



Mesures de contrôle environnementales visant à prévenir la transmission de *r é à Ę é ÿ* *à ÿ é* en milieu intérieur au Nunavik

ANNEXES

Mesures de contrôle environnementales visant à prévenir la transmission de *Mycobacterium tuberculosis* en milieu intérieur au Nunavik

ANNEXES

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Octobre 2014

AUTEURS

Patrick Poulin, Ph. D., conseiller scientifique

Marie-Hélène Bourgault, M. Sc., conseillère scientifique

Jean-Marc Leclerc, M. Sc., conseiller scientifique

Pierre Chevalier, Ph. D., conseiller scientifique

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

AVEC LA COLLABORATION DE

Pierre Lajoie, M.D. FRCPC, médecin-conseil

Benoit Lévesque, M.D. FRCPC, médecin-conseil

Denis Gauvin, M. Sc., conseiller scientifique

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

RÉVISEURS

Don Fugler, consultant spécialiste en qualité de l'air intérieur

Daniel Forest, consultant spécialiste en ventilation

Marc Dionne, directeur scientifique

Direction de risque biologique et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

Vicky Huppé, agente de planification, de programmation et de recherche

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

MISE EN PAGE

Julie Colas, agente administrative

Direction de santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Vicky Tessier, bibliothécaire à l'INSPQ pour son support lors de l'élaboration et l'application de la stratégie de recherche documentaire ainsi qu'à Maryse Beaudry, agente d'information à l'Institut, pour ses commentaires concernant la mise en forme.

La revue de la littérature scientifique et technique est disponible à l'adresse suivante :

www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1948_Mesures_Prevenir_Micobacterium_Tuberculosis.pdf.

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 – 1^{er} TRIMESTRE 2015
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-72416-2 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2015)

Table des matières

Annexe 1	Bases de données et stratégie de recherche	1
Annexe 2	Taille des bacilles de tuberculose.....	5
Annexe 3	Normes et lignes directrices canadiennes et américaines concernant les mesures de gestion environnementales des infections aérogènes dans les établissements de santé	9
Annexe 4	Analyse détaillée des systèmes localisés	17
Annexe 5	Efficacité minimale des filtres selon la codification MERV (<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>)	25
Annexe 6	Propagation de l'infection et évaluation de l'efficacité des mesures de contrôle.....	29
Annexe 7	Exemples de dispositifs de filtration portable HEPA et de leurs principales caractéristiques techniques	35

Annexe 1

Bases de données et stratégie de recherche

Bases de données :

- Périodiques électroniques ~ Forfait Total Access Collection
- EBM Reviews - Cochrane Database of Systematic Reviews <2005 to January 2014>
- EBM Reviews - ACP Journal Club <1991 to February 2014>
- EBM Reviews - Database of Abstracts of Reviews of Effects <1st Quarter 2014>
- EBM Reviews - Cochrane Central Register of Controlled Trials <January 2014>
- EBM Reviews - Cochrane Methodology Register <3rd Quarter 2012>
- EBM Reviews - Health Technology Assessment <1st Quarter 2014>
- EBM Reviews - NHS Economic Evaluation Database <1st Quarter 2014>
- Embase <1980 to 2014 Week 09>
- Ovid MEDLINE(R) <1946 to February Week 3 2014>
- Ovid MEDLINE(R) In-Process & Other Non-Indexed Citations <March 04, 2014>, Global Health <1973 to 2014 Week 08>

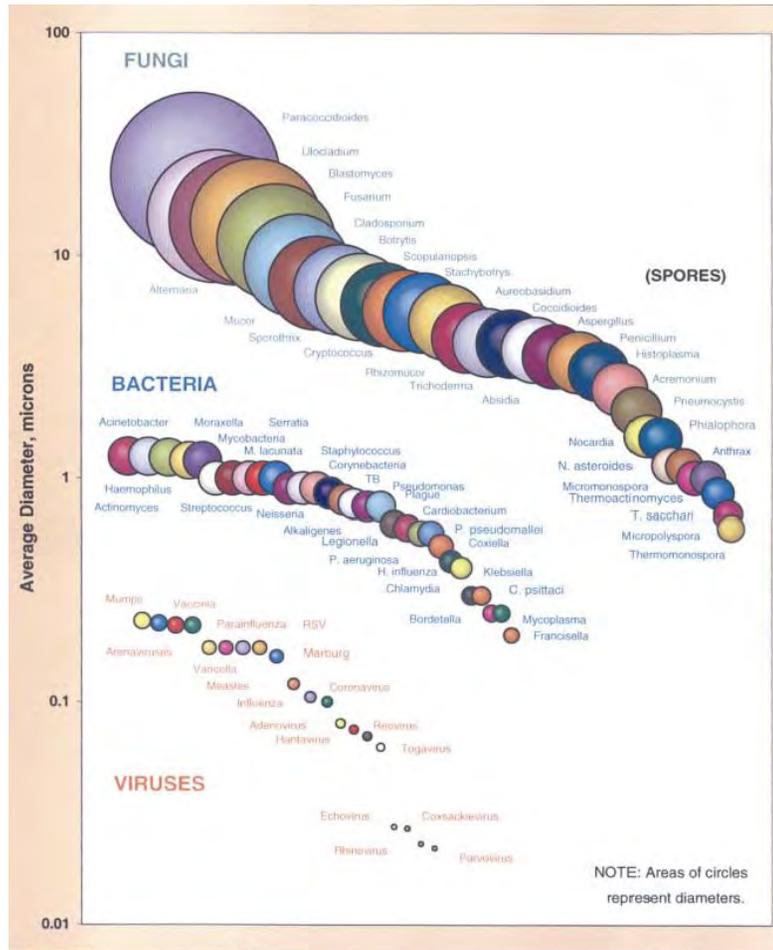
Stratégie de recherche :

1. (tuberculos#s or ((pulmonary or lung*) adj tuberculous)).ti,ab. (332993)
2. tuberculosis/pc, tm or tuberculosis, pulmonary/pc, tm (17792)
3. tuberculosis/ or lung tuberculosis/pc (175901)
4. exp mycobacterium tuberculosis/ (118890)
5. 2 or 3 or 4 (244399)
6. ((indoor or in-door or room* or ambient or home* or dwelling* or house* or residential or residence* or abode* or habitation*) adj1 air).ti,ab. (42801)
7. air pollution, indoor/pc (2787)
8. ambient air/ or indoor air pollution/ (34040)
9. indoor air pollution/ (21202)
10. 7 or 8 or 9 (34040)
11. (((apartment* or home* or house* or housing* or residential or building* or indoor or in-door) adj3 (ventilation or ventilating or ventilator* or "air cleaner*" or "air intake" or "air conditioning" or airconditioning or ("indoor air" adj2 distribution) or "fresh-air intake" or "air exchange")) or ((mobile or portable) adj "air cleaner*")).ti,ab. (3820)
12. Ventilation/ (20483)
13. air conditioning/ or room ventilation/ (18716)
14. ventilation/ or artificial ventilation/ or air conditioning/ (103562)
15. 12 or 13 or 14 (104658)
16. 5 and 10 and 15 (34)
17. 1 and 6 and 11 (18)
18. 16 or 17 (51)
19. remove duplicates from 18 (37)

Annexe 2

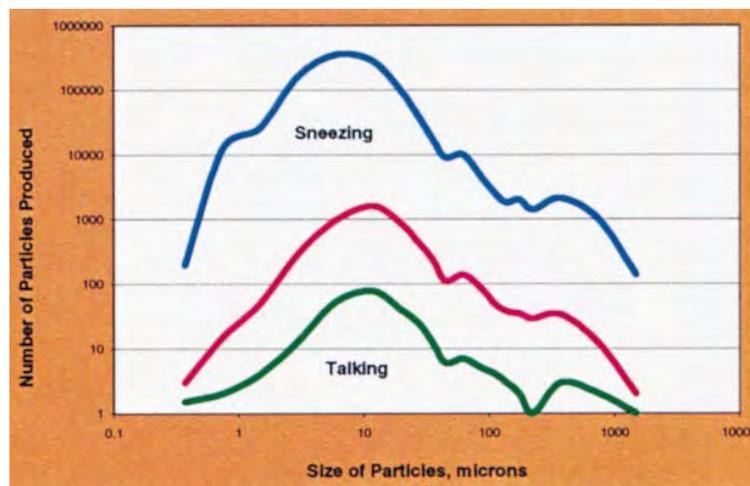
Taille des bacilles de tuberculose (tirée de Kowalski et Bahnfleth, 1998)

Figure 1A Taille des bacilles de tuberculose



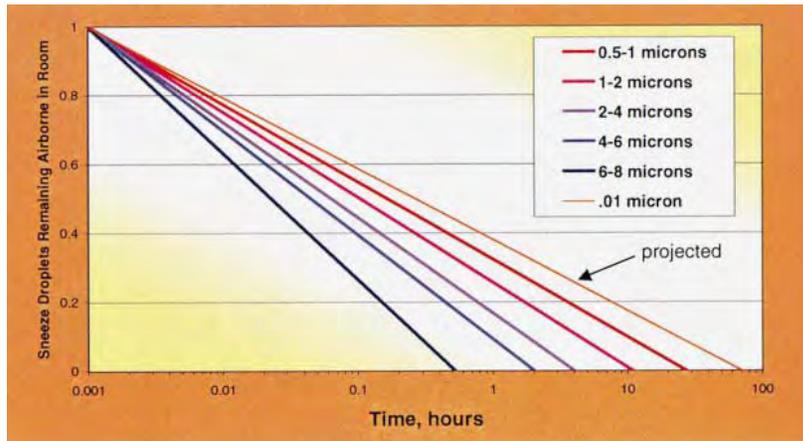
Tirée de Kowalski et Bahnfleth, 1998.

Figure 2A Distribution de taille des gouttelettes aéroportées projetées



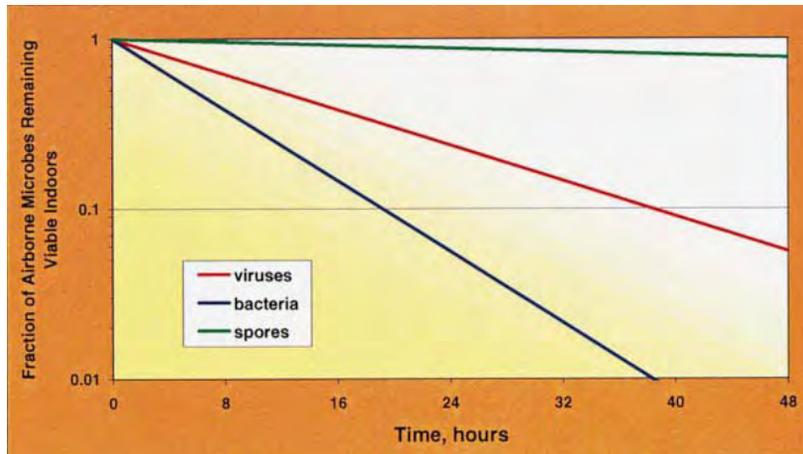
Tirée de Kowalski et Bahnfleth, 1998.

Figure 3A Temps de suspension des gouttelettes aérosolisées



Tirée de Kowalski et Bahnfleth, 1998.

Figure 4A Période de viabilité des micro-organismes dans l'air intérieur



Annexe 3

**Normes et lignes directrices canadiennes
et américaines concernant les mesures
de gestion environnementales des infections
aérogènes dans les établissements de santé**

Au Canada, comme aux États-Unis, il existe un cadre normatif pour encadrer la prise en charge des mesures de prévention et de lutte contre les infections aérogènes telles la tuberculose, dans les établissements de santé, notamment par le biais de mesures environnementales (ACN, 2010; ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008). Celles-ci sont généralement présentées sous forme de normes appliquées à différentes aires de services (urgence, salle d'attente, salle d'opération, zone de soins généraux, salle d'isolement, etc.). En plus des services gouvernementaux communément impliqués dans la gestion des risques sanitaires, plusieurs organismes émettent leurs propres lignes directrices, souvent à partir de normes et critères existants et d'éléments complémentaires rattachés aux champs d'expertises de ces organismes.

Afin de simplifier l'analyse des informations retenues, seules les principales normes et lignes directrices appliquées aux aires d'isolement (ou chambres d'isolement) des milieux hospitaliers seront présentées. Bien que ces recommandations soient relativement plus strictes que celles émises pour les aires d'attentes ou de soins généraux, elles constituent des mesures jugées protectrices pour les professionnels, occupants et usagés de ces milieux. Il est à noter que les différences observées entre les recommandations émises par les organismes cités tiennent compte des résultats des évaluations de risque réalisées par ces dernières, de même que de certains aspects en lien avec le contexte d'application (Menzies et Wong, 2013). À cet effet, Hyttinen *et al.*, (2011) ont effectué une intéressante revue de littérature portant sur les études expérimentales ayant été menées dans les chambres d'isolement. Ces expériences constituent le corpus de connaissances sur lesquelles se sont notamment appuyés les organismes présentés ci-dessous pour édicter leurs recommandations.

Association canadienne de normalisation (ACN)

L'ACN (2010) a publié une norme intitulée : Système de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air (CVCA) dans les établissements de santé : exigences particulières (norme Z317.2-10). Cette norme, qui précise les exigences relatives aux chambres d'isolement pour contrer la propagation des infections aérogènes telles la tuberculose, est précisée en plusieurs volets.

En premier lieu, l'organisme recommande que les chambres d'isolement soient pourvues d'un système qui maintient un gradient de pression négative de 7,5 Pascal (Pa) en comparaison au couloir adjacent¹. De plus, l'ACN recommande que toutes les chambres d'isolement soient pourvues d'un vestibule afin de faciliter le maintien du gradient de pression. La pression différentielle observée entre le couloir et le vestibule ainsi qu'entre le vestibule et la chambre ne devrait pas être inférieure à 2,5 Pa. De plus, si cette pression différentielle ne rencontre plus les valeurs prescrites, un avertisseur automatique devrait s'enclencher. Il devrait être en mesure de signaler toutes dysfonctions du système tant aux usagers de la chambre d'isolement qu'aux personnes occupant des aires situées immédiatement à l'extérieur de celle-ci ainsi qu'aux infirmières en service au poste de surveillance.

Afin de faciliter l'établissement et le maintien du gradient de pression requis, l'étanchéité des chambres d'isolement devrait être supérieure à celle des chambres conventionnelles. La température des chambres d'isolement devrait se situer entre 22 à 24 °C, et le taux d'humidité relative entre 30 et 60 %. Les chambres d'isolement devraient être aménagées de manière à ce que l'air circule de façon directionnelle; d'abord dans les secteurs où les travailleurs et les visiteurs sont susceptibles de se trouver, puis vers le ou les patients, pour ensuite s'écouler vers la sortie d'évacuation. Le système de ventilation attaché à la chambre d'isolement ne devrait pas différer de celui opérant dans la salle de

1 La direction de l'écoulement de l'air dans une chambre à pression négative s'effectue depuis les aires adjacentes vers l'intérieur de celle-ci.

bain attenante. Par ailleurs, l'ACN (2010) recommande également d'installer une trappe d'évacuation à faible débit près de la tête des lits des patients hospitalisés. La totalité de l'air provenant de la chambre d'isolement devrait être évacuée verticalement, à l'extérieur du bâtiment, à une hauteur minimale de 3 mètres au-dessus du toit et à une distance d'au moins 25 mètres d'une prise d'air du système de ventilation.

Toujours selon l'ACN (2010), une ventilation minimale de 12 CAH devrait être maintenue dans la chambre d'isolement, et celle-ci devrait inclure au moins 3 changements d'air frais à l'heure. Lorsque le système de ventilation centralisé en place ne permet pas d'atteindre ces prescriptions (notamment en raison de l'âge ou de la conception du bâtiment), des unités fixes ou portables de filtration HEPA peuvent temporairement être installées dans les chambres d'isolement. Toutefois, l'ACN (2010) ne recommande pas que ce type d'appareil de filtration soit installé de façon permanente, car cela pourrait compromettre le rendement du système de ventilation centralisé. Dans le contexte où les gestionnaires d'un établissement de santé auraient recours à de telles unités de filtration, celles-ci devraient être installées à bonne distance de la porte d'accès, près de la tête de lit du patient, et être inspectées régulièrement afin de s'assurer du fonctionnement adéquat. Il est également recommandé aux gestionnaires concernés d'établir des procédures relatives au remplacement des filtres et à la mise hors service des unités après chaque utilisation.

Enfin, lorsque la recirculation de l'air dans la chambre d'isolement s'avère incontournable, ou lorsqu'un risque de contamination des aires ventilées adjacentes persiste, l'intégration de filtres HEPA dans les conduits de système centralisé est recommandée. Bien entendu, ces éléments devront faire l'objet d'un plan d'entretien préventif. Ainsi, l'ACN (2010) recommande de procéder à une inspection visuelle périodique des filtres (1 fois par mois au minimum), tout en soulignant que ces derniers ne devraient pas demeurer en service pour une durée de plus de 36 mois consécutifs (ACN, 2010). Tant l'inspection que le remplacement des filtres devraient être effectués par des techniciens compétents.

American National Standards Institute (ANSI), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association (ASHE)

En collaboration avec des experts de l'ASHRAE et de l'ASHE, l'ANSI² a publié, en 2008, une norme concernant la ventilation pour les chambres d'isolement pour contrer la propagation des infections aérogènes dans le document *ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008 Ventilation of Health Care Facilities* (ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008). De façon générale, cette norme comprend les mêmes exigences que la norme canadienne CSA Z317.2-10, avec certaines spécificités et orientations particulières.

Ainsi, le nombre de changements d'air frais recommandé par l'ANSI/ASHRAE/ASHE est de 2 plutôt que 3. On recommande que le conduit d'évacuation de l'air vicié provenant des chambres d'isolement soit placé à une distance minimale de 3 mètres de la surface du toit ainsi qu'à au moins 3 mètres de toute prise d'air; contrairement à 25 mètres pour la norme de l'ACN (2010). Par ailleurs, la norme américaine spécifie que cette distance minimale de 3 mètres devrait également s'appliquer à toutes les fenêtres ou portes ouvrables ainsi qu'à tous les espaces normalement accessibles au public ou aux travailleurs d'entretien qui se situeraient à proximité du conduit d'évacuation. Enfin, à l'instar de la norme canadienne, la norme américaine exige que tout système de ventilation centralisé qui permettrait une recirculation de l'air provenant de chambres d'isolement soit muni de conduits

² L'ANSI est un organisme américain analogue à l'association canadienne de normalisation.

intégrant des filtres HEPA. Finalement, la norme américaine ne fait aucune mention de dispositions au regard de l'utilisation d'unités de filtration HEPA fixes ou portables.

Autres lignes directrices

Plusieurs organismes canadiens et américains ont émis des lignes directrices concernant des mesures de gestion environnementales destinées aux chambres d'isolement situées en milieu hospitalier (INSPQ, 2013; MSSS, 2012; Menzies et Wong, 2013; CDC, 2005; FGI, 2010; FJCNTC, 2007; OSHA, 1996). Ces lignes directrices s'appuient largement sur les normes de l'ACN (2010) et de l'ANSI/ASHRAE/ASHE (2008), ou à leurs versions antérieures, mais certaines particularités ou précisions sont apportées par les différents organismes. Celles-ci sont résumées ci-dessous.

Tous les organismes consultés recommandent que les chambres d'isolement soient maintenues en pression négative par rapport aux espaces adjacents. De plus, le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS), dans son document *Principes généraux d'aménagement en prévention et en contrôle des infections nosocomiales* (MSSS, 2012), la société canadienne de thoracologie (SCT), l'association pulmonaire du Canada (APC) et l'Agence de santé publique du Canada (ASPC) dans leur document *Normes canadiennes pour la lutte antituberculeuse* (Menzies et Wong, 2013), les Centers for Disease Control and Prevention (CDC) américains dans leurs *Guidelines for preventing the transmission of M. Tuberculosis in health-care setting* (CDC, 2010), et le Facility Guidelines Institute des États-Unis dans ses *Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities* (FGI, 2010) précisent qu'une chambre d'isolement ne devrait accueillir qu'un seul patient à la fois. Il faut noter qu'en ce qui concerne ce dernier organisme, les auteurs s'appuient sur la norme ANSI/ASHRAE/ASHE (2008) en ce qui a trait aux autres mesures de gestion environnementales. Selon les organismes canadiens consultés (Menzies et Wong, 2013) et les CDC (2005), il est recommandé de surveiller la direction de l'écoulement de l'air à l'aide de tubes fumigènes si l'installation de moniteurs de pression électroniques n'est pas possible. L'Occupational Safety and Health Administration des États-Unis, dans son règlement *CPL 2.106 Enforcement Procedures and Scheduling for Occupational Exposure to Tuberculosis* (OSHA, 1996), mentionne également que le recours aux tubes fumigènes constitue une mesure minimale de surveillance de la pression négative devant être appliquée aux chambres d'isolement.

Afin de favoriser le maintien de la pression négative dans les chambres d'isolement, les fenêtres et les portes attenantes devraient être gardées fermées le plus souvent possible, car une ouverture pourrait entraîner une inversion du sens de l'écoulement de l'air (Menzies et Wong, 2013; CDC 2005). Il est également recommandé d'observer une période de latence suite au départ des patients infectés avant de permettre l'ouverture normale des portes et des fenêtres afin de permettre au(x) système(s) d'épuration de l'air intérieur de compléter l'inoculation des agents infectieux (Menzies et Wong, 2013; voir à cet effet le tableau 3, section 4.4, p. 18).

De son côté, Le Francis J. Curry National Tuberculosis Center (FJCNTC) de la Californie, dans son manuel intitulé *Tuberculosis infection control, a practical manual for preventing tuberculose*, ajoute que toutes les ouvertures présentes dans les chambres d'isolement (tels les fenêtres, les prises électriques ainsi que les joints entre les murs et le plafond) devraient être scellées adéquatement (FJCNTC, 2007). Cet organisme recommande également que les luminaires encastrés soient remplacés par des luminaires fixés à la surface des murs ou des plafonds, et que les tuiles poreuses soient remplacées par des tuiles de vinyle non poreuses. En effet, il a été constaté que le maintien des conditions de pression différentielle requises dans les chambres d'isolement situées en milieu hospitalier était en grande partie lié à l'étanchéité de l'enveloppe intérieure de ces espaces.

Autant l'ACN (2010), au Canada, que l'ANSI/ASHRAE/ASHE (2008) aux États-Unis exigent que la ventilation appliquée aux chambres d'isolement destinées aux patients atteints d'infection transmissible par voies aériennes atteigne 12 CAH, peu importe que le bâtiment soit neuf, ancien ou rénové. En revanche, la vétusté de certains systèmes de ventilation centralisés (voir leur absence) pourrait être une entrave à l'atteinte du seuil de ventilation prescrit. Conscients de ces limitations, d'autres organismes ont articulé des lignes directrices moins contraignantes pouvant être observées dans certains contextes à titre de mesure alternative. Ainsi, la Société canadienne de thoracologie (dans Menzies et Wong, 2013) préconise un taux de ventilation minimal de 6 CAH pour les anciens bâtiments et juge par ailleurs acceptable un taux de 9 CAH pour les nouveaux bâtiments, ce qui est considéré comme les valeurs de base par les auteurs des *Normes canadiennes pour la lutte antituberculeuse* (Menzies et Wong, 2013). Pour leur part, les CDC recommandent qu'une ventilation d'au moins 12 CAH soit maintenue dans les chambres d'isolement, mais jugent qu'une ventilation atteignant 6 CAH est acceptable pour ceux construits avant 1994 (CDC, 2005). Menzies et Wong (2013) soulignent d'ailleurs que toute augmentation du taux de ventilation d'un bâtiment est associée à une augmentation des coûts de construction et d'entretien du système de ventilation, et qu'une hausse de la ventilation au-delà de 12 CAH n'entraînerait pas une diminution proportionnelle du risque de transmission de *M. Tuberculosis*.

Tel que mentionné précédemment, les normes canadiennes et américaines (ACN, 2010; ANSI/ASHRAE/ASHE 2008) exigent que tout système de ventilation central qui contribue à la recirculation de l'air provenant de chambres d'isolement doive être muni de filtres HEPA. Toutefois, les CDC (2005) précisent que des unités HEPA fixes ou portables peuvent être installées directement dans les chambres d'isolement en mentionnant que leur présence pourrait affecter les apports d'air frais ou débalancer le système de dépressurisation en place. Par ailleurs, il faut rappeler que la norme canadienne ne recommande pas l'utilisation permanente d'unités HEPA fixes ou portables (ACN, 2010) directement dans les chambres d'isolement. De plus, les CDC (2005) précisent que les personnes chargées de l'entretien des filtres HEPA devraient porter une protection oculaire, un appareil respiratoire certifié minimalement de type N95, et des gants afin de se protéger contre les agents infectieux présents sur le filtre.

Enfin, les CDC (2005) mentionnent que le recours à un système d'irradiation germicide aux ultraviolets (IGUV) permettrait de purifier l'air ambiant des chambres d'isolement et d'obtenir une ventilation équivalente à 12 CAH. Ce système de purification de l'air peut s'avérer très efficace lorsqu'il est installé convenablement et de façon sécuritaire. L'organisme ne recommande toutefois pas que le système IGUV soit utilisé comme substitut aux dispositifs de filtration HEPA lorsqu'il y a recirculation de l'air de la chambre d'isolement. Le système IGUV peut être installé dans le conduit central de sortie d'air, fixé au mur de la chambre ou intégré à une unité portable, laquelle peut aussi contenir un filtre HEPA (CDC, 2005). L'installation et l'entretien des unités IGUV devraient être effectués par des personnes qualifiées, en raison notamment du risque pour la santé en lien avec l'exposition aux rayons UV (ex. : lésions oculaires; CDC, 2005).

Il importe de mentionner également que les lignes directrices canadiennes et californiennes (Menzies et Wong, 2013; FJCNTC, 2007) recommandent également le recours au système IGUV, mais pour des aires communes telles les salles d'attente des urgences d'hôpitaux qui sont à risque d'accueillir des patients tuberculeux. Le FJCNTC (2007) précise d'ailleurs que l'utilisation d'IGUV dans les chambres d'isolement apporterait peu de bénéfices au regard des autres mesures environnementales préconisées. Une synthèse des principales normes et recommandations présentées dans cette annexe est déclinée au tableau récapitulatif ici-bas.

Tableau récapitulatif des normes et lignes directrices relatives à la ventilation des chambres d'isolement des patients soupçonnés d'être atteints de tuberculose

Organisme	Système de pression négative	Différentiel de pression (Pa)	Étanchéité de la chambre d'isolement	Système VC sans recirculation	Distance sécuritaire de la sortie d'air à l'extérieur	CAH totaux minimal	HEPA VC**	HEPA portable ou fixe***	UV VC/plafond*
ACN (2010)	R	7,5	R	R	25 m	12	R	R; temporairement	NI
ANSI/ASHRAE/ASHE (2008)	R	2,5	R	R	3m	12	R	NI	NI
INSPQ (2013)	R	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
MSSS (2012)	R	2,5	NI	R	NI	NI	R	NI	NI
Menzies et Wong (2013)	R	NI	NI	R	NI	12 (selon ACN, 2010) 6 (AB) 9 (NB)	R	R	NR
CDC (2005)	R	2,5	R	R	NI	12 6 (AB avant 1994)	R	R	R
FJCNTC (2007)	R	NI	R	R	8 m	6-12 (selon CDC, 2005)	R	R	NR
OSHA (1996)	R	NI	NI	R	NI	NI	R	NI	NI

ACN : Association canadienne de normalisation; ANSI : American National Standards Institute ASHE : American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association; ASHRAE : American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers dans Facilities Guidelines Institute; ASPC : Agence de la santé publique du Canada; CDC : Centers for Disease Control and Prevention des États-Unis; FIG : Facility Guidelines Institute; FJCNTC : Francis J. Curry National Tuberculosis Center; INSPQ : Institut national de santé publique du Québec; OSHA : Occupational Safety and Health Administration.

AB : ancien bâtiment.

NB : nouveau bâtiment.

NI : donnée non indiquée.

NR : non-recommandé.

R : recommandé.

* Utilisation de lampe UV dans les conduits des systèmes de ventilation centralisés (VC) ou au plafond.

** Utilisation de filtre HEPA dans les conduits des systèmes de ventilation centralisés pour traiter l'air en recirculation.

*** Utilisation de petites unités de filtre HEPA pour traiter l'air de la chambre d'isolement.

Annexe 4

Analyse détaillée des systèmes localisés

Système de ventilation localisé

La ventilation localisée peut s'effectuer de différentes façons : 1) à l'aide d'un ventilateur à hélices (fixe ou portable); 2) par l'entremise d'un système qui tire l'air vicié de l'intérieur et qui délivre de l'air frais de l'extérieur à une pièce à un individu donné; 3) à l'aide d'un ventilateur extracteur d'air (ex. : hotte). Alors que ces systèmes permettent tous de diminuer la concentration d'agents pathogènes dans un espace donné, les deux premiers peuvent contribuer à étendre la contamination dans d'autres aires du bâtiment par mélange. D'autre part, ces deux premiers types de systèmes peuvent être utilisés pour créer des couloirs d'air non contaminés.

Les aires où les personnes devant être protégées de la contamination devraient se situer le plus près possible de la source d'air frais. De façon complémentaire, les personnes infectées devraient se trouver près d'une bouche d'évacuation ou d'une section inoccupée du bâtiment. L'objectif ciblé est de créer suffisamment de mouvement d'air pour évacuer les aérosols infectieux en dehors de la pièce pour engendrer un retour d'air frais (FJCNTC, 2007).

En ce qui a trait à l'utilisation d'un ventilateur d'extraction (tel que ceux couramment placés dans les cuisines et les salles de bain), ce type de dispositif peut également contribuer à évacuer des aérosols infectieux présents dans l'air intérieur. Bien entendu, ces systèmes doivent être employés le plus près possible des sources de contamination (FJCNTC, 2007). Les CDC (2005), l'ASHREA (2009) et le FJCNTC, (2007) mentionnent que les systèmes de ventilation localisés opérés où les sources infectieuses sont retrouvées pourraient limiter l'exposition potentielle des occupants au bacille de la tuberculose. Le rendement de cette technique nécessiterait cependant d'être mieux documenté (ASRAE, 2009).

Système à lampe UV

Le rayonnement ultraviolet de type C (UV-C; de longueur d'onde ($\lambda = 254$ nm) est reconnu létal pour la plupart des micro-organismes (Hassen-Khodja, 2007; EPA, 2009; CDC, 2009). Il existe un vaste consensus dans la communauté scientifique concernant l'efficacité des UV pour lutter contre la propagation de l'infection tuberculeuse (AAW, 2010; CDC, 2005; CDC, 2009; ASHRAE, 2009; MASSPE, 1996; Memarzadeh *et al.*, 2010; Nardell, 1993; Nardell, 2013; Riley et Nardell, 1993; Escombe *et al.*, 2009; ACSP, 2013) Selon les informations rapportées par Hassen-Khodja (2007), Memarzadeh, *et al.* (2010); le FJCNTC (2007); les CDC (2009) et l'EPA (2009), la performance de ce type de système serait étroitement liée à :

- la ventilation de la pièce traitée;
- l'emplacement de la lampe;
- l'intensité du rayonnement;
- le temps d'exposition des aérosols contaminés;
- l'humidité relative;
- la température;
- l'entretien des lampes.

On retrouve généralement deux types de dispositifs faisant appel à l'IGUV : les lampes suspendues et les lampes intégrées aux conduits des systèmes de ventilation portables (ou centralisés). En ce qui concerne le premier type, le FJCNTC (2007), Memarzadeh *et al.* (2010), le CDC (2009) et le MASSPE (1996) proposent certaines recommandations concernant l'installation des lampes UV. D'abord, bien que l'utilisation de systèmes intégrant une ou des lampes puisse être considérée dans la plupart des

milieux potentiellement contaminés et où la ventilation est inadéquate (ACSP, 2013; CDC, 2009), plusieurs auteurs et organismes consultés considèrent que l'IGUV devrait être utilisée comme un complément à la ventilation (ACSP, 2013, CDC, 2009; Nardell, 2013; FJCNTC, 2007; Memarzadeh *et al.*, 2010). Les lampes devraient être installées dans les locaux de plus de 8 pieds de haut (et placées à une hauteur idéale de 7 pieds du sol) et devraient être orientées vers le haut (ou munie de plaque protectrice) pour limiter l'exposition des occupants aux rayons UV. Il est important d'installer le système au centre de la pièce afin que l'irradiation soit la plus uniforme possible (FJCNTC, 2007). Les CDC précisent que ce type de dispositif serait efficace pour inactiver les bactéries du genre *Mycobacterium* que si l'intensité du rayonnement atteint entre 30-50 microwatts par centimètre carré ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) dans la zone d'épuration (CDC, 2009).

Puisque l'effet germicide de tels systèmes est, d'une part, assuré par le rayonnement UV et, d'autre part, par le mélange de l'air intérieur engendré par la convection naturelle de l'air ou la ventilation mécanique, ce type d'installation offre une performance maximale lorsqu'un mélange d'air adéquat (lent, mais constant) est maintenu (Macher *et al.*, 1992; CDC, 2009). Selon Peccia *et al.* (2001), un taux d'humidité supérieur à 70 % diminuerait l'efficacité du rayonnement UV; le taux d'humidité relative à cibler pour atteindre une efficacité optimale de ce système est inférieur à 60 % (voir Memarzadeh *et al.*, 2010; CDC, 2009; ASHRAE 2009). Par ailleurs, les tubes UV offriraient un rendement optimal à des températures situées entre 20 et 24 °C³ (Memarzadeh *et al.*, 2010; CDC 2009).

Le FJCNTC (2007), le MASSPE (1996) ainsi que Memarzadeh *et al.* (2010) recommandent de nettoyer les tubes tous les trois mois et de les remplacer selon les recommandations du fabricant (voir également les CDC [2009] pour les recommandations spécifiques aux établissements de santé). Bien que ce type de système requiert généralement peu d'entretien, certaines précautions doivent être observées au regard des risques associés à l'exposition aux UV (c.-à-d. lésion oculaire ou cutanée; voir Talbot *et al.*, 2002; ASHRAE, 2009; MASSPE, 1996; FJCNTC, 2007; ASPC, 2007). À cet effet, le FJCNTC (2007) mentionne que la seule façon de savoir si la radiation à laquelle les occupants sont soumis est d'effectuer une mesure d'intensité du rayonnement au niveau de la zone d'exposition. La NIOSH a d'ailleurs développé une recommandation concernant l'exposition maximale admise pour les occupants, soit 0,2 mW/cm² pour une durée de 8 h consécutives (FJCNTC; 2007).

On assume que dans des conditions d'utilisation optimale, le processus de désinfection par lampe UV est comparable à la réduction engendrée par une ventilation équivalente à 1 CAH Memarzadeh *et al.*, (2010). Nardell, (2013) rapporte que l'utilisation de lampes à rayonnement UV dans le haut des chambres, couplée à un système d'échange d'air performant, pourrait engendrer une réduction des gouttelettes infectées équivalente à 10-20 CAH. Les travaux de laboratoire effectués par Escombe *et al.* (2009) ont montré que l'utilisation combinée de lampes à rayonnement UV et d'une ventilation adéquate pouvait réduire la fréquence des infections de 9,5 %.

En ce qui concerne les systèmes portables équipés de lampes à rayonnement UV, l'EPA (2009) mentionne qu'il n'y aurait pas de méthode standardisée pour évaluer leur efficacité. L'agence américaine stipule que les dispositifs couramment retrouvés sur le marché possèdent un potentiel biocide limité, considérant que l'intensité des rayonnements émis par les lampes utilisées ainsi que le temps d'exposition ne seraient généralement pas suffisants pour détruire les cellules bactériennes (EPA, 2009). Selon Kowalski et Bahnfleth (1998), la recirculation de l'air dans ce type de système pourrait toutefois avoir un impact sur la charge bactérienne aéroportée dans l'air intérieur. Ainsi, ce type de système ne serait efficace que lorsqu'il est utilisé de façon indépendante, et devrait être

³ Recommandation appuyée sur le standard ASRAE 170 (<http://sspc170.ashraepcs.org/index.html>).

jumelé à un module de filtration de type HEPA pour offrir un contrôle contre les infections (EPA 2009). De plus, selon L'EPA, les lames UV installées dans les systèmes d'épuration d'air portables préviendraient ou limiteraient davantage la croissance de bactéries sur les parois des conduits de l'appareil que dans l'air ambiant (Kowalski et Bhanfleth, 2000; EPA, 2009).

Par ailleurs, bien que contrairement aux systèmes installés au plafond, les modules IGUV disposés dans les conduits de ventilation ne sont généralement pas recommandés pour limiter la transmission de la tuberculose (Nardell, 2013). De plus, il n'y a pas encore de données probantes quant à l'efficacité de ces systèmes en milieu résidentiel (Memarzadeh *et al.*, 2010; ASHRAE 2009). Selon Nardell (2013), l'utilisation d'appareils portables munis de lampes UV peut s'avérer efficace pour lutter contre les infections, à condition que ceux-ci soient suffisamment puissants pour engendrer un mélange complet de l'air de la pièce et pour engendrer une épuration équivalente à 6-12 eCAH.

Enfin, Miller *et al.* (2013) ont effectué une intéressante revue de littérature portant sur les nouvelles technologies disponibles dans le domaine de la désinfection par les UV. Alors que traditionnellement, l'IGUV est assurée par les lampes au mercure, certaines avancées technologiques ont permis de développer des dispositifs plus durables, polyvalents et efficaces, tels les diodes, les lampes au xénon ainsi que des systèmes de contrôle interactif. Ces innovations devront faire l'objet de recherches pour bien évaluer leur efficacité.

Système à filtre de type HEPA et ULPA

Les filtres particulaires à haute efficacité HEPA (high efficiency particulate air filters) sont habituellement constitués de plusieurs couches d'un enchevêtrement de fibres flexibles (fibres de verre et cellulaire). Les filtres HEPA et ULPA (ultra low penetration air filters) sont conçus pour offrir des rendements de rétention minimale de 99,97 % pour les particules dont la taille est $\geq 0,3 \mu\text{m}$ tels les pollens, les spores et les bactéries⁴ (EPA, 2009). Le retrait des particules de l'air ambiant est directement effectué par les fibres du filtre, alors que le retrait des aérosols de plus faible taille est favorisé par le mécanisme d'impaction induit par la vitesse du flux d'air turbulent (Hassen-Khodja, 2007). Alors que ce type de filtres compte parmi les dispositifs d'épuration de l'air les plus utilisés en milieu résidentiel, leur usage en milieu hospitalier est recommandé par plusieurs organismes sanitaires (dans les systèmes de ventilation desservant les salles d'opération, les chambres des malades immunodéprimés ainsi que les chambres d'isolement de patients infectieux (Hassen-Khodja, 2007; voir annexe 3). Il est à noter que ces systèmes sont généralement constitués d'un ventilateur, d'un support étanche destiné à recevoir un ou des filtres ainsi qu'une unité de contrôle. Selon Hassen-Khodja (2007), l'EPA (2009) et Kowalski et Bahnfleth (1998), la performance des systèmes munis de filtres HEPA dépend de divers facteurs tels :

- la nature des aérosols dans l'air intérieur;
- la nature de la couche filtrante (composition, porosité, maillage, épaisseur, compacité, résistance mécanique et chimique);
- le débit d'air entrant;
- le degré d'obturation du filtre;
- les conditions de filtration (température et humidité de l'air).

⁴ Tel que stipulé par le département Américain de l'énergie (DOE) dans la norme de conformité DOE-STD-3020-2005 (<http://energy.gov/sites/prod/files/2013/06/f1/doe-std-3020-2005.pdf>). Ces filtres possèdent une efficacité rapportée minimale 17 à 20 MERV (minimum efficacy reporting value) (EPA, 2009).

Plusieurs études ont montré que les unités de filtration portables munies de filtres HEPA pouvaient s'avérer utiles pour accélérer le retrait des particules de la taille des gouttelettes aérosolisées porteuses de *Mycobacterium tuberculosis*. Une récente étude réalisée par l'ASHRAE dans une maison témoin rapporte que ce type d'appareil peut retenir entre 70 % et 75 % des particules dont le diamètre varie entre 6 et 2,5 µm, alors que l'efficacité de retrait des particules dont la taille est comprise entre 0,3 et < 0,1 µm varie entre 35 % et 45 % (ASHRAE, 2013a). Rutala *et al.* (1995) ont montré que les systèmes testés étaient en mesure de réduire de 90 % des particules de taille ≥ 3 µm présentes dans une pièce non ventilée, et ce, dans une période de temps variant entre 5 et 31 minutes (selon l'intensité du ventilateur), comparativement à ≥ 171 minutes dans la pièce contrôle (sans unité de filtration). Selon Miller-Leiden *et al.* (1996), les dispositifs portables munis de filtres HEPA pourraient diminuer les concentrations d'aérosols dans l'air intérieur, et ce, dans une proportion variant entre 30 et 90 %. Olmsted et Arbor (2008) ont montré que l'emploi simultané d'un système de ventilation centralisé et d'un système de filtration portable était en mesure de rabattre 94 % des particules de la taille de *Mycobacterium tuberculosis* en 20 min. Enfin, sur la base de leur étude menée en laboratoire, Kowalski et Bahnfleth (1998) mentionnent que ce type d'appareil pourrait offrir un effet épurateur comparable aux systèmes HVAC. En somme, la FJCNTC (2007) mentionne que les unités de filtration HEPA permettraient à toute personne d'améliorer la qualité de l'air intérieur de son bâtiment dont la ventilation serait déficiente.

Outre les aérosols impliqués dans la propagation de l'infection tuberculeuse, les appareils de filtration munis de filtres HEPA seraient en mesure de retenir une vaste gamme de particules présentes dans l'air intérieur. Selon l'étude menée par MacIntosh *et al.* (2008), les appareils d'épuration portables munis de filtres HEPA seraient également efficaces pour éliminer une fraction de la charge de contaminants particulaire associée à la fumée de tabac.

Système à filtre au charbon

D'un point de vue théorique, les systèmes d'épuration portables munis d'un filtre particulaire (ex. : HEPA) sont en tous points comparables aux systèmes conçus pour accueillir un filtre au charbon. Toutefois, la majorité des cartouches et des filtres comprenant du charbon activé ne sont pas conçus pour retenir les particules et les gouttelettes dont la taille est inférieure à 5 microns. En effet, les filtres au charbon actif sont d'abord prévus pour adsorber les contaminants gazeux présents dans l'air intérieur. Ces filtres et cartouches pourraient néanmoins avoir un impact majeur sur les COV associés à la fumée de combustion (fumées de cuisson et de cigarette). De façon plus spécifique, Hassen-Khodja (2007) mentionne que les facteurs suivants pourraient agir sur l'efficacité des systèmes à filtre au charbon :

- Le volume et la densité du filtre au charbon.
- Le temps de passage des contaminants.
- L'augmentation de la température ambiante (diminue la capacité d'adsorption).
- L'augmentation de la pression ambiante (augmente la capacité d'adsorption).

En somme, bien que les filtres au charbon actif ne constituent pas un moyen efficace de diminuer la charge en aérosols des environnements intérieurs, ils ont tout de même un intérêt certain dans le contexte de la présente problématique au regard de leur potentiel épurateur. Ce type de filtre est d'ailleurs fréquemment employé comme préfiltre à l'intérieur de systèmes mixtes intégrant des filtres HEPA ou des lampes UV (Hassen-Khodja 2007). Une attention particulière doit cependant être apportée à leur capacité de filtration lors de leur achat ainsi qu'à leur remplacement, car ils possèdent une durée de vie utile assez limitée (quelques mois). Shaughnessy et Sextro (2006) présentent une intéressante revue de littérature traitant notamment des performances des appareils

munis d'un filtre au charbon quant à l'atténuation des concentrations de divers COV communément présents dans l'air intérieur.

Système à filtre électrostatique

Les systèmes d'épuration d'air muni d'un filtre électrostatique sont reconnus pour leur capacité à retenir les nanoparticules (<100 nm) présentes dans l'air intérieur (ASHRAE, 2013b). Ces systèmes sont généralement constitués d'un ventilateur, d'une composante destinée à ioniser les particules fines, d'une plaque collectrice (toutes deux assujetties à une charge électrique opposée) ainsi que d'une unité de contrôle (EPA, 2009; Hassen-Khodja 2007). Ces plaques collectrices requièrent un entretien routinier afin que l'appareil conserve des performances optimales (EPA, 2009; Hassen-Khodja 2007). Puisque ces systèmes n'offrent qu'une faible résistance à l'écoulement de l'air, ceux-ci utilisent généralement peu d'énergie si on fait abstraction de la puissance du ventilateur (ASHREA, 2013b). Selon Huang et Chen (2002); EPA (2009), le rendement offert par ce type de système est fonction de :

- la taille des particules;
- les caractéristiques techniques de l'appareil (différence de potentiel appliquée, la force et la densité du champ électrique produit, la surface des plaques collectrices, le débit d'air admis);
- la propreté des plaques;
- l'entretien des composantes secondaires (pré et postfiltre).

Certains auteurs ont caractérisé les performances de tels systèmes en milieu résidentiel. Howard-Reed *et al.* (2003) ont rapporté que le système à filtre électrostatique utilisé dans leur étude était en mesure d'atténuer la concentration de 55 à 85 % des particules de tailles comprises entre 0,3 et 10 µm, alors que Wallace *et al.* (2004) ont rapporté des réductions de plus de 50 % des particules de diamètre > 10 nm.

Bien que la capacité d'élimination des aérosols de la taille des gouttelettes porteuses de bacilles de *Mycobacterium tuberculosis* par ce type d'appareils semble adéquate, elle doit être mise en perspective au regard des émissions d'ozone qui sont générées par ce type d'équipement par l'entremise de l'effet corona⁵ (Boelter et Davidson, 1997; Hassen-Khodja, 2007). Alors que la quantité d'ozone produite dépend largement des spécificités de l'appareil, il est reconnu que l'exposition à l'ozone par inhalation peut engendrer divers problèmes d'ordre sanitaire dont des irritations pulmonaires (EPA, 2009; CDC 2013; SC 2012). Une étude menée par l'ASHREA en 2013 a ainsi montré que l'utilisation en continu d'un système à filtre électrostatique pouvait générer des concentrations d'ozone dans l'air intérieur équivalentes à 6 fois les concentrations habituelles de l'air extérieur (c.-à-d. ~ 70 ppb) (ASHREA, 2013b). L'ajout de filtres au charbon actif en aval du système pourrait cependant réduire d'environ 25 % les émanations d'ozone (ASHREA, 2013b).

L'ASHRAE (2013c) a réalisé une étude dans 20 résidences occupées par des membres de Premières Nations du Manitoba, visant à évaluer l'impact de ce type de dispositif sur la charge particulaire dans l'air intérieur des habitations de ces communautés. Les résultats ont montré que ce type d'appareil peut maintenir les PM_{2,5} à des concentrations équivalentes à la moitié de celles mesurées dans les habitations dépourvues de tels systèmes (Δmoy de 37µg/m³). Les concentrations moyennes de PM_{2,5} dans l'air intérieur de ces milieux étaient néanmoins demeurées 5 fois plus importantes que celles de l'air extérieur, notamment en raison de la forte prévalence du tabagisme. Cette étude a également

⁵ L'effet corona (également appelé effet couronne) est une décharge électrique générée par l'ionisation d'un milieu donné adjacent à un conducteur. Cet effet se manifeste lorsque le potentiel électrique appliqué dépasse une valeur critique dans des conditions qui ne permettent pas la formation d'un arc.

montré que le temps normalement nécessaire pour atténuer les concentrations de matières particulaires dans l'air intérieur peut être divisé par 2 avec l'utilisation de ce type d'appareil, mais que celui-ci n'est pas en mesure d'atténuer efficacement les altérations de la qualité de l'air intérieur occasionnées par le tabagisme l'ASHREA (2013c). Enfin, selon, Hassen-Khodja (2007), l'utilisation de ce type d'équipement en continu ne serait pas recommandée en raison du potentiel d'accumulation de particules sur les plaques; accumulation qui affecterait le rendement général de ce type d'appareil.

Système de type générateur d'ions

À l'instar du système à filtre électrostatique, le générateur d'ions disperse des charges (générées via l'effet corona ou une lampe UV) dans une cellule où circule, sous la force d'un ventilateur, l'air contaminé. Ces ions s'attachent aux particules présentes en leur transférant une partie de leur charge électrique. Les particules ainsi chargées sont transportées par le flux d'air généré par le ventilateur pour ensuite adhérer aux différentes surfaces que constitue le mobilier (ex. : draperies, tapis, mobilier, cloisons), sans toutefois les altérer Hassen-Khodja 2007). Puisque ce type de système requiert un voltage d'opération élevé, ceux-ci engendrent des concentrations d'ozone non négligeables (via l'effet corona) qui peuvent réagir avec divers objets synthétiques pour générer des substances telles que le formaldéhyde, des cétones et autres COV (EPA, 2009-2013). En dépit de cet inconvénient, ce type d'appareil requiert généralement peu d'entretien et serait en mesure de réduire les risques de transmission de l'infection tuberculeuse. En effet, les travaux en laboratoire effectués par Escombe *et al.* (2009) ont montré que l'utilisation d'un ioniseur (avec une ventilation adéquate) pouvait réduire la fréquence des infections de 14 %.

Système à plasma froid

D'abord développée pour des applications aérospatiales et aéronautiques, la méthode Plasmer[®] a récemment été introduite dans certains centres de soins et hôpitaux. Celle-ci fait appel à un réacteur qui détruit les microorganismes sous l'action combinée de champs électromagnétiques et de plasma (état gazeux de la matière où la présence de particules chargées donne naissance à des comportements inexistant dans les fluides). La destruction s'articule en trois étapes distinctes : 1) champs électromagnétiques élevés; 2) bombardement ionique; 3) nanofiltration électrostatique. En plus de détruire efficacement les bactéries et virus présents dans l'air ambiant, ce système est aussi efficace pour détruire les pollens et les spores (Hassen-Khodja, 2007).

Système à ozone

L'ozone réagit avec les membranes cellulaires et l'hydrogène de la vapeur d'eau pour engendrer des radicaux libres qui peuvent, à leur tour, détruire les microorganismes (Hassen-Khodja 2007). Bien que l'efficacité de ces systèmes dans la stérilisation de l'eau a été démontrée depuis longtemps, l'ozone ne serait pas en mesure d'éliminer les contaminants particulaires de l'air intérieur, et n'aurait aucun effet sur les charges virales, bactériennes ou de spores présentes dans l'air intérieur. En produisant de l'ozone, ces systèmes pourraient par ailleurs constituer une source d'irritants pulmonaires pour les occupants (EPA, 2009; CDC 2013; SC 2012). Bien que les ozoneurs possèdent un certain potentiel épurateur, notamment au regard des contaminants gazeux, aucune agence fédérale canadienne ou américaine ne recommande l'usage d'ozoneur dans les milieux occupés (Hassen-Khodja 2007).

Système de filtration par oxydation photocatalytique

Développée par la NASA, cette technique d'épuration de l'air est basée sur la production de radicaux hydroxyles libres qui peuvent oxyder et détruire les contaminants organiques présents dans l'air intérieur (Hassen-Khodja 2007). Ce type de système demeure très peu documenté dans la littérature consultée.

Annexe 5

Efficacité minimale des filtres selon la codification MERV *(Minimum Efficiency Reporting Value)* (Tiré de EPA 2009)

ASHRAE Standard 52.2				ASHRAE Standard 52.1	Application Guidelines		
MERV	Particle Size Removal Efficiency, Percent in Particle Size Range, μm			Dust-Spot Efficiency Percent	Particle Size and Typical Controlled Contaminant	Typical Applications	Typical Air Filter/Cleaner Type
	0.3 to 1	1 to 3	3 to 10				
20	≥ 99.999	in 0.1 – 0.2 μm particle size		—	< 0.3 μm Virus (unattached) Carbon dust Sea salt All combustion smoke	Electronics manufacturing Pharmaceutical manufacturing Carcinogenic materials	HEPA/ULPA Filters*
19	≥ 99.999	in 0.3 μm particle size		—			
18	≥ 99.99			—			
17	≥ 99.97			—			
16	> 95	> 95	> 95	—	0.3-1 μm All bacteria Droplet nuclei (sneeze) Cooking oil Most smoke Insecticide dust Most face powder Most paint pigments	Superior commercial buildings Hospital inpatient care General surgery	Bag Filters – Nonsupported (flexible) microfine fiberglass or synthetic media, 12 to 36 inches deep. Box Filters – Rigid style cartridge, 6 to 12 inches deep.
15	85-95	> 90	> 90	> 95			
14	75-85	> 90	> 90	90-95			
13	< 75	> 90	> 90	80-90			
12	—	> 80	> 90	70-75	1-3 μm Legionella Humidifier dust Lead dust Milled flour Auto emission particles Nebulizer drops	Superior residential Better commercial buildings Hospital laboratories	Pleated filters – Extended surface with cotton or polyester media or both, 1 to 6 inches thick. Box Filters – Rigid style cartridge, 6 to 12 inches deep.
11	—	65-80	> 85	60-65			
10	—	50-65	> 85	50-55			
9	—	< 50	> 85	40-45			
8	—	—	> 70	30-35	3-10 μm Mold Spores Dust mite body parts and droppings Cat and dog dander Hair spray Fabric protector Dusting aids Pudding mix Powdered milk	Better residential Commercial buildings Industrial workplaces	Pleated filters – Extended surface with cotton or polyester media or both, 1 to 6 inches thick. Cartridge filters – Viscous cube or pocket filters Throwaway – Synthetic media panel filters
7	—	—	50-70	25-30			
6**	—	—	35-50	< 20			
5	—	—	20-35	< 20			
4	—	—	< 20	< 20	> 10 μm Pollen Dust mites Cockroach body parts and droppings Spanish moss Sanding dust Spray paint dust Textile fibers Carpet fibers	Minimum filtration Residential window air conditioners	Throwaway – Fiberglass or synthetic media panel, 1 inch thick. Washable – Aluminum mesh, foam rubber panel Electrostatic – Self-charging (passive) woven polycarbonate panel
3	—	—	< 20	< 20			
2	—	—	< 20	< 20			
1	—	—	< 20	< 20			

This table is adapted from ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007.¹⁹

*The last four MERV values of 17 to 20 are not part of the official standard test, but have been added by ASHRAE for comparison purposes. Ultra Low Penetration Air filters (ULPA) have a minimum efficiency of 99.999 percent in removing 0.3 μm particles, based on the IEST test method. MERVs between 17 and 19 are rated for 0.3 μm particles, whereas a MERV of 20 is rated for 0.1 to 0.2 μm particles.

** For residential applications, the ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2007²⁰ requires a filter with a designated minimum efficiency of MERV 6 or better.

Annexe 6

**Propagation de l'infection et évaluation
de l'efficacité des mesures de contrôle**

Afin de bien illustrer chacun des facteurs susceptibles de moduler la transmission de l'infection tuberculeuse par voie aérienne, Riley et Nardell (1989) ont élaboré un intéressant modèle théorique de propagation de cette infection. Ce modèle (ainsi que certaines variantes présentées dans les équations 2 à 5) est aussi connu sous le nom de modèle Wells-Riley. Il est à noter que celui-ci est applicable pour une chambre unique, où l'air est mélangé uniformément et où les agents infectieux sont distribués de façon aléatoire :

$$P_{inf} = C/S = (1 - e^{-Iqpt/Q}) \quad \text{Équation 1}$$

Où :

- P_{inf} probabilité d'infection
- C nombre de nouveaux cas
- S nombre de cas susceptibles
- I nombre de cas infectés
- q nombre de doses d'agents infectieux présents dans l'air ambiant (quanta/h)
- p ventilation pulmonaire (vol/unité de temps)
- t temps d'exposition
- Q le volume d'air frais ou désinfecté introduit dans le milieu intérieur

Alors que le terme regroupé en exposant représente l'importance de l'exposition à l'infection, le terme « q » réfère au nombre de quanta ou de dose présents dans l'espace intérieur considéré; terme particulièrement difficile à évaluer selon les auteurs consultés. Selon les informations rapportées par Kowalski et Bahnfleth (1998), un individu infecté par la bactérie responsable de la tuberculose pourrait produire entre 1 et 249 doses par heure (q/h). Dans le cas de la tuberculose, une seule dose (soit 1 gouttelette aérosolisée contenant des bacilles de *Mycobacterium tuberculosis*) serait suffisante pour engendrer une infection (Nardell, 1993). Alors que cette plage doses infectieuse est endossée par l'ASHRAE (2009), une dose équivalente moyenne de 13 q/h est fréquemment utilisée à des fins de simplification par certains chercheurs ayant aussi utilisé la modélisation de la transmission de la tuberculose en milieux intérieurs (NAFA, 2012). Il est à noter que ce concept de dose intègre la notion d'abondance de gouttelettes ainsi que leur potentiel infectieux (inhérent à leur taille et aux sites de déposition probable dans l'environnement et dans le système respiratoire) (Nardell, 1993; NAFA, 2012). Selon ASPC (2007), le nombre de quanta présent dans l'air intérieur (q), de même que les volumes d'air inhalés par les occupants (p) constitueraient les facteurs déterminants de la propagation de l'infection ainsi que du développement de la maladie. Par ailleurs, tel que présenté dans l'équation 1, la ventilation (à l'instar des techniques d'épuration de l'air ambiant susceptibles d'engendrer une dilution des agents pathogènes) serait en mesure de limiter la propagation de l'infection tuberculeuse.

Qu'ils soient de types centralisé ou portable, la conception des dispositifs d'épuration de l'air intérieur doit être adaptée à la gestion du/des contaminants ciblés et au type d'environnement concerné (Memarzadeh *et al.*, 2010). En ce qui concerne le contrôle de la propagation de l'infection aéroportée, telle la tuberculose, la NAFA a présenté, dans un rapport publié en 2012, une série d'équations dérivées de l'équation générale de Wells-Riley qui permette d'évaluer l'efficacité des mesures de contrôle environnementales au regard des probabilités d'infection. L'équation 1 peut ainsi être reformulée afin de prendre en compte la contribution relative de certains facteurs modifiant l'abondance des aérosols dans l'air (telles la ventilation, la filtration, l'inactivation par les UV, la déposition, etc.); facteurs largement tributaires de l'application de mesures de contrôle environnementales.

$$P_{\text{inf}} = 1 - e^{(-\lambda_{\text{pt}}/V / (\lambda_{\text{ventilation}} + k_{\text{filtration}} + k_{\text{déposition}}))} \quad \text{Équation 2}$$

Où :

V volume d'air de la pièce (m^3)
 $\lambda_{\text{ventilation}}$ Apport d'air frais (1/h)
 $k_{\text{filtration}}$ vitesse de retrait des aérosols (1/h)
 $k_{\text{déposition}}$ vitesse de déposition des aérosols (1/h)

La vitesse de filtration dépend de cofacteurs prépondérants présentés à l'équation 3.

$$k_{\text{filtration}} = f_{\text{sys}} (Q_f \times N_f) / V = \lambda_{\text{recirculation}} \times N_f \quad \text{Équation 3}$$

Où :

f_{sys} Fraction du temps d'opération du système
 Q_f Débit d'air circulant à travers le filtre (m^3/h)
 N_f Rendement du filtre
 $\lambda_{\text{recirculation}}$ Recirculation de l'air dans le système (1/h)

La vitesse de déposition des aérosols dépend essentiellement de leur taille, de leur densité et de certaines conditions dynamiques tels les courants d'air (Kowalski et Bahnfleth, 1998; NAFA, 2012). À titre d'exemple, les microgouttelettes de diamètre inférieur à $5 \mu\text{m}$ ont une vitesse de déposition généralement inférieure à 1 m/h (Memarzadeh *et al.*, 2010). Les principaux cofacteurs affectant la vitesse de déposition sont résumés à l'équation 4.

$$k_{\text{déposition}} = (0.108d_p^2 (1 + (0.166/d_p))) / H \quad \text{Équation 4}$$

Où :

d_p Diamètre de l'aérosol
 H Hauteur de la pièce

Parmi les cofacteurs considérés dans ces équations, le diamètre des aérosols serait assujéti à une importante variabilité. En plus d'être générés dans une vaste gamme de diamètres (variant généralement entre $0,3$ et $1000 \mu\text{m}$; NAFA, 2012), ceux des gouttelettes émises par les personnes infectées sont susceptibles de diminuer de 50% sous l'effet de l'évaporation. Les travaux de modélisation effectués par Nicas *et al.* (2005) ont montré que ce processus d'évaporation pourrait s'opérer de façon instantanée pour des aérosols de taille inférieure à $20 \mu\text{m}$. Memarzadeh *et al.* (2010) mentionnent d'ailleurs que les conditions du milieu telles la température et l'humidité relative affecteraient la taille des aérosols et, par conséquent, leur période de suspension dans l'air ainsi que la distance pouvant être franchie par ces derniers. Les gradients de pression, de température, de même que les courants d'air présents dans l'environnement intérieur pourraient également affecter la vitesse de déposition des aérosols. Il est important de ne pas ignorer ces incertitudes lors de l'interprétation des résultats pouvant être générés par le biais de ces équations.

En plus de la contribution de ces facteurs d'ordre essentiellement physique, les processus d'inactivation par le soleil ou par des mesures de contrôle environnementales (ex. : lampe UV) doivent également être considérés dans le modèle. Afin de pondérer l'effet de telles mesures sur la probabilité d'infection (P_{int}), l'équation 5 illustre l'évolution temporelle (t) du nombre de quanta produits (q) dans un espace d'un volume donné (V) considérant le taux de CAH; le terme « C » correspondant au taux d'épuration total.

$$-\left(\frac{\rho I_0}{V}\right) \times (Ct + e^{-Ct} - 1) / C^2$$

$$P_{\text{inf}} = 1 - e$$

Équation 5

Où :

C : taux d'épuration total ($\lambda_{\text{ventilation}} + k_{\text{filtration}} + k_{\text{déposition}} + k_{\text{inactivation}}$, 1/h)

L'équation 5 permet également d'évaluer le temps d'utilisation requis des équipements d'épuration pour minimiser le risque à la santé pour les occupants. Cette équation assume qu'il y a un certain nombre de personnes infectées au temps 0, et que la production de bacilles infectés (quanta) demeure constante dans le temps. Bien que ces prémisses demeurent utiles à des fins de simplification, celles-ci induiraient d'importantes incertitudes au regard de la modélisation du potentiel d'infection en situation d'exposition réelle (NAFA, 2012). En plus de ces incertitudes, l'utilisation de ces équations implique une connaissance détaillée du nombre de quanta en présence dans l'air intérieur ainsi que de la distribution de la taille des aérosols impliqués dans leur dispersion dans un milieu intérieur donné; aspect qui demeure très difficile à caractériser d'un point de vue quantitatif (Hytinen *et al.*, 2011).

Annexe 7

Exemples de dispositifs de filtration portable HEPA et de leurs principales caractéristiques techniques

Marque et Modèle	Type de Filtres compatibles	Type de préfiltres compatibles	Débit à puissance maximale (CFM)	Efficacité (CADR)	Niveau sonore (dB)	Consommation électrique (W ou A)	Coût Approximatif d'achat	Certification	Référence
Airomax/ Air-Pura	HEPA	Charbon activé	560	ND	28.1-62.3	120 W (max)	ND	ETL, CSA, UL	http://www.airomax.net/airomax-purificateurs-haut-de-gamme.htm
Excel climatisation; GAPA	HEPA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	CMMTQ	http://www.excelclimatisation.com/en-CA/qualite-air/purificateurs-air-filtres-lampes-uv
Klimfax/Épur air; HEPA	HEPA	Charbon activé	350	ND	30-52	1,2 A (max)	ND	ND	http://www.klimfax.com/images/produits/PDF/Epurair-MA1-Brochure-FR.pdf
Bionaire BAP1250 Galileo	HEPA	Charbon activé	ND	Poussières : 260, Pollen : 255, Tabac : 270	30-57	150 W (max)	ND	AHAM	http://www.bionaire.ca/bionairebap1250.html
Hoover, air purifier 600	HEPA	Charbon activé (UV disponible)	ND	ND	ND	50 W	200 \$	ND	http://hoover.com/products/details/wh10600/air-purifier-600/?cid=FQ089&utm_medium=CS&utm_source=nextag&utm_keyword=204-WH10600
Surround Air XJ3800 Intelli Pro Air Purifiers	HEPA	Charbon activé (UV disponible)	106	ND	20-52	80 W (max)	200 \$	ND	http://www.amiservices.us/intelli-pro-air-purifier.html?utm_source=nextag&utm_medium=pc
Sunpentown AC-7014G	HEPA	Charbon activé (UV disponible)	115	ND	28-48	57 W	150 \$	ND	http://www.build.com/sunpentown-ac-7014g-moss-green-hepa-air-purifier-with-ion-flow-technology-antibacterial-pre-filter-and-activated-carbon-filter/p1720435?source=ntg_1720435&baid=850468396&CA_6C15C=850468396
Germ Guardian 3-in-1 UV-C & True HEPA	HEPA	Charbon activé (UV disponible)	ND	125+	ND	ND	150 \$	ND	http://www.amazon.com/dp/B008951CIK/ref=asc_df_B008951CIK3149577?smid=A2RFSIF56F6W5J&tag=nextagusmp0373251-20&linkCode=df0&creative=395105&creativeASIN=B008951CIK

www.inspq.qc.ca