Y, Ding C, et al. Risk factors and on-site simulation of environmental transmission of SARS-CoV-2 in the largest wholesale market of Beijing, China. *Sci Total Environ.* 2021;778:146040. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146040>
48. Jarvis MC. Aerosol transmission of SARS-CoV-2: physical principles and implications. *Frontiers in public health.* 23 novembre 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.590041>
49. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020;382(16):1564-7. Disponible à : <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
50. Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, Wood S, Krause M, et al. The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols. *Aerosol Sci Technol.* 2021;55(2):142-53. Disponible à : <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1829536>
51. Schuit M, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Williams G, Weaver W, Green B, et al. Airborne SARS-CoV-2 is rapidly inactivated by simulated sunlight. *J Infect Dis.* 2020;222(4):564-71. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa334>
52. Yu L, Peel GK, Cheema FH, Lawrence WS, Bukreyeva N, Jinks CW, et al. Catching and killing of airborne SARS-CoV-2 to control spread of COVID-19 by a heated air disinfection system. *Materials Today Phys.* 2020;15:100249. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2020.100249>
53. Comber L, Murchu EO, Drummond L, Carty PG, Walsh KA, De Gascun CF, et al. Airborne transmission of SARS-CoV-2 via aerosols. *Rev Med Virol.* 26 octobre 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/rmv.2184>
54. Delikhon M, Guzman MI, Nabizadeh R, Norouzian Baghani A. Modes of transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) and factors influencing on the airborne transmission: a review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(2):395. Disponible à : <https://doi.org/10.3390/ijerph18020395>
55. Kohanski MA, Lo LJ, Waring MS. Review of indoor aerosol generation, transport, and control in the context of COVID-19. *Int Forum Allergy Rhinol.* 2020;10(10):1173-9. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/alr.22661>
56. Dai H, Zhao B. Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces. *Build Simul.* 2020;13:1321-7. Disponible à : <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0703-5>
57. Bazant MZ, Bush JWM. A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19. *Proc Natl Acad Sci.* 2021;118(17):e2018995118. Disponible à : <https://doi.org/10.1073/pnas.2018995118>
58. Schijven J, Vermeulen LC, Swart A, Meijer A, Duizer E, de Roda Husman AM. Quantitative microbial risk assessment for airborne transmission of SARS-CoV-2 via breathing, speaking, singing, coughing, and sneezing. *Environ Health Perspect.* 1^{er} avril 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/doi:10.1289/EHP7886>
59. Kolinski JM, Schneider TM. Superspreading events suggest aerosol transmission of SARS-CoV-2 by accumulation in enclosed spaces. *Phys Rev E.* 2021;103(3):033109. Disponible à : <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.103.033109>
60. Basu S. Computational characterization of inhaled droplet transport to the nasopharynx. *Sci Rep.* 2021;11(1):6652. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85765-7>

61. Shen Y, Li C, Dong H, Wang Z, Martinez L, Sun Z, et al. Community outbreak investigation of SARS-CoV-2 transmission among bus riders in Eastern China. *JAMA Intern Med.* 2020;180(12):1665-71. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.5225>
62. Shah AA, Dusseldorp F, Veldhuijzen IK, te Wierik MJM, Bartels A, Schijven J, et al. High SARS-CoV-2 attack rates following exposure during singing events in the Netherlands, September-October 2020. *medRxiv* 21253126 [Prépublication]. 6 avril 2021 [cité le 29 avril 2021]:2021.03.30.21253126. Disponible à : <https://doi.org/10.1101/2021.03.30.21253126>
63. Lu J, Yang Z. COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(11):2789-91. Disponible à : <https://doi.org/10.3201/eid2611.203774>
64. Miller SL, Nazaroff WW, Jimenez JL, Boerstra A, Buonanno G, Dancer SJ, et al. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air.* 26 septembre 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
65. Park SY, Kim YM, Yi S, Lee S, Na BJ, Kim CB, et al. Coronavirus disease outbreak in call center, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(8):1666-70. Disponible à : <https://doi.org/10.3201/eid2608.201274>
66. Lin G, Zhang S, Zhong Y, Zhang L, Ai S, Li K, et al. Community evidence of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) transmission through air. *Atmos Environ.* 2021;246:118083. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118083>
67. Hwang SE, Chang JH, Oh B, Heo J. Possible aerosol transmission of COVID-19 associated with an outbreak in an apartment in Seoul, South Korea, 2020. *Int J Infect Dis.* 2021;104(3):73-6. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.12.035>
68. Brlek A, Vidovič Š, Vuzem S, Turk K, Simonović Z. Possible indirect transmission of COVID-19 at a squash court, Slovenia, March 2020: case report. *Epidemiol Infect.* 19 juin 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1017/s0950268820001326>
69. Axiotakis LG, Boyett DM, Youngerman BE, McKhann GM, Lalwani AK. SARS-CoV-2 transmission rate is low when following a COVID+ patient in the operating room. *Langenbecks Arch Surg.* 2021;406(2):401-4. Disponible à : <https://doi.org/10.1007/s00423-021-02085-0>
70. Katelaris A, Wells J, Clark P, Norton S, Rockett R, Arnott A, et al. Epidemiologic evidence for airborne transmission of SARS-CoV-2 during church singing, Australia, 2020. *Emerg Infect Dis.* 5 avril 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.3201/eid2706.210465>
71. Jones LD, Chan ER, Zabarsky TF, Cadnum JL, Navas ME, Redmond SN, et al. Transmission of SARS-CoV-2 on a patient transport van. *Clin Infect Dis.* 24 avril 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/cid/ciab347>
72. Eichler N, Thornley C, Swadi T, Devine T, McElnay C, Sherwood J, et al. Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 during border quarantine and air travel, New Zealand (Aotearoa). *Emerg Infect Dis.* 2021;27(5):1274-8. Available from: <https://doi.org/10.3201/eid2705.210514>

73. Kwon K-S, Park J-I, Park YJ, Jung D-M, Ryu K-W, Lee J-H. Evidence of long-distance droplet transmission of SARS-CoV-2 by direct air flow in a restaurant in Korea. *J Korean Med Sci*. 2020;35(46):e415. Disponible à : <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e415>
74. Li Y, Qian H, Hang J, Chen X, Cheng P, Ling H, et al. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Build Environ*. 2021;196:107788. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107788>
75. Groves LM, Usagawa L, Elm J, Low E, Manuzak A, Quint J, et al. Community transmission of SARS-CoV-2 at three fitness facilities — Hawaii, June–July 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2021;70(9):316-20. Disponible à : <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7009e1>
76. Goldberg L, Levinsky Y, Marcus N, Hoffer V, Gafner M, Hadas S, et al. SARS-CoV-2 infection among health care workers despite the use of surgical masks and physical distancing — the role of airborne transmission. *Open Forum Infect Dis*. 2021;8(3):ofab036. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/ofid/ofab036>
77. Meyerowitz EA, Richterman A, Gandhi RT, Sax PE. Transmission of SARS-CoV-2: a review of viral, host, and environmental factors. *Ann Intern Med*. 2021;174(1):69-79. Disponible à : <https://doi.org/10.7326/m20-5008>
78. Ahn JY, An S, Sohn Y, Cho Y, Hyun JH, Baek YJ, et al. Environmental contamination in the isolation rooms of COVID-19 patients with severe pneumonia requiring mechanical ventilation or high-flow oxygen therapy. *J Hosp Infect*. 2020;106(3):570-6. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.08.014>
79. Li YH, Fan YZ, Jiang L, Wang HB. Aerosol and environmental surface monitoring for SARS-CoV-2 RNA in a designated hospital for severe COVID-19 patients. *Epidemiol Infect*. 14 juillet 2020 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1017/s0950268820001570>
80. Luo L, Liu D, Zhang H, Li Z, Zhen R, Zhang X, et al. Air and surface contamination in non-health care settings among 641 environmental specimens of 39 COVID-19 cases. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14(10):e0008570. Disponible à : <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008570>
81. Cheng VCC, Wong SC, Chen JHK, Yip CCY, Chuang VWM, Tsang OTY, et al. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2020;41(5):493-8. Disponible à : <https://doi.org/10.1017/ice.2020.58>
82. Faridi S, Niazi S, Sadeghi K, Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, et al. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Sci Total Environ*. 2020;725:138401. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138401>
83. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, Lee TH, Ng OT, Wong MSY, Marimuthu K. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. 2020;323(16):1610-2. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3227>
84. Wu S, Wang Y, Jin X, Tian J, Liu J, Mao Y. Environmental contamination by SARS-CoV-2 in a designated hospital for coronavirus disease 2019. *Am J Infect Control*. 2020;48(8):910-4. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.05.003>
85. Lei H, Ye F, Liu X, Huang Z, Ling S, Jiang Z, et al. SARS-CoV-2 environmental contamination associated with persistently infected COVID-19 patients. *Influenza Other Respir Viruses*. 2020;14(6):68-99. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/irv.12783>

86. Kim UJ, Lee SY, Lee JY, Lee A, Kim SE, Choi O-J, et al. Air and environmental contamination caused by COVID-19 patients: a multi-center study. *J Korean Med Sci.* 2020;35(37):e332. Disponible à : <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e332>
87. Kenarkoohi A, Noorimotlagh Z, Falahi S, Amarloei A, Mirzaee SA, Pakzad I, et al. Hospital indoor air quality monitoring for the detection of SARS-CoV-2 (COVID-19) virus. *Sci Total Environ.* 2020;748:141324. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141324>
88. Chia PY, Coleman KK, Tan YK, Ong SWX, Gum M, Lau SK, et al. Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nat Commun.* 2020;11(1):2800. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16670-2>
89. Tan L, Ma B, Lai X, Han L, Cao P, Zhang J, et al. Air and surface contamination by SARS-CoV-2 virus in a tertiary hospital in Wuhan, China. *Int J Infect Dis.* 2020;99(10):3-7. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.07.027>
90. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature.* 2020;582(7813):557-60. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>
91. Gharehchahi E, Dehghani F, Rafiee A, Jamalidoust M, Hoseini M. Investigating the presence of SARS-CoV-2 on the surfaces, fomites, and in indoor air of a referral COVID-19 hospital in a Middle Eastern area. *Res Sq* 422947 [Prépublication]. 27 avril 2021 [cité le 28 avril 2021]. Disponible à : <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-422947/v1>
92. Stern RA, Koutrakis P, Martins MAG, Lemos B, Dowd SE, Sunderland EM, et al. Characterization of hospital airborne SARS-CoV-2. *Respir Res.* 26 février 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01637-8>
93. Birgand G, Peiffer-Smadja N, Fournier S, Kerneis S, Lescure FX, Lucet JC. Assessment of air contamination by SARS-CoV-2 in hospital settings. *JAMA Netw Open.* 2020;3(12):e2033232. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.33232>
94. Ben-Shmuel A, Brosh-Nissimov T, Glinert I, Bar-David E, Sittner A, Poni R, et al. Detection and infectivity potential of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) environmental contamination in isolation units and quarantine facilities. *Clin Microbiol Infect.* 2020;26(12):1658-62. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.09.004>
95. Lednicky JA, Lauzardo M, Fan ZH, Jutla A, Tilly TB, Gangwar M, et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *Int J Infect Dis.* 2020;100(11):476-82. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.09.025>
96. Lednicky JA, Lauzardo M, Alam MM, Elbadry MA, Stephenson CJ, Gibson JC, et al. Isolation of SARS-CoV-2 from the air in a car driven by a COVID patient with mild illness. *Int J Infect Dis.* 23 avril 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.04.063>
97. Kampf G, Brüggemann Y, Kaba HEJ, Steinmann J, Pfaender S, Scheithauer S, et al. Potential sources, modes of transmission and effectiveness of prevention measures against SARS-CoV-2. *J Hosp Infect.* 2020;106(4):678-97. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.09.022>
98. Tang S, Mao Y, Jones RM, Tan Q, Ji JS, Li N, et al. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environ Int.* 2020;144(11):106039. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106039>

99. Dumont-Leblond N, Veillette M, Bhérer L, Boissoneault K, Mubareka S, Yip L, et al. 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. *Am J Infect Control*. 12 février 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.02.004>
100. Cowling BJ, Ip DKM, Fang VJ, Suntarattiwong P, Olsen SJ, Levy J, et al. Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread. *Nat Commun*. 2013;4(1):1935. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/ncomms2922>
101. Tellier R. Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerg Infect Dis*. 2006;12(11):1657-62. Disponible à : <https://doi.org/10.3201/eid1211.060426>
102. Riediker M, Tsai DH. Estimation of viral aerosol emissions from simulated individuals with asymptomatic to moderate coronavirus disease 2019. *JAMA Netw Open*. 2020;3(7):e2013807. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.13807>
103. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Ce que nous savons jusqu'à présent sur... le variant préoccupant B.1.1.7 (501Y.V1) de la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 16 mars 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2020/12/what-we-know-uk-variant.pdf?la=fr>
104. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Ce que nous savons jusqu'à présent sur... le variant préoccupant B.1.351 (501Y.V2) de la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 16 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2021/02/wwksf-covid-19-b1351501yv2-variant-of-concern.pdf?la=fr>
105. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Ce que nous savons jusqu'à présent sur... le variant préoccupant P.1 de la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 16 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2021/02/wwksf-covid-19-p1-variant-of-concern.pdf?la=en>
106. Tang JW, Bahnfleth WP, Bluysen PM, Buonanno G, Jimenez JL, Kurnitski J, et al. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect*. 2021;110(4):89-96. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.022>
107. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). L'efficacité des vaccins contre la COVID-19 en conditions réelles : ce que nous savons jusqu'à présent [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/covid-wwksf/2021/04/wwksf-vaccine-effectiveness.pdf?la=fr>
108. Cheng HY, Jian SW, Liu DP, Ng TC, Huang WT, Lin HH. Contact tracing assessment of COVID-19 transmission dynamics in Taiwan and risk at different exposure periods before and after symptom onset. *JAMA Intern Med*. 2020;180(9):1156-63. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.2020>
109. Johansson MA, Quandelacy TM, Kada S, Prasad PV, Steele M, Brooks JT, et al. SARS-CoV-2 transmission from people without COVID-19 symptoms. *JAMA Netw Open*. 7 janvier 2021 [Cyberpublication avant impression]. Disponible à : <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.35057>

110. Sun K, Wang W, Gao L, Wang Y, Luo K, Ren L, et al. Transmission heterogeneities, kinetics, and controllability of SARS-CoV-2. *Science*. 2021;371(6526). Disponible à : <https://doi.org/10.1126/science.abe2424>
111. Subramanian R, He Q, Pascual M. Quantifying asymptomatic infection and transmission of COVID-19 in New York City using observed cases, serology, and testing capacity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021;118(9):e2019716118. Disponible à : <https://doi.org/10.1073/pnas.2019716118>
112. Gouvernement de l'Ontario. Ressources pour prévenir la COVID-19 dans les lieux de travail [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2020 [mis à jour le 30 avril 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.ontario.ca/fr/page/ressources-pour-prevenir-la-covid-19-dans-les-lieux-de-travail>
113. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. COVID-19 : Guide sur la santé et la sécurité en milieu de travail. Hamilton, ON : Canadian Centre for Occupational Health and Safety; 2020. Disponible à : <https://www.cchst.ca/products/publications/pdf/pandemiccovid19/covid-health-safety-guide.pdf>
114. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Réduisez votre risque de COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 25 mars 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/factsheet/2020/12/reduce-risk/factsheet-covid-19-reduce-your-risk.pdf?la=fr>
115. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Vaccins contre la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 25 mars 2021; cité le 9 mars 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/fr/diseases-and-conditions/infectious-diseases/respiratory-diseases/novel-coronavirus/vaccines>
116. Ontario. Ministère de la Santé; Ministère des Soins de longue durée. COVID-19: COVID-19 vaccine-relevant information and planning resources [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 29 avril 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/fr/diseases-and-conditions/infectious-diseases/respiratory-diseases/novel-coronavirus/vaccines>
117. Gouvernement de l'Ontario. Auto-évaluation pour la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 25 février 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://covid-19.ontario.ca/autoevaluation/>
118. Gouvernement de l'Ontario. Dépistage de la COVID-19 pour les travailleurs et les employés [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 13 avril 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://covid-19.ontario.ca/depistage/travailleur/>
119. Gouvernement du Canada. Masques non médicaux : à propos [En ligne]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2021 [modifié le 11 février 2021; cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/2019-nouveau-coronavirus/prevention-risques/a-propos-masques-couvre-visage-non-medicaux.html>
120. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Questions et réponses. COVID-19 : les masques non médicaux [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2020 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/factsheet/2020/11/covid-19-non-medical-masks-qa.pdf?la=fr>

121. Rogak SN, Sipkens TA, Guan M, Nikookar H, Vargas Figueroa D, Wang J. Properties of materials considered for improvised masks. *Aerosol Sci Technol.* 2021;55(4):398-413. Disponible à : <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1855321>
122. Gouvernement de l'Ontario. Utilisation des masques dans les lieux de travail [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [mis à jour le 30 avril 2021; cité le 17 mai 2021]. Disponible à : <https://www.ontario.ca/fr/page/utilisation-des-masques-dans-les-lieux-de-travail>
123. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) dans les immeubles et COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/ncov/ipac/2020/09/covid-19-hvac-systems-in-buildings.pdf?la=fr>
124. Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Prévention et gestion de la COVID-19 [En ligne]. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021 [cité le 9 mai 2021]. Disponible à : <https://www.publichealthontario.ca/fr/diseases-and-conditions/infectious-diseases/respiratory-diseases/novel-coronavirus/prevention-management>

Modèle proposé pour citer le document

Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). La transmission de la COVID-19 par les gouttelettes respiratoires et les aérosols... Ce que nous savons jusqu'à présent. Toronto, ON : Imprimeur de la Reine pour l'Ontario; 2021.

Avis de non-responsabilité

Santé publique Ontario (SPO) a conçu le présent document. SPO offre des conseils scientifiques et techniques au gouvernement, aux agences de santé publique et aux fournisseurs de soins de santé de l'Ontario. Les travaux de SPO s'appuient sur les meilleures données probantes disponibles au moment de leur publication. L'application et l'utilisation du présent document relèvent de la responsabilité des utilisateurs. SPO n'assume aucune responsabilité relativement aux conséquences de l'application ou de l'utilisation du document par quiconque. Le présent document peut être reproduit sans permission à des fins non commerciales seulement, sous réserve d'une mention appropriée de Santé publique Ontario. Aucun changement ni aucune modification ne peuvent être apportés à ce document sans la permission écrite explicite de Santé publique Ontario.

Santé publique Ontario

Santé publique Ontario est un organisme du gouvernement de l'Ontario voué à la protection et à la promotion de la santé de l'ensemble de la population ontarienne, ainsi qu'à la réduction des iniquités en matière de santé. Santé publique Ontario met les connaissances et les renseignements scientifiques les plus pointus du monde entier à la portée des professionnels de la santé publique, des travailleurs de la santé de première ligne et des chercheurs.

Pour obtenir plus de renseignements au sujet de SPO, veuillez consulter santepubliqueontario.ca.

