

Influence de la température et de l'humidité sur la transmission potentielle de la COVID-19

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

Influence de la température et de l'humidité sur la transmission potentielle de la COVID-19

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

Novembre 2022

AUTEURS

Marie-Eve Dubuis, conseillère scientifique spécialisée
Patrick Poulin, conseiller scientifique spécialisé
Isabelle Goupil-Sormany, médecin spécialiste
Gabriela Ponce, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

RÉVISEURS

Jean-Marc Leclerc, conseiller scientifique
Caroline Huot, médecin spécialiste
Stéphane Perron, médecin spécialiste
Marie-Claude Lefebvre, conseillère scientifique
Stéphane Caron, médecin-conseil
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie
Réjean Dion, médecin-conseil
Laboratoire de santé publique du Québec
Geneviève Anctil, conseillère en soins infirmiers
Direction des risques biologiques
Nathalie Turgeon, professionnelle de recherche
Centre de recherche de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de ce document et, en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

MISE EN PAGE ET RÉVISION LINGUISTIQUE

Katia Raby, agente administrative
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier les réviseurs externes pour leur temps et leur précieuse collaboration ainsi que Vana Ké, bibliothécaire à l'INSPQ, pour son soutien à la réalisation de la recherche documentaire.

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 4^e trimestre 2022
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-93448-6 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2022)

Avant-propos

La présente revue narrative systématisée, rédigée dans le contexte de la pandémie de la COVID-19, s'adresse d'abord aux partenaires du réseau de la santé et des services sociaux, aux décideurs ainsi qu'à l'ensemble des individus souhaitant en connaître davantage sur les thèmes précisés ci-dessous. Celle-ci fait état des récents travaux relatifs aux effets potentiels de la température ambiante, tant intérieure qu'extérieure, et de l'humidité sur les différents processus physiques, microbiologiques et physiologiques en cause dans la transmission du SRAS-CoV-2. Plus précisément, cette revue décrit l'influence de la température et de l'humidité sur :

- ▶ le maintien de l'infectiosité et de la capacité de réplication du virus;
- ▶ la dispersion des particules virales dans l'air;
- ▶ la transmission par aérosols ainsi que par l'entremise des surfaces contaminées (fomites);
- ▶ les effets physiologiques de réponse immunitaire des hôtes potentiels.

Les données assemblées lors de la réalisation de cette synthèse des connaissances sont issues d'études originales à partir d'une stratégie de recherche documentaire portant sur les milieux intérieurs et extérieurs. Elles comprennent notamment des études en laboratoire, des études menées en milieux hospitaliers et mixtes (résidences, écoles, commerces, gymnases, etc.), des modélisations et simulations mathématiques, des études épidémiologiques de type écologique de même que des revues de littérature. Les informations présentées s'appuient principalement sur des écrits scientifiques publiés avant le 6 août 2021. La récurrence et la convergence des constats rapportés dans les articles consultés, de même que la qualité des devis des études retenues, ont été considérées lors de l'articulation des conclusions du présent document. Toutefois, les auteurs n'endossent pas l'ensemble des hypothèses soutenues par les auteurs des articles consultés et des conclusions qu'ils ont tirées, mais rapportent de manière factuelle et descriptive les principaux résultats présentés par ces derniers. Comme l'exercice d'assemblage des documents consultés aux fins de cette revue de littérature a été complété en août 2021, il faut noter que de nombreux travaux ont été publiés depuis cette date. De plus, des variants additionnels, dont le variant Omicron, circulent maintenant dans la population québécoise. Les connaissances sur le rôle de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission potentielle du SRAS-CoV-2 et de ses variants sont donc appelées à évoluer au cours des prochains mois, voire des prochaines années.

Par ailleurs, la rédaction de ce présent travail découle d'une initiative spontanée des auteurs qui tiennent à préciser qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts à déclarer.

Table des matières

Liste des sigles et des acronymes	V
Glossaire	VII
Faits saillants	1
1 Introduction	3
2 Objectifs généraux	5
3 Méthodologie	7
3.1 Bordereau de recherche	7
3.2 Sélection des articles selon les objectifs et évaluation de leur qualité et de leur pertinence	7
4 Résultats	9
4.1 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la persistance du SRAS-CoV-2 dans l'air	9
4.1.1 Études de laboratoire.....	9
4.1.2 Études en milieux de soins et en milieux mixtes	9
4.1.3 Études de modélisation ou de simulation numérique	10
4.1.4 Synthèse des revues de littérature	12
4.2 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19 en milieu extérieur	17
4.2.1 Études écologiques	17
4.2.2 Synthèse des revues de littérature	21
4.3 Influence de la température et de l'humidité relative sur la persistance et la transmission du SRAS-CoV-2 par les fomites	22
4.3.1 Études de laboratoire.....	22
4.3.2 Études en milieux de soins, mixtes, résidentiels et commerciaux	24
4.3.3 Études de modélisation ou simulations numériques sur des surfaces	24
4.3.4 Synthèse des revues de littérature	26
4.4 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur les effets physiologiques de l'infection	27
4.4.1 Études de laboratoire.....	28
4.4.2 Modélisation.....	28
4.4.3 Synthèse des revues de littérature	29
5 Discussion	31
5.1 Persistance	31
5.2 Dispersion	32
5.3 Transmission.....	32
5.4 Options de gestion	33
5.5 Biais potentiels des études répertoriées	34
6 Conclusion	37
6.1 Production de connaissances (futures études).....	38
Bibliographie	39
Annexe 1 Bordereaux de recherche	53

Annexe 2	Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus dans l'air	57
Annexe 3	Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue	61
Annexe 4	Inventaire des variables prises en compte dans les études de modélisation retenues	71
Annexe 5	Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution	75
Annexe 6	Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température ou à l'humidité relative ou absolue et la pollution	81
Annexe 7	Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus sur les fomites	85
Annexe 8	Caractéristiques et résultats des études de modélisation portant sur la persistance des virus sur les fomites	91
Annexe 9	Caractéristiques et résultats des études portant sur les effets physiologiques de réponse immunitaire.....	95

Liste des sigles et des acronymes

ADN	Acide désoxyribonucléique
ARN	Acide ribonucléique
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CMC	Clairance mucociliaire
COVID-19	Maladie à coronavirus 2019
°C	Degré Celsius
g/kg	Gramme par kilogramme
g/m³	Gramme par mètre cube
HA	Humidité absolue (g/kg)
HCoV	Coronavirus humains/ <i>Human coronavirus</i>
HR	Humidité relative (%)
kJ/kg	Kilojoule par kilogramme
m	Mètre
m/s	Mètre par seconde
MERS-CoV	<i>Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus</i>
MHV	Virus de l'hépatite murine/ <i>Murine Hepatitis Virus</i>
SRAS-CoV-2	Syndrome respiratoire aigu sévère – Coronavirus 2/ <i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
T	Température (°C)
TF	Température froide (°C)
TP	Température de la pièce (°C)
TGEV	Coronavirus de la gastro-entérite transmissible/ <i>Transmissible Gastroenteritis Coronavirus</i>
µm	Micromètre
UA	Unité absolue d'humidité (g/m ³)
UFP	Unité formatrice de plage de lyse
UV	Rayons ultraviolets
VLP	Particules pseudovirales (PPV)/ <i>Virus-Like Particles</i>

Glossaire

Les concepts faisant référence aux aérosols, aux gouttelettes (petites ou grosses) et aux particules respiratoires ou salivaires sont fréquemment employés de manière interchangeable dans la littérature. Leurs définitions respectives faisant l'objet de nombreux désaccords, une proposition de terminologie, formulée par l'Institut national de santé publique du Québec – INSPQ (1), est donc employée dans la présente revue narrative systématisée de la littérature. Les synthèses produites dans ce document correspondent à cette terminologie, tout en respectant les définitions mentionnées ci-dessous, peu importe le terme initial employé dans l'article, l'ouvrage ou la ressource dont il est question dans la revue.

Aérosols	<p>Particules en suspension dans l'air, dont le mouvement est principalement tributaire de leur taille, généralement inférieures à 100 µm. Potentiellement inhalables, elles peuvent être classées selon le site anatomique où elles se déposent dans les voies respiratoires :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ les particules nasopharyngiennes se déposent dans le nez ou la gorge – ≤ 100 µm; ▶ les particules trachéobronchiques se déposent dans les bronches – ≤ 15 µm; ▶ les particules alvéolaires se rendent jusqu'aux alvéoles pulmonaires – ≤ 5 µm : les noyaux de particules et les microgouttelettes font partie de ce groupe (1).
Agrégation	Processus lors duquel les particules en suspension dans l'air s'agglomèrent et forment de plus gros amas.
Clairance mucociliaire	Processus intégrant différents mécanismes d'expulsion des corps étrangers qui atteignent les voies respiratoires lors de l'inhalation (2).
Déposition	Processus lors duquel les particules en suspension dans l'air se déposent sur des surfaces ou dans les voies respiratoires.
Dispersion	Processus lors duquel les particules générées par une source se disséminent dans l'environnement.
Dose infectieuse	Nombre de pathogènes requis pour provoquer une infection chez un hôte (3).
Effets cytopathiques	Dégénérescence et anomalies cellulaires liées à la présence d'un virus se multipliant dans une cellule (4).
Efflorescence	Processus lors duquel la composition des particules est modifiée par évaporation de l'eau, ce qui facilite la concentration et la migration (par capillarité) des sels en solution à travers les constituantes protéinées (dont la mucine) pour former un dépôt minéral superficiel cristallisé (5).
Évaporation	Processus lors duquel un fluide à l'état liquide (eau), contenu dans les particules respiratoires, est converti en vapeur.

Fomites	Surfaces ou objets inanimés contaminés par des microorganismes pathogènes (6).
Gouttelettes	Anciennement définies comme des particules mesurant généralement plus de 5 µm (1).
Gouttes	Particules d'une dimension supérieure à 100 µm (donc non inhalables), qui peuvent se déposer directement sur les muqueuses du nez, de la bouche ou des yeux et sur des surfaces ou des objets, selon une trajectoire balistique (1).
Humidité relative	Quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport au maximum contenu à saturation à une température et à une pression données (7).
Humidité absolue	Quantité de vapeur d'eau présente dans un volume d'air (8).
Inactivation virale	Processus engendrant une suppression de l'infectiosité virale, lequel peut se manifester plus ou moins rapidement.
Infectiosité	Capacité d'un agent pathogène (comme un virus) de se transmettre, de survivre et de se multiplier dans un hôte (1).
Milieux mixtes	Milieus occupés tant par la population générale que par des travailleurs (ex. : écoles, gymnases et commerces).
Noyaux de particules	Aérosols en suspension dont le contenu en eau s'est évaporé (anciennement définis comme <i>noyaux de gouttelettes</i>).
Panache thermique	Flot d'air ascendant se profilant autour du corps humain, lequel est produit par les gradients de température entre la surface corporelle et l'air ambiant (9).
Particules respiratoires	Particules de toutes tailles – constituées de matière solide ou liquide – émises, par exemple, par la respiration, la toux, les éternuements ou la parole (1). Dans le présent document, comprend l'ensemble des aérosols et des gouttes.
Période de latence	Période entre le moment où se manifeste l'infection et le début de la période infectieuse (10).
Perte de potentiel infectieux	Processus impliquant une diminution de la capacité d'un virus à infecter un hôte susceptible.
Temps de demi-vie	Temps requis pour que la moitié des virus soient inactivés – Définition adaptée du dictionnaire Merriam-Webster (11).
Transmission	Processus par lequel un agent pathogène passe d'une source par l'intermédiaire de la salive, des aérosols ou des fomites à un hôte (receveur) de manière à lui causer une infection (1). Ce processus peut s'opérer par contact direct et rapproché (moins de 2 mètres) ou à distance (plus de 2 mètres).
Virion	Particule virale, composée d'ARN ou d'ADN encapsulé dans une capsid protéique et parfois enveloppée dans une membrane lipidique (12).

Faits saillants

- ▶ Certains paramètres environnementaux comme la température, l'humidité relative et l'humidité absolue pourraient jouer un rôle complémentaire dans le processus de transmission du SRAS-CoV-2, plus particulièrement en milieu intérieur. Alors que la transmission virale par contact direct et rapproché serait peu influencée par la température et l'humidité relative ou absolue de l'air ambiant, la transmission du SRAS-CoV-2 à distance (à plus de 2 mètres) ou indirecte (par l'entremise des surfaces contaminées (fomites)) pourrait, dans une certaine mesure, être facilitée ou atténuée dans certains contextes environnementaux. Toutefois, la contribution respective de ces modes de transmission, directs ou indirects, dans l'actuelle pandémie demeure difficile à établir, bien que la transmission par aérosols soit plus importante que celle induite par les fomites selon les plus récentes données disponibles.

Effets de la température

- ▶ Des températures de moins de 20 °C pourraient contribuer au maintien de la charge virale présente tant dans les aérosols que sur les fomites, alors que des températures de plus de 30 °C atténueraient la virulence des charges virales se trouvant dans ou sur ces matrices.
- ▶ Les processus d'évaporation et de dispersion des particules seraient favorisés lors de l'augmentation de la température, tandis que de telles conditions diminueraient la vitesse de déposition des particules sur des surfaces.
- ▶ Des températures de moins de 20 °C faciliteraient le dépôt des aérosols infectieux dans les voies respiratoires supérieures tout en contribuant à l'inflammation et à l'altération des muqueuses respiratoires.

Effets de l'humidité

- ▶ L'influence de l'humidité relative sur les particules virales respiratoires semble plus complexe à déterminer que celle de la température.
- ▶ La persistance du virus associé aux aérosols et aux fomites serait généralement accrue, tant par des taux faibles d'humidité relative (< 30 %-40 %) que par des taux élevés (> 60 %-65 %). Les niveaux moyens d'humidité relative (entre 30 % et 65 %), normalement présents en milieu intérieur, réduiraient le maintien de la charge virale dans l'air.
- ▶ Dans des conditions de faible humidité relative, les virus conserveraient davantage leur intégrité, et ce, dans une variété d'environnements.
- ▶ Les conditions d'humidité relative élevée augmenteraient la vitesse de dépôt des particules, alors que les conditions de faible humidité relative faciliteraient l'évaporation de ces particules et donc leur maintien en suspension dans l'air ambiant de même que leur dispersion.
- ▶ Les faibles niveaux d'humidité pourraient altérer les processus de réparation des cellules épithéliales et de clairance mucociliaire; des processus de défense physiologique de première ligne au regard des infections respiratoires.

Milieu extérieur

- ▶ L'étude du lien entre la transmission du SRAS-CoV-2 et la température ainsi que l'humidité relative ou absolue en milieu extérieur n'a pas permis d'établir de relation claire entre ces éléments.

Mesures de prévention pour diminuer la propagation du SRAS-CoV-2 dans les milieux intérieurs

- ▶ La température des milieux intérieurs devrait se situer entre 20 et 26,5 °C. Ces conditions militent en faveur d'un emploi judicieux des climatiseurs en saison estivale et de l'évitement de la surclimatisation à des températures trop basses.
- ▶ Il serait pertinent de maintenir l'humidité relative à l'intérieur des plages de valeurs recommandées par les organismes compétents (de 30 % à 50 % en saison hivernale), car ces plages pourraient réduire la persistance du virus dans l'environnement tout en contribuant à préserver l'intégrité des mécanismes de défense des hôtes.
- ▶ Le port du masque ou du couvre-visage en milieu intérieur, la distanciation physique, l'application d'une ventilation adéquate et le lavage des mains pourraient atténuer l'effet de la présence de conditions plus propices à la persistance de l'infectiosité du virus et de sa transmission par l'entremise de l'environnement.
- ▶ D'autres paramètres pourraient influencer plus considérablement le comportement des particules virales présentes dans l'environnement comme la présence de rayons UV, les déplacements d'air et le type de surface sur lequel les virus sont déposés, mais ces éléments ne font pas partie des concepts explorés systématiquement dans cette revue.
- ▶ La transmission par contact direct ou rapproché, moins influencée par les paramètres pris en compte dans cette revue, demeure certainement la plus importante.
- ▶ Le déploiement de mesures de protection efficaces dans certains milieux où la persistance du virus pourrait être accrue, tels les milieux intérieurs climatisés, serait indiqué.

1 Introduction

Les modes de transmission reconnus du SRAS-CoV-2 sont les contacts étroits (< 2 mètres) et prolongés (≥ 15 minutes) avec une personne infectée et ses sécrétions respiratoires ainsi que les contacts indirects avec des surfaces contaminées (fomites) ou les aérosols. La contribution respective de ces différentes voies n'est toutefois pas bien établie (13). Outre la projection de particules virales de tailles variables par une personne infectée, il a été démontré que les courants d'air directionnels (ex. : climatiseurs, ventilateurs, etc.) peuvent contribuer à la dispersion des virus en milieux intérieurs (14,15). Leur transmission serait également plus importante lors de rassemblements prolongés dans les milieux intérieurs densément occupés et inadéquatement ventilés (13,14). Enfin, la transmission potentielle des virus par l'entremise des fomites pourrait, dans certaines circonstances, constituer un enjeu à considérer (6).

Différents paramètres environnementaux, notamment la température (T) et l'humidité relative (HR) ou absolue (HA), pourraient moduler la transmission du SRAS-CoV-2 par l'intermédiaire des particules respiratoires projetées et inhalées ou encore déposées sur des surfaces. Toutefois, l'influence spécifique et concourante des paramètres environnementaux a été peu étudiée par la communauté scientifique et demeure, dans une large mesure, à élucider. Ceux-ci pourraient avoir un effet sur les processus d'évaporation, d'agrégation, de dispersion et de déposition des particules aéropoortées, en plus de maintenir la charge infectieuse du SRAS-CoV-2 contenue dans les particules déposées ou non. Par ailleurs, ces mêmes paramètres pourraient moduler l'efficacité des processus de réponse physiologique des individus exposés aux charges virales. Les informations à cet effet semblent relativement fragmentaires et rarement traitées de façon concomitante.

Dans un tel contexte, il s'avère pertinent de tenter de mieux comprendre l'influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur les processus impliqués dans la survie et la transmission du SRAS-CoV-2 et la réponse physiologique immunitaire. Cette compréhension permettrait d'établir d'éventuelles mesures de prévention visant à limiter la propagation du SRAS-CoV-2, et ce, tant dans les milieux intérieurs qu'extérieurs.

2 Objectifs généraux

L'objectif de cette revue narrative systématisée de la littérature scientifique récente est de documenter l'influence concourante et respective de la température et de l'humidité relative ou absolue sur les processus potentiellement impliqués dans la transmission du SRAS-CoV-2 et l'infection des hôtes par la COVID-19. Elle consiste surtout à préciser l'influence de ces paramètres environnementaux sur :

- ▶ le maintien de l'infectiosité et de la capacité de réplication du virus;
- ▶ la dispersion des particules virales dans l'air;
- ▶ la transmission par aérosols ainsi que par l'entremise des fomites;
- ▶ la réponse physiologique associée à la défense immunitaire des hôtes potentiels.

À terme, cette analyse vise à permettre aux professionnels concernés d'articuler certaines recommandations portant notamment sur les mesures de gestion environnementale de la COVID-19 ainsi que sur les mesures individuelles (port du masque, distanciation physique, lavage des mains, etc.). Indirectement, l'analyse vise aussi à relever certaines lacunes au regard des connaissances sur les facteurs qui modulent la transmission du SRAS-CoV-2. Enfin, elle a pour objet d'éclairer la communauté scientifique sur les forces et les limites des différentes études qui ont tenté d'établir des liens entre les paramètres environnementaux et la transmission du SRAS-CoV-2.

3 Méthodologie

3.1 Bordereau de recherche

La présente revue de littérature a été amorcée en août 2021. À ce moment, l'équipe de travail a élaboré un bordereau de recherche préparé avec l'appui d'une professionnelle de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) spécialisée en recherche documentaire. Les concepts associés à la question traitée dans le présent document étaient les suivants : COVID-19 et autres coronavirus, humidité, température, aérosols, fomites et défense immunitaire. Plusieurs déclinaisons de ces concepts ont été incluses dans la stratégie de recherche (voir l'annexe 1).

L'équipe de travail a interrogé les interfaces de recherche OvidSP et EBSCOhost le 6 août 2021. De façon plus spécifique, l'équipe a consulté deux bases de données bibliographiques : Medline à partir de la plateforme de recherche OvidSP et Environment Complete à partir de la plateforme EBSCOhost. Des articles rédigés tant en français qu'en anglais, publiés entre le 17 novembre 2019 (date du premier cas officiel de la COVID-19) et le 6 août 2021, ont été extraits de ces plateformes. En tout, 364 articles ont été relevés à l'aide de la démarche de recherche documentaire (Medline = 290; Environment Complete = 74). Par la suite, l'équipe de recherche a enlevé les doublons, portant le total à 298 articles.

3.2 Sélection des articles selon les objectifs et évaluation de leur qualité et de leur pertinence

Les titres et les résumés des documents retenus ont été analysés afin d'exclure les articles ne répondant pas aux questions de recherche et ne respectant pas les objectifs généraux de la présente revue de littérature. Ainsi, une première analyse de pertinence a été effectuée sur la base du titre et du résumé, cette analyse aboutissant à l'exclusion de 141 articles. Deux articles supplémentaires ont été rejetés (16,17), puisqu'il s'agissait de prépublications (*preprint*) publiées par la suite sous un autre titre et qui étaient déjà retenues dans la revue (18,19). Parmi les 155 documents jugés pertinents pour une analyse plus approfondie, quelques études supplémentaires ont été incluses par les auteurs de la présente revue, selon une stratégie dite « boule de neige » (5,20–22). Ces articles présentaient des éléments pertinents et complémentaires aux documents relevés par l'entremise de la démarche de recherche documentaire présentée ci-haut. Deux articles ont été exclus de l'analyse par la suite, car il n'était pas possible d'en prendre connaissance (23,24). Puis, les auteurs ont élaboré une cote de qualité et de pertinence comprenant sept critères valant un point chacun :

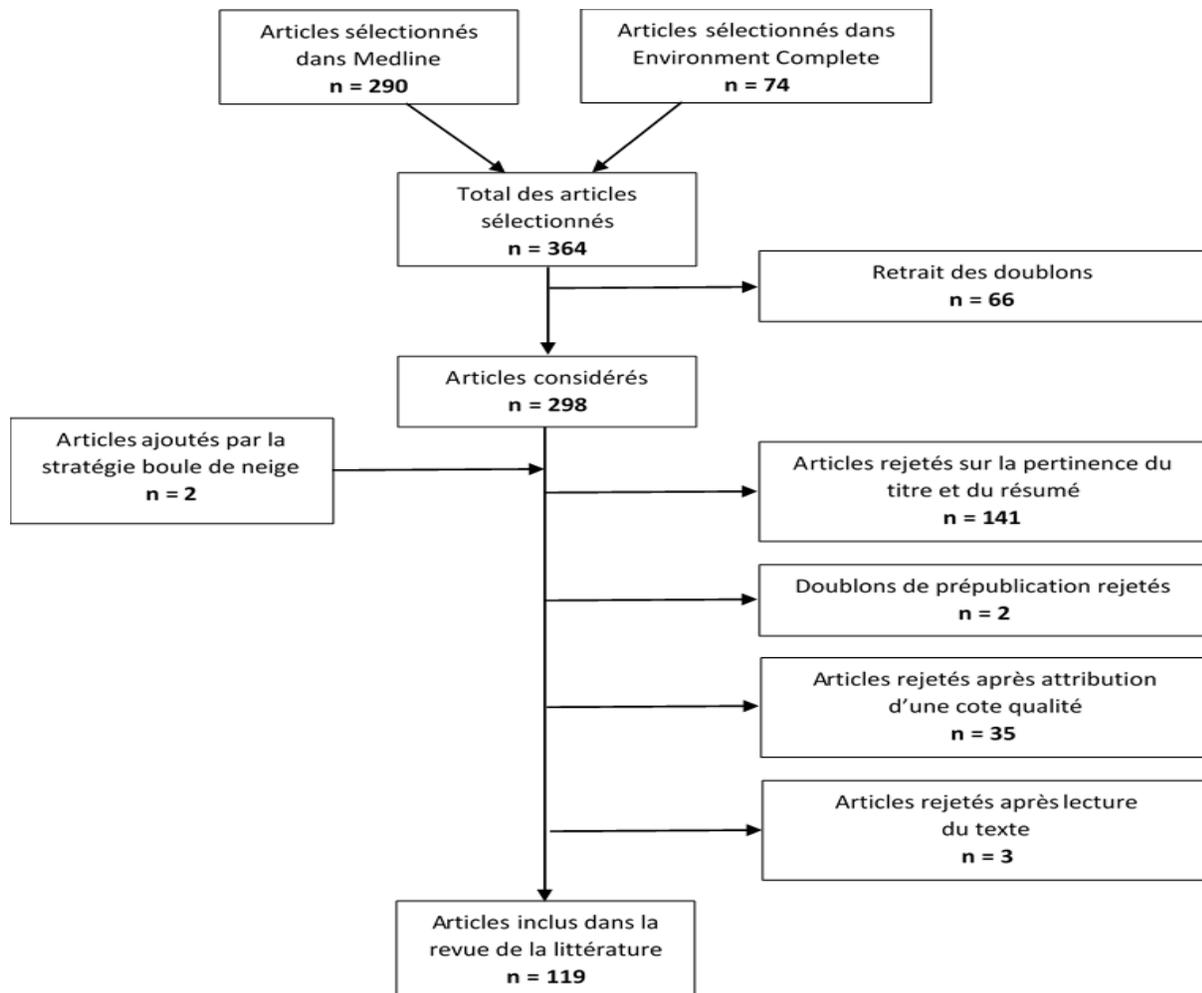
- ▶ l'article est pertinent (0 si éditorial, opinion, actualité ou hors sujet; 1 si article scientifique);
- ▶ l'article traite des coronavirus (incluant le SRAS-CoV-2 et d'autres virus modèles);
- ▶ l'article traite de la température ambiante;
- ▶ l'article traite d'humidité relative ou absolue;
- ▶ l'article présente les objectifs;
- ▶ l'article présente la méthodologie;
- ▶ l'article présente la ou les source(s) de financement.

Les articles possédant une cote de qualité et de pertinence inférieure à 5 (0 à 4) ont été exclus de l'analyse. En tout, 35 articles ont été rejetés à cette étape (25–59), et 5 articles ont également été rejetés après la lecture du texte intégral (60–64). L'argumentaire qui a mené à l'exclusion de ces articles (résultats de cote de qualité et de pertinence) est disponible sur demande.

Au terme de cette analyse et de l'application de la cote de qualité et de pertinence, 118 articles scientifiques ont été retenus pour le présent ouvrage, dont un seul article non révisé par les pairs (65). Différents types d'articles ont été répertoriés, dont des études de laboratoire (27), des études menées en milieux hospitaliers ou mixtes (10), des études de modélisation mathématique ou de simulation (25), des études écologiques (32) et enfin des revues de littérature (25). Les résultats de tous ces textes seront décrits dans les prochaines sections de ce document. Il importe de souligner que les auteurs des revues de littérature sélectionnées n'indiquent pas toujours la nature systématique de leur démarche de recherche documentaire et le processus analytique préconisé pour déterminer la qualité des articles inclus.

Le diagramme de flux (figure 1) présente la démarche d'inclusion et d'exclusion des articles scientifiques.

Figure 1 Diagramme de flux présentant la démarche d'inclusion et d'exclusion des articles scientifiques



4 Résultats

4.1 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la persistance du SRAS-CoV-2 dans l'air

4.1.1 ÉTUDES DE LABORATOIRE

Les caractéristiques et les principaux constats des études expérimentales ayant traité des aérosols sont recensés dans le tableau 1 (voir l'annexe 2). Quatre études expérimentales menées en laboratoire ont évalué pour leur part les effets de la température et de l'humidité relative sur le maintien de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 aérosolisé (66–69). Les auteurs ont aérosolisé des virions de SRAS-CoV-2 et les ont transférés dans des caissons expérimentaux pour évaluer l'inactivation virale induite par différentes conditions de température, d'humidité relative et de lumière solaire simulée. Les principaux résultats de ces études de laboratoire montrent que le potentiel infectieux du SRAS-CoV-2 est mieux conservé à une température ≤ 20 °C (66,67) et à une humidité relative élevée – (68-88 % (69), bien que l'apport de l'humidité relative dans le processus de conservation du potentiel infectieux pourrait être moins important que celui de la température dans ce contexte (66,67). Par ailleurs, Schuit *et al.* (2021) ont rapporté une résistance similaire de plusieurs isolats de SRAS-CoV-2, incluant le variant Alpha – B.1.1.7, à différentes plages de température et d'humidité relative (68). Finalement, dans un tout autre contexte, Lieber *et al.* (2021) ont plutôt analysé le processus d'évaporation de particules respiratoires maintenues en suspension dans l'air (5 à 200 μm) à différentes températures (20 et 29 °C) et pourcentages d'humidité relative (6 à 65 %). Ils ont établi que l'eau contenue dans les particules respiratoires s'évapore en quelques minutes et que la taille résiduelle de ces particules représente 20 % de leur taille initiale (comprise entre 5 et 200 μm). De plus, l'humidité relative ne semble pas influencer sur ce processus d'évaporation, du moins pas entre 6 et 65 % (70).

PRINCIPAL ÉLÉMENT À RETENIR

- ▶ Le potentiel infectieux du SRAS-CoV-2 serait mieux conservé à une température ≤ 20 °C et à une humidité relative élevée.

4.1.2 ÉTUDES EN MILIEUX DE SOINS ET EN MILIEUX MIXTES

Cinq groupes d'auteurs ont évalué la présence du SRAS-CoV-2 dans l'air intérieur de milieux hospitaliers – voir le tableau 1 de l'annexe 2 (71–75), sans toutefois déterminer l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur l'inactivation potentielle du virus. Deux d'entre eux ont réussi à détecter de l'ARN du SRAS-CoV-2 dans leurs échantillons d'air (71,72), alors que les trois autres ne sont pas parvenus à le faire dans ce type de milieu (73–75). De plus, les auteurs de la seule étude ayant procédé à la culture d'échantillons n'ont pu démontrer la présence de virus infectieux (72). Enfin, un groupe de recherche a quantifié de façon hebdomadaire les coronavirus humains (HCoV) dans l'air intérieur d'une université de Hong Kong pendant près de 2 ans (76). Ces chercheurs ont détecté dans l'air de l'ARN d'influenza A, d'influenza B, de rhinovirus et de virus respiratoire syncytial (VRS). Toutefois, aucun échantillon ne contenait de traces de HCoV.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ Selon quelques articles recensés, de l'ARN de SRAS-CoV-2 a été détecté dans des échantillons d'air de certains hôpitaux, sans toutefois révéler la présence de virus cultivable.
- ▶ Les groupes d'auteurs des articles présentés dans cette sous-section n'ont pas évalué les effets respectifs de la température, de l'humidité relative ou absolue sur l'inactivation du SRAS-CoV-2 en milieu de soins et en milieu mixtes.

4.1.3 ÉTUDES DE MODÉLISATION OU DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Parmi les 17 études de modélisation recensées (voir le tableau 2 de l'annexe 3), les auteurs de 14 d'entre elles se sont penchés sur les processus physiques ayant une influence sur la dispersion de particules à l'intérieur d'une pièce ou d'un espace restreint d'une superficie maximale de quelques mètres carrés (77–90), alors que trois autres groupes d'auteurs ont plutôt tenté d'évaluer la portée des différents mécanismes pouvant être impliqués dans la dispersion du virus à l'échelle d'un immeuble résidentiel multiétage ou d'une ville (91–93). Parmi ces études, 9 sont basées sur des modèles portant sur la dynamique des fluides computationnelle (80–83,86,87,91–93) et une autre sur la dynamique moléculaire computationnelle (88). Dans d'autres études, les auteurs ont plutôt opté pour des approches s'appuyant sur des approximations analytiques des processus d'évaporation (77,78,84,85,89,90), de sédimentation (84,89) de cristallisation (77) ou encore sur la dynamique des fluides (77,79,85,90). Enfin, Chaudhuri *et al.* ont mis à profit la théorie des collisions dans le développement et l'application de leur modèle (77).

Les processus d'aérosolisation, d'évaporation, de dispersion et de déposition des particules virales présentes dans l'air ambiant ont fait l'objet de plusieurs simulations. Ces dernières avaient généralement comme objectif de définir le rôle de la température et de l'humidité relative sur le devenir des projections de particules émises par des individus infectés ou encore des amas atmosphériques (ou nuages) de particules potentiellement contaminées par le SRAS-CoV-2. Les auteurs ont d'abord défini les conditions limites (ou de départ) ainsi que les variables à considérer dans le modèle, pour ensuite tenter d'évaluer la portée respective des différents processus engendrant la dispersion des particules respiratoires dans l'environnement. Ces variables comprennent le type de réflexe respiratoire impliqué dans la projection initiale de particules (respiration, toux, éternuements, etc.) et sa durée; la vitesse et l'angle de projection; la température initiale des particules éjectées; leur surface d'éjection initiale, leur taille et la distribution de leur taille; leur composition (eau, eau saline, protéines, lipides, etc.) et leur hétérogénéité.

Dans les faits, la majorité des auteurs n'a pas considéré l'ensemble de ces variables dans les modélisations proposées (voir le tableau 3 de l'annexe 4). Certains auteurs se sont aussi basés sur des données empiriques provenant d'autres études pour définir la distribution des tailles de particules (86,87,90), la période de maintien de l'infectiosité du SRAS-CoV-2 à retenir (86,91), la vitesse de départ des particules (89), ou encore pour valider les observations générées par l'application de leur propre modèle (82,87,90). Par ailleurs, seule une étude comprend une validation du modèle élaboré à l'aide de données empiriques issues d'études complémentaires menées en laboratoire (77). Enfin, les auteurs de quelques études n'ont évalué que l'effet de la température (88,93) ou de l'humidité relative (82,86) sur l'un ou l'autre des processus physiques potentiellement impliqués dans la transmission du SRAS-CoV-2, alors que les autres ont pris en considération ces deux paramètres.

4.1.3.1 Processus de transmission à l'échelle d'une pièce

À cet effet, l'influence des processus d'aérosolisation, d'évaporation, de dispersion et de déposition sur le comportement des particules a souvent été prise en compte simultanément par les chercheurs (77,79,80,82–87,89,90), puisqu'ils sont, dans une certaine mesure, intrinsèquement liés. En effet, la température et l'humidité relative peuvent toutes les deux influencer l'intensité de ces processus lesquels, en retour, peuvent moduler la transmission à de nouveaux hôtes potentiels. Quatre autres groupes de chercheurs ont également analysé l'augmentation de la concentration (ou *build-up*) des particules inhalables dans un espace (84,86,90) ou déposées sur une personne non infectée (83). Toutefois, les auteurs de quelques études n'ont considéré que les processus de déposition (88), d'évaporation ou de dispersion (78,81) dans leurs travaux respectifs.

L'effet de la température et de l'humidité relative sur le devenir des particules a été analysé dans respectivement 6 (77,78,81,87–89) et 11 études (77–84,86,87,89). D'après les résultats des études de modélisation consultées, plus la température de l'air ambiant augmente, plus l'eau associée aux particules présentent dans le milieu s'évapore (77,78,81,87,89) et plus leur temps de suspension dans l'air augmente (88). En ce qui concerne l'effet spécifique de l'humidité relative sur la dynamique des particules, certains des ouvrages consultés rapportent que l'intensité et la vitesse d'évaporation diminuent quand l'humidité relative de l'air est élevée (77–81,83,84,87,89). La vitesse de déposition des particules est ainsi plus rapide lorsque l'humidité relative est élevée, puisque le contenu des particules en eau s'avère moins assujéti à l'évaporation dans de telles conditions (79,82,84,86). Finalement, la distance parcourue par les particules, soit leur potentiel de dispersion, est plus importante dans des conditions de faible humidité relative, étant donné que l'évaporation s'en trouve accentuée. Toutefois, les auteurs précisent que cette finalité dépend également de la taille initiale des particules concernées (83,86).

4.1.3.2 Processus de transmission à l'échelle d'un immeuble résidentiel multiétage ou d'une ville

Trois groupes de chercheurs ont tenté d'expliquer les phénomènes physiques qui pourraient être impliqués dans la transmission par aérosols de la COVID-19 à une plus grande échelle, soit au-delà des processus ayant cours au sein d'une pièce unique (91–93). Ces chercheurs ont ainsi émis certains postulats au regard des principes de thermodynamique impliqués (dont l'incidence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19) pour justifier les phénomènes décrits dans des études écologiques.

McKeen et Liao se sont intéressés aux conditions pouvant contribuer à la transmission de la COVID-19 dans les aires communes des édifices construits en hauteur et dont les corridors sont ventilés mécaniquement. Sur la base du postulat que le virus peut demeurer infectieux au moins 3 heures dans les aérosols, ce groupe d'auteurs rapporte que ce sont les gradients de température extérieure-intérieure qui s'avèrent déterminants dans l'intensité des processus de dispersion. Selon leur modélisation pour un édifice de 10 étages, l'effet de tirage thermique (ou effet cheminée), c'est-à-dire le déplacement d'air vertical causé par les différences de pression (et incidemment de température) de part et d'autre de l'enveloppe du bâtiment, occasionnerait des déplacements d'air suffisamment importants pour disperser les aérosols dans les aires communes (corridors) des 4 étages inférieurs du bâtiment, malgré l'application d'une ventilation en pression positive entre les corridors et les logements (93).

Bhaganagar et Bhimireddy ont pour leur part tenté de justifier une partie de l'excédent de cas observé au printemps 2020 à New York, excédent présumément associé à des épisodes de transmission extérieure. Ces auteurs se sont demandé si les conditions météorologiques notées à New York du 11 mars au 5 avril 2020 pourraient avoir permis à un amas de virus, émis par une

personne qui tousse ou qui éternue, de se déplacer sur plusieurs kilomètres. Ils ont estimé que certaines conditions de température, d'humidité absolue au sol et de vent auraient contribué à la manifestation d'un tel phénomène qui aurait perduré environ 30 minutes. Ils ajoutent aussi en conclusion que le rayonnement ultraviolet C (UVC) n'aurait pas pu totalement atténuer le potentiel infectieux de ce concentré parce que ce rayonnement aurait notamment été absorbé par la vapeur d'eau ou par d'autres constituants de l'atmosphère (91).

Dbouk et Drikakis ont tenté d'expliquer pourquoi les résultats des études portant sur l'analyse de la relation entre la température extérieure et la transmission de la COVID-19 pouvaient être contradictoires. Ils ont associé certaines conditions optimales qui protégeraient les gouttes salivaires d'une éventuelle évaporation et qui expliqueraient la survenue d'épisodes de transmission par aérosols à l'extérieur relativement plus intenses à certains moments de l'année. Selon ces derniers auteurs, la transmission en milieux extérieurs serait plus efficace lorsque les températures sont plus froides (0 °C comparativement à 40 °C), l'humidité relative plus élevée (90 % comparativement à 10 %) et en présence de vents faibles (92).

En marge des processus de transmission inusités proposés, ces modèles montrent globalement qu'une faible température contribuerait à la transmission du virus, alors qu'une humidité relative élevée contribuerait à la persistance du caractère infectieux du virus.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ La majorité des auteurs des études de modélisation consultées n'a pas considéré l'ensemble des variables jugées déterminantes pour effectuer une simulation numérique adéquate des processus impliqués dans la transmission de la COVID-19 et, incidemment, le rôle spécifique de la température et de l'humidité relative dans ces processus.
- ▶ L'influence des processus d'aérosolisation, d'évaporation, de dispersion et de déposition sur le comportement des particules en suspension dans l'air a souvent été prise en compte simultanément par les chercheurs, puisque ces processus sont, dans une certaine mesure, intrinsèquement liés. Il est généralement présumé que la température et l'humidité relative peuvent moduler l'intensité des processus. La possible contamination de nouveaux hôtes s'en trouverait ainsi influencée.
- ▶ Les températures élevées et les faibles pourcentages d'humidité relative pourraient faciliter l'évaporation de l'eau contenue dans les particules respiratoires. Ces conditions augmenteraient le temps de résidence de ces particules dans l'air et leur potentiel de dispersion tout en limitant leur déposition.

4.1.4 SYNTHÈSE DES REVUES DE LITTÉRATURE

4.1.4.1 Influence de la température et de l'humidité relative sur le maintien de l'infectiosité virale

Généralités

Trois groupes d'auteurs font part de résultats de différentes études épidémiologiques écologiques réalisées en régions tempérées. Ces résultats indiquent que la transmission de certains virus respiratoires (dont le virus de l'influenza, les coronavirus humains et le VRS) répond généralement à un patron saisonnier avec une incidence plus élevée au cours des mois hivernaux (2,94,95). Certains de ces auteurs précisent que les adénovirus, le bocavirus humain, le métapneumovirus humain et le rhinovirus peuvent être détectés auprès des populations de ces mêmes zones tout au long de l'année et pas seulement pendant les mois hivernaux. Cette première distinction est importante, car les *virus d'hiver* présenteraient une grande stabilité à basse température et à un faible pourcentage

d'humidité relative, alors que la stabilité des virus non saisonniers serait accentuée par une température et un pourcentage d'humidité relative plus élevés. Mohan *et al.* (2021) mentionnent par ailleurs que les résultats des précédentes études portant sur le virus de l'influenza montrent des interactions ne variant pas de manière concomitante entre la température, l'humidité relative ambiante et sa virulence (96).

Audi *et al.* (2020), Moriyama *et al.* (2020) et Ram *et al.* (2021) indiquent également que les basses températures contribueraient à l'ordonnement et à la stabilité des protéines et des lipides constituant la membrane du virus de l'influenza, et d'autres virus enveloppés (2,94,95). La stabilité de l'influenza dans l'environnement et son pouvoir infectieux seraient donc mieux conservés à basse température (2,94,95,97). da Silva *et al.* (2021) recensent pour leur part que l'humidité relative est également importante pour la survie et la stabilité de ce type d'organisme pathogène, car les complexes phospholipide-protéine dans les virus enveloppés sont généralement plus susceptibles de se dénaturer dans l'air à une humidité relative de moyenne à élevée (98). Ce constat expliquerait pourquoi la plupart des virus enveloppés ont tendance à survivre plus longtemps à une humidité relative plus faible lors d'une suspension prolongée dans l'air ou après leur dépôt sur des surfaces.

Bozic et Kanduc (2021) retiennent que l'humidité relative régit la constitution du microenvironnement dans lequel les virus sont véhiculés dans l'air. Un phénomène important qui accompagne l'évaporation des particules respiratoires potentiellement infectieuses à faible humidité relative est l'efflorescence (5). Ce processus, qui accompagne le changement de taille des particules en suspension, modifie également la composition des particules en facilitant la migration (par capillarité) des sels en solution à travers les constituantes protéinées (dont la mucine) pour former un dépôt minéral superficiel. L'efflorescence contribuerait non seulement à la conservation de la charge virale à l'intérieur de la microstructure ainsi constituée, mais aussi à son maintien dans certaines conditions moins propices.

SRAS-CoV-2

Les constats issus des analyses de la littérature élaborées par Bu *et al.* (2021) et Jia *et al.* (2021) suggèrent que des températures plus élevées accélèrent l'inactivation du SRAS-CoV-2 dans les aérosols (97,99). L'atteinte de températures ambiantes excédant 25 °C mènerait d'ailleurs à l'inactivation complète du virus (97). da Silva *et al.* (2021) soutiennent pour leur part que des températures et des pourcentages d'humidité relative plus élevés pourraient avoir un effet modeste sur la viabilité du SRAS-CoV-2 dans l'environnement (98), alors que Bu *et al.* (2021) affirment que l'influence de l'humidité relative sur la viabilité du SRAS-CoV-2 présent dans les aérosols nécessite des recherches supplémentaires (99).

4.1.4.2 Influence de la température et de l'humidité relative sur la dispersion du virus dans l'air ambiant

Il est d'abord important de préciser que les aérosols ainsi que les gouttes sont impliqués dans la transmission de maladies respiratoires d'étiologie infectieuse (96). Leur contribution respective au regard des épisodes de transmission diffère cependant, notamment en fonction des mesures de gestion en place, du comportement des occupants et de l'environnement physique concerné. En ce qui a trait à ce dernier aspect, Bu *et al.* (2021) indiquent qu'une faible humidité relative, telle que cela est observé pendant les mois d'hiver en milieux intérieurs, influence plusieurs mécanismes engendrant la transmission par aérosols d'infections, dont le potentiel de dispersion dans l'environnement (99).

Alors que l'humidité relative n'aurait que peu d'effet sur la dispersion des particules de petite taille (10-30 μm) et de grande taille (100 μm), le devenir des particules de taille moyenne (50-60 μm) pourrait être significativement affecté par ce facteur (99). Bu *et al.* (2021) constatent que sous des conditions de faible humidité relative, les petites particules pourraient s'évaporer pour devenir des noyaux de particules peu après leur expulsion par l'hôte. À l'opposé, les plus grosses particules se déposeraient rapidement sur le sol en suivant une trajectoire de type balistique. Ces deux premiers cas de figure limiteraient la potentialité de dispersion des virions présents dans les particules au-delà de l'environnement immédiat de l'individu infecté (soit 6 pieds ou 2 mètres selon les différentes autorités sanitaires). En revanche, les particules de taille moyenne seraient davantage influencées par certains processus physicochimiques qui pourraient faire varier leur vitesse de dépôt et leur potentiel de dispersion dans l'air ambiant. Toujours selon la recension de Bu *et al.* (2021), ce fait revêt une importance particulière, car le pourcentage d'humidité relative pourrait faire varier la proportion d'aérosols de moyenne dimension expulsés par un individu infecté ainsi que la charge de virions en suspension dans l'air pouvant potentiellement franchir de plus longues distances (c.-à-d. plus de 2 mètres). Ils rapportent d'ailleurs que lorsque l'humidité relative est inférieure à 37 % et demeure constante, le temps d'évaporation diminue à mesure que la température s'élève. À l'inverse, lorsque l'humidité relative excède 37 %, l'augmentation de la température à une humidité relative constante entraîne un temps d'évaporation plus long. Le temps d'évaporation des particules aérosolisées serait ainsi plus court à des températures élevées et à une faible humidité relative (99).

D'après Bozic et Kanduc (2021), la proportion d'eau se trouvant dans les aérosols dits de taille moyenne (50-60 μm) atteindrait plus de 90 % de la masse de ces derniers. Le processus d'évaporation affecterait alors autant leur poids que leur taille. Lorsque de tels aérosols se dispersent dans un environnement où l'humidité relative atteint 50 %, ils rétrécissent pour atteindre de 27 à 58 % de leur diamètre initial. Sous des conditions d'humidité relative ambiante plus élevée, l'évaporation affecte moins la taille de ces aérosols et ceux-ci se déposent plus rapidement sur les surfaces adjacentes. À l'opposé, lorsque l'humidité relative atteint 40 %, les aérosols de taille moyenne se contractent rapidement tout en perdant une fraction de leur contenu en eau. En s'évaporant, l'eau transporte les sels à la surface périphérique de l'aérosol où se manifeste le processus d'efflorescence cité précédemment; processus qui, ici, faciliterait le maintien en suspension des aérosols. Malgré ces différences attribuées à l'humidité relative, la grande majorité (environ 90 %) des aérosols expulsés à environ 2 mètres de hauteur se dépose en 3 à 4 secondes, peu importe le pourcentage d'humidité relative (5). S'étant penchés sur ce dernier aspect, Maleki *et al.* (2021) rapportent que les particules d'un diamètre de 10 μm présentes dans un environnement calme saturé en vapeur d'eau peuvent demeurer en suspension pendant 8 minutes seulement, tandis que celles de 1,9 μm présentes dans l'air ambiant où l'humidité relative atteint 64 % peuvent rester en suspension pendant plus de 3 heures (100). À l'instar de Bozic et Kanduc (2021) et de Bu *et al.* (2021), Bourdrel *et al.* (2021) retiennent que l'humidité relative peut jouer un rôle dans l'évaporation et la réhydratation des aérosols viraux, et peut donc être impliquée dans leur dispersion (5,99,101).

Mis à part la température et l'humidité relative de l'air ambiant, la température de la peau pourrait également contribuer à la dispersion des aérosols. C'est ainsi que Sun *et al.* (2020) ont recensé l'influence du panache thermique humain dans la transmission des particules respiratoires. Les gradients de température entre la surface du corps et l'air ambiant créent des courants ascendants, des pieds vers la tête. Les mouvements de convection se manifestant au sein de ce panache pourraient faciliter la dispersion d'aérosols contenant du SRAS-CoV-2 dans les espaces clos en élevant les particules en suspension dans l'air jusqu'à la zone respiratoire des occupants (9).

4.1.4.3 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission par aérosols

Huit groupes d'auteurs rapportent les résultats d'études portant sur certains facteurs environnementaux pouvant affecter la susceptibilité des hôtes potentiels à contracter une infection respiratoire. Ces facteurs moduleraient les processus de transmission et les mécanismes de défense physiologique des voies respiratoires (voir la sous-section 4.4). La transmission est à son tour modulée par les comportements et la physiologie des hôtes de même que par certains mécanismes ayant une influence sur la potentialité de dispersion du virus (voir le point 4.1.3) et du maintien de son pouvoir infectieux dans le temps et dans l'espace – voir les points 4.1.1 et 4.1.2 (2,94,97,101–105).

En ce qui a trait aux aspects comportementaux, Kronfeld-Schor *et al.* (2021) et Moriyama *et al.* (2020) soutiennent que, dans les sociétés industrialisées, la majorité des individus passent 90 % de leur vie dans des espaces intérieurs où ils interagissent, travaillent, se déplacent, dorment et partagent un volume relativement limité d'air ambiant. Le fait de vivre la majorité du temps dans des espaces clos explique pourquoi la plupart des événements de transmission directe sont observés en milieu intérieur, et ce, peu importe la saison (2,103). Par ailleurs, le conditionnement de l'air intérieur (ex. : chauffage en période de froid et climatisation en période de chaleur) provoque une divergence majeure de la température et de la teneur en vapeur d'eau (humidité absolue) de l'air intérieur par rapport aux conditions observées en milieu extérieur. Par exemple, une faible humidité absolue dans l'air extérieur en hiver se traduit par une très faible humidité relative à l'intérieur dans la plage de température de confort de 20 à 24 °C. En outre, Moriyama *et al.* (2020) constatent que ce serait davantage les conditions environnementales observées en milieu intérieur de même que les taux de ventilation dont bénéficieraient de tels milieux (c'est-à-dire le nombre de changements d'air à l'heure), qui conditionneraient les patrons saisonniers d'incidence de la COVID-19 documentés dans certaines études épidémiologiques (2). Ces informations pourraient appuyer les données épidémiologiques contradictoires notamment présentées par Bourdrel *et al.* (2021) – voir également la section 4.2 – au regard de l'influence de la température et de l'humidité relative en général sur la transmission du SRAS-CoV-2 (101).

Dans leurs revues de littérature, Kronfeld-Schor *et al.* (2021) et Moriyama *et al.* (2020) recensent les résultats de plusieurs études humaines et animales. Ces dernières indiquent que la transmission d'infections respiratoires virales serait très efficace sous des conditions de faible humidité relative (~ 20-35 %) à 20 °C et serait généralement plus efficace à 5 °C qu'à 20 °C. Moriyama *et al.* (2020) citent d'ailleurs les résultats d'une étude portant spécifiquement sur cet aspect en précisant qu'aucune transmission par aérosols n'était observée à 30 °C, quel que soit le pourcentage d'humidité relative. Cependant, l'efficacité de la transmission par contact rapproché ne semblait pas être influencée par la température ambiante (2). Comme exemples complémentaires, Kant *et al.* (2021) présentent les résultats d'une étude précisant que 90 % des infections mondiales engendrées par le SRAS-CoV-2 se seraient propagées dans des pays présentant des températures extérieures de 3 à 17 °C et une humidité absolue de 4 à 9 g/m³. Par comparaison, seulement 6 % des infections auraient eu lieu dans des pays avec une humidité absolue supérieure à 9 g/m³ (102). Toutefois, l'ensemble des biais et des facteurs confondants pouvant influencer ce type d'analyse n'est pas entièrement considéré ou précisé. Enfin, d'après Jia *et al.* (2021) et Kant *et al.* (2021), l'utilisation des climatiseurs en climat chaud doit néanmoins être considérée comme un facteur de risque potentiel de transmission en raison des conditions intérieures fraîches et sèches que ces appareils induisent (97,102).

Sur la base de données empiriques d'ordre général, Moriyama *et al.* (2020) soutiennent que la transmission du SRAS-CoV-2 et d'autres virus respiratoires par l'intermédiaire des aérosols pourrait s'avérer prédominante au cours de la saison froide dans les régions tempérées (2). En effet, le climat intérieur sec contribuerait au maintien en suspension des particules infectieuses et à la stabilité des charges virales associées (2,105). En région tropicale, le contact rapproché pourrait constituer le principal mode de propagation, puisque, dans les climats chauds et humides, les particules infectieuses s'évaporent moins vite et se déposent plus rapidement sur les surfaces (2). Par ailleurs, Ram *et al.* (2021) concluent leur synthèse en rappelant que les résultats publiés au regard du rôle de la température et de l'humidité relative sur la stabilité, la viabilité et la décroissance de l'activité virale sont mitigés. Jusqu'à présent, aucune étude publiée n'est parvenue à établir des valeurs seuils de température et d'humidité relative ambiantes associées à une diminution de la mortalité des individus ayant contracté la COVID-19 (95).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ La transmission de certains virus respiratoires (dont les coronavirus humains) répond généralement à un patron saisonnier avec une incidence plus élevée au cours des mois hivernaux (basses températures et faibles pourcentages d'humidité relative en milieux intérieurs). Cette transmission serait d'ailleurs très efficace sous des conditions de faible humidité relative (~ 20-35 %) à 20 °C et généralement plus efficace à 5 °C qu'à 20 °C.
- ▶ Les basses températures contribueraient à l'ordonnement et à la stabilité des protéines et des lipides constituant la membrane des virus enveloppés et, par le fait même, augmenteraient la conservation de leur pouvoir infectieux.
- ▶ Les faibles taux d'humidité relative faciliteraient l'évaporation des particules virales et la manifestation du processus d'efflorescence qui contribuerait au maintien de la charge virale infectieuse.
- ▶ Contrairement aux particules de grande et de petite taille, les particules de taille moyenne (50-60 µm) seraient davantage affectées par la température et l'humidité relative qui pourraient faire varier leur vitesse de dépôt et leur potentiel de dispersion dans l'air ambiant.
- ▶ Le temps d'évaporation des particules aérosolisées serait plus court à des températures élevées et à une faible humidité relative.
- ▶ Le panache thermique enveloppant les individus infectés pourrait faciliter la dispersion des aérosols dans les espaces clos.
- ▶ Les conditions environnementales observées en milieux intérieurs de même que les taux de ventilation, de climatisation et de chauffage dont bénéficieraient de tels milieux conditionneraient les patrons saisonniers d'incidence de la COVID-19 et constitueraient un facteur de risque de transmission.

4.2 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19 en milieu extérieur

4.2.1 ÉTUDES ÉCOLOGIQUES

La recension des écrits a permis d'identifier 32 études de type écologique pour lesquelles les auteurs ont tenté d'associer des variables descriptives (dépendantes) relevant de la transmission de la COVID-19 à des variables de température et d'humidité relative ou absolue de l'air extérieur (indépendantes). Cette revue permet de distinguer des études dont l'approche méthodologique consiste à isoler de façon spécifique l'influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19 – 19 études (106–124) de celles qui portent sur l'effet de ces deux paramètres dans l'étude de la relation entre la transmission de la COVID-19 et la pollution atmosphérique – 13 études (125–137).

Les comparaisons écologiques varient selon différentes échelles d'analyse. Dix études évaluent l'association entre la transmission de la COVID-19 et certaines caractéristiques physicochimiques de l'air ambiant (dont la température, l'humidité relative ou absolue, les précipitations, la vitesse des vents et la qualité de l'air) de différentes régions d'un même pays (106–110,118,126–128,131). Six études mettent en parallèle l'évaluation de cette association entre des villes d'un même pays, et ce, à l'échelle de ces municipalités (111,124,129,130,135,136). Deux autres groupes d'auteurs comparent des villes de différents pays (112,125). De plus, neuf études portent sur la comparaison des pays (113–117,121–123,132). Des analyses temporelles au sein d'une seule ville font aussi partie des investigations de type écologique recensées dans les études consultées (119,120,133,134,137).

Les méthodes d'étude de l'association entre les caractéristiques physicochimiques de l'air ambiant et les variables associées à la transmission de la COVID-19 varient de façon importante d'une publication à une autre : de la simple observation empirique populationnelle, aux analyses de corrélation basées sur un postulat de linéarité ou, au contraire, sur une non-linéarité de la relation, en passant par des séries temporelles plus étoffées. De même, la définition des variables indépendantes et les intervalles considérés de ces mêmes variables, telles la température et l'humidité relative ou absolue, diffèrent sensiblement selon les études. Quant à la variable dépendante, elle est définie différemment d'une étude à l'autre : nombre cumulé de cas, incidence quotidienne ou hebdomadaire de nouveaux cas ou encore mortalité. Enfin, quelques études s'attardent au taux de transmission comme variable dépendante. Les tableaux 3 et 4 (annexes 4 et 5) résument les principaux résultats des études recensées dans cette revue et permettent d'en apprécier la diversité.

Par ailleurs, à quelques exceptions près, il est important de préciser que la plupart des chercheurs, bien qu'ils aient évalué l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19, mentionnent que cette transmission est sans doute davantage le reflet d'habitudes de vie et de comportements à risque que ces paramètres environnementaux, notamment dans les milieux intérieurs. Tous conviennent d'un effet marginal de la température et de l'humidité relative ou absolue sur l'incidence de nouveaux cas.

4.2.1.1 Étude de l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19

Parmi les études qui portent plus spécifiquement sur la caractérisation de la relation entre la température ou l'humidité relative ou absolue et la transmission de la COVID-19, sans considérer la pollution, se trouve une grande hétérogénéité de résultats (tableau 4, annexe 5). Les deux prochains points tentent de faire état de cette hétérogénéité, sans toutefois tracer de conclusion définitive, notamment pour l'association avec la température.

Relation avec la température

D'abord, les auteurs de sept études notent que la transmission de la COVID-19 diminue lorsque les températures s'élèvent. Les intervalles de température étudiés varient de -3 à 41 °C (108,110,113,115,117,121,124). Les auteurs de quatre études ont effectué des analyses de corrélation spécifiques (108,110,113,121). Ces quatre groupes d'auteurs tiennent aussi compte d'une période de latence dans l'étude de la relation. Les trois autres études sont des analyses sommaires de tendances réalisées à partir de graphiques sans analyse statistique permettant de qualifier la force ou l'importance de la relation négative décrite ci-dessus entre la température et la transmission de la COVID-19 (115,117,124).

Les auteurs de trois autres études établissent que la transmission semble plus notable lorsque les températures augmentent (112,118,120). Deux de ces études sont basées sur des données de températures assez élevées (118,120). D'ailleurs, l'une d'entre elles précise que la relation n'a été observée qu'au-dessus de 33 °C (120). L'étude d'Aidoo *et al.* (2021) portait quant à elle sur un intervalle de température au-dessus de 24,9 °C (118), alors que celle menée par Hariharan (2021) en Inde ne précise pas l'intervalle de la température préconisée à des fins d'analyse (120). Seuls He *et al.* (2021) semblent s'être penchés sur l'étude de l'effet d'une température plus modérée où l'écart rapporté s'étend de 3,10 à 30,98 °C (112). Par ailleurs, à l'exception d'He *et al.*, les deux autres groupes d'auteurs n'évaluent pas l'effet d'une période de latence potentielle entre la température et l'incidence de cas de COVID-19.

Les auteurs de cinq études ne sont pas parvenus à établir de relation entre la température et la transmission de la COVID-19 (106,107,109,119,123). Parmi ces études se trouve celle de Briz-Redón et Serrano-Aroca (2020) menée en Espagne. Ceux-ci y ont analysé plusieurs variables différentes de température (moyennes, minimums et maximums enregistrés) avec des écarts allant de -3,19 à 29,26 °C. Ils ont aussi tenu compte d'un délai de latence au cours de ces travaux (106). Les quatre autres études répertoriées ont toutes le défaut de ne pas préciser l'intervalle de température examiné, limitant toute analyse de la relation selon les écarts rapportés. Ces quatre études ont d'ailleurs été réalisées dans des climats tropicaux ou équatoriaux.

Onze des études précédemment citées sont explicitement associées à des climats tempérés, et les intervalles de température étaient clairement précisés par les auteurs (106,108,110–116,121,122). Cinq d'entre elles rapportent que la transmission est réduite lorsque les températures observées s'élèvent (108,110,113,115,121). Les auteurs des quatre autres études offrent de leur côté une interprétation mitigée de la relation entre la température et la transmission de la COVID-19 (111,114,116,122). Ainsi, Burra *et al.* (2021), qui comparent des pays dans leur document, observent que l'augmentation de la température semble réduire la transmission de la COVID-19 ou la mortalité liée à cette maladie. Or, toujours selon eux, cette relation n'est pas observée lorsqu'ils appliquent leur méthode à l'échelle des États aux États-Unis. À cet effet, leur étude ne tient toutefois pas compte d'une période de latence (122). Choi *et al.* (2021) observent pour leur part que la baisse de transmission de la COVID-19 selon l'augmentation des températures mesurées dans les pays tempérés ne se constate pas dans les graphiques de tendance des pays tropicaux (114). De même, Mansouri *et al.* (2021) notent une transmission de moindre ampleur lorsque les températures montent aux États-Unis et constatent une relation inverse aux Émirats arabes unis. Leur analyse statistique intègre d'ailleurs une période de latence dans l'étude de la relation – calculée par le modèle (116). Enfin, pour Zuo *et al.* (2021), une température plus élevée serait associée à de meilleurs taux de guérison, mais aucune association statistique n'a été rapportée au regard de l'incidence de la COVID-19 ou de la mortalité causée par cette maladie en fonction de la température (111).

Dans l'ensemble, il est difficile de se prononcer sur les associations articulées dans les 14 études dont les méthodes intègrent des analyses statistiques (108–113,116,118–120,122,123,137,138). En effet, plus de 10 méthodes statistiques distinctes ont été employées, auxquelles s'ajoutent des échelles de comparaison variables et des périodes d'étude diversifiées. Seules sept études prennent en compte une période d'investigation qui s'étend au-delà du printemps 2020 dans les analyses statistiques de la température et la transmission de la COVID-19 (107,116,118–120,123,134). Parmi ces sept études, seule l'étude de Sharif *et al.* (2021) couvre une année entière d'observations (110).

Relation avec l'humidité relative ou absolue

La recension des écrits a permis de relever 14 études proposant une relation entre l'humidité relative ou absolue et la transmission de la COVID-19 indépendamment de la pollution (107,109–116,118–120,123,124).

Les auteurs de six d'entre elles constatent qu'une faible humidité relative augmente la transmission de la COVID-19 (110,113,114,116,118,119). Les intervalles d'humidité relative ne sont pas toujours clairement précisés (114,119), mais varient de 0 % à 85,2 %, lorsqu'ils sont disponibles (110,113,116,118). Toutefois, selon Aidoo *et al.* (2021), la relation ne s'observe plus au-delà de 76 % d'humidité relative (118). Choi *et al.* (2021) notent également que la relation négative n'est constatée que dans les pays tempérés où l'humidité relative spécifique reste « relativement » basse (114).

Parmi les quatre études dont les auteurs rapportent une possible relation entre une forte humidité relative ou absolue et la transmission de la COVID-19, trois ont été menées dans des contextes de très forte humidité relative ou absolue. D'abord, l'étude de Crema (2021) fait état d'un taux moyen d'humidité absolue de 10 g/kg à 25 g/kg en lien avec la mortalité associée à la COVID-19 (107). Ensuite, Haj Bloukh *et al.* (2020) ont, de leur côté, effectué leur analyse pour des pourcentages d'humidité relative de 70 à 88 % (115). Enfin, Hariharan (2021) fait état d'une transmission augmentée lorsque les valeurs d'humidité absolue dépassent 20 unités absolues (UA) et d'une augmentation progressive du taux de mortalité à partir de 18 UA d'humidité absolue (120). Les conclusions de Zuo *et al.* (2021) sont moins affirmatives, puisque l'association n'est observée qu'au regard de la guérison de la COVID-19 et semble absente pour l'incidence ou la mortalité. Or, pour cette dernière étude, les intervalles d'humidité relative ou absolue pris en compte sont indisponibles (111).

Raines *et al.* (2021) nuancent de façon importante les résultats de leur étude observationnelle. Selon les données de l'étude, l'humidité relative n'aurait de l'influence que lorsque la température ambiante est élevée. Les auteurs concluent donc qu'au-dessus de 20 °C, la transmission s'accroît au moment où l'humidité relative dépasse 75 % (124).

Enfin, trois études n'ont pas établi d'association (109,112,123). Comme deux auteurs des études concernées ne précisent pas clairement les intervalles d'humidité absolue ou d'humidité relative examinés, aucune analyse complémentaire n'est possible au regard des objectifs de la présente revue.

4.2.1.2 Étude de l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission de la COVID-19 en association avec la pollution

La recension des écrits a permis d'extraire 13 études portant surtout sur la relation entre la pollution et la COVID-19 (tableau 5, annexe 6). Les auteurs de ces études ont considéré dans leurs modèles des variables indépendantes complémentaires comme la température et l'humidité relative ou absolue (125–137). À l'exception des études de Kumar (2020) et de Sanchez-Lorenzo *et al.* (2021) se limitant à des associations « visuelles » des relations (128,132), les 11 autres études sont basées sur des analyses de corrélations statistiques. Seule l'étude de Dragone *et al.* (2021) tient compte d'une latence initiale entre les phénomènes météorologiques mesurés et l'incidence de cas (126). Toutefois, 5 études ont calculé un délai optimal de latence sur la force des associations examinées (125,129,131,134,135).

Cinq des études mentionnées ci-dessus notent pour leur part que l'élévation des températures réduirait la transmission observée (125,127,130,132,134). Aucune relation significative avec la température n'a été constatée dans deux études (126,129). Six autres études témoignent plutôt d'une augmentation de la transmission lorsque les températures s'élèvent (128,131,133,135–137).

Il s'avère toutefois difficile d'évaluer si l'étude d'un climat chaud ou tempéré peut moduler les relations observées dans ces 13 études. En effet, les écarts de température indiqués dans les études selon lesquelles la transmission diminue en fonction de la température s'étendent de 4 à 35 °C, tandis que les écarts sont de -20 à 32 °C dans les études qui mentionnent une augmentation de la transmission avec l'accroissement des températures. Lu *et al.* (2021), qui n'ont pas démontré d'effet, ont évalué un intervalle de température de -22,5 à 23 °C (129).

Du côté de la relation avec l'humidité relative ou absolue, six études témoignent d'une diminution de la transmission de la COVID-19 dans des environnements extérieurs où l'humidité relative ou absolue est élevée (128,131,132,134,135,137). Trois études font en revanche le constat contraire (127,133,136). Les écarts d'humidité relative ou absolue ne semblent pas non plus influencer l'intensité de la transmission dans ces études.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ Les résultats des études portant sur l'analyse de la relation entre le climat et l'expansion mondiale de la COVID-19 suggèrent que la température et l'humidité relative jouent un rôle secondaire dans la transmission de la maladie.
- ▶ Dans l'ensemble, les chercheurs qui ont publié des études écologiques proposent des devis très diversifiés et des modèles statistiques dont les postulats varient et se contredisent parfois. Les déterminants de la transmission, tels la période de latence, le taux de reproduction (R_t) ou les enjeux d'accès aux modalités diagnostiques en début de pandémie, ne font pas partie des postulats initiaux pris en considération dans les devis d'analyse appliqués. Ainsi, l'hétérogénéité des méthodologies et des résultats ne permet pas de tracer de conclusion définitive, notamment pour l'association avec la température.
- ▶ Les auteurs des études s'appuyant sur des devis de type écologique n'ont généralement pas considéré de nombreux facteurs susceptibles de moduler la transmission (déplacements, mesures de contrôle en place, taux d'adhésion aux mesures, comportements individuels, densité de la population, distribution d'âge dans la population à l'étude, etc.). Ce type d'approche ne permet généralement pas de caractériser l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission en intégrant des facteurs de confusion échappant à leur analyse.

4.2.2 SYNTHÈSE DES REVUES DE LITTÉRATURE

Kronfeld-Schor *et al.* (2021) mentionnent d'abord que les variables météorologiques, telles la température et l'humidité relative extérieures, constituent les facteurs les plus couramment étudiés pour tenter de définir un patron saisonnier dans la transmission des virus respiratoires (103). À cet effet, plusieurs groupes d'auteurs ont entrepris la réalisation d'une revue des articles de toutes provenances portant sur le rôle des conditions extérieures dans la transmission de la COVID-19. De nombreuses études internationales consultées indiquent une baisse de l'incidence des cas de COVID-19 lorsque la température et l'humidité relative extérieures augmentent. Une fraction d'entre elles formulent cependant des conclusions inverses témoignant de l'incertitude au regard de l'influence de ces paramètres sur la transmission de la COVID-19 (95,100,103,106,136,139–141). Chatkin et Godoy (2020) et Srivastava *et al.* (2021) précisent également qu'aucune association significative n'a été décelée entre l'augmentation de la température extérieure et les taux de mortalité attribuables à la COVID-19. Par ailleurs, les patrons de transmission dans les pays tropicaux (Inde, Brésil) ou au climat chaud (Australie) semblent infirmer les premières conclusions portant sur la température dite idéale pour faciliter la transmissibilité du virus (104).

D'après Maleki *et al.* (2021), la série chronologique des variables climatiques, sur lesquelles se sont penchés Zoran *et al.* (2020), a montré qu'une baisse soudaine de la température extérieure peut néanmoins exacerber l'épidémie de COVID-19 dans les climats tempérés (100). Cependant, un nombre élevé d'infections a été documenté dans des pays ayant des températures ambiantes élevées comme Singapour, l'Indonésie et la Malaisie, ce qui remet en question de telles associations (139). Tandis que certains auteurs soulignent que la transmission par aérosols peut être influencée par les conditions météorologiques, da Silva *et al.* (2021) sont d'avis que d'autres voies de transmission (ex. : contacts directs et rapprochés) pourraient probablement être la cause de la majorité des cas signalés dans ces régions du monde (98). L'examen par ces derniers auteurs de la relation entre le climat et l'expansion mondiale de COVID-19 suggère que les conditions météorologiques, telles la température et l'humidité relative, joueraient un rôle secondaire dans la transmission de la maladie (98).

Il faut noter que Maleki *et al.* (2021), Rahimi *et al.* (2021), Ram *et al.* (2021) et Yao *et al.* (2020) ont également recensé le rôle d'interactions potentielles avec différents paramètres environnementaux dans la dynamique de transmission populationnelle de la COVID-19. Ils ont ainsi discuté de l'apport des rayons UV; de certaines variables météorologiques comme la température et l'humidité relative; et de la pollution atmosphérique produite par l'ozone, les radicaux oxydants et les particules fines (95,100,136,140). La majorité de ces auteurs rapportent que de telles variables pourraient jouer un rôle insignifiant sur le taux de reproduction du virus dans la plupart des pays du monde (100,136,140). Certains auteurs affirment d'ailleurs qu'il est plausible que le rôle du climat dans la transmission du SRAS-CoV-2 soit modulé par d'autres facteurs d'ordre sociétal (densité de la population, répartition par groupe d'âge, niveau d'hygiène, situation sanitaire, utilisation du transport en commun, adhésion aux mesures de gestion de la COVID-19, etc.), politique ou culturel propres à chaque pays (103,106,139,140,142,143). Enfin, Bellizzi *et al.* (2021) recommandent de mettre en place des mesures de contrôle social rehaussées dans les pays au climat froid (144).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- Les conclusions des revues de littérature portant sur l'influence de la température et de l'humidité relative sur le processus de transmission de la COVID-19 dans les environnements extérieurs sont divergentes. Les études écologiques ne permettent pas non plus de conclure à une relation claire entre ces variables et la transmission de la COVID-19.

4.3 Influence de la température et de l'humidité relative sur la persistance et la transmission du SRAS-CoV-2 par les fomites

4.3.1 ÉTUDES DE LABORATOIRE

Le tableau 6 (annexe 7) présente les principales caractéristiques ainsi que les constats généraux des études expérimentales ayant porté sur l'étude des fomites. Parmi les surfaces les plus fréquemment utilisées par les différentes équipes de recherche, l'acier inoxydable, le plastique, le verre et les tissus ont fait l'objet de nombreux essais en conditions contrôlées. De plus, certains auteurs se sont servis du SRAS-CoV-2, alors que d'autres ont employé des virus modèles ou encore des composantes de nature virale.

4.3.1.1 Études portant sur l'évaluation du maintien de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2

Neuf études expérimentales de laboratoire ont documenté les effets de la température et de l'humidité relative sur le maintien de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 déposé sur des surfaces diverses (18,72,145–151). Brièvement, ces groupes d'auteurs ont utilisé des milieux de culture, de la salive humaine ou artificielle et des matrices organiques comme liquide de suspension viral. Ils ont ensuite déposé des gouttes de liquide infectieux sur les surfaces à l'étude et les ont soumises à des conditions environnementales prédéterminées. Enfin, les virus toujours infectieux ont été quantifiés en culture cellulaire. Alors que des auteurs ont rapporté la manifestation de phénomènes présumément impliqués dans la transmission de façon statique, où le potentiel infectieux est étroitement associé à une plage spécifique de température et d'humidité relative (72,145,146,148,151,152), d'autres chercheurs ont plutôt évalué la vitesse d'inactivation du virus, soit un phénomène dynamique dans le temps (18,147,149,150).

Perte du potentiel infectieux

Les auteurs de plusieurs études ont souligné que le potentiel infectieux du SRAS-CoV-2 se trouvant sur des surfaces était maintenu à des températures de 4 à 24 °C (72,145,148,151), à l'exception d'Haddow *et al.* (2020) qui ne notaient aucune présence virale à ces températures (152). L'effet de la température sur la perte du potentiel infectieux était généralement observé à partir de 35-40 °C (145,148,151) et semblait plus marqué à des températures élevées, c'est-à-dire de 54,5 à 70 °C (72,146). En ce qui concerne l'effet de l'humidité relative sur le maintien de la capacité de réplication du virus, il semble plus difficile à caractériser. D'après l'évaluation de Biryukov *et al.* (2020), les temps de demi-vie du SRAS-CoV-2 diminuaient au fur et à mesure que l'humidité relative augmentait, soit de 20 à 60 % (145).

Inactivation virale

Magurano *et al.* (2021) ont observé que la charge virale infectieuse a été très peu altérée pendant les 12 premières heures d'incubation à 20-25 °C, alors qu'une inactivation graduelle a été notée par la suite; les concentrations de virus infectieux se trouvaient sous la limite de quantification après 96 heures. À 28 °C, l'inactivation était beaucoup plus marquée pour tous les temps d'incubation. Bien que la charge de virus infectieux quantifiée ait été de moindre ampleur, le SRAS-CoV-2 persistait tout de même jusqu'à 96 heures d'incubation sous de telles conditions (150). Morris *et al.* (2021) ont montré que la capacité du SRAS-CoV-2 de se répliquer était davantage conservée à basse température et également à une faible humidité relative. Toutefois, pour des températures de 22 °C et de 37 °C, la vitesse d'inactivation était moins élevée à une humidité relative de 85 % qu'à une humidité relative de 65 % (18). Campos *et al.* (2020) ont quant à eux déterminé qu'un traitement thermique (75-85 °C) à une humidité relative de 100 % était plus efficace pour inactiver le virus par comparaison avec des traitements thermiques où l'humidité relative atteint 60 % (147).

Kwon *et al.* (2021) ont effectué leurs expériences à des conditions de température et d'humidité relative extérieures représentatives des saisons estivale (25 °C, 70 % HR), printanière-automnale (13 °C, 66 % HR) et hivernale (5 °C, 75 % HR) observées aux États-Unis (149). Ces auteurs ont également pris en compte une condition expérimentale témoignant d'un milieu intérieur type (21 °C, 60 %). En règle générale, l'inactivation virale était plus rapide dans les conditions représentatives de la saison estivale. Par ailleurs, l'inactivation du virus était plus lente dans des conditions représentatives des milieux intérieurs, et encore davantage au regard de celles respectivement associées aux saisons printanière-automnale et hivernale.

4.3.1.2 Études portant sur l'évaluation de la capacité de réplication des virus modèles

Les auteurs de cinq études ont utilisé des virus modèles¹ plutôt que le SRAS-CoV-2 pour évaluer l'inactivation virale ou la perte de la capacité de réplication sur diverses surfaces (153–157). Ils ont préparé des solutions infectieuses à base d'eau tamponnée, de milieu de culture ou de salive (humaine ou artificielle) contenant des bactériophages (PhiX174, Phi6 et MS2) ou des virus eucaryotes (MHV, influenza A H3N2 et HCoV-229E). Ils ont ensuite vaporisé ou déposé des gouttes de ces solutions sur divers types de surfaces. Puis, ils ont cultivé les échantillons prélevés sur les substrats exposés à diverses conditions environnementales et déterminé la capacité de réplication résiduelle des virus.

Welch *et al.* (2021) ont observé une perte de la capacité de réplication de deux logs pour le MHV et de trois logs pour le HCoV-229E à 50 °C comparativement à l'atteinte d'une inactivation complète à 70 °C – respectivement de 6 et de 5 logs (155). Xiang *et al.* (2020) ont montré pour leur part que l'influenza perdait complètement sa capacité à se répliquer aux deux températures élevées testées – 60 et 70 °C (157). Lors de leur étude, Whitworth *et al.* (2020) ont noté une inactivation plus rapide pour Phi6 à une condition de 57 % d'humidité relative et 26 °C comparativement à une condition de 20 % d'humidité relative et 18 °C. Enfin, Rockey *et al.* (2020) ont déterminé que la perte de la capacité de réplication des bactériophages et des virus eucaryotes était plus notable à des humidités relatives supérieures de respectivement 50 % et 25 % (154).

4.3.1.3 Autres études expérimentales d'intérêt

Sharma *et al.* (2021) ont opté pour l'utilisation de VLP (*virus-like particles*) de SRAS-CoV-2 afin d'étudier la dégradation structurelle de particules virales (19). Quoiqu'ils n'aient pas décrit le processus de dégradation de façon détaillée, les auteurs ont observé, en microscopie, que les VLP demeuraient intacts lorsqu'ils étaient soumis à une température de 22 °C. À 34 °C, la dégradation était rapide; la présence de VLP intacts était rare après 30 minutes d'exposition (19).

Xie *et al.* (2020b) se sont penchés sur l'adhésion des spicules de SRAS-CoV-2 sur diverses surfaces. Ils ont déterminé que l'augmentation de la température, de 22 à 37 °C, se traduisait par une plus forte adhésion, surtout sur l'acier inoxydable et l'or. Ils ont également déterminé que l'adhésion était plus ou moins forte en fonction du type de surface et de son caractère hydrophile ou hydrophobe. Les spicules du SRAS-CoV-2 adhèrent mieux aux surfaces hydrophobes (polystyrène), suivies des surfaces métalliques (acier inoxydable et or) et des surfaces hydrophiles (verre). Les auteurs ne tirent toutefois pas de conclusions sur l'impact de cette adhésion sur la capacité de transmission du virus (158).

¹ Les virus modèles possèdent des caractéristiques similaires au SRAS-CoV-2 (ex. : ARN, enveloppe lipidique, etc.), mais ce sont des virus moins pathogènes. Contrairement au SRAS-CoV-2 qui doit être cultivé dans des laboratoires de niveau de confinement 3 (NC3), les bactériophages (PhiX174, Phi6 et MS2) peuvent être employés dans des laboratoires NC1, alors que les virus eucaryotes (MHV, influenza A H3N2 et HCoV-229E) peuvent être manipulés dans des laboratoires NC2.

Finalement, He *et al.* (2021) ont observé au microscope le processus d'assèchement de gouttes sur différentes surfaces à trois niveaux d'humidité relative. Ils estiment que la présence de résidus de séchage peut signifier une transmission accrue du SRAS-CoV-2. Une humidité relative de 60 % laissait autant, sinon plus, de résidus de séchage qu'une humidité relative de 25 % sur les divers types de surfaces. Toutefois, les auteurs n'ont pas évalué la conservation du potentiel infectieux de ce virus (159).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ L'inactivation du SRAS-CoV-2 en laboratoire est plus importante à des températures élevées, qui pourraient correspondre aux températures estivales ≥ 25 °C.
- ▶ En laboratoire, le SRAS-CoV-2 conserve davantage son potentiel infectieux aux humidités relatives basses et élevées (relation en U).

4.3.2 ÉTUDES EN MILIEUX DE SOINS, MIXTES, RÉSIDENTIELS ET COMMERCIAUX

Les auteurs de deux études, mentionnées dans le tableau 6 (annexe 7), ont évalué la présence d'ARN viral sur des surfaces en milieux de soins et en milieux mixtes. Ils ont mesuré la température et l'humidité relative lors de leur échantillonnage, sans toutefois les considérer comme des paramètres influençant la persistance du SRAS-CoV-2 dans les environnements intérieurs. Ces études témoignent néanmoins d'une contamination appréciable des surfaces situées à proximité des individus infectés. Seif *et al.* (2021) ont détecté la présence d'ARN viral de SRAS-CoV-2 dans plusieurs de leurs échantillons prélevés en milieu hospitalier sur une variété considérable de surfaces, incluant du mobilier et des fournitures de bureau, ainsi que sur certaines surfaces touchées fréquemment – ridelles de lit, poignées de porte, téléphones cellulaires, lavabos de salle de bain, cuvettes de toilette, etc. (22). Liu *et al.* (2021) ont quant à eux évalué la contamination de surfaces par de l'ARN de SRAS-CoV-2 en milieu résidentiel et commercial. Des échantillons contenant des traces d'ARN ont été recueillis dans un appartement; notamment sur une télécommande, une tête de lit, un robinet de salle de bain et quelques poignées de porte. Dans un magasin à rayons, seulement trois surfaces se sont avérées contaminées : une boîte à chaussures, un verre d'eau et un meuble de bureau. De l'ARN viral a également été détecté sur un emballage de poisson d'un marché. Finalement, dans des entrepôts réfrigérés ou frigorifiques, plusieurs emballages alimentaires étaient contaminés, en plus d'une poignée de porte et d'une étagère (21).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ L'apport de la température et de l'humidité relative à l'inactivation du SRAS-CoV-2 n'a pas été établi par les auteurs des études menées en milieux hospitaliers et mixtes.
- ▶ De l'ARN de SRAS-CoV-2 a été détecté sur de nombreuses surfaces de milieux hospitaliers et de lieux de quarantaine, et sur quelques surfaces en milieu résidentiel et commercial.

4.3.3 ÉTUDES DE MODÉLISATION OU SIMULATIONS NUMÉRIQUES SUR DES SURFACES

Les auteurs de cinq études de modélisation, présentées dans le tableau 7 (annexe 8), ont évalué comment la température et l'humidité relative pourraient modifier la dynamique de transmission du SRAS-CoV-2 à partir des surfaces (18,160–163).

Bhardwaj et Agrawal (2020) ont examiné le temps d'évaporation des particules respiratoires déposées sur des surfaces. Ils ont inclus dans leur modèle d'évaporation le volume d'une goutte, l'angle de contact (différents angles pour représenter différents types de surfaces), la température et l'humidité relative. Leurs résultats montrent qu'une augmentation de la température ambiante réduit

considérablement le temps d'évaporation d'environ 50 % pour une augmentation de 15 °C. Le temps d'évaporation d'une telle goutte est presque multiplié par sept lorsque l'humidité relative passe de 10 à 90 %. De plus, le temps d'évaporation dépasse 2 minutes pour les grosses gouttes à forte humidité relative (161). Kumar (2021) a aussi évalué le temps d'évaporation des particules respiratoires déposées sur les surfaces (163). Son modèle a surtout pris en compte l'effet de l'humidité relative. D'après les résultats générés par le modèle, le temps d'évaporation de la particule respiratoire croît lors de l'augmentation de l'humidité relative. L'auteur est d'avis que la capacité de réplication du virus est préservée dans des particules respiratoires toujours hydratées. Par conséquent, la capacité de réplication serait maintenue cinq fois plus longtemps dans des conditions très humides (HR = 90 %) que dans des conditions sèches (HR = 10 %).

Guillier *et al.* (2020) ont conçu des modèles afin d'évaluer l'impact de la température et de l'humidité relative sur la persistance du virus infectieux sur des surfaces non poreuses. Leurs modèles sont basés sur 26 études ayant évalué l'inactivation des coronavirus en culture cellulaire. Les résultats indiquent que le potentiel de persistance des différents coronavirus est similaire. Les coronavirus ont mieux persisté à de faibles humidités relatives et à 100 % d'humidité relative qu'à des humidités relatives intermédiaires. Toutefois, l'impact de l'humidité relative pourrait être beaucoup moins important que celui de la température. En effet, la réduction de l'infectiosité notée lors d'une augmentation de l'humidité relative de 10 % à 90 % était équivalente à une augmentation de température de 10 à 15 °C ou de 60 à 61 °C (162). Morris *et al.* (2021) ont réalisé des études de laboratoire pour mesurer la stabilité du SRAS-CoV-2 dans des conditions différentes de température et d'humidité relative – voir le point 4.3.1.1 (18). Ils ont ensuite développé un modèle pour expliquer et prédire comment la température et l'humidité relative modifient l'inactivation du virus. Afin de compléter les données des expériences en laboratoire réalisées précédemment, le modèle a été utilisé pour prédire la demi-vie des virions dans des conditions de température et d'humidité relative non testées en laboratoire. Le taux d'inactivation semble s'accroître avec l'augmentation de la température et présente une relation en forme de U par rapport à l'humidité relative. Le modèle de Morris *et al.* (2021) était basé sur la prémisse selon laquelle l'inactivation des virus dans l'environnement est une réaction chimique et obéit donc aux lois de la cinétique chimique. Les réactions se déroulent ainsi plus rapidement à des températures plus élevées et à des concentrations de solutés plus élevées. De plus, les demi-vies deviennent extrêmement longues à des températures froides et dans des solutions très diluées, ce qui est attendu en cas d'humidités relatives élevées (18).

Enfin, Yap *et al.* ont modélisé le rôle de la température extérieure dans les processus d'inactivation du virus ainsi que dans la transmission par les fomites. Ils ont proposé un modèle mathématique dont les résultats suggèrent que les écarts de température entre le jour et la nuit contribueraient à l'inactivation du virus sur les surfaces. Ils précisent qu'à température diurne égale, plus les différences de température entre le jour et la nuit sont notables, moins longue serait la persistance des virus déposés sur les surfaces. En revanche, les auteurs formulent également l'hypothèse selon laquelle la persistance du virus dans l'environnement pourrait être favorisée en l'absence d'une telle variation pour atteindre une durée maximale en saison hivernale (160).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ Selon les études de modélisation, le temps d'évaporation des aérosols sur les surfaces est considérablement réduit lors de l'augmentation de la température et de la diminution de l'humidité relative.
- ▶ Dans les études de modélisation, le taux d'inactivation du SRAS-CoV-2 contenu dans les aérosols déposés sur les surfaces semble plus important à mesure que la température augmente, mais présente une relation en forme de U par rapport à l'humidité relative.

4.3.4 SYNTHÈSE DES REVUES DE LITTÉRATURE

4.3.4.1 Influence de la température et de l'humidité relative sur le maintien de la capacité de réplication virale et la transmission par les fomites

Les auteurs de plusieurs revues de littérature rapportent que le TGEV, le MHV, le MERS-CoV, le HCoV-229E, le HCoV-OC43, le HCoV-NL63, le SRAS-CoV-1 et le SRAS-CoV-2 peuvent conserver leur potentiel infectieux pendant quelques jours à température et à humidité relative ambiante sur les surfaces lisses et non poreuses comme le métal (à l'exception du cuivre), le verre ou le plastique (99,164–169). D'autres auteurs relèvent qu'en règle générale la demi-vie des virus (incluant le SRAS-CoV-2) inoculés, à partir d'une solution cliniquement représentative (ex. : salive humaine ou simulée), sur différents types de surfaces diminue à mesure que la température augmente; les températures plus basses étant plus propices au maintien de la capacité de réplication de ces virus, incluant les HCoV (97,99,144,168,170). Citant les résultats de Morris *et al.* (2020) - voir le point 4.3.1.1, Ram *et al.* (2021) constatent que le maintien de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 sur les surfaces s'avère optimal dans des conditions de basse température et de faible humidité relative; la demi-vie moyenne estimée du virus était de plus de 24 heures à 10 °C et à 40 % d'humidité relative (95).

En ce qui a trait plus spécifiquement à l'humidité relative, Cimolai (2020) mentionne que ce paramètre peut néanmoins présenter des effets variables à des températures données (167). Le taux d'humidité relative affecte la cinétique d'évaporation des particules virales déposées sur les surfaces. Par conséquent, plus l'humidité relative de l'air ambiant est faible, plus les particules aqueuses et leur contenu viral sont susceptibles de s'assécher rapidement et, ce faisant, plus la charge virale est inactivée rapidement (171). Par ailleurs, cette cinétique d'évaporation pourrait être grandement modulée par la nature des particules porteuses. Ainsi, plusieurs groupes d'auteurs indiquent que les virus se trouvant dans les particules dont le contenu en eau est élevé seraient plus vulnérables à l'assèchement que ceux se trouvant dans des particules enrichies en protéines (ex. : salive ou sérum bovin) sous des conditions de faible humidité relative (166,167,170). D'une part, l'évaporation affectant les particules contenant beaucoup d'eau contribuerait à concentrer les sels potentiellement corrosifs au sein de la particule, engendrant des déséquilibres acido-basiques et une atténuation de la capacité de réplication virale (97). D'autre part, les particules enrichies en protéines seraient plus affectées par le processus d'efflorescence (voir la sous-section 4.1.4). Bu *et al.* (2021) rapportent d'ailleurs que l'effet de la température ou du rayonnement ultraviolet (UV) est plus important que celui de l'humidité relative au regard de la persistance de la capacité de réplication des virus sur les surfaces (99). Jia *et al.* (2021) mentionnent que l'influence de l'humidité relative sur le taux de survie relatif des virus adopte généralement un patron en forme de U, quoique l'influence de l'humidité relative sur les différents types de virus varie. En d'autres termes, le taux de survie des virus serait considérable lorsque l'humidité relative est faible ou extrêmement élevée. Lorsque l'humidité relative est comprise entre 50 et 70 %, les taux de survie relatifs de la plupart des virus seraient faibles, ce qui indique que le contrôle de l'humidité relative à un niveau moyen est bénéfique pour réduire la

survie des virus (97). En somme, ces informations appuient le modèle de persistance virale en U au regard de l'humidité relative; à fort pourcentage d'humidité relative, l'assèchement des particules est moins notable et le potentiel infectieux est davantage conservé, alors qu'à faible humidité relative, l'évaporation de l'eau contenue dans les aérosols est plus marquée, ce qui contribue à maintenir les aérosols en suspension plus longtemps dans l'air et facilite le processus d'efflorescence, lequel, en retour, contribuerait à la conservation du potentiel infectieux viral.

Peu d'informations ont été recensées au sujet de l'influence de la température et de l'humidité relative ambiantes sur les potentialités de transmission de la COVID-19 par les fomites. En effet, les nombreux facteurs impliqués dans un tel mode de transmission complexifient l'analyse de leur contribution respective. Les revues d'Aboubakr *et al.* (2020), de Bellizzi *et al.* (2021) et de Zarei *et al.* (2021) suggèrent néanmoins qu'il pourrait exister des conditions environnementales optimales de transmission virale par l'entremise des surfaces. Ainsi, les conditions de basses températures pourraient contribuer au maintien de l'infectiosité et, ultimement, à la transmission des coronavirus (105,144,164). La survenue de telles conditions pourrait inciter les autorités compétentes des régions les plus froides du globe à adopter des mesures de contrôle social plus strictes (144). Il faut souligner que les virus, y compris le SRAS-CoV-2, peuvent maintenir leur potentiel infectieux sur les surfaces, en particulier les surfaces hydrophobes lisses comme le plastique ou l'acier inoxydable (105,172). Ce faisant, s'ils parviennent à atteindre un nouvel organisme hôte, la transmission par contact avec les surfaces peut s'avérer plausible.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ De nombreux virus respiratoires, dont le SRAS-CoV-2, peuvent conserver leur potentiel infectieux pendant quelques jours à température et à humidité relative ambiantes sur les surfaces lisses et non poreuses.
- ▶ La demi-vie de ces virus inoculés à partir de salive humaine (ou de solutions similaires) sur différents types de surfaces diminuerait à mesure que la température augmenterait; les températures plus basses étant plus propices au maintien de la capacité de réplication des virus.
- ▶ Le maintien de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 sur les surfaces s'avérerait optimal dans des conditions de basse température et de faible humidité relative; la demi-vie moyenne estimée du virus serait de plus de 24 heures à 10 °C et à 40 % d'humidité relative.
- ▶ L'effet de la température ou d'autres facteurs environnementaux (ex. : rayonnement UV) aurait une influence plus importante que celui de l'humidité relative au regard de la persistance de la capacité de réplication des virus sur les surfaces.
- ▶ Le taux de survie des virus serait élevé lorsque l'humidité relative est faible ou extrêmement élevée (patron de survie en U). Lorsque l'humidité relative est comprise entre 50 et 70 %, les taux de survie relatifs de la plupart des virus seraient faibles.
- ▶ Peu d'informations ont été recensées au sujet de l'influence de la température et de l'humidité relative ambiantes sur les potentialités de transmission du SRAS-CoV-2 par les fomites.

4.4 Influence de la température et de l'humidité relative ou absolue sur les effets physiologiques de l'infection

Jusqu'à présent, les auteurs de la présente revue de littérature ont fait état de l'influence des paramètres environnementaux que sont la température et l'humidité relative ou absolue sur les principaux facteurs susceptibles de contribuer à la persistance du SRAS-CoV-2 transitant dans l'air ou déposé sur des surfaces. Or, ces paramètres environnementaux sont également susceptibles de

jouer un rôle additionnel au regard de l'efficacité des processus physiologiques de réponse immunitaire dont bénéficieraient les hôtes pour lutter contre ce type d'infection virale. La prochaine section brosse un portrait des informations assemblées à ce sujet.

4.4.1 ÉTUDES DE LABORATOIRE

Deux études de laboratoire, mentionnées dans le tableau 8 (annexe 9), ont porté sur l'évaluation des effets de la température (173) et de l'humidité relative (20) sur les effets physiologiques de réponse immunitaire de l'hôte. L'étude de V'Kovski *et al.* (2021) a comparé l'augmentation de la charge infectieuse du SRAS-CoV-1 et du SRAS-CoV-2. Les auteurs ont ainsi observé que le SRAS-CoV-2 se réplique davantage en culture cellulaire et que la charge infectieuse peut atteindre des concentrations 10 fois plus élevées que le SRAS-CoV-1. Les auteurs ont également comparé la réplication du SRAS-CoV-2 à 33 et à 37 °C afin de déterminer si la température du tractus respiratoire supérieur (33 °C) permet une réplication virale au même titre que la température du tractus respiratoire inférieur (37 °C). Ce virus se réplique non seulement à une température plus basse, mais les résultats montrent des charges infectieuses plus élevées de ce dernier à 33 °C (173). Par conséquent, le SRAS-CoV-2 semble bien adapté aux deux températures, ce qui pourrait constituer un deuxième avantage évolutif au regard du SRAS-CoV-1. Bien que Kudo *et al.* (2019) aient infecté des souris avec de l'influenza A, leurs résultats peuvent tout de même guider la réflexion quant aux conséquences négatives d'une faible humidité relative ambiante. En effet, les souris ayant séjourné dans un environnement sec (10-20 % d'humidité relative) ont subi une évolution plus grave de l'infection. Les auteurs ont mesuré une diminution de la CMC et de la réparation épithéliale, en plus d'observer des dommages tissulaires plus importants. Le virus s'est également propagé plus aisément à une basse humidité relative. Dans le cas d'une infection grippale, il semblerait que le virus ait pu profiter d'une CMC moindre résultant d'une humidité relative de 10-20 % pour se propager dans le tractus respiratoire (20). Les auteurs d'une troisième étude ont plutôt mesuré l'humidité relative de l'air inspiré provenant du microenvironnement créé dans l'enceinte d'un masque. Ils ont ainsi constaté que l'humidité relative augmente pour tous les masques testés (N95; chirurgical; double couche d'un mélange de coton et de polyester; doublé en coton épais), peu importe leur composition. À terme, ces auteurs concluent que le niveau d'humidité relative atteint dans le microenvironnement pourrait faciliter la manifestation de certains des effets physiologiques contribuant à la réponse immunitaire des porteurs de masques (65).

4.4.2 MODÉLISATION

Xu *et al.* (2021) ont étudié l'effet de la température et de l'humidité relative sur le processus de déposition des particules (chargées de virus ou non) dans les voies respiratoires. À cet effet, il faut noter qu'il est généralement présumé que l'humidité relative dans les voies respiratoires se maintient à près de 100 %, ce qui occasionne une imprégnation importante en vapeur d'eau des particules qui y transitent, menant à une augmentation de leur taille. Les auteurs ont modélisé ce mécanisme d'expansion à partir de trois conditions environnementales distinctes (T/HR) : 25 °C/60 %; 25 °C/90 % et 10 °C/30 % – voir le tableau 8 (annexe 9). Les auteurs soulignent que la taille des particules présentes dans le tractus respiratoire a tendance à s'amplifier sous l'effet de la condensation, et ce, de façon plus notable lorsque les conditions de l'air ambiant sont froides et sèches. La présence de ces conditions facilite éventuellement la déposition des particules dans l'arbre respiratoire. Ils concluent donc que cette déposition accrue pourrait contribuer au développement d'une infection (174).

4.4.3 SYNTHÈSE DES REVUES DE LITTÉRATURE

Selon l'analyse des revues de littérature réalisées par plusieurs groupes d'auteurs, l'exposition aux conditions extérieures, plus spécifiquement en saison froide, contribuerait à altérer certaines réponses physiologiques respiratoires de première ligne contre les infections virales. En effet, de nombreuses études recensées par ces groupes d'auteurs indiquent que les environnements froids et secs engendreraient un effet immunosuppresseur sur l'hôte et augmenteraient ainsi le risque de contracter de telles infections (2,94,103,175). Bubbico *et al.* (2021) constatent pour leur part que la stimulation nasale à l'air froid et sec (ex. : 10 °C/10-20 % d'humidité relative) induirait une réponse de l'appareil respiratoire de type bronchoconstrictif de même qu'une augmentation de la résistance précapillaire de la microcirculation nasale; mécanisme qui en retour contribuerait à diminuer le flux sanguin dans la muqueuse nasale. Audi *et al.* (2020), Bubbico *et al.* (2021), Kronfeld-Schor *et al.* (2021) et Moriyama *et al.* (2020) retiennent également que l'exposition à l'air froid et sec engendrerait l'atténuation du processus de CMC et, par conséquent, contribuerait à la stabilité des microorganismes présents sur la muqueuse respiratoire supérieure (2,94,103,175). Ces interférences pourraient affecter le drainage du mucus nasal et stimuleraient la prolifération d'agents infectieux dans la cavité nasale ainsi que leur pénétration subséquente dans la muqueuse respiratoire.

Différents facteurs environnementaux peuvent toutefois altérer la CMC, tels le froid, l'air sec généré par le chauffage ou encore une inflammation associée (par exemple engendrée par le tabagisme). Dans ces conditions, la muqueuse des voies respiratoires sécrète davantage de mucus visqueux. Conséquemment, l'activité des cils diminue et la CMC cesse; les sécrétions ne sont plus évacuées et elles s'accumulent. De plus, des températures inférieures à 20 °C et à 5 °C engendrent respectivement une réduction ou une cessation de la fréquence des battements mucociliaires (2). Puisque l'efficacité de la CMC dépend du maintien de doubles couches de mucus avec deux viscosités différentes et d'un équilibre osmotique délicat, une bonne hydratation du mucus est nécessaire pour le transport efficace de ce dernier. Une étude recensée par Moriyama *et al.* (2020) portant sur la relation entre la température, l'humidité relative de l'air inhalé et les propriétés de la muqueuse des voies respiratoires a révélé qu'une humidité relative de 100 % et une température corporelle normale (37 °C) dans le tractus respiratoire constituent des conditions optimales pour le maintien des fonctions de la muqueuse chez l'homme (2). Audi *et al.* (2020) et Moriyama *et al.* (2020) retiennent que la perturbation de l'intégrité des cellules épithéliales des voies respiratoires causée par l'inhalation d'air sec pourrait être impliquée dans les épidémies hivernales de certains types d'infections virales respiratoires (2,94). Alors qu'une étude clinique retenue par Moriyama *et al.* (2020) a montré que la vitesse de battement mucociliaire diminue progressivement lorsque l'humidité relative de l'air respirable est réduite de 70 % à 20 %, la CMC nasale de personnes en bonne santé n'était pas affectée par l'inhalation d'air sec (2). Parmi les études recensées, certaines révèlent que des facteurs environnementaux saisonniers, comme la température et l'humidité relative, pourraient ainsi affecter l'immunité innée antivirale de l'hôte contre les infections respiratoires virales (2). Enfin, Maleki *et al.* (2021) rapportent que l'exposition aux particules fines en suspension dans l'air issues de la pollution (dont la concentration peut elle-même être influencée par les conditions ambiantes) peut également accroître la susceptibilité des individus aux infections virales. La capacité des particules réactives à induire un stress oxydatif et une inflammation systémique pourrait contribuer à l'infectiosité virale (100).

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À RETENIR

- ▶ Les environnements froids et secs pourraient engendrer un effet immunosuppresseur sur l'hôte et augmenteraient ainsi le risque de contracter des infections respiratoires.
- ▶ L'exposition à l'air sec (10-20 % d'humidité relative) et froid (< 5 °C) pourrait engendrer une diminution de la CMC et de la réparation épithéliale, en plus de faciliter la propagation virale dans le tractus respiratoire.
- ▶ D'après une étude, le microenvironnement créé dans l'enceinte du masque permettrait de maintenir l'humidité relative à un niveau qui favorise l'efficacité de la réponse physiologique de première ligne de ceux qui le portent.
- ▶ Des conditions froides et sèches (10 °C, 30 % d'humidité relative) induiraient une réponse de l'appareil respiratoire de type broncho-constrictif, ce qui faciliterait la déposition des particules dans les voies respiratoires et la diminution du flux sanguin dans la muqueuse nasale.

5 Discussion

Cette revue de littérature a permis de constater que la température et l'humidité relative ou absolue peuvent affecter une variété de processus contribuant potentiellement à la transmission de la COVID-19 par l'air ainsi que par l'entremise des fomites. La compréhension de l'influence respective et concourante de ces processus demeure mal définie (notamment d'un point de vue quantitatif) en raison de la présence de nombreux biais et limites d'interprétation dans les études consultées (voir plus loin les biais potentiels des études répertoriées). Malgré les nombreuses incertitudes mises en évidence précédemment, quelques constats peuvent toutefois être dégagés au regard de l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur la transmission du SRAS-CoV-2.

5.1 Persistance

D'entrée de jeu, il est important de préciser que les résultats des études menées en laboratoire, portant sur le maintien de la capacité de répllication des virions présents dans les aérosols et les fomites exposés à différentes conditions environnementales, sont considérés comme étant les données les plus robustes et cohérentes parmi l'ensemble des données compilées. Collectivement, ces études de type expérimental ont montré qu'une température élevée (≥ 30 °C environ) peut inactiver le SRAS-CoV-2 en dénaturant son enveloppe lipidique externe, alors que de basses températures (≤ 20 °C environ) peuvent contribuer à maintenir son infectiosité (66,67,97,99). Des données complémentaires recensées dans une seule étude de laboratoire font également état de la présence d'ARN viral de SRAS-CoV-2 sur des surfaces à 24 °C (176), mais une telle détection ne permet pas de statuer sur la présence de virus infectieux. L'effet de l'humidité relative sur la préservation de la capacité de répllication ne semble cependant pas aussi clair que celui de la température. Les informations recensées pointent vers une conservation de l'infectiosité virale rehaussée dans les milieux secs ou très humides. Cette relation dite en U, que certains auteurs avaient déjà mise en lumière pour d'autres virus respiratoires, découlerait en partie de la manifestation du processus d'efflorescence. Le processus serait déclenché lorsque des virions se trouvent au sein de particules constituées d'une solution aqueuse riche en protéines comme la salive. En laboratoire, ce type de solution de suspension semble mieux protéger les virions par rapport aux milieux de culture conventionnels (67,69,147,154). Ainsi, la composition de la solution de suspension est considérée par plusieurs groupes d'auteurs comme un facteur complémentaire à la température et à l'humidité relative pouvant moduler la persistance virale (67,69,147,153,154). Par ailleurs, le type de surface de dépôt (poreux ou non poreux) pourrait avoir une influence encore plus considérable sur l'inactivation virale que la température et l'humidité relative de l'air ambiant. Les surfaces poreuses, comme les tissus et la pelure des fruits et des légumes, maintenaient moins longtemps la capacité de répllication virale que les surfaces non poreuses, notamment l'acier inoxydable, le plastique, le verre et le vinyle (72,147–149,151,152). Fait intéressant, les auteurs d'une étude ont déterminé que la capacité de répllication du virus était davantage conservée sur de la peau de porc, faisant ainsi un parallèle avec la persistance potentielle du SRAS-CoV-2 lorsqu'il est déposé sur la peau humaine (148). Tandis que les effets synergiques de la température et de l'humidité relative sur la conservation des virions devraient faire l'objet d'études additionnelles, d'autres facteurs environnementaux pourraient davantage moduler le maintien de l'infectiosité virale, telle la présence de rayons UV (66,67).

5.2 Dispersion

Outre l'influence de la température et de l'humidité relative sur la persistance des virions de SRAS-CoV-2 dans l'environnement, le potentiel d'aérosolisation, d'évaporation, de dispersion et de déposition des particules respiratoires fait également l'objet d'un nombre appréciable d'études. Essentiellement traités par l'entremise de modélisations mathématiques, ces processus physiques plus spécifiquement impliqués dans la transmission de la COVID-19 par les aérosols ne semblent pas entièrement élucidés. Un des maillons faibles de ces études relève de leurs postulats de départ qui définissent, par défaut, l'association recherchée sur la base d'informations variées et variables d'une publication à une autre. Par conséquent, les résultats diffèrent sensiblement d'une étude à l'autre en fonction des modèles dynamiques et des variables choisies, des conditions environnementales considérées et parfois de la taille des particules modélisées. Il est ainsi difficile de dégager des tendances claires concernant spécifiquement les paramètres de température et d'humidité relative au regard de ces processus dynamiques. Néanmoins, des températures élevées et des pourcentages d'humidité relative faibles faciliteraient l'évaporation du contenu en eau des particules (77–84,86,87,89), ce qui modifierait leur taille finale ainsi que leur potentiel de suspension et de dispersion dans l'air ambiant (79,83,86,88). Quoique la vitesse de déposition serait plus importante à des températures et à des humidités relatives plus élevées en milieux intérieurs (88) et en milieux extérieurs (82), d'autres facteurs pourraient influencer le dépôt et la distance de dispersion, notamment la présence de flux d'air directionnels ou turbulents (14), la présence de poussières et la taille initiale des particules (80,83,85).

5.3 Transmission

La détermination du rôle de la température et de l'humidité relative sur la transmission de la COVID-19 a été analysée par une variété de devis d'étude. Les résultats de ces études sont très divergents. Certains auteurs des études menées sur la base de modélisations mathématiques présument que la simple présence d'aérosols dans l'air engendre un risque infectieux, alors que la persistance du virus dans les aérosols pourrait être modulée en fonction d'une variété de facteurs. De plus, cette adéquation rapide ne tient pas compte du concept de dose infectieuse, qui s'avère inhérent à l'efficacité de transmission des microorganismes pathogènes (3). Pour le moment, la dose infectieuse du SRAS-CoV-2 n'a toujours pas été déterminée (177). Néanmoins, un individu doit être exposé à une dose infectieuse suffisante de SRAS-CoV-2 pour développer la COVID-19, que ce soit par le dépôt de gouttes sur les muqueuses du visage (nez, bouche ou œil), l'inhalation d'aérosols ou le transfert de virus déposés sur les surfaces aux mains et, subséquemment, aux muqueuses du visage. De plus, bien que l'assemblage de tous les résultats compilés témoigne d'une diminution de l'infectiosité des aérosols viraux dans des contextes favorisant leur évaporation et leur dispersion (ex. : températures élevées et faibles pourcentages d'humidité relative), cette hypothèse n'a néanmoins pas fait l'objet d'études spécifiques. Les résultats issus d'études s'appuyant sur des modélisations mathématiques soulignent par ailleurs que la transmission indirecte par les fomites pourrait également être atténuée par la température élevée d'un milieu donné (99). Il devient donc hasardeux de tirer des conclusions quant au rôle de la température sur l'efficacité du processus de transmission par l'intermédiaire de l'environnement.

De façon alternative, la question de l'influence de la température et de l'humidité relative sur la transmission de la COVID-19 a également été traitée à l'échelle populationnelle par l'entremise d'études de type écologique. Or, les relations établies peuvent être le témoin de phénomènes sociaux associés à la température ou à l'humidité relative comme les séjours à l'intérieur lors de périodes de froid ou de chaleur ou encore de certaines formes de vulnérabilités individuelles (ex. : facteurs de comorbidité). Ces phénomènes sont impossibles à déterminer à l'échelle écologique.

Zheng *et al.* (2021) ont aussi effectué une recension systématisée des études évaluant la relation entre les données météorologiques et la transmission de la COVID-19. Ils tirent les mêmes conclusions : une trop grande hétérogénéité dans les méthodes, un choix questionable de la variable dépendante et des tendances contraires observées pour les mêmes périodes d'étude et les mêmes régions géographiques (178).

Du côté des effets physiologiques de réponse immunitaire de l'hôte, le dépôt des particules dans les voies respiratoires serait d'abord plus notable à basse température (174), condition qui atténuerait la fréquence des battements des cils mucociliaires ainsi que la CMC en général (2). La combinaison de ces effets pourrait entraîner une augmentation du risque de contracter une infection respiratoire, notamment celle provoquée par le SRAS-CoV-2, en raison du temps de résidence accru des particules virales au niveau des récepteurs sensibles de l'appareil respiratoire. Bien entendu, d'autres facteurs pourraient atténuer ce risque, surtout en milieux extérieurs, dont la présence de vents et de rayonnements UV. Par ailleurs, plusieurs groupes d'auteurs rapportent que la gravité des effets reliés à une infection virale des voies respiratoires pourrait être accentuée en présence de conditions de faibles pourcentages d'humidité relative, spécialement en ce qui a trait au ralentissement de la CMC et de la réparation épithéliale. La combinaison de ces effets se transposerait par une propagation plus rapide du virus dans l'organisme (2,20,94,103,175). La gravité des effets associés à ce type d'infection virale pourrait néanmoins être atténuée chez les individus bénéficiant d'une CMC active et ayant des voies respiratoires bien humidifiées; conditions qui offriraient une plus longue période au système immunitaire adaptatif pour se mobiliser (65). Bien que des expériences réalisées à l'aide d'un modèle murin puissent présenter une bonne vue d'ensemble des effets physiologiques de réponse immunitaire suivant l'exposition à de faibles taux d'humidité relative lors d'infections respiratoires (20), il est fort possible que ce portait ne soit pas représentatif de l'évolution de l'infection virale chez des humains ayant contracté la COVID-19.

5.4 Options de gestion

D'après la synthèse des résultats, les auteurs de la présente revue de littérature sont d'avis que certains éléments pourraient être pris en compte au regard des environnements intérieurs occupés dans le but d'atténuer la transmission du SRAS-CoV-2. Il est entendu que l'adoption de comportements adaptés par les individus infectés et les éventuels hôtes peut contribuer à limiter la transmission du virus. En tête de liste viennent évidemment la vaccination, l'isolement lors de manifestations cliniques compatibles, le respect de l'étiquette respiratoire (incluant le port du masque; voir les précisions ci-dessous), la minimisation des contacts, la distanciation physique ainsi que l'hygiène des mains.

Quoiqu'il s'avère impossible de moduler les conditions environnementales des milieux extérieurs et de certains environnements contrôlés dédiés à des activités spécifiques qui exigent des conditions strictes (ex. : établissements du secteur agroalimentaire), certains auteurs soutiennent que le port du masque ou du couvre-visage facilite le développement d'un microclimat dans le milieu circonscrit entre ce dernier et le visage des usagers, rendant l'air inhalé plus chaud et humide (65,175). Les masques pourraient ainsi théoriquement offrir une double protection : une barrière physique individuelle contre l'exposition aux particules virales et un microenvironnement de transition limitant le refroidissement rapide de la muqueuse nasale et l'inhibition des mécanismes de défense physiologique des voies respiratoires supérieures, en particulier par temps froid. Conséquemment, lorsque les conditions environnementales facilitent la transmission des aérosols viraux, le port d'un masque de haute qualité demeure une mesure de contrôle appropriée (105). Cette observation est d'autant plus pertinente que certains auteurs concèdent que de telles conditions pourraient contribuer à la dispersion d'aérosols infectieux au-delà de 2 mètres (99). Avant de transposer ces

observations en recommandations, les auteurs de la présente revue jugent pertinent d'approfondir cette question de recherche dans des études cliniques. Jusqu'à présent, aucun ouvrage n'a permis de dégager un consensus établissant des valeurs uniques de taux et d'humidité relative associées à une diminution de l'incidence de la COVID-19 ainsi que de la mortalité des individus ayant contracté cette maladie.

Les principaux résultats indiquent que la modulation, voire l'augmentation, de la température des milieux intérieurs ne constituerait pas un moyen simple et efficace pour limiter la transmission virale sans compromettre le confort des occupants. Par ailleurs, le maintien d'une humidité relative moyenne dans les environnements intérieurs, comme illustré par Jia *et al.* (2021), pourrait être une avenue de contrôle complémentaire aux mesures sanitaires déjà en place. Selon Bueckert *et al.* (2020), le SRAS-CoV-2 serait bien adapté aux environnements intensément climatisés (température ambiante < 20 °C, humidité relative ≈ 40 %). Ces conditions militent en faveur d'un emploi judicieux des climatiseurs en saison estivale et de l'évitement de la surclimatisation à des températures trop basses. Zarei *et al.* (2021) précisent également que, dans les milieux intérieurs caractérisés par un très faible niveau d'humidité relative, l'usage d'un humidificateur pourrait limiter la dispersion des aérosols infectieux. Ainsi, la température des milieux intérieurs devrait se situer entre 20 et 26,5 °C, alors que l'humidité relative devrait se situer entre 30 et 50 % (179,180), conditions d'ailleurs observées en milieu hospitalier par les auteurs d'une autre étude (181). Alors qu'il peut s'avérer difficile de respecter ces cibles lors de conditions météorologiques particulières, notamment en période de vague de chaleur ou de vague de froid, les résultats obtenus par la grande majorité des groupes d'auteurs consultés indiquent que l'application de mesures de contrôle environnemental de la COVID-19 pourrait s'avérer pertinente. Certains auteurs évoquent néanmoins que le maintien des paramètres de confort de l'air intérieur dans des plages de valeurs communément recommandées par les organismes compétents tels que l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) et Santé Canada pourrait s'avérer une mesure de contrôle complémentaire de la transmission virale. Le maintien d'une bonne ventilation diminuerait également l'augmentation des concentrations de particules dans l'air (182), lesquelles pourraient contenir du SRAS-CoV-2 infectieux.

5.5 Biais potentiels des études répertoriées

Les résultats des études expérimentales, menées tant en laboratoire qu'en milieu intérieur, sont tributaires des paramètres de conception sélectionnés par les auteurs. L'application d'approches méthodologiques de diverses natures – notamment les protocoles d'échantillonnage, d'incubation et d'évaluation de la capacité de réplication des charges virales – pourrait expliquer la variabilité des résultats présentés. Des paramètres propres aux environnements étudiés peuvent également engendrer des différences, dont les dimensions des pièces, la distance entre l'échantillonneur et les patients infectés, le nombre de patients infectés dans une pièce donnée, le type de ventilation, le nombre de changements d'air à l'heure, la circulation du personnel et des patients (183,184) ou encore les microdynamiques de circulation de l'air. De plus, les auteurs des études menées en laboratoire ont généralement utilisé des inoculums viraux très élevés – voir le tableau 6 (annexe 7). L'emploi de tels inoculums pourrait entraîner une surestimation de la conservation du potentiel infectieux du SRAS-CoV-2 comparativement à ce qui est observé dans l'environnement immédiat d'individus infectés.

Les études de modélisation mathématique reposent sur des choix de postulats et d'équations pour appuyer certaines associations entre des processus physiques (ex. : dispersion et évaporation) et les paramètres de température et d'humidité relative. Sauf à de rares exceptions, les auteurs ne sont pas en mesure d'associer ces postulats avec des observations expérimentales en lien avec

l'assèchement des particules respiratoires et le maintien du potentiel infectieux viral. De plus, certaines variables ne sont pas prises en compte par les auteurs lors de la conception de leurs modèles, notamment la vélocité de départ des particules, la vitesse du vent ou des déplacements d'air, la composition physicochimique des particules, les distributions de la taille des particules pour différents événements respiratoires (c.-à-d. : respirer, parler, tousser, etc.) et des variations intraindividuelles et interindividuelles de ces distributions, la conservation du potentiel infectieux dans des noyaux de particules et la dose infectieuse du SRAS-CoV-2.

Globalement, des lacunes méthodologiques sont constatées à plusieurs niveaux dans les études à devis écologique, notamment en ce qui a trait aux postulats de départ, aux hypothèses sur la relation entre la transmission de la COVID-19 et les paramètres de confort, au choix des modèles statistiques pour évaluer cette relation et à l'évaluation des colinéarités entre les variables de température et d'humidité relative ou absolue selon les saisons. Les plages de valeurs considérées pour ces paramètres ne sont souvent pas bien précisées. La plupart des études évaluées, sauf exception, considèrent l'incidence de nouveaux cas comme variable dépendante de la température et de l'humidité. Toutefois, les nouveaux cas sont le reflet d'une transmission ayant eu lieu plusieurs jours avant, en tenant compte de la période de latence entre l'acquisition de l'infection et le début de la contagiosité par l'hôte ainsi que des délais inhérents au diagnostic de la personne infectée. Or, cette période de latence est soit non définie dans l'étude de la relation, soit déterminée par le modèle selon des critères généralement peu réalistes. Il serait d'ailleurs plus avisé de considérer l'effet de la température sur l'accélération ou la décélération du taux de transmission plutôt que sur le nombre de cas ou de décès observés (178,185) comme cela est effectué par certaines équipes de chercheurs (108,109,120,126). Toutefois, leurs périodes d'observation (sur une journée) sont trop courtes au regard de la dynamique de transmission qui se manifeste généralement après quelques jours d'incubation.

Par ailleurs, la très grande majorité des études recensées ont été publiées lors de la première grande vague épidémique, soit au moment où la population mondiale n'était pas immunisée (de janvier à avril 2020). Or, durant cette période, le principal déterminant de la transmission était directement lié aux patrons de migration de la population mondiale. En effet, l'arrivée différée de vagues épidémiques d'un continent à l'autre a permis à certains pays de mieux se préparer et d'appliquer des mesures préventives (ex. : confinement, couvre-feux, fermetures des écoles et des commerces de même que port d'équipement de protection individuel). La saisonnalité est alors associée à des phénomènes qui n'ont aucun lien avec l'humidité relative ou absolue ou les variations de température saisonnières.

Les revues de littérature comportent des biais potentiels en lien avec les stratégies de recherche utilisées. Les choix de concepts et de mots-clés peuvent être effectués dans une perspective d'exhaustivité ou, au contraire, dans l'optique de couvrir rapidement un sujet précis. La variabilité des concepts de recherche et des mots-clés employés peut ainsi générer des résultats complètement différents lorsque les mêmes bases de données documentaires sont consultées. De plus, l'accès à certaines bases de données est parfois restreint. Enfin, compte tenu du caractère évolutif de la crise sanitaire de la COVID-19, il importe de souligner que les constats et les faits saillants des revues publiées au début de la pandémie divergent des conclusions des auteurs ayant mené leur analyse sur la base des articles publiés après plusieurs mois de recherche intensive sur le sujet.

6 Conclusion

Cette revue narrative systématisée de la littérature scientifique a permis d'évaluer l'effet de la température et de l'humidité relative ou absolue sur le comportement des particules virales en suspension dans l'air ou déposées sur des surfaces, tant en milieux intérieurs qu'en milieux extérieurs. Selon les informations rassemblées, ces paramètres pourraient jouer un certain rôle dans les mécanismes impliqués dans la transmission du SRAS-CoV-2, plus particulièrement en milieux intérieurs. De façon plus spécifique, la température et l'humidité relative pourraient influencer les processus suivants :

- ▶ **L'inactivation du virus ou le maintien de son infectiosité** : Il a été démontré, par l'entremise de diverses expériences, qu'une température élevée peut contribuer à l'inactivation du SRAS-CoV-2, alors que de basses températures peuvent contribuer au maintien de sa capacité à se répliquer, que ce virus soit associé à des particules en suspension dans l'air ou encore déposées sur des surfaces. L'influence de l'humidité relative de l'air ambiant est plus complexe; une humidité relative moyenne pourrait contribuer à l'atténuation de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2, tandis qu'une humidité relative faible ou très élevée pourrait contribuer à sa persistance.
- ▶ **La dispersion et le dépôt des aérosols viraux** : Les modélisations mathématiques et certaines revues de littérature ont permis de déterminer que l'évaporation des particules en suspension dans l'air est plus importante à haute température ou à une basse humidité relative, favorisant ainsi le temps de suspension dans l'air et éventuellement les chances de dispersion. Dans la même optique, ces conditions limitent également le dépôt des particules. L'effet de l'humidité relative est toutefois plus mitigé; certains auteurs stipulent qu'une faible humidité relative contribue à l'évaporation et donc à la dispersion des particules, alors que d'autres soutiennent que cette évaporation n'est que peu influencée par ce paramètre. Une humidité relative élevée pourrait contribuer à la déposition des particules.
- ▶ **La réponse physiologique des hôtes potentiels** : L'exposition des hôtes potentiels à des conditions environnementales particulières pourrait moduler certains mécanismes de défense physiologique, les rendant ainsi plus vulnérables aux infections. De basses températures faciliteraient le dépôt des particules dans les voies respiratoires, en plus de réduire la fréquence des battements mucociliaires trachéaux et nasaux et de compromettre la CMC. De plus, de faibles conditions d'humidité relative diminueraient la réparation épithéliale et la CMC, ce qui pourrait contribuer au développement d'une infection plus grave.

En somme, l'influence de ces mécanismes pourrait être impliquée dans le caractère saisonnier de la transmission du SRAS-CoV-2, comme précédemment observé pour d'autres virus respiratoires. Puisque la plus importante fraction de cas de transmission est associée aux milieux intérieurs, le maintien des paramètres de confort dans les plages de valeurs recommandées par les organismes compétents demeure une mesure de gestion à préconiser. Comme la plage de confort thermique est relativement étroite en milieu intérieur, le contrôle de l'humidité relative pourrait sans doute conférer certains gains complémentaires, notamment au regard de l'inactivation virale à propos de laquelle des données plus concordantes ont été rassemblées. Dans certaines situations, le port du masque ou du couvre-visage en milieux intérieurs, la distanciation physique et le lavage des mains pourraient pallier la présence de conditions plus propices au maintien de l'infectiosité des charges virales. En ce qui concerne les environnements extérieurs, la température et l'humidité relative ou absolue de l'air ambiant pourraient être moins déterminantes que d'autres facteurs, notamment la présence de rayons UV et le fort pouvoir de dilution du milieu, sur les mécanismes de préservation de l'infectiosité et de dispersion des charges virales. Dans tous les cas, la transmission par contact rapproché, moins influencée par ces paramètres, demeure certainement la plus notable.

6.1 Production de connaissances (futures études)

Pour ce qui est des besoins de production et de consolidation des connaissances, il serait intéressant que les futures études intègrent plus d'aspects associés aux principes fondamentaux d'infectiologie et de virologie. En effet, les études en laboratoire et les modélisations mathématiques se sont essentiellement penchées sur les facteurs qui facilitent la persistance et la dispersion des aérosols dans l'air ambiant, sans considérer la dose infectieuse, la persistance du virus ou les effets physiologiques de réponse immunitaire des hôtes. Il serait pertinent que de telles études prennent en compte l'évolution de la charge virale excrétée par l'hôte selon son stade d'infection dans le devenir des particules. De plus, la plupart des études publiées jusqu'à présent ont évalué l'effet des paramètres environnementaux sur un seul des mécanismes impliqués dans le processus de transmission : persistance de la capacité de réplication, évaporation, dispersion des particules porteuses ou réponse physiologique de l'hôte. En marge de ces études portant sur l'un ou l'autre de ces processus, il serait opportun que davantage d'auteurs réalisent des études évaluant l'ensemble des mécanismes impliqués dans le processus de transmission du SRAS-CoV-2. Par ailleurs, les nouvelles études de type écologique devraient être articulées sur la base de protocoles plus robustes et bénéficier d'approches méthodologiques qui permettent de limiter l'introduction de biais propres à ce type d'études. En outre, une période de latence de quelques jours devrait être considérée lorsque l'association entre les conditions météorologiques et la transmission de la COVID-19 est explorée. Il semble impératif de mieux comprendre, dans une perspective quantitative, le rôle des facteurs environnementaux sur le maintien de la charge virale, surtout dans les aérosols et les noyaux de particules en suspension dans l'air.

Bibliographie

* Notez que les liens vers les pages Web ou les publications fournis dans la présente bibliographie étaient à jour au moment où ces pages ou ces documents ont été consultés. Il se peut toutefois que les pages ou les publications ne soient plus disponibles ou aient été déplacées depuis cette période.

1. Anctil G, Caron S, Charest J, Irace-Cima A, Gilca V, Sauvageau C, et al. Transmission du SRAS-CoV-2 : constats et proposition de terminologie [En ligne]. Québec (Québec) : Institut national de santé publique du Québec; 2021. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/3099-transmission-sras-cov-2-constats-terminologie-covid19>
2. Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections. Annual Review of Virology. 2020;7(1):83-101.
3. Leggett HC, Cornwallis CK, West SA. Mechanisms of pathogenesis, infective dose and virulence in human parasites. PLOS Pathogens. 2012;8(2):e1002512.
4. Larousse [En ligne]. Larousse; s.d. Effet cytopathogène. Disponible : https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/effet_cytopathog%C3%A8ne/12697
5. Bozic A, Kanduc M. Relative humidity in droplet and airborne transmission of disease. Journal of Biological Physics. 2021;47(1):1-29.
6. Centers for Disease Control and Prevention [En ligne]. Centers for Disease Control and Prevention; 2021. Science brief: SARS-CoV-2 and surface (fomite) transmission for indoor community environments. Disponible : <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-transmission.html>
7. Davis RE, McGregor GR, Enfield KB. Humidity: a review and primer on atmospheric moisture and human health. Environmental Research. 2016;144(Pt A):106-16.
8. Merriam-Webster [En ligne]. Merriam-Webster; 2021. Absolute humidity. Disponible : <https://www.merriam-webster.com/dictionary/absolute%20humidity>
9. Sun S, Li J, Han J. How human thermal plume influences near-human transport of respiratory droplets and airborne particles: a review. Environmental Chemistry Letters. 2021;19(3):1971-82.
10. Scalia Tomba G, Svensson Å, Asikainen T, Giesecke J. Some model based considerations on observing generation times for communicable diseases. Mathematical Biosciences. 2010;223(1):24-31.
11. Merriam-Webster [En ligne]. Merriam-Webster; 2021. Half-life. Disponible : <https://www.merriam-webster.com/dictionary/half-life>
12. Merriam-Webster [En ligne]. Merriam-Webster; 2021. Virion. Disponible : <https://www.merriam-webster.com/dictionary/virion>
13. Institut national de santé publique du Québec [En ligne]. Québec (Québec) : Institut national de santé publique du Québec; 2021. COVID-19 : Modes de transmission et mesures de prévention et de protection contre les risques, incluant le rôle de la ventilation – Questions-réponses. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/covid-19/environnement/modes-transmission>

14. National Collaborating Centre for Environmental Health/Centre de collaboration nationale en santé environnementale [En ligne]. National Collaborating Centre for Environmental Health/Centre de collaboration nationale en santé environnementale. Vancouver (Colombie-Britannique); 2021. O’Keeffe J, Eykelbosh A. COVID-19 and indoor air: risk mitigating measures and future-proofing. Disponible : <https://ncceh.ca/content/blog/covid-19-and-indoor-air-risk-mitigating-measures-and-future-proofing>
15. Lu J, Gu J, Li K, Xu C, Su W, Lai Z, *et al.* COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases Journal* [En ligne]. 2020;26(7). Disponible : https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0764_article
16. Morris DH, Yinda KC, Gamble A, Rossine FW, Huang Q, Bushmaker T, *et al.* The effect of temperature and humidity on the stability of SARS-CoV-2 and other enveloped viruses. *BioRxiv* [En ligne]. 2020. Disponible : <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=pnm&NEWS=N&AN=33083797>
17. Sharma A, Preece B, Swann H, Fan X, McKenney RJ, Ori-McKenney KM, *et al.* Structural stability of SARS-CoV-2 degrades with temperature. *BioRxiv* [En ligne]. 2020.
18. Morris DH, Yinda KC, Gamble A, Rossine FW, Huang Q, Bushmaker T, *et al.* Mechanistic theory predicts the effects of temperature and humidity on inactivation of SARS-CoV-2 and other enveloped viruses. *eLife* [En ligne]. 2021;10: e65902.
19. Sharma A, Preece B, Swann H, Fan X, McKenney RJ, Ori-McKenney KM, *et al.* Structural stability of SARS-CoV-2 virus like particles degrades with temperature. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2021;534:343-6.
20. Kudo E, Song E, Yockey LJ, Rakib T, Wong PW, Homer RJ, *et al.* Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*. 2019;116(22):10905-10.
21. Liu H, Fei C, Chen Y, Luo S, Yang T, Yang L, *et al.* Investigating SARS-CoV-2 persistent contamination in different indoor environments. *Environmental Research*. 2021;202:111763.
22. Seif F, Noorimotlagh Z, Mirzaee SA, Kalantar M, Barati B, Fard ME, *et al.* The SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic in hospital: an insight into environmental surfaces contamination, disinfectants’ efficiency, and estimation of plastic waste production. *Environmental Research*. 2021;202:111809.
23. Hansen JM, Weiss S, Kremer TA, Aguilar M, McDonnell G. Research: dry heat processing of single-use respirators and surgical masks. *Biomedical Instrumentation and Technology*. 2020;54(6):410-6.
24. Xie H, Yu B, Wang J, Ji J. A novel disinfected Trombe wall for space heating and virus inactivation: concept and performance investigation. *Applied Energy*. 2021;291:116789.
25. Adedokun KA, Olarinmoye AO, Mustapha JO, Kamorudeen RT. A close look at the biology of SARS-CoV-2, and the potential influence of weather conditions and seasons on COVID-19 case spread. *Infectious Diseases of Poverty*. 2020;9:77.
26. Amoatey P, Omidvarborna H, Baawain MS, Al-Mamun A. Impact of building ventilation systems and habitual indoor incense burning on SARS-CoV-2 virus transmissions in Middle Eastern countries. *Science of the Total Environment*. 2020; 733:139356.

27. Bhopal RS. COVID-19 zugzwang: potential public health moves towards population (herd) immunity. *Public Health in Practice*. 2020;1:100031.
28. Bordea IR, Candrea S, Salagean T, Pop ID, Lucaciu O, Ilea A, *et al*. Impact of COVID-19 pandemic on healthcare professionals and oral care operational services: a systemic review. *Risk Management and Healthcare Policy*. 2021;14:453-63.
29. Chauhan RP, Dessie ZG, Noreddin A, El Zowalaty ME. Systematic review of important viral diseases in Africa in light of the 'One Health' concept. *Pathogens*. 2020;9(4):301.
30. Corpet DE. Why does SARS-CoV-2 survive longer on plastic than on paper? *Medical Hypotheses*. 2021;146:110429.
31. Engelbrecht FA, Scholes RJ. Test for COVID-19 seasonality and the risk of second waves. *One Health*. 2021;12:100202.
32. Gui D, Casaroli A, Rizzoni F, Agnes AL, Magalini S. Climatic factors and possible influence on the spread of SARS-Cov2: is the role of droplets physics underestimated? *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2020;24(21):10926-7.
33. Gunther T, Czech-Sioli M, Indenbirken D, Robitaille A, Tenhaken P, Exner M, *et al*. SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant. *EMBO Molecular Medicine*. 2020;12(12):e13296.
34. Lacatusu GA, Vasilescu C, Mihai IF, Filip-Ciubotaru F, Vata A, Manciu C. COVID-19 and air conditioning - Is there an environmental link? *Environmental Engineering and Management Journal*. 2020;19(7):1255-60.
35. Maheswari S, Pethannan R, Sabarimurugan S. Air pollution enhances susceptibility to novel coronavirus (COVID-19) infection - An impact study. *Environmental Analysis, Health and Toxicology*. 2020;35(4):e2020020.
36. Maipas S, Panayiotides IG, Tsiodras S, Kavantzias N. COVID-19 pandemic and environmental health: effects and the immediate need for a concise risk analysis. *Environmental Health Insights*. 2021;15:1-3.
37. Murtaza G, Imdad K, Arshad M, Hamza A, Aslam A, Bashir S. Perspective of Covid-19 pandemic in South Asian countries. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2020;24(24):13098-100.
38. Park S, Choi Y, Song D, Kim EK. Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. *The Science of the Total Environment*. 2021;789:147764.
39. Raciti L, Calabro RS. Can volcanic trace elements facilitate Covid-19 diffusion? A hypothesis stemming from the Mount Etna area, Sicily. *Medical Hypotheses*. 2020;144:110058.
40. Raiteux J, Eschlimann M, Marangon A, Rogee S, Dadvisard M, Taysse L, *et al*. Inactivation of SARS-CoV-2 by simulated sunlight on contaminated surfaces. *Microbiology Spectrum*. 2021;9(1):e0033321 .
41. Ravindra K, Goyal A, Mor S. Does airborne pollen influence COVID-19 outbreak? *Sustainable Cities and Society*. 2021;70:102887.

42. Rubino I, Oh E, Han S, Kaleem S, Hornig A, Lee SH, *et al.* Salt coatings functionalize inert membranes into high-performing filters against infectious respiratory diseases. *Scientific Reports*. 2020;10(1):13875.
43. Rubino I, Han S, Oh E, Kumaran S, Lawson M, Jung YJ, *et al.* Study of the pathogen inactivation mechanism in salt-coated filters. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2021;13(14):16084-96.
44. Russette H, Graham J, Holden Z, Semmens EO, Williams E, Landguth EL. Greenspace exposure and COVID-19 mortality in the United States: January–July 2020. *Environmental Research*. 2021;198: 111195.
45. Shen Y, Chen D, Huang X, Cai G, Xu Q, Hu C, *et al.* Novel phenotypes of coronavirus disease: a temperature-based trajectory model. *Annals of Intensive Care*. 2021;11(1):121.
46. Skubacz K, Hildebrandt R, Zgorska A, Dyduch Z, Samolej K, Smolinski A. Transport of aerosols in underground mine workings in terms of SARS-CoV-2 virus threat. *Molecules* [En ligne]. 2021;26(12)3501.
47. Solimini A, Filipponi F, Fegatelli DA, Caputo B, De Marco CM, Spagnoli A, *et al.* A global association between Covid-19 cases and airborne particulate matter at regional level. *Scientific Reports*. 2021;11(1):6256.
48. Sopeyin A, Hornsey E, Okwor T, Alimi Y, Raji T, Mohammed A, *et al.* Transmission risk of respiratory viruses in natural and mechanical ventilation environments: implications for SARS-CoV-2 transmission in Africa. *BMJ Global Health* [En ligne]. 2020;5(8): e003522.
49. Sousan S, Garcia N, White A, Balanay JA. Filtration efficiency of surgical sterilization fabric for respiratory protection during COVID-19 pandemic. *American Journal of Infection Control*. 2021;49(1):1-7.
50. Swain ID. Why the mask? The effectiveness of face masks in preventing the spread of respiratory infections such as COVID-19 - A home testing protocol. *Journal of Medical Engineering and Technology*. 2020;44(6):334-7.
51. Tay JRH, Ng E, Ong MMA, Sim C, Tan K, Seneviratne CJ. A risk-based approach to the Covid-19 pandemic: the experience in National Dental Centre Singapore. *Frontiers in Medicine*. 2020;7:562728.
52. von Seidlein L, Alabaster G, Deen J, Knudsen J. Crowding has consequences: prevention and management of COVID-19 in informal urban settlements. *Building and Environment*. 2021;188:107472.
53. Walawalkar S, Joshi M, Khattry N, Sapra BK, Khan A, Pujari PK, *et al.* Particle removal from air by face masks made from sterilization wraps: effectiveness and reusability. *PLOS One*. 2020;15(10):e0240398.
54. Wang B, Liu J, Li Y, Fu S, Xu X, Li L, *et al.* Airborne particulate matter, population mobility and COVID-19: a multi-city study in China. *BMC Public Health*. 2020;20(1):1585.
55. Weng CL, Kau LJ. Planning and design of a full-outer-air-intake natural air-conditioning system for medical negative pressure isolation wards. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021(4):1-13.
56. Xie W, Li Y, Bai W, Hou J, Ma T, Zeng X, *et al.* The source and transport of bioaerosols in the air: a review. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2021;15(3):44.

57. Zangmeister CD, Radney JG, Staymates ME, Vicenzi EP, Weaver JL. Hydration of hydrophilic cloth face masks enhances the filtration of nanoparticles. *ACS Applied Nano Materials*. 2021;4(3):2694-701.
58. Zhang N, Jack Chan PT, Jia W, Dung CH, Zhao P, Lei H, *et al.* Analysis of efficacy of intervention strategies for COVID-19 transmission: a case study of Hong Kong. *Environment international*. 2021;156:106723.
59. Kumar M, Kuroda K, Dhangar K. The most eagerly awaited summer of the Anthropocene: a perspective of SARS-CoV-2 decay and seasonal change. *Groundwater for Sustainable Development*. 2020;11:100400.
60. Spena A, Palombi L, Corcione M, Carestia M, Spena VA. On the optimal indoor air conditions for SARS-CoV-2 inactivation. an enthalpy-based approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(17):6083.
61. Gertsman S, Agarwal A, O'Hearn K, Webster R, Tsampalieros A, Barrowman N, *et al.* Microwave- and heat-based decontamination of N95 filtering facepiece respirators: a systematic review. *The Journal of Hospital Infection*. 2020;106(3):536-53.
62. Pokora R, Kutschbach S, Weigl M, Braun D, Epple A, Lorenz E, *et al.* Investigation of superspreading COVID-19 outbreak events in meat and poultry processing plants in Germany: a cross-sectional study. *PLOS One*. 2021;16(6):e0242456.
63. RajV AA, V, Haghghat F. The contribution of dry indoor built environment on the spread of Coronavirus: Data from various Indian states. *Sustainable Cities and Society*. 2020;62:102371.
64. Arias FJ, De Las Heras S. The mechanical effect of moisturization on airborne COVID-19 transmission and its potential use as control technique. *Environmental Research*. 2021;197:110940.
65. Courtney JM, Bax A. Hydrating the respiratory tract: an alternative explanation why masks lower severity of COVID-19 disease. *medRxiv* . 2020.
66. 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 Science and Technology*. 2021;55(2):142-53.
67. 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. *Journal of Infectious Diseases*. 2020;222(4):564-71.
68. Schuit M, Biryukov J, Beck K, Yolitz J, Bohannon J, Weaver W, *et al.* The stability of an isolate of the SARS-CoV-2 B.1.1.7 lineage in aerosols is similar to three earlier isolates. *The Journal of Infectious Diseases*. 2021.
69. Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity. *Emerging Microbes and Infections*. 2020;9(1):1415-7.
70. Lieber C, Melekidis S, Koch R, Bauer HJ. Insights into the evaporation characteristics of saliva droplets and aerosols: levitation experiments and numerical modeling. *Journal of Aerosol Science*. 2021;154:105760.

71. Baboli Z, Neisi N, Babaei AA, Ahmadi M, Sorooshian A, Birgani YT, *et al.* On the airborne transmission of SARS-CoV-2 and relationship with indoor conditions at a hospital. *Atmospheric Environment*. 2021;261:118563.
72. 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. *Clinical Microbiology and Infection*. 2020;26(12):1658-62.
73. 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. *Science of the Total Environment*. 2020;725:138401.
74. Masoumbeigi H, Ghanizadeh G, Yousefi Arfaei R, Heydari S, Goodarzi H, Dorostkar Sari R, *et al.* Investigation of hospital indoor air quality for the presence of SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2020; 18(2):1259-63.
75. Vosoughi M, Karami C, Dargahi A, Jeddi F, Jalali KM, Hadisi A, *et al.* Investigation of SARS-CoV-2 in hospital indoor air of COVID-19 patients' ward with impinger method. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021; 28(36):50480-88
76. Xie C, Lau EHY, Yoshida T, Yu H, Wang X, Wu H, *et al.* Detection of influenza and other respiratory viruses in air sampled from a university campus: a longitudinal study. *Clinical Infectious Diseases*. 2020;70(5):850-8.
77. Chaudhuri S, Basu S, Kabi P, Unni VR, Saha A. Modeling the role of respiratory droplets in Covid-19 type pandemics. *Physics of Fluids*. 2020;32(6):063309.
78. Chen LD. Effects of ambient temperature and humidity on droplet lifetime - A perspective of exhalation sneeze droplets with COVID-19 virus transmission. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020;229:113568.
79. Cheng CH, Chow CL, Chow WK. Trajectories of large respiratory droplets in indoor environment: a simplified approach. *Building and Environment*. 2020;183:107196.
80. Chong KL, Ng CS, Hori N, Yang R, Verzicco R, Lohse D. Extended lifetime of respiratory droplets in a turbulent vapor puff and its implications on airborne disease transmission. *Physical Review Letters*. 2021;126(3):034502.
81. Dbouk T, Drikakis D. Weather impact on airborne coronavirus survival. *Physics of fluids*. 2020;32(9):093312.
82. Feng Y, Marchal T, Sperry T, Yi H. Influence of wind and relative humidity on the social distancing effectiveness to prevent COVID-19 airborne transmission: a numerical study. *Journal of Aerosol Science*. 2020;147:105585.
83. Li H, Leong FY, Xu G, Ge Z, Kang CW, Lim KH. Dispersion of evaporating cough droplets in tropical outdoor environment. *Physics of Fluids*. 2020;32(11):113301.
84. Netz RR. Mechanisms of airborne infection via evaporating and sedimenting droplets produced by speaking. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2020;124(33):7093-101.
85. Netz RR, Eaton WA. Physics of virus transmission by speaking droplets. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2020;117(41):25209-11.

86. Rosti ME, Olivieri S, Cavaiola M, Seminara A, Mazzino A. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing. *Scientific Reports*. 2020;10(1):22426.
87. Sen N. Transmission and evaporation of cough droplets in an elevator: numerical simulations of some possible scenarios. *Physics of Fluids*. 2021;33(3):033311.
88. Shadloo-Jahromi A, Bavi O, Hossein Heydari M, Kharati-Koopae M, Avazzadeh Z. Dynamics of respiratory droplets carrying SARS-CoV-2 virus in closed atmosphere. *Results in Physics*. 2020;19:103482.
89. Wang H, Li Z, Zhang X, Zhu L, Liu Y, Wang S. The motion of respiratory droplets produced by coughing. *Physics of Fluids*. 2020;32(12):125102.
90. Zhao L, Qi Y, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, Zhu Y. COVID-19: effects of environmental conditions on the propagation of respiratory droplets. *Nano Letters*. 2020;20(10):7744-50.
91. Bhaganagar K, Bhimireddy S. Local atmospheric factors that enhance air-borne dispersion of coronavirus - High-fidelity numerical simulation of COVID19 case study in real-time. *Environmental Research*. 2020; 191:110170.
92. Dbouk T, Drikakis D. Fluid dynamics and epidemiology: seasonality and transmission dynamics. *Physics of Fluids*. 2021;33(2):021901.
93. Mckeen P, Liao Z. The influence of airtightness on contaminant spread in MURBs in cold climates. *Building Simulation*. 2022;15(2):249-64.
94. Audi A, Allbrahim M, Kaddoura M, Hijazi G, Yassine HM, Zaraket H. Seasonality of respiratory viral infections: will COVID-19 follow suit? *Frontiers in Public Health*. 2020;8:567184.
95. Ram K, Thakur RC, Singh DK, Kawamura K, Shimouchi A, Sekine Y, *et al*. Why airborne transmission hasn't been conclusive in case of COVID-19? An atmospheric science perspective. *The Science of the Total Environment*. 2021;773:145525.
96. Mohan SV, Hemalatha M, Kopperi H, Ranjith I, Kumar AK. SARS-CoV-2 in environmental perspective: occurrence, persistence, surveillance, inactivation and challenges. *Chemical Engineering Journal*. 2021;405:126893.
97. Jia Y, Xiang Y, Guo S, Guo L, Guo L, Cheng Z, *et al*. Analysis on the risk of respiratory virus transmission by air conditioning system operation based on experimental evidence. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021;28(40):56376-91.
98. da Silva PG, Nascimento MSJ, Soares RRG, Sousa SIV, Mesquita JR. Airborne spread of infectious SARS-CoV-2: moving forward using lessons from SARS-CoV and MERS-CoV. *Science of the Total Environment*. 2021;764:142802.
99. Bu Y, Ooka R, Kikumoto H, Oh W. Recent research on expiratory particles in respiratory viral infection and control strategies: a review. *Sustainable Cities and Society*. 2021;73:103106.
100. Maleki M, Anvari E, Hopke PK, Noorimotlagh Z, Mirzaee SA. An updated systematic review on the association between atmospheric particulate matter pollution and prevalence of SARS-CoV-2. *Environmental Research*. 2021;195:110898.

101. Bourdrel T, Annesi-Maesano I, Alahmad B, Maesano CN, Bind MA. The impact of outdoor air pollution on COVID-19: a review of evidence from in vitro, animal, and human studies. *European Respiratory Review*. 2021;30(159): 200242.
102. Kant R, Yadav P, Kishore S, Bairwa M, Singh M. Is it time to consider shreds of epidemiological and environmental evidence associated with high transmission of COVID-19? *Journal of Family Medicine and Primary Care*. 2021;10(6):2120-5.
103. Kronfeld-Schor N, Stevenson TJ, Nickbakhsh S, Schernhammer ES, Dopico XC, Dayan T, *et al*. Drivers of infectious disease seasonality: potential implications for COVID-19. *Journal of Biological Rhythms*. 2021;36(1):35-54.
104. Lalaoui R, Bakour S, Raoult D, Verger P, Sokhna C, Devaux C, *et al*. What could explain the late emergence of COVID-19 in Africa? *New Microbes and New Infections*. 2020;38:100760.
105. Zarei M, Rahimi K, Hassanzadeh K, Abdi M, Hosseini V, Fathi A, *et al*. From the environment to the cells: an overview on pivotal factors which affect spreading and infection in COVID-19 pandemic. *Environmental Research*. 2021;201:111555.
106. Briz-Redón Á, Serrano-Aroca Á. The effect of climate on the spread of the COVID-19 pandemic: A review of findings, and statistical and modelling techniques. *Progress in Physical Geography*. 2020;44(5):591-604.
107. Crema E. The SARS-COV-2 outbreak around the Amazon rainforest: the relevance of the airborne transmission. *Science of the Total Environment*. 2021; 759:144312.
108. Loche Fernandez-Ahuja JM, Fernandez Martinez JL. Effects of climate variables on the COVID-19 outbreak in Spain. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2021;234:113723.
109. Poirier C, Luo W, Majumder MS, Liu D, Mandl KD, Mooring TA, *et al*. The role of environmental factors on transmission rates of the COVID-19 outbreak: an initial assessment in two spatial scales. *Scientific Reports*. 2020;10:17002.
110. Sharif N, Ahmed SN, Opu RR, Daullah MU, Khan S, Talukder AA, *et al*. Impact of meteorological parameters and population density on variants of SARS-CoV-2 and outcome of COVID-19 pandemic in Japan. *Epidemiology and Infection*. 2021;149:e103.
111. Zuo Z, Ullah S, Yan L, Sun Y, Peng F, Jiang K, *et al*. Trajectory simulation and prediction of covid-19 via Compound Natural Factor (CNF) model in EDBF algorithm. *Earths Future*. 2021;9(4):e2020EF001936.
112. He Z, Chin Y, Yu S, Huang J, Zhang CJP, Zhu K, *et al*. The influence of average temperature and relative humidity on new cases of COVID-19: time-series analysis. *JMIR Public Health and Surveillance*. 2021;7(1):e20495.
113. Adekunle IA, Tella SA, Oyesiku KO, Oseni IO. Spatio-temporal analysis of meteorological factors in abating the spread of COVID-19 in Africa. *Heliyon*. 2020;6(8):e04749.
114. Choi YW, Tuel A, Eltahir EAB. On the environmental determinants of COVID-19 seasonality. *GeoHealth*. 2021;5(6):e2021GH000413.
115. Haj Bloukh S, Edis Z, Shaikh AA, Pathan HM. A look behind the scenes at COVID-19: national strategies of infection control and their impact on mortality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(15): 5616.

116. Mansouri Daneshvar MR, Ebrahimi M, Sadeghi A, Mahmoudzadeh A. Climate effects on the COVID-19 outbreak: a comparative analysis between the UAE and Switzerland. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2022;8(1):469-82.
117. Uddin MB, Hasan M, Harun-Al-Rashid A, Ahsan MI, Imran MAS, Ahmed SSU. Ancestral origin, antigenic resemblance and epidemiological insights of novel coronavirus (SARS-CoV-2): global burden and Bangladesh perspective. *Infection, Genetics and Evolution*. 2020;84:104440.
118. Aidoo EN, Adebajji AO, Awashie GE, Appiah SK. The effects of weather on the spread of COVID-19: evidence from Ghana. *Bulletin of the National Research Centre*. 2021;45(1):20.
119. Pineda Rojas AL, Cordo SM, Saurral RI, Jimenez JL, Marr LC, Kropff E. Relative humidity predicts day-to-day variations in COVID-19 cases in the city of Buenos Aires. *Environmental Science and Technology*. 2021;55(16):11176-82.
120. Hariharan R. Random forest regression analysis on combined role of meteorological indicators in disease dissemination in an Indian city: a case study of New Delhi. *Urban Climate*. 2021;36:100780.
121. Singh PK, Kiran R, Bhatt RK, Tabash MI, Pandey AK, Chouhan A. COVID-19 pandemic and transmission factors: an empirical investigation of different countries. *Journal of Public Affairs*. 2021;21:e2648.
122. Burra P, Soto-Diaz K, Chalen I, Gonzalez-Ricon RJ, Istanto D, Caetano-Anolles G. Temperature and latitude correlate with SARS-CoV-2 epidemiological variables but not with genomic change worldwide. *Evolutionary Bioinformatics*. 2021;17:1-8.
123. Baniasad M, Mofrad MG, Bahmanabadi B, Jamshidi S. COVID-19 in Asia: Transmission factors, re-opening policies, and vaccination simulation. *Environmental Research*. 2021;202:111657.
124. Raines KS, Doniach S, Bhanot G. The transmission of SARS-CoV-2 is likely comodulated by temperature and by relative humidity. *PLOS One*. 2021;16(7):e0255212.
125. Bolaño-Ortiz TR, Camargo-Caicedo Y, Puliafito SE, Ruggeri MF, Bolaño-Diaz S, Pascual-Flores R, *et al*. Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: a look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. *Environmental Research*. 2020;191:109938.
126. Dragone R, Licciardi G, Grasso G, Del Gaudio C, Chanussot J. Analysis of the chemical and physical environmental aspects that promoted the spread of SARS-CoV-2 in the Lombard Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(3):1226.
127. Gautam S, Samuel C, Gautam AS, Kumar S. Strong link between coronavirus count and bad air: a case study of India. *Environment, Development and Sustainability*. 2021;23(11):16632-45.
128. Kumar S. Effect of meteorological parameters on spread of COVID-19 in India and air quality during lockdown. *Science of the Total Environment*. 2020;745:14102.
129. Lu B, Wu N, Jiang J, Li X. Associations of acute exposure to airborne pollutants with COVID-19 infection: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021;28(36):50554-64.

130. Mulder C, Conti E, Saccone S, Federico C. Beyond virology: environmental constraints of the first wave of COVID-19 cases in Italy. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021;28(24):31996-2004.
131. Sahoo MM. Significance between air pollutants, meteorological factors, and COVID-19 infections: probable evidences in India. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021;28(30):40474-95.
132. Sanchez-Lorenzo A, Vaquero-Martinez J, Calbo J, Wild M, Santurtun A, Lopez-Bustins JA, *et al*. Did anomalous atmospheric circulation favor the spread of COVID-19 in Europe? *Environmental Research*. 2021;194:110626.
133. Sangkham S, Thongtip S, Vongruang P. Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. *Environmental Research*. 2021;197: 111104.
134. Vuong QT, Thang PQ, Park M-K, Choi S-D. Effects of the COVID-19 lockdown on criteria air pollutants in the city of Daegu, the epicenter of South Korea's outbreak. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27(36):45983-91.
135. Xu H, Yan C, Fu Q, Xiao K, Yu Y, Han D, *et al*. Possible environmental effects on the spread of COVID-19 in China. *Science of the Total Environment*. 2020; 731:139211.
136. Yao M, Zhang L, Ma J, Zhou L. On airborne transmission and control of SARS-CoV-2. *Science of the Total Environment*. 2020; 731:139178.
137. Zoran MA, Savastru RS, Savastru DM, Tautan MN. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*. 2020;740:140005.
138. Briz-Redon A, Serrano-Aroca A. A spatio-temporal analysis for exploring the effect of temperature on COVID-19 early evolution in Spain. *The Science of the Total Environment*. 2020;728:138811.
139. Ching J, Kajino M. Rethinking air quality and climate change after COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(14):5167.
140. Rahimi NR, Fouladi-Fard R, Aali R, Shahryari A, Rezaali M, Ghafouri Y, *et al*. Bidirectional association between COVID-19 and the environment: a systematic review. *Environmental Research*. 2021;194:110692 .
141. Srivastava A. COVID-19 and air pollution and meteorology - An intricate relationship: a review. *Chemosphere*. 2021;263:128297.
142. Khalil I, Barma P. Sub-continental atmosphere and inherent immune system may have impact on novel corona virus' 2019 (nCovid-19) prevalence in South East Asia. *Mymensingh Medical Journal*:2020;29(2):473-80.
143. Sfică L, Bulai M, Amihăesei V-A, Ion C, Ștefan M. Weather conditions (with focus on UV radiation) associated with COVID-19 outbreak and worldwide climate-based prediction for future prevention. *Aerosol and Air Quality Research*; 2020;20(9):1862-73.
144. Bellizzi S, Murgia P, Angioi A, Canu G, Panu Napodano CM, Manca A. Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 medical solid waste treatment: a need for efficient and effective strategies in low-resourced settings. *Waste Management and Research*. 2021; 39(1 Suppl):76-8.

145. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, *et al.* Increasing temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on surfaces. *mSphere*. 2020;5(4):e00441-20.
146. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Ferris A, *et al.* SARS-CoV-2 is rapidly inactivated at high temperature. *Environmental Chemistry Letters*. 2021;19(2):1773-7.
147. Campos RK, Jin J, Rafael GH, Zhao M, Liao L, Simmons G, *et al.* Decontamination of SARS-CoV-2 and other RNA viruses from N95 level meltblown polypropylene fabric using heat under different humidities. *ACS Nano*. 2020;14(10):14017-25.
148. Harbourt DE, Haddow AD, Piper AE, Bloomfield H, Kearney BJ, Fetterer D, *et al.* Modeling the stability of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) on skin, currency, and clothing. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 2020;14(11):e0008831.
149. Kwon T, Gaudreault NN, Richt JA. Environmental stability of SARS-CoV-2 on different types of surfaces under indoor and seasonal climate conditions. *Pathogens*. 2021;10(2):227.
150. Magurano F, Baggieri M, Marchi A, Rezza G, Nicoletti L. SARS-CoV-2 infection: the environmental endurance of the virus can be influenced by the increase of temperature. *Clinical Microbiology and Infection*. 2021;27(2):289.e5-289.e7.
151. Riddell S, Goldie S, Hill A, Eagles D, Drew TW. The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. *Virology Journal*. 2020;17(1):145.
152. Haddow AD, Watt TR, Bloomfield HA, Shamblin JD, Dyer DN, Harbourt DE. Stability of SARS-CoV-2 on produce following a low-dose aerosol exposure. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2020;103(5):2024-5.
153. Fedorenko A, Grinberg M, Orevi T, Kashtan N. Survival of the enveloped bacteriophage Phi6 (a surrogate for SARS-CoV-2) in evaporated saliva microdroplets deposited on glass surfaces. *Scientific Reports*. 2020;10(1):22419.
154. Rockey N, Arts PJ, Li L, Harrison KR, Langenfeld K, Fitzsimmons WJ, *et al.* Humidity and deposition solution play a critical role in virus inactivation by heat treatment of N95 respirators. *mSphere* 2020;5(5):e00588-20 .
155. Welch JL, Xiang J, Mackin SR, Perlman S, Thorne P, O'Shaughnessy P, *et al.* Inactivation of severe acute respiratory coronavirus virus 2 (SARS-CoV-2) and diverse RNA and DNA viruses on three-dimensionally printed surgical mask materials. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. 2021;42(3):253-60.
156. Whitworth C, Yi M, Houston H, Martinez-Smith M, Noble-Wang J, Coulliette-Salmond A, *et al.* Persistence of bacteriophage Phi 6 on porous and nonporous surfaces and the potential for its use as an Ebola virus or coronavirus surrogate. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020;86(17):e01482-20.
157. Xiang Y, Song Q, Gu W. Decontamination of surgical face masks and N95 respirators by dry heat pasteurization for one hour at 70°C. *American Journal of Infection Control*. 2020;48(8):880-2.
158. Xie L, Liu F, Liu J, Zeng H. A nanomechanical study on deciphering the stickiness of SARS-CoV-2 on inanimate surfaces. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2020;12(52):58360-8.

159. He Z, Shao S, Li J, Kumar SS, Sokoloff JB, Hong J. Droplet evaporation residue indicating SARS-CoV-2 survivability on surfaces. *Physics of Fluids*. 2021;33(1):013309.
160. Yap TF, Decker CJ, Preston DJ. Effect of daily temperature fluctuations on virus lifetime. *The Science of the Total Environment*. 2021;789:148004.
161. Bhardwaj R, Agrawal A. Likelihood of survival of coronavirus in a respiratory droplet deposited on a solid surface. *Physics of Fluids*. 2020;32(6):061704.
162. Guillier L, Martin-Latil S, Chaix E, Thébault A, Pavo N, Poder SL, *et al.* Modeling the inactivation of viruses from the Coronaviridae family in response to temperature and relative humidity in suspensions or on surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020;86(18):e01244-20.
163. Kumar S. Insight on the evaporation dynamics in reducing the COVID-19 infection triggered by respiratory droplets. *Physics of Fluids*. 2021;33(7):072004.
164. Aboubakr HA, Sharafeldin TA, Goyal SM. Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021;68(2):296-312.
165. Anelich LECM, Lues R, Farber JM, Parreira VR. SARS-CoV-2 and risk to food safety. *Frontiers in Nutrition*. 2020;7:580551.
166. Bueckert M, Gupta R, Gupta A, Garg M, Mazumder A. Infectivity of SARS-CoV-2 and other coronaviruses on dry surfaces: potential for indirect transmission. *Materials* 2020;13(22):5211.
167. Cimolai N. Environmental and decontamination issues for human coronaviruses and their potential surrogates. *Journal of Medical virology*. 2020;92(11):2498-510.
168. Marzoli F, Bortolami A, Pezzuto A, Mazzetto E, Piro R, Terregino C, *et al.* A systematic review of human coronaviruses survival on environmental surfaces. *The Science of the Total Environment*. 2021;778:146191.
169. Scheller C, Krebs F, Minkner R, Astner I, Gil-Moles M, Watzig H. Physicochemical properties of SARS-CoV-2 for drug targeting, virus inactivation and attenuation, vaccine formulation and quality control. *Electrophoresis*. 2020;41(13-14):1137-51.
170. Bedrosian N, Mitchell E, Rohm E, Rothe M, Kelly C, String G, *et al.* A systematic review of surface contamination, stability, and disinfection data on SARS-CoV-2 (Through July 10, 2020). *Environmental Science and Technology*. 2021;55(7):4162-73.
171. Guo L, Wang M, Zhang L, Mao N, An C, Xu L, *et al.* Transmission risk of viruses in large mucosalivary droplets on the surface of objects: a time-based analysis. *Infectious Diseases Now*. 2021;51(3):219-27.
172. Noorimotlagh Z, Mirzaee SA, Jaafarzadeh N, Maleki M, Kalvandi G, Karami C. A systematic review of emerging human coronavirus (SARS-CoV-2) outbreak: focus on disinfection methods, environmental survival, and control and prevention strategies. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021;28(1):1-15.
173. V'Kovski P, Gultom M, Kelly JN, Steiner S, Russeil J, Mangeat B, *et al.* Disparate temperature-dependent virus-host dynamics for SARS-CoV-2 and SARS-CoV in the human respiratory epithelium. *PLOS Biology*. 2021;19(3):e3001158.

174. Xu C, Zheng X, Shen S. A numerical study of the effects of ambient temperature and humidity on the particle growth and deposition in the human airway. *Environmental Research*. 2021;200:111751.
175. Bubbico L, Mastrangelo G, Larese-Filon F, Basso P, Rigoli R, Maurelli M, *et al.* Community use of face masks against the spread of COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(6):3214.
176. Castrica M, Balzaretto C, Miraglia D, Lorusso P, Pandiscia A, Tantillo G, *et al.* Evaluation of the persistence of SARS-CoV-2 (ATCC R VR-1986HK TM) on two different food contact materials: flow pack polyethylene and polystyrene food trays. *Lebensmittel-Wissenschaft*. 2021;146:111606.
177. Centers for Disease Control and Prevention [En ligne]. Centers for Disease Control and Prevention; 2021 . Scientific brief: SARS-CoV-2 transmission. Disponible : <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html>
178. Zheng H-L, Guo Z-L, Wang M, Yang C, An S-Y, Wu W. Effects of climate variables on the transmission of COVID-19: a systematic review of 62 ecological studies. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021; 28(39):54299-316.
179. Gouvernement du Canada [En ligne]. Gouvernement du Canada; 2020. Contaminants de l'air intérieur. Réduisez l'humidité et les moisissures. Disponible : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/contaminants-air-interieur/reduisez-humidite-et-moisissures.html>
180. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard 55 – Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2013.
181. Quraishi SA, Berra L, Nozari A. Indoor temperature and relative humidity in hospitals: workplace considerations during the novel coronavirus pandemic. *Occupational and Environmental Medicine*. 2020;77(7):508.
182. Blocken B, van Druenen T, Ricci A, Kang L, van Hooff T, Qin P, *et al.* Ventilation and air cleaning to limit aerosol particle concentrations in a gym during the COVID-19 pandemic. *Building and Environment*. 2021;193:107659.
183. Centre de collaboration nationale en santé environnementale/National Collaborating Centre for Environmental Health [En ligne]. Vancouver (Colombie-Britannique) : Centre de collaboration nationale en santé environnementale/National Collaborating Centre for Environmental Health; 2020. Échantillonnage environnemental des surfaces et de l'air en contexte de pandémie de COVID-19. Chen T. Disponible : https://ccnse.ca/documents/field-inquiry/environmental-surface-and-air-sampling-context-covid-19-pandemic?utm_source=Cyberimpact&utm_medium=email&utm_campaign=CCNSE-Dernieres-ressources-COVID-19---novembre-2020
184. Verreault D, Moineau S, Duchaine C. Methods for sampling of airborne viruses. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2008;72(3):413-44.
185. Comité santé environnementale COVID-19. COVID-19 : Environnement extérieur [En ligne]. Québec (Québec) : Institut national de santé publique du Québec; 2021. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/3002-environnement-exterieur-covid19>

Annexe 1

Bordereaux de recherche

Bordereau de recherche appliqué à la stratégie de recherche pour Ovid**Medline**

#	Requête	Résultats
1	((SARS-CoV-2 or SARS-CoV2 or SARSCoV-2 or SARSCoV2 or SARS-CoV* or SARSCoV* or "severe acute respiratory syndrome 2" or "severe acute respiratory syndrome cov*" or Covid-19 or Covid19* or Covid or nCoV* or 2019nCoV* or 19nCoV* or HCoV-19).mp. or (coronavirus* or "corona virus*").ti,ab.) and ("20191117" or "20191118" or "20191119" or 2019112* or 2019113* or 201912* or 202*).dp,yr.	165 787
2	((absolute or ambient or relative) adj humidit*).ab. or humidit*.ti,kf. or Humidity/	32 655
3	(climate\$1 or weather).ti,ab,kf. or temperature.ti,kf. or "ambient temperature".ab. or exp Temperature/	599 704
4	(aerosol* or airborne or deposit* or droplet\$1 or "particle growth").ti,ab,kf.	374 615
5	(fomite\$1 or ((contaminated or dry or hard or inert) adj surface\$1)).ti,ab,kf. or Fomites/	3 720
6	immun*.ti,ab,kf.	2 527 279
7	1 and (2 or 3) and (4 or 5 or 6)	293
8	7 and (english or french).lg.	290

Interrogé le 2021-08-06.

Bordereau de recherche appliqué à la stratégie de recherche pour EBSCO

Environment Complete

#	Requête	Résultats
1	(TI ("SARS-CoV-2" OR "SARS-CoV2" OR "SARSCoV-2" OR SARSCoV2 OR "SARS-CoV*" OR SARSCoV* OR "severe acute respiratory syndrome 2" OR "severe acute respiratory syndrome cov*" OR "Covid-19" OR Covid19* OR Covid OR nCoV* OR 2019nCoV* OR 19nCoV* OR "HCoV-19" OR coronavirus* OR "corona virus*") OR AB ("SARS-CoV-2" OR "SARS-CoV2" OR "SARSCoV-2" OR SARSCoV2 OR "SARS-CoV*" OR SARSCoV* OR "severe acute respiratory syndrome 2" OR "severe acute respiratory syndrome cov*" OR "Covid-19" OR Covid19* OR Covid OR nCoV* OR 2019nCoV* OR 19nCoV* OR "HCoV-19" OR coronavirus* OR "corona virus*") OR SU ("SARS-CoV-2" OR "SARS-CoV2" OR "SARSCoV-2" OR SARSCoV2 OR "SARS-CoV*" OR SARSCoV* OR "severe acute respiratory syndrome 2" OR "severe acute respiratory syndrome cov*" OR "Covid-19" OR Covid19* OR Covid OR nCoV* OR 2019nCoV* OR 19nCoV* OR "HCoV-19")) AND (DT 20191117-3000)	9,891
2	TI (humidit*) OR AB ((absolute OR ambient OR relative) W0 humidit*) OR KW (humidit*) OR DE "HUMIDITY"	21,143
3	TI (climate# OR temperature OR weather) OR AB ("ambient temperature" OR climate# OR weather) OR KW (climate# OR temperature OR weather) OR DE "TEMPERATURE"	345,666
4	TI (aerosol* OR airborne OR deposit* OR droplet# OR "particle growth") OR AB (aerosol* OR airborne OR deposit* OR droplet# OR "particle growth") OR KW (aerosol* OR airborne OR deposit* OR droplet# OR "particle growth")	163,467
5	TI (fomite# OR ((contaminated OR dry OR hard OR inert) W0 surface#)) OR AB (fomite# OR ((contaminated OR dry OR hard OR inert) W0 surface#)) OR KW (fomite# OR ((contaminated OR dry OR hard OR inert) W0 surface#))	1,216
6	TI (immun*) OR AB (immun*) OR KW (immun*)	120,106
7	S1 AND (S2 OR S3) AND (S4 OR S5 OR S6)	76
8	S7 AND LA (english OR french)	74

Interrogé le 2021-08-06.

Annexe 2

**Caractéristiques et résultats des études expérimentales
portant sur la persistance des virus dans l'air**

Tableau 1 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus dans l'air

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Solution†	Principaux constats
Baboli <i>et al.</i> 2021 (71)	SRAS-CoV-2	H	23,9-26,3	42-61,2	S. O.‡	De l'ARN de SRAS-CoV-2 a été détecté dans un corridor et dans des chambres de patients infectés. Une corrélation entre les résultats d'essais de biologie moléculaire (RT-PCR) et les facteurs de température et d'humidité relative est observée.
Ben-Shmuel <i>et al.</i> 2020 (72)	SRAS-CoV-2	H et L	ND§	ND	S. O.	De l'ARN de SRAS-CoV-2 a été détecté dans quelques échantillons d'air, mais aucun virus infectieux n'a été récupéré.
Blocken <i>et al.</i> 2021 (182)	S. O.	A	21 18,6-22,3	55-65 44-51,1	S. O.	Lors d'efforts physiques dans une salle d'entraînement, le nombre recommandé de changements d'air à l'heure (2,2 par heure) ne prévient pas l'augmentation de la concentration d'aérosols générés. Entre 80 et 90 % de réduction des concentrations peut être obtenu avec une ventilation et une épuration de l'air.
Dabisch <i>et al.</i> 2021 (66)	SRAS-CoV-2	L	10 20 30 40	20 37 45 55 70	Salive simulée	Le SRAS CoV-2 en suspension dans l'air est davantage inactivé par une température élevée et la lumière solaire simulée que par l'humidité relative. La lumière engendre une inactivation plus rapide que les conditions testées sans lumière.
Faridi <i>et al.</i> 2020 (73)	SRAS-CoV-2	H	23,1-28,4	27-36,5	S. O.	Tous les échantillons d'air récoltés dans les chambres de patients infectés ne contenaient pas d'ARN de SRAS-CoV-2.
Lieber <i>et al.</i> 2021 (70)	S. O.	L	18-29	6-65	Salive humaine	Pour des humidités relatives de 6 à 65 %, une particule de salive s'évapore et atteint une taille d'équilibre représentant 20 % de son diamètre initial.
Masoumbeigi <i>et al.</i> 2020 (74)	SRAS-CoV-2	H	22	43	S. O.	La détection d'ARN de SRAS-CoV-2 était négative pour tous les échantillons d'air prélevés dans l'hôpital.
Quraishi <i>et al.</i> 2020 (181)	S. O.	H	20-24	< 40	S. O.	La plupart des températures mesurées dans les hôpitaux se situaient dans la plage de valeurs recommandées (20-24 °C), alors que les humidités relatives étaient inférieures à 40 %.
Schuit <i>et al.</i> 2020 (67)	SRAS-CoV-2	L	20	20 45 70	Milieu de culture Salive simulée	Le taux de décroissance du SRAS-CoV-2 n'est pas influencé par l'humidité relative, mais plutôt par la lumière solaire simulée et la matrice de suspension. La lumière inactive la plupart des virus dans l'air en quelques minutes.

Tableau 1 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus dans l'air (suite)

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Solution†	Principaux constats
Schuit <i>et al.</i> 2021 (68)	SRAS-CoV-2 lignée B.1.1.7 SRAS-CoV-2 (3 autres isolats)	L	10 20 30 40	20 37 45 53 55 70	Milieu de culture [¶]	Dans l'air, la capacité de réplication des différents isolats testés est similaire. Ainsi, la transmission accrue du variant B.1.1.7 n'est pas engendrée par une meilleure survie environnementale.
Smither <i>et al.</i> 2020 (69)	SRAS-CoV-2	L	19-22	40-60 68-88	Milieu de culture Salive artificielle	Le SRAS-CoV-2 conserve mieux sa capacité de réplication à haute humidité relative (68-88 %) lorsqu'il est aérosolisé dans de la salive artificielle. Il pourrait demeurer infectieux dans l'air minimalement pendant 90 minutes.
Vosoughi <i>et al.</i> 2021 (75)	SRAS-CoV-2	H	28	37	S. O.	Aucun des échantillons d'air prélevés dans l'hôpital ne contenait de l'ARN de SRAS-CoV-2.
Xie <i>et al.</i> 2020a (76)	Influenza A Influenza B Coronavirus Adénovirus VRS Rhinovirus	E	16,0-31,8	27,1-98,3	S. O.	Plusieurs échantillons d'air prélevés contenaient de l'ARN viral, mais aucun d'entre eux n'a révélé la présence de coronavirus humain.

* Valeurs rapportées par les auteurs.

† Solution : Solution de suspension virale.

‡ S. O. : Sans objet.

§ ND : Non disponible.

¶ Milieu de culture présumé.

A Autres.

E Écoles.

H Hôpitaux.

L Laboratoire.

R Résidentiel.

Annexe 3

**Études de simulations du comportement
des particules respiratoires dans l'air selon
la température et l'humidité relative ou absolue**

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Bhaganagar et Bhimireddy 2020 (91)	1-20	2 à 7,5 g/m ³	S. O.†	-	-	-	-	X	X	D'après leur modèle, une dispersion « atmosphérique » extérieure du SRAS-CoV-2 pourrait être survenue au printemps 2020 à New York. En effet, selon leur modèle, certaines conditions de température et d'humidité au sol et de vent auraient permis à des amas d'aérosols de voyager sur quelques kilomètres en provenance d'une personne qui aurait toussé ou éternué.
Chaudhuri <i>et al.</i> 2020 (77)	5-35	20-80	1-100	-	X	X	X	-	-	Une température basse et une humidité relative élevée diminuent l'évaporation des particules.
Chen 2020 (78)	20 30	0-100	1 10 100 1000	-	X	X	-	-	-	L'évaporation des particules respiratoires diminue lorsque l'humidité relative et la taille initiale des particules sont élevées. Leurs résultats montrent également qu'une température plus élevée n'augmente pas nécessairement l'évaporation. La température n'augmente l'évaporation des particules respiratoires que dans le cas d'une humidité relative < 40 %.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Cheng <i>et al.</i> 2020 (79)	18	0 50 90	40-200	-	X	X	X	-	-	À une faible humidité relative, l'évaporation peut être suffisamment élevée pour réduire les gouttes en aérosols, qui resteront longtemps en suspension dans l'air au lieu de se déposer sur le sol.
Chong <i>et al.</i> 2021 (80)	20	50 90	< 10 10-100 > 100	X	X	X	X	-	-	Selon leur modèle, les gouttes (> 100 µm) tombent à une distance de 0,1 à 0,7 m de la source, alors que les aérosols de petite taille (< 10 µm) peuvent être transportés plus loin. De plus, le contenu en eau des particules respiratoires s'évapore moins à des taux d'humidité relative plus élevés.
Dbouk et Drikakis 2020 (81)	0-40	10-90	10-250	-	X	X	-	-	X	Les températures élevées contribueraient à l'évaporation des particules respiratoires et réduiraient leur potentiel infectieux. La relation inverse est observée pour l'humidité relative : une humidité relative élevée préserve la dispersion et l'infectiosité d'un amas atmosphérique de particules.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Dbouk et Drikakis 2021 (92)	0-40	10-90	< 350	-	X	X	X	-	-	Selon les variables de leur modèle, la vitesse des vents, la température et l'humidité relative sont interdépendantes au regard de la transmission par aérosols du virus à l'extérieur. Toujours selon leur modèle, une température élevée influencerait négativement l'aérosolisation, sauf à haute humidité relative (90 %).
Feng <i>et al.</i> 2020 (82)	27	40-99,5	2-2000	X	X	X	X	-	-	Une humidité relative élevée facilite la déposition des particules respiratoires, plus spécifiquement les gouttes, sur une personne située à 1,83 m (6 pieds) de la source d'émission. Une basse humidité relative (40 %) faciliterait l'évaporation des particules et augmenterait leur temps de résidence dans l'air.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Li <i>et al.</i> 2020 (83)	30	60-90	2-100 < 1 000	X	X	X	X	X	-	Les aérosols s'évaporent plus rapidement à une humidité relative de 60 % comparativement à une humidité relative de 90 %, ce qui contribuerait à les maintenir en suspension dans l'air durant plusieurs heures. Les gouttes se déposent rapidement au sol, même si elles peuvent être affectées par l'évaporation. Toutefois, la contribution spécifique de l'humidité relative à la dispersion des particules respiratoires de toutes tailles ne semble pas déterminante.
McKeen et Liao 2021 (93)	Gradient intérieur (20) extérieur (0)	S. O.	S. O.	-	-	X	-	-	-	Des températures ambiantes basses peuvent entraîner des différences de pressions entre les couloirs, les appartements et l'enveloppe du bâtiment multilogement. Les déplacements d'air ainsi générés pourraient faciliter la dispersion des aérosols contaminés vers l'air extérieur.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Netz 2020 (84)	25	10 50 90 99	1-55	X	X	-	X	X	-	À une humidité relative élevée, le temps d'évaporation augmente, tandis que le temps de sédimentation diminue. L'évaporation des aérosols augmente considérablement la concentration de virus dans l'air, ce qui peut se traduire par une exposition et éventuellement par une inhalation plus importante de virus par une personne non infectée.
Netz et Eaton 2020 (85)	25	50	1-120	X	X	-	X	-	-	À une humidité relative de 50 %, les particules respiratoires dont le diamètre initial est supérieur à environ 84 µm tombent rapidement au sol, tandis que les aérosols plus petits, contenant potentiellement des virus, rétrécissent par évaporation de l'eau et restent en suspension dans l'air pendant plusieurs minutes.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Rosti <i>et al.</i> 2020 (86)	NR†	40 60	1-1 000	X	X	X	X	X	X	L'aérosolisation et la dispersion des particules augmentent à faible humidité relative. Les particules de plus petit diamètre se propageront également sur de plus grandes distances. À l'opposé, la déposition s'avère plus importante à une humidité relative élevée.
Sen 2021 (87)	30 40 50	30 50 70	NR	X	X	X	X	-	-	En présence d'une ventilation adéquate à l'intérieur d'un ascenseur, la plupart des particules de toux éjectées tombent sur le sol avant de toucher les autres personnes voyageant dans le même ascenseur. Une augmentation de la température et une réduction de l'humidité relative semblent augmenter la fraction des particules qui s'évaporent.
Shadloo-Jahromi <i>et al.</i> 2021 (88)	-15 25 45	NR	0,1-10	-	-	-	X	-	-	Une température élevée augmenterait le temps de suspension des aérosols dans l'air en raison de l'évaporation des particules.

Tableau 2 Études de simulations du comportement des particules respiratoires dans l'air selon la température et l'humidité relative ou absolue (suite)

Auteurs (année)	Variables			Processus physiques					Infectiosité ou charge virale	Principaux constats
	T (°C)*	HR (%)*	Taille des particules (µm)*	Aérosolisation	Évaporation	Dispersion	Déposition	Accumulation		
Wang <i>et al.</i> 2020 (89)	0,75 19,3 22,4 24,2	97 55,7 62 57,3	0-1000	-	X	X	X	-	-	Les faibles températures et les humidités relatives élevées observées en hiver peuvent entraîner une diminution de l'évaporation des particules en suspension dans l'air.
Zhao <i>et al.</i> 2020 (90)	0-40	0-92	1-15	X	X	X	X	X	-	Les processus d'aérosolisation et d'évaporation seraient plus importants à haute température et à une faible humidité relative. Toutefois, les aérosols se déplaceraient jusqu'à trois fois plus loin dans les environnements à basse température et à forte humidité relative, ce qui serait causé par le phénomène du « <i>damping effect</i> ».

* Valeurs rapportées par les auteurs.

† S. O. : Sans objet.

‡ NR : Non rapporté.

Annexe 4

**Inventaire des variables prises en compte
dans les études de modélisation retenues**

Tableau 3 Inventaire des variables prises en compte dans les études de modélisation retenues

Auteurs (Année)	Type de réflexe respiratoire*	Durée épisode de projection	Vélocité initiale	Angle de projection	T initiale	Surface d'éjection	Distribution de la taille	Taille ou masse	Composition				Hétérogénéité de la composition [†]
									Eau	Eau saline	Eau, NaCl, enzymes, protéines, etc.	Inconnue	
Bhaganagar et Bhimoreddy 2020 (91)	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Chaudhuri <i>et al.</i> 2020 (77)	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	-	-	-
Chen 2020 (78)	-	-	X	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-
Cheng <i>et al.</i> 2020 (79)	X	-	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-
Chong <i>et al.</i> 2021 (80)	X	X	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Dbouk et Drikakis 2020 (81)	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	X	-
Dbouk et Drikakis 2021 (92)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Feng <i>et al.</i> 2020 (82)	X	X	X	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-
Li <i>et al.</i> 2020 (83)	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	-	-	-
McKeen et Liao 2021 (93)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Netz 2020 (84)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
Netz et Eaton 2020 (85)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
Rosti <i>et al.</i> 2020 (86)	X	X	X	-	-	X	X	X	-	-	X	-	-

Tableau 3 Inventaire des variables prises en compte dans les études de modélisation retenues (suite)

Auteurs (Année)	Type de réflexe respiratoire*	Durée épisode de projection	Vélocité initiale	Angle de projection	T initiale	Surface d'éjection	Distribution de la taille	Taille ou masse	Composition				Hétérogénéité de la composition†
									Eau	Eau saline	Eau, NaCl, enzymes, protéines, etc.	Inconnue	
Sen 2021 (87)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Shadloo-Jahromi <i>et al.</i> 2021 (88)	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
Wang <i>et al.</i> 2020 (89)	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-
Zhao <i>et al.</i> 2020 (90)	X	-	X	-	X	-	X	X	-	X	-	-	-

* Toux, éternuement, respiration, etc.

† Fait référence à la variabilité de la concentration des constituants moléculaires et de la charge virale présente d'une particule à une autre.

Annexe 5

Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution

Tableau 4 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateurs de T choisis	Indicateurs d'H choisis	Intervalles étudiés		Période de latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Adekunle <i>et al.</i> 2020 (113)	30 mars 2020 au 29 avril 2020	Pays (continent africain)	T moy. journalière	HR	-2,42 à 33,37	14 % à 41,03 %	Oui	(-)	(-)	Oui
Aidoo <i>et al.</i> 2021 (118)	12 mars 2020 au 31 juillet 2020	Régions (16) du Ghana	T moy. journalière	HR	24,9 à 29,70	72,50 % à 85,20 %	Non	(+) entre 24 et 29, (-) > 29	(-) entre 72 et 76 %, stable > 76 %	Oui
Baniasad <i>et al.</i> 2020 (123)	Mars à décembre 2020	Pays (Iran, Turquie, Corée du Sud, Arabie saoudite, Émirats arabes unis, Philippines, Inde, Russie)	T moy. journalière	HR	ND (les auteurs décrivent l'écart à la moy. entre les T)	ND (les auteurs décrivent les écarts à la moy. dans la variation de l'HR)	Oui	NS [§]	NS	Oui
Briz-Redón et Serrano-Aroca 2020 (106)	25 février 2020 au 28 mars 2020	Provinces d'Espagne	T min., moy. et max. journalières et moy. de 3 jours pour les mêmes T	ND [†]	Min. : -3,19 à 13,51 Moy. : 0,62 à 20,02 Max. : 3,14 à 29,26	ND	Oui	NS	ND	Oui
Burra <i>et al.</i> 2021 (122)	15 avril 2020	211 pays et les États américains	T moy. de surface au 15 avril	ND	Autres pays : -1,11 à 36,94 É-U : -4,05 à 20,5*	ND	Non	(-) entre les pays, aucune aux É.-U.	ND	Oui
Choi <i>et al.</i> 2020 (114)	1 ^{er} mars 2020 au 13 mars 2021	Pays (57) (3 catégories d'analyse non mutuellement exclusives)	T moy. journalière	H spécifique (point de rosée et tension de vapeur)	ND (les figures présentent des écarts de -14 à 40)	ND (les figures présentent des écarts de 0 à 22 g/kg d'HA et de capacité d'assèchement de 0 à 10 mm/heure)	Indirectement	(-) dans les pays tempérés, (+) dans les pays tropicaux	Pays tempérés : (-), pays tropicaux (+) (Corrélation (-) pour la capacité d'assèchement de l'air pour tous les pays)	Non explicite

Tableau 4 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution (suite)

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateurs de T choisis	Indicateurs d'H choisis	Intervalles étudiés		Période de latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Crema 2021 (107)	Mars 2020 au 13 juillet 2020	Régions du Brésil	T moy. durant la période d'observation	Taux moyen mensuel de vapeur d'eau par kg d'air (<i>mixing ratio</i>)	Moy. sur la période d'étude, régions amazoniennes : 30 Autres régions : 22	10 g/kg/mois à 25 g/kg/mois	Non	Aucune relation	(+)	Non
Haj Bloukh <i>et al.</i> 2020 (115)	Jusqu'au 2 juin 2020	Pays (17)	T moy. mensuelle en mars	HR minimale	T moy. = -3,3 à 12,4	70 % à 88 %	Non	(-)	(+)	Non
Hariharan 2020 (120)	27 avril 2020 au 10 juillet 2020	Ville (Delhi)	T moy. journalière	HA	ND	ND	Non	(+) (si T entre 33 et 40)	(+) si HA entre 20-27 UA ¹ - Relation la plus forte des deux	Oui
He <i>et al.</i> 2021 (112)	20 janvier 2020 au 18 mars 2020	9 villes asiatiques (mais données au niveau national pour 3 d'entre elles)	T moy. journalière à partir de 4 T quotidiennes max. et min.	HR	T moy. = -3,10 à 30,98	52,59 % à 77,19 %	Déterminée par le modèle	(+)	NS	Oui
Loche Fernandez-Ahuja <i>et Fernandez Martinez</i> 2021 (108)	31 janvier 2020 au 20 juin 2020	Régions d'Espagne	T min., moy. et max. journalières et moy. mobile 5 jours pour variables climatiques	ND	10 ^e percentile : T min. 5,44, T moy. 11,74 et T max. 17,58; 90 ^e percentile : T min. 13,45, T moy. 18,2 et T max. 23,72	ND	Oui	(-)	ND	Oui

Tableau 4 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution (suite)

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateurs de T choisis	Indicateurs d'H choisis	Intervalles étudiés		Période de latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Mansouri Daneshvar <i>et al.</i> 2020 (116)	1 ^{er} mars 2020 au 25 octobre 2020	Pays : Suisse et Émirats arabes unis (EAU)	T diurne de surface (satellitaire)	HR et H spécifique	17,85 à 34,85 ^t	0,1 % à 33 %	Déterminée par le modèle	(-) en Suisse, (+) aux Émirats arabes unis	(-)	Oui
Pineda Rojas <i>et al.</i> 2021 (119)	1 ^{er} mars au 1 ^{er} novembre 2020	Ville - Buenos Aires	T moy. journalière et gradient de T (max.-min.) de surface	HR et calcul de l'HA	ND	ND (D'après la figure 4 entre 58 % et 85 %)	Déterminée par le modèle	La relation avec la T est surtout présente l'hiver, mais peu contributive (T plus basse)	(-)	Oui
Poirier <i>et al.</i> 2020 (109)	22 janvier 2020 au 26 février 2020	Multiniveaux : régions chinoises, 354 villes chinoises et quelques pays (mal précisés)	T près de la surface sur une base horaire	HA inférée à partir de la T et du point de rosée	ND	ND	Non	Non concluante (l'association (-) disparaît lorsque les données extrêmes sont retirées du calcul)	Non concluante (l'association (-) disparaît lorsque les données extrêmes sont retirées du calcul)	Oui
Raines <i>et al.</i> 2021 (124)	10 mars 2020 au 3 avril 2020 (Bogota) et 7 avril 2020 pour les autres villes	Villes (5) - Colombie	T max. diurne moy.	HR	19,2 à 32	69,3 % à 83,9 %	Oui	(-)	Une courbe en U semble se dessiner pour les T élevées où la relation (-) s'inverserait au-dessus de 75 %	Non explicite - Semble observationnelle

Tableau 4 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température et à l'humidité relative ou absolue sans traiter de la pollution (suite)

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateurs de T choisis	Indicateurs d'H choisis	Intervalles étudiés		Période de latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Sharif <i>et al.</i> 2021 (110)	Données mensuelles janvier 2020 à février 2021	Préfectures (20) du Japon	T journalières max., min. et moy.	HR	-3 à 41	45 % à 90 %	Oui	(-), mais plusieurs données NS	(-) pour la mortalité cumulative	Oui
Singh <i>et al.</i> 2021 (121)	Jusqu'au 25 mai 2020	83 pays	T moy. annuelle	ND	2 à 15,81	ND	Non	(-)	ND	Oui
Uddin <i>et al.</i> 2020 (117)	11 janvier 2020 au 19 mars 2020	Pays (182) et territoires de la Chine	T de surface moy. durant le mois de février (image satellitaire)	ND	< 25	ND	Non	(-)	ND	Non
Zuo <i>et al.</i> 2020 (111)	22 janvier 2020 au 18 mars 2020	31 villes chinoises	ND	HR	ND	ND	Oui	(+) pour le taux de guérison. Pas d'association avec le taux d'incidence et la mortalité	(+) pour le taux de guérison. Pas d'association avec le taux d'incidence et la mortalité	Oui

* Valeurs des auteurs rapportées en F.

† Valeurs des auteurs rapportées en K.

min. Minimale.

moy. Moyenne.

max. Maximale.

‡ ND Non disponible.

§ NS Non significative.

¶ UA Unités absolues.

(-) Relation négative.

(+) Relation positive.

Annexe 6

**Études écologiques associant la transmission
de la COVID-19 à la température ou à l'humidité
relative ou absolue et la pollution**

Tableau 5 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température ou à l'humidité relative ou absolue et la pollution

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateur(s) de T choisi(s)	Indicateur(s) d'H choisi(s)	Intervalles étudiés		Latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Bolaño-Ortiz <i>et al.</i> 2020 (125)	1 ^{er} avril 2020 au 31 mai 2020	Villes (10) de différents pays du continent – Amérique latine et Caraïbes	T journalière (min., moy., max.)	HR	4,64 à 35	16,43 à 92,68 %	Déterminée par le modèle	(-) pour les 5 villes au climat plus tempéré, NS [†] pour les autres au climat plus tropical	(+) pour 4 villes, (-) pour 3 villes et 1 ville juste pour l'incidence journalière de cas	Oui
Dragone <i>et al.</i> 2021 (126)	1 ^{er} février 2020 au 31 mars 2020	Région de la Lombardie et ses 12 provinces	T journalière (calcul ND)	HR	4 à 8	75 à 85 %	Oui	ND	ND	Oui
Gautam <i>et al.</i> 2021 (127)	Janvier 2020 à août 2020	Régions de l'Inde	ND [†]	HR	ND	ND	Non	Données brutes ne montrent pas de réelle tendance, auteurs font association (-)	(+)	Oui
Kumar 2020 (128)	1 ^{er} mars 2020 au 31 mai 2020	Régions de l'Inde	T de surface (images radar)	HR et HA	22 à 32	HR = 30 %-42 % et HA = 9 à 11,5 g/m ³	Non	(+)	(-)	Non
Lu <i>et al.</i> 2021 (129)	20 janvier 2020 au 29 février 2020	Villes de Chine (41)	T moy. journalière	HR	-22,5 à 23	9,3 à 100 %	Déterminée par le modèle	NS (autocorrélation avec T)	NS (autocorrélation avec T)	Oui
Mulder <i>et al.</i> 2020 (130)	Jusqu'au 23 décembre 2020	Italie – 69 cités et 13 villes	ND	ND	ND	ND	Non	(-)	ND	Oui
Sahoo 2021 (131)	30 janvier 2020 au 23 avril 2020	32 États de l'Inde	T moy. journalière	HR et HA	0,52 à 29,65	HR = 3,94 à 68,93 % et HA = 0,11 à 2,83 g/m ³	Déterminée par le modèle	(+)	(-)	Oui

Tableau 5 Études écologiques associant la transmission de la COVID-19 à la température ou à l'humidité relative ou absolue et la pollution (suite)

Auteurs (année)	Période d'étude	Échelle écologique	Indicateur(s) de T choisi(s)	Indicateur(s) d'H choisi(s)	Intervalles étudiés		Latence	Relation observée		Analyses statistiques
					T (°C)	H		Avec la T	Avec l'H	
Sanchez-Lorenzo <i>et al.</i> 2021 (132)	Jusqu'au 26 mars 2020	Europe - Échelle macro (atmosphérique)	Moy. mensuelle des T de surface à 2 m pour les T max., moy. et min.	H spécifique et HR	ND, selon figure 4 : 8 à 16	ND, selon figure 4 : 5 à 8,7 g/kg-1	Non	(-)	(-)	Non
Sangkham <i>et al.</i> 2021 (133)	1 ^{er} janvier 2020 au 30 mars 2020	Ville (Bangkok)	T journalière moy.	HR et HA	27,14 à 30,71	HR = 39,33 % à 90,28 % et HA = 10,86 à 23,19 g/m ³	Non	(+)	(+)	Oui
Vuong <i>et al.</i> 2020 (134)	Jusqu'au 30 avril 2020	Ville (Bangkok)	T moy. journalière sur une base horaire	HR	ND, T moy. : 8 à 10	Non précisée - HR moy. 58 %	Déterminée par le modèle	(-) perte de l'association avec latence de 14 jours	(-)	Oui
Xu H. <i>et al.</i> 2020 (135)	29 janvier 2020 au 15 février 2020	Pays (Chine) - 33 villes	T moy. journalière sur une base horaire	HR	Classification par classes de - 20 à 24,9	Classification par groupe de 10 % à 100 % HR	Déterminée par le modèle	(+) T < 20, association (+) un peu moins forte T entre 20-24	(-)	Oui
Yao <i>et al.</i> 2020 (136)	Janvier à mars 2020 (date précise non disponible)	Chine (nombre de villes non précisé)	T moy. journalière	HR	-13,17 à 19	23,33 % à 82,6 %	Non	(+)	(+)	Oui
Zoran <i>et al.</i> 2021 (137)	1 ^{er} janvier 2020 au 25 avril 2020	Ville (Milan)	T journalière moy.	HR	ND, selon figure 4 : 4,7 à 18,8	ND, selon figure 4 : 23 % à 92 %	Non	(+)	(-)	Oui

min. : Minimale.
 moy. : Moyenne.
 max. : Maximale.
 † ND : Non disponible.
 ‡ NS : Non significative.

(-) : Relation négative.
 (+) : Relation positive.

Annexe 7

**Caractéristiques et résultats des études expérimentales
portant sur la persistance des virus sur les fomites**

Tableau 6 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus sur les fomites

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Type de surface	Solution†	Inoculum viral	Principaux constats
Ben-Shmuel <i>et al.</i> 2020 (72)	SRAS-CoV-2	H et L	22 40 50 60 70	50	Plastique Métal	Milieu de culture‡	1 X 10 ⁶ UFP§	Le SRAS-CoV-2 conserve plus longtemps sa capacité de réplication à 22 °C qu'aux températures plus élevées. La perte de cette capacité de réplication est plus rapide pour les virus déposés sur le métal que sur le plastique. Des échantillons de surface prélevés dans un hôpital et une unité de quarantaine contenaient de l'ARN de SRAS-CoV-2, mais aucun virus infectieux.
Biryukov <i>et al.</i> 2020 (145)	SRAS-CoV-2	L	24 28 35	20 40 60 80	Acier inoxydable Gants en nitrile Plastique (ABS)	Salive	ND¶	La capacité de réplication du SRAS-CoV-2 sur de l'acier inoxydable et du plastique diminue lorsque la température ou l'humidité relative augmente de façon individuelle ou concomitante.
Biryukov <i>et al.</i> 2021 (146)	SRAS-CoV-2	L	54,5	20	Acier inoxydable	Salive	ND	Pour des environnements susceptibles d'atteindre une température de 54,5 °C (par exemple : véhicules stationnés à l'extérieur en été), une réduction importante de la capacité de réplication des virus déposés sur les surfaces pourrait être observée en moins d'une heure.
Campos <i>et al.</i> 2020 (147)	SRAS-CoV-2	L	25 60 75 85 95	60 100	Tissu <i>meltblown</i>	Milieu de culture	8 X 10 ⁵ UFP	Une inactivation supérieure du SRAS-CoV-2 a été obtenue en 20 à 30 minutes à 75-85 °C et à une humidité relative de 100 %.
Castrica <i>et al.</i> 2021 (176)	SRAS-CoV-2 [¶]	L	24	65	Emballages alimentaires (polystyrène et polyéthylène)	Milieu de culture	4,88 X 10 ⁶ copies d'ARN	L'ARN viral est détecté plus longtemps sur le polyéthylène que sur le polystyrène. La détection persiste jusqu'à 72 heures aux conditions testées.
Fedorenko <i>et al.</i> 2020 (153)	Phi6 PhiX174 MS2	L	25	23 43 57 78	Verre	H ₂ O stérile Salive humaine	5 X 10 ⁴ UFP	La capacité de réplication des virus sur des surfaces n'est pas entièrement tributaire de l'humidité relative et du niveau d'hydratation des particules déposées. La composition du milieu de suspension viral pourrait expliquer une partie du maintien de la capacité de réplication.

Tableau 6 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus sur les fomites (suite)

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Type de surface	Solution [†]	Inoculum viral	Principaux constats
Haddow <i>et al.</i> 2020 (152)	SRAS-CoV-2	L	4 22	S. O. [‡]	Piments jalapeños Pommes Tomates	ND	ND	La contamination d'aliments par du SRAS-CoV-2 ne semble pas suffisante pour permettre une transmission virale par l'entremise des fomites alimentaires (fruits et légumes).
Harbourt <i>et al.</i> 2020 (148)	SRAS-CoV-2	L	4 22 37	40-50	Billets de banque Peau de porc Tissu de tenue médicale	Milieu de culture	3,16 X 10 ⁴ UFP	La capacité de réplication du SRAS-CoV-2 est mieux conservée à basse température (4 °C). Le virus conserve également sa capacité de réplication plus longtemps sur la peau de porc et les billets de banque comparativement au tissu.
He <i>et al.</i> 2021 (159)	S. O.	L	22	25 40 60	Acier inoxydable Cuivre Polypropylène Verre Verre enduit d'un revêtement hydrophobe	H ₂ O distillée	S. O.	Des résidus laissés sur les surfaces lors du séchage des gouttes sont observés, même à des humidités relatives supérieures à 40 % et pour des particules de moins de 20 µm.
Kwon <i>et al.</i> 2021 (149)	SRAS-CoV-2	L	21 25 13 5	60 70 66 75	Acier galvanisé Acier inoxydable Béton Caoutchouc Carton Gants de nitrile Masques N95 Mousse de polystyrène Polypropylène Tissu Tyvek Verre	Milieu de culture	5 X 10 ⁴ TCID ₅₀	La résistance du SRAS-CoV-2 sur des surfaces est plus importante en conditions hivernales et printanières-automnales qu'en conditions estivales.
Liu <i>et al.</i> 2021 (21)	SRAS-CoV-2	R et A	TP [°] TF [°]	85-95 20-40	Surfaces inanimées	S. O.	S. O.	De l'ARN viral de SRAS-CoV-2 a été détecté sur des surfaces tant à TP (appartement, magasin à rayons) qu'à TF (emballages alimentaires).
Magurano <i>et al.</i> 2021 (150)	SRAS-CoV-2	L	20-25 28	35-45	Polypropylène	ND	6,31 X 10 ⁴ TCID ₅₀	La perte de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 est plus importante et plus rapide à 28 qu'à 20-25 °C, suggérant une baisse de transmission lors de températures plus chaudes.

Tableau 6 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus sur les fomites (suite)

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Type de surface	Solution†	Inoculum viral	Principaux constats
Morris <i>et al.</i> 2021 (18)	SRAS-CoV-2	L	10 22 27	40 65 85	Polypropylène	Milieu de culture	5 X 10 ³ TCID ₅₀	Les résultats des expériences et du modèle mécanistique montrent que la perte de la capacité de réplication du SRAS-CoV-2 est plus importante au fur et à mesure que la température augmente et qu'elle suit une courbe en U pour l'HR.
Riddell <i>et al.</i> 2020 (151)	SRAS-CoV-2	L	20 30 40	50	Acier inoxydable Billets de banque Coton Verre Vinyle	Matrice organique	3,38 X 10 ⁵ TCID ₅₀	Le SRAS-CoV-2 conserve sa capacité de réplication pendant 28 jours sur des surfaces non poreuses à 20 °C, alors qu'il la perd au bout de 24 heures à 40 °C.
Rockey <i>et al.</i> 2020 (154)	MS2 Phi6 MHV ⁹ Influenza A H3N2	L	72 82	1 13 25 36 48 71 89	Masques N95	Solution tamponnée Milieux de culture Salive humaine	5 X 10 ⁸ UFP (MS2 et Phi6) 5 X 10 ⁴ UFP (MHV) 5 X 10 ⁵ TCID ₅₀ (Influenza)	La réduction de la capacité de réplication virale était plus élevée à des humidités relatives > 50 % pour MS2 et Phi6 et à des humidités relatives > 25 % pour le MHV et l'influenza. L'inactivation était également plus importante pour les virus suspendus dans les milieux de culture que dans les autres solutions testées.
Seif <i>et al.</i> 2021 (22)	SRAS-CoV-2	H	24-32	44-48	Surfaces environnementales touchées fréquemment	S. O.	S. O.	De l'ARN viral de SRAS-CoV-2 a été détecté sur de multiples surfaces dans différentes sections d'un hôpital.
Sharma <i>et al.</i> 2021 (19)	SRAS-CoV-2 VLP ^Δ	L	22 34	S. O.	Verre	Solution tamponnée	ND	La dégradation des VLP déposées sur des surfaces est plus lente à 22 qu'à 34 °C. Une persistance accrue du SRAS-CoV-2 pourrait ainsi être observée dans les environnements intérieurs ou à l'extérieur lors des saisons plus froides.
Welch <i>et al.</i> 2021 (155)	HCoV-229E MHV	L	50 70	S. O.	Matériaux d'imprimante 3D	ND	≈ 10 ³ TCID (HCoV-229E) ≈ 10 ³ TCID (MHV)	Tous les virus déposés sur les matériaux testés sont inactivés par un traitement thermique (70 °C) de 30 minutes.

Tableau 6 Caractéristiques et résultats des études expérimentales portant sur la persistance des virus sur les fomites (suite)

Auteurs (année)	Virus	Milieu	T (°C)*	HR (%)*	Type de surface	Solution†	Inoculum viral	Principaux constats
Whitworth <i>et al.</i> 2020 (156)	Phi6	L	18 26	20 57	Acier inoxydable Plastique (PVC) Tissus de polyester	Fluide corporel simulé [¶]	10 ⁴ UFP	Pour tous les types de surfaces testés, le taux de décroissance de Phi6 était plus rapide à une humidité relative de 57 % qu'à 20 %.
Xiang <i>et al.</i> 2020 (157)	Influenza H1N1	L	60 70	S. O.	Masques chirurgicaux Masques N95	Milieu de culture	ND	Un traitement thermique (60 ou 70 °C) d'une heure, appliqué sur des masques, est suffisant pour inactiver l'influenza déposée sur ceux-ci.
Xie <i>et al.</i> 2020b (158)	SRAS-CoV-2 (<i>spike protein</i>)	L	23 37	S. O.	Acier inoxydable Or Polystyrène Verre	Solution tamponnée	S. O.	Les spicules adhèrent mieux sur le polystyrène, suivi par l'acier inoxydable, l'or et le verre. L'adhésion est également beaucoup plus forte à 37 qu'à 23 °C.

* Valeurs rapportées par les auteurs.

† Solution : Solution de suspension virale.

‡ Milieu de culture présumé.

§ UFP : Unité formatrice de plage de lyse.

¶ ND Non disponible.

⊘ Lysat viral inactivé par la chaleur.

∨ S. O. : Sans objet.

◻ TP : Température de la pièce.

⊗ TF : Température froide.

◊ MHV : *Murine hepatitis virus* ou virus de l'hépatite murine.

△ VLP : *Virus-like particles*.

¶ Fluide corporel simulé : Solution préparée avec du tampon de phages (NaCl, MgSO₄·7H₂O, Tris-Cl [1 M, pH 7,5]) contenant 20 % de sol artificiel composé d'albumine, d'hémoglobine, de glucides, de cellulose et de lipides.

A Autres.

H Hôpitaux.

L Laboratoire.

R Résidentiel.

Annexe 8

**Caractéristiques et résultats des études
de modélisation portant sur la persistance
des virus sur les fomites**

Tableau 7 Caractéristiques et résultats des études de modélisation portant sur la persistance des virus sur les fomites

Auteurs (année)	Virus	T (°C)*	HR (%)*	Type de surface	Principaux constats
Bhardwaj et Agrawal 2020 (161)	S. O.†	10 25 40	10 90	Verre Bois Acier Coton Écran tactile	Une augmentation de la température ambiante réduit considérablement le temps d'évaporation (d'environ 50 % pour une augmentation de 15 °C de la température) sur une surface solide. L'humidité relative a un effet important sur le temps d'évaporation. Le temps d'évaporation d'une particule est presque multiplié par sept lorsque l'humidité relative passe de 10 à 90 %.
Guillier <i>et al.</i> 2020 (162)	Alphacoronavirus Betacoronavirus	4-68	0-100	Surfaces non poreuses sans propriétés antimicrobiennes	L'impact de l'humidité relative semble être beaucoup moins important que celui de la température. La réduction obtenue pour l'infectiosité du virus, lorsqu'on augmente l'humidité relative de 80 % est équivalente à une augmentation de la température de 10 à 15 °C ou de 60 à 61 °C.
Kumar 2021 (163)	S. O.	20-70	10-100	Surfaces mouillables hydrophiles à hydrophobes	Le temps de survie du virus est presque cinq fois plus long dans des conditions très humides (HR = 90 %) que dans des conditions sèches (HR = 10 %).
Morris <i>et al.</i> 2021 (18)	SRAS-CoV-2	0-40	0-100	S. O.	L'inactivation du virus est devenue notablement plus rapide à mesure que la température augmentait pour toutes les humidités relatives. Le taux d'inactivation semble avoir une relation en forme de U par rapport à l'humidité relative. Quelle que soit la température, l'inactivation du virus était relativement rapide à 65 % d'humidité relative et avait tendance à être plus lente à une humidité relative plus faible ou plus élevée.
Yap <i>et al.</i> 2021 (160)	SRAS-CoV-2	NR‡	NR	NR	Pour une même température diurne journalière, des variations plus importantes de température dans la journée réduiraient la persistance du virus dans l'air extérieur. D'après les auteurs, les différences de cas observées dans différentes villes américaines pourraient être expliquées par ces variations.

* Valeurs rapportées par les auteurs.

† S. O. : Sans objet.

‡ NR : Non rapporté.

Annexe 9

**Caractéristiques et résultats des études portant
sur les effets physiologiques de réponse immunitaire**

Tableau 8 Caractéristiques et résultats des études portant sur les effets physiologiques de réponse immunitaire

Auteurs (année)	Virus	Type d'étude	T (°C)*	HR (%)*	Modèle	Principaux constats
Courtney et Bax 2020 (65)	S. O.†	L	8 22 37	13 27 14	S. O.	Lorsqu'il est porté, le masque absorbe graduellement l'humidité relative de l'air expiré. L'air inspiré devient ainsi plus humide, peu importe le type de masque utilisé.
Kudo <i>et al.</i> 2019 (20)	Influenza A	L	20	10 20 50	Murin	Les souris infectées par l'influenza A et exposées à une basse humidité relative (10-20 %) présentent des symptômes plus graves de la maladie, caractérisée par une diminution de la CMC, de la résistance antivirale et de la réparation épithéliale, en plus de soutenir une dissémination virale accrue et de subir des dommages tissulaires.
V'Kovski <i>et al.</i> 2021 (173)	SRAS-CoV-1 SRAS-CoV-2	L	33 37	S. O.	Cellulaire	Le SRAS-CoV-2 se réplique mieux à 33 qu'à 37 °C, ce qui correspond à la température du tractus respiratoire supérieur. Une réplication 10 fois plus élevée est obtenue avec le SRAS-CoV-2 comparativement au SRAS-CoV-1.
Xu <i>et al.</i> 2021 (174)	S. O.	M	10 25 25	30 60 90	Mathématique	La croissance accrue des particules due à la sursaturation des voies respiratoires en période de froid et de sécheresse facilite leur déposition et, par conséquent, pourrait favoriser l'infection.

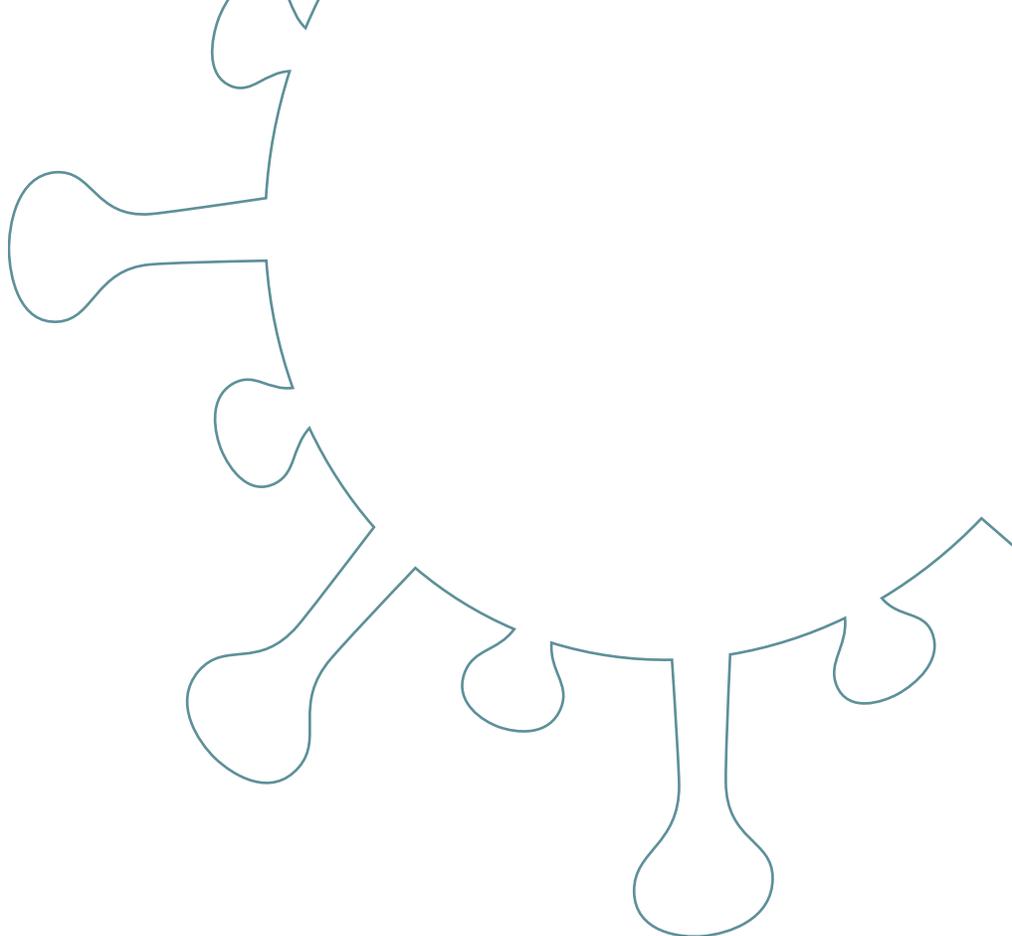
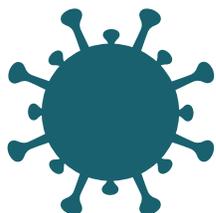
* Valeurs rapportées par les auteurs.

† S. O. : Sans objet.

L Laboratoire.

M Modélisation.

Centre d'expertise
et de référence



www.inpsq.qc.ca

*Institut national
de santé publique*

Québec

