



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

REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

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, microbiologiste

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

Daniel Aubin, chercheur, Conseil National de recherche Canada

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

Marc Dionne, directeur scientifique

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

MISE EN PAGE

Julie Colas, agente administrative

Direction de la 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'INSPQ, pour ses commentaires concernant la mise en forme.

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)

Avant-propos

Bien que la prévention et la lutte contre la transmission de la bactérie responsable de la tuberculose s'articulent autour d'une série de mesures hiérarchisées¹ comprenant des mesures administratives, environnementales et individuelles, le présent rapport concerne plus spécifiquement les techniques de contrôle de la dispersion de la bactérie pouvant être appliquées à l'environnement intérieur en milieu nordique.

Cette revue de littérature scientifique et technique ne constitue pas un recueil exhaustif de la littérature concernant le sujet énoncé. Il présente une revue descriptive des équipements disponibles sur le marché, leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que les éléments techniques à considérer quant à leur utilisation. Le présent document n'a pas pour objet de recommander l'utilisation d'une marque ou d'un modèle d'appareil en particulier, mais bien de présenter une description factuelle des caractéristiques et performances des appareils potentiellement utiles et disponibles auprès de divers distributeurs locaux.

¹ Voir documents de l'Agence de la santé publique du Canada présentés en référence.

Table des matières

Liste des tableaux	III
Liste des figures	III
Glossaire	IV
Liste des sigles et acronymes	V
Faits saillants.....	1
Messages clés.....	1
Sommaire.....	3
1 Introduction.....	5
1.1 Mise en contexte.....	5
1.2 Mandat confié à l'INSPQ.....	5
1.3 Composantes de risque en lien avec la problématique	5
2 Méthodologie.....	6
2.1 Littérature scientifique.....	6
2.2 Littérature complémentaire.....	7
3 Résultats de l'analyse de la littérature.....	7
3.1 Incidence et facteurs de risques relatifs à la transmission.....	7
3.2 Mécanismes de transmission	8
3.3 Facteurs environnementaux de la transmission de la tuberculose	8
3.4 Mesures de contrôle environnementales.....	11
4 Discussion.....	16
4.1 Option privilégiée	16
4.2 Choix d'un dispositif de filtration portable de type HEPA.....	17
4.3 Emplacement du dispositif	20
4.4 Période d'utilisation.....	20
4.5 Atténuation des risques associés à l'usage de dispositifs de filtration HEPA	21
4.6 Sélection d'un système.....	22
5 Conclusion	23
Références.....	24

Les annexes de ce document sont disponibles à l'adresse suivante :

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

Annexes

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

Liste des tableaux

Tableau 1	Synthèse des informations techniques concernant les dispositifs d’assainissement d’air utilisables pour limiter la transmission du bacille de la tuberculose.....	15
Tableau 2	Débits minimums requis PCM en fonction de la dimension de la pièce (pied cube ou p ³)	19
Tableau 3	Temps requis pour éliminer les agents infectieux aéroportés suite à l’arrêt de la production d’aérosols (adapté des recommandations des CDC).....	21

Liste des figures

Figure 1	Exemple schématique de l’emplacement idéal d’un système de filtration.....	20
Figure 2	Évaluation théorique du risque d’infection en fonction du débit de l’appareil de filtration portable de type HEPA basé sur les équations de Wells-Riley	22

Glossaire

Chambre d'isolement : Une pièce située en milieux hospitaliers dont la vocation est d'isoler géographiquement un patient colonisé ou infecté par des agents infectieux à risque élevé de transmission, sans engendrer de rupture de proximité ou de relation thérapeutique.

Efficacité : L'efficacité d'un système est la mesure de sa capacité à atténuer les concentrations de(s) contaminant(s) de l'air intérieur. L'efficacité du système dépend de son rendement, du volume d'air traité par unité de temps et du parcours effectué par l'air traité. Ainsi, un appareil présentant un rendement très élevé (ex : 90 %) peut néanmoins s'avérer peu efficace considérant qu'il n'est pas souvent en mesure de traiter un petit volume d'air (ex. : 10 pieds cubes [pi³] minute PCM) dans un grand espace (10 000 pi³) ou dans un milieu où les contaminants sont émis de façon continue et à fort débit.

Quanta : Le concept de quanta (q) réfère au nombre de doses infectieuses, soit le nombre de gouttelettes aérosolisées contenant des bacilles viables de *Mycobacterium tuberculosis*, présentes dans un milieu intérieur donné. Ce concept intègre donc 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). Dans le cas de la tuberculose, une seule dose serait suffisante pour engendrer une infection. Selon certains auteurs, un individu infecté pourrait produire entre 1 et 249 doses par heure (q/h).

Rendement : Cette caractéristique de performance d'un système (fréquemment exprimée en pourcentage [%]) est une mesure de la capacité du système à retirer le(s) contaminant(s) de l'air qui circulent au travers de celui-ci. Le rendement dépend essentiellement du débit d'admission d'air dans l'appareil et de la charge de contaminant(s) pouvant être traitée.

Ventilation : Mouvement d'air à l'intérieur de l'enceinte d'un bâtiment destiné à remplacer l'air intérieur vicié par de l'air frais en provenance de l'extérieur. Il existe 2 types de ventilation : 1] ventilation naturelle : s'effectuant par l'entremise des portes et fenêtres ainsi que des interstices de l'enveloppe du bâtiment par le biais des gradients de pressions et de températures en présence; 2) ventilation mécanisée : s'effectuant par l'entremise d'équipements mécaniques. Lorsque centralisés, ces systèmes comportent une prise d'air frais extérieure et une bouche de rejet extérieur (dont les débits sont balancés) ainsi que des conduits distribuant l'air frais aux différentes pièces habitées (ex. : Ventilateur récupérateur d'énergie [VRE], ventilateur récupérateur de chaleur [VRC]). Ces systèmes peuvent aussi être localisés (ex. : hotte de cuisine, extracteur de chambre de bain), effectuant généralement une simple extraction d'air vicié vers l'extérieur. Lorsque la ventilation implique un échange d'air frais entre le milieu considéré et le milieu extérieur, celle-ci est exprimée en termes de nombre de changements d'air à l'heure (CAH). D'autre part, lorsque la ventilation intègre un procédé épurateur qui engendre une baisse des concentrations d'agents pathogènes similaire aux bénéfices induits par le renouvellement de l'air intérieur, celle-ci est exprimée en termes d'équivalent de changements d'air à l'heure (eCAH).

Liste des sigles et acronymes

ANSI	American National Standards Institute
APC	Association pulmonaire du Canada
ASHE	American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ASPC	Agence de la santé publique du Canada
CADR	<i>Clean Air Delivery Rate</i>
CAH	Changement d'air à l'heure
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CFM	<i>Cubic Feet per Minute</i>
COV	Composés organiques volatils
DSP	Direction de santé publique
eCAH	équivalent changement d'air à l'heure
ESSEI	Équipe scientifique sur l'environnement intérieur
FGI	Facility Guidelines Institute des États-Unis
FJCNTC	Francis J. Curry National Tuberculosis Center
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air filters</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating, and air conditioning</i>
IC	Intervalle de confiance
IGUV	Irradiation germicide aux ultraviolets
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MAS	Medical Advisory Secretariat
MASSPE	Ministère des Affaires sociales, de la Santé publique et de l'Environnement
MERV	<i>Minimum efficiency reporting value</i>
MSSS	ministère de la Santé et des Services sociaux
mW/cm ²	milli watt par centimètre carré
NAFA	National Air Filtration Association

OMS	Organisation mondiale de la Santé
OR	<i>Odds ratio</i> (rapport de risque relatif)
P	Probabilité
Pa	Pascal
PCM	Pied cube par minute
PM _{2,5}	Particules fines dont le diamètre est inférieur à 2,5 microns
ppb	parti par milliard
PPP	personne par pièce
q	quanta
SCT	Société canadienne de thoracologie
THC	Tétrahydrocannabinol
ULPA	<i>Ultra low penetration air filters</i>
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolet
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur
VRE	Ventilateur récupérateur d'énergie
µg/m ³	Microgramme par mètre cube
µW/cm ²	Microwatt par centimètre carré

Faits saillants

Au cours des dernières années, certaines communautés du Nunavik ont fait face à une recrudescence d'éclotions de tuberculose. Dans ce contexte, la Direction régionale de santé publique (DRSP) du Nunavik a donné le mandat à l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) d'élaborer un avis portant spécifiquement sur les mesures de contrôle environnementales pouvant être mises à profit dans les habitations ou autres lieux de rassemblement concernés.

Ce rapport présente une revue de la littérature scientifique et technique portant sur les équipements d'épuration d'air pouvant être utilisés pour limiter la dispersion des micro-organismes infectieux potentiellement présents dans l'air intérieur d'habitations en milieu nordique.

Les recommandations proposées visent à orienter les professionnels de la santé concernés dans le choix de mesures de contrôle environnementales compatibles en appui aux mesures de base déjà recommandées ou déjà mises en œuvre par les autorités sanitaires du Nunavik. Elles prennent en compte le comportement, les activités des occupants, le type de bâtiment ainsi qu'avec le contexte climatique du Nunavik. De plus, les coûts et les modalités d'installation, d'utilisation et d'entretien devaient être acceptables tant pour les propriétaires que pour les usagers des milieux concernés.

Messages clés

Les gouttelettes infectieuses peuvent persister pour une période relativement longue dans l'air intérieur lorsque toussent les individus atteints de tuberculose. C'est pourquoi la mise en place d'une stratégie de contrôle de la qualité de l'air intérieur peut s'avérer un moyen efficace pour limiter la propagation de ce type d'infection.

L'utilisation d'appareils de ventilation centralisés est largement recommandée dans certains milieux, dont les hôpitaux, par les organismes sanitaires consultés. Les appareils de filtration HEPA (*High Efficiency Particulate Air filters*), fixes ou portables, pourraient également réduire les risques de transmission d'agents infectieux aéroportés lorsqu'utilisés dans des conditions optimisées. Il faut également considérer que plusieurs appareils pourraient être requis dans une même habitation pour atteindre cet objectif.

Certains critères de performance spécifiques doivent être considérés lors de l'achat d'un tel appareil destiné au contrôle de la tuberculose. L'ajout d'un préfiltre au charbon est également souhaitable, compte tenu de son efficacité à réduire la charge de contaminants gazeux de l'air intérieur.

Une étude exploratoire, effectuée au sein des communautés nordiques, serait pertinente afin de générer des données probantes spécifiques à la problématique puisque cet avis s'appuie sur un nombre limité de données, essentiellement issues d'études en laboratoires et en milieux hospitaliers.

Il demeure nécessaire d'intégrer ces éventuelles mesures dans une démarche de gestion du risque intégrée, incluant des mesures administratives, environnementales et individuelles, et ce, afin de limiter ou de prévenir la transmission de la maladie.

Sommaire

Les résultats de la revue de littérature effectués ont d'abord permis de constater que la tuberculose constitue toujours un important problème de santé publique au Canada, surtout dans les populations autochtones. Parmi les facteurs qui contribuent à la propagation de l'infection tuberculeuse chez les populations des Premières Nations, mentionnons la prévalence d'individus atteints d'infections latentes, de comorbidité et de toxicomanie ainsi que des facteurs d'ordre génétique, socioéconomique et environnemental.

Certains facteurs associés à l'environnement intérieur, entre autres de nature comportementale, seraient également susceptibles d'accroître les probabilités de transmission de la bactérie responsable de la tuberculose. Parmi ceux-ci, on peut mentionner la durée de l'exposition, le surpeuplement, la promiscuité, une ventilation inadéquate, la présence de moisissures, de fumée de tabac et de cannabis.

Comme les gouttelettes infectées dispersées par les individus atteints de tuberculose sont susceptibles de demeurer en suspension dans l'air intérieur durant une longue période et de franchir des distances appréciables, la mise en place d'une stratégie de contrôle de la qualité de l'air intérieur pourrait jouer un rôle prépondérant dans la propagation de ce type d'infection. Plusieurs organismes ont d'ailleurs émis des lignes directrices ainsi que des normes concernant l'application de mesures de contrôle environnementales destinées à limiter la dispersion de bacilles infectieux dans les établissements de soins de santé ou dans d'autres endroits jugés à risque, tels les refuges pour sans-abri.

Le recours à un système de ventilation centralisé pour assainir l'air des chambres d'isolement en milieu hospitalier est fréquemment considéré comme la stratégie de contrôle environnemental la plus efficace pour lutter contre la propagation de la tuberculose, notamment en raison de la polyvalence de ses usages et du cadre réglementaire qui balise son emploi.

D'autre part, même s'il est possible d'installer des systèmes de ventilation centralisés dans les bâtiments existants, il s'avère beaucoup plus simple de les concevoir et de les installer selon les règles de l'art

dans les nouveaux bâtiments. Cette limitation justifierait, selon différents auteurs, l'utilisation d'appareils portables de purification d'air afin de contrer les limites imposées par l'architecture de certaines constructions et les coûts associés à l'application d'une telle mesure.

Sur la base des informations génériques compilées par l'entremise de la revue de littérature, les auteurs du présent avis jugent approprié de cibler les systèmes de filtration d'air portable HEPA comme une option pouvant être privilégiée à titre d'outil de gestion des environnements intérieurs potentiellement contaminés par des bacilles de *Mycobacterium tuberculosis*.

Alors qu'un nombre important de modèles d'appareils de filtration portables de type HEPA sont disponibles sur le marché, certaines caractéristiques clefs et critères de performance doivent être considérés lors de l'achat d'un appareil de filtration portable de type HEPA destiné au contrôle de la tuberculose dont :

- Posséder une puissance (un débit d'air minimal) compatible avec le volume d'air à assainir.
- Contenir un préfiltre au charbon actif.
- Avoir une faible consommation énergétique.
- Produire un niveau sonore acceptable (< 50 dB).
- Avoir un coût d'achat, d'utilisation et d'entretien acceptables (< 500 \$).

En plus de ces éléments, il est important d'observer certaines prescriptions au regard du mode d'utilisation de ce type d'appareil afin de maximiser l'efficacité du dispositif épurateur, soit :

- L'emplacement du dispositif.
- La période d'utilisation.
- La prise en charge d'un entretien rigoureux.

Afin d'évaluer l'efficacité théorique de cette mesure de contrôle environnemental, une analyse de risque a été réalisée en utilisant les équations de Wells-Riley. Sur la base des paramètres utilisés, l'analyse confirme que l'utilisation d'un appareil de filtration de type HEPA est théoriquement en mesure d'atténuer les risques de propagation de l'agent infectieux de façon significative (soit entre 50 et 70 %). Bien que ces résultats soient corroborés par la littérature consultée, il demeure

toutefois hasardeux de les transposer directement aux milieux concernés. En effet, de nombreux facteurs environnementaux et comportementaux, non contrôlés par les auteurs du présent avis, pourraient influencer cette analyse théorique (c.-à.-d. conditions d'humidité, concentrations de matières particulaires en suspension, installation et entretien de l'appareil de filtration, etc.).

En conclusion, bien que les appareils de ventilation centralisés soient recommandés en premier lieu comme mesure de contrôle environnemental de la tuberculose, les appareils de filtration portables de type HEPA offrent une solution palliative complémentaire théoriquement efficace pour diminuer la concentration d'agents pathogènes de l'air intérieur. De même, l'ajout d'un préfiltre limiterait la synergie observée entre l'exposition à la fumée de tabac et les risques de développer une infection pulmonaire, tout en améliorant la qualité de l'air général des milieux intérieurs concernés.

D'autre part, puisque l'efficacité théorique des systèmes de filtration de type HEPA est essentiellement appuyée sur des données non spécifiques au contexte de la présente requête, il devient nécessaire de générer de nouvelles données probantes par l'entremise d'une étude exploratoire effectuée dans des conditions reflétant la réalité des communautés nordiques. À titre d'exemple, un projet pilote pourrait être conjointement élaboré par les organismes liés au domaine de l'habitation en collaboration avec le réseau de la santé (ex. : DRSP du Nunavik et INSPQ).

L'acquisition de données spécifiques permettrait de valider la pertinence des propositions techniques présentées dans le présent rapport et d'élaborer un plan de prévention davantage adapté au contexte dans lequel évoluent les communautés concernées par les éclosions de tuberculose. Dans l'éventualité où une telle avenue serait envisagée, il importerait de bien cibler les objectifs à atteindre, et de bien définir les paramètres de l'expérimentation (ex. : type d'habitation, mode d'occupation, mesures préventives, groupes contrôle et témoin, etc.).

1 Introduction

1.1 Mise en contexte

En 2012, la communauté inuit du village de [Kangiqsualujuaq](#) (situé à 160 km au nord-est de Kuujuaq) a fait face à une épidémie de tuberculose touchant près d'une centaine de personnes². À l'instar d'une précédente éclosion survenue en 2010 dans un autre village de la région, certains lieux de rassemblements de personnes ont été identifiés parmi les facteurs de risque associés à la transmission de l'infection. Il s'agit habituellement d'une pièce à l'intérieur d'une résidence, souvent mal ventilée, où se rassemblent fréquemment et pendant plusieurs heures, un grand nombre de personnes en vue de pratiquer diverses activités sociales. Un tel environnement s'avère favorable à la transmission de *Mycobacterium tuberculosis*, agent responsable de la tuberculose, et possiblement d'autres micro-organismes pathogènes.

Afin de soutenir les communautés à risque et les services de santé concernés (c.-à-d. les cliniques locales), la Direction de santé publique (DSP) du Nunavik incite la consultation et le diagnostic précoce des cas contagieux de tuberculose. Or, la forte prévalence de facteurs de risque, tels les conditions respiratoires sous-jacentes associées ou non au tabagisme (près de 80 % des jeunes adultes fument) et l'usage de drogues (essentiellement du cannabis) par inhalation (60 % d'utilisateurs chez les jeunes de 18-45 ans), peut contribuer à l'établissement tardif du diagnostic. Le rassemblement de plusieurs personnes, dont certaines sont porteuses du *Mycobacterium tuberculosis*, dans des lieux exigus, favorise par ailleurs une exposition accrue à cette bactérie.

1.2 Mandat confié à l'INSPQ

La prise en charge du mandat a été initiée lors d'une rencontre de travail, tenue dans les locaux de l'INSPQ le 19 décembre 2013, à laquelle prenait part Dr Jean-François Proulx, de la DSP du Nunavik et les membres de l'équipe de travail de l'INSPQ concernés (soit les auteurs et collaborateurs de la présente revue).

² <http://www.lapresse.ca/actualites/sante/201207/11/01-4542574-epidemie-de-tuberculose-dans-le-grand-nord.php>,
<http://www.ledevoir.com/societe/sante/359733/epidemie-de-tuberculose-au-nunavik>.

Suite à des échanges au sujet des composantes de risque en lien avec la transmission de la bactérie responsable de l'infection tuberculeuse (voir section 1.3), Dr Proulx a présenté, à l'équipe de travail de l'INSPQ concernée, la requête de la DSP du Nunavik, soit d'élaborer un avis sur les mesures de contrôle environnementales pouvant être mises à profit dans les habitations ou autres lieux concernés pour réduire le risque de transmission de *Mycobacterium tuberculosis* dans l'air intérieur.

Du même élan, le représentant de la DSP du Nunavik précisait que les mesures en question devaient être compatibles avec les activités des occupants, le type de bâtiment ainsi qu'avec le contexte climatique du Nunavik. De plus, les coûts et les modalités d'installation, d'utilisation et d'entretien devaient être acceptables tant pour les propriétaires que pour les usagers. Bien qu'il existe, notamment en milieu de soins hospitaliers, des installations (chambres à pression négative), et/ou des équipements (systèmes de ventilation centralisés, lampes à rayons ultraviolets [UV], etc.) qui éliminent ou minimisent grandement le risque de propagation de ce bacille, la compatibilité de ces installations avec les milieux résidentiels doit être validée.

1.3 Composantes de risque en lien avec la problématique

1.3.1 POPULATION, OCCUPATIONS ET HABITUDES DE VIE

À la lumière des renseignements transmis par la DSP du Nunavik, le contexte épidémiologique dans lequel la transmission de la tuberculose dans les communautés du Nord-du-Québec s'articule est particulier à cette région. L'apparition d'agrégats de cas répond à un profil de risque bien défini, soit des individus relativement jeunes (15 à 35 ans) qui ont des habitudes tabagiques et/ou qui consomment de la marijuana (dont la substance active est le tétrahydrocannabinol [THC]). Il est fréquent que les jeunes adultes se réunissent pour s'adonner à diverses activités dans des endroits relativement exigus, où la promiscuité favorise la transmission d'infections respiratoires. L'expectoration fréquente des occupants, leur habitude de consommation de tabac et de THC ainsi que leur statut nutritionnel inadéquat constitueraient des facteurs de risque non négligeables.

1.3.2 ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

Toujours selon les renseignements rapportés par la DSP du Nunavik, les lieux de rassemblement ainsi que les milieux résidentiels surpeuplés sont des environnements physiques propices à la transmission de la bactérie responsable de la tuberculose. Les petits bâtiments tels que chalets, cabanes ainsi que les pièces et espaces communs de certaines résidences seraient fréquemment utilisés par les jeunes comme lieu de rassemblement. L'absence de ventilation ou la ventilation inadéquate de ces environnements intérieurs contribuerait grandement à la transmission de l'agent infectieux. Dans une plus large perspective environnementale, il appert que la souche bactérienne responsable des actuelles infections par la tuberculose possède un profil de virulence identique aux souches ayant précédemment été identifiées dans ces secteurs au cours des dernières décennies (comm. perso. Dr Jean-François Proulx).

2 Méthodologie

2.1 Littérature scientifique

2.1.1 BORDEREAU DE RECHERCHE

La revue de la littérature a été initiée par l'élaboration d'un bordereau de recherche préparé avec l'appui d'une bibliothécaire spécialisée en recherche documentaire de l'INSPQ. Ce bordereau a permis aux auteurs de croiser un certain nombre de concepts décrits par une série de mots-clés. Les concepts associés à la problématique abordée dans le présent document sont les suivants :

- 1) tuberculose (infection tuberculeuse et autres déclinaisons);
- 2) air intérieur (contamination et pollution de l'air intérieur et autres éléments associés);
- 3) ventilation (épuration d'air portable et autres équipements associés).

La stratégie de recherche comprise dans le bordereau (voir l'annexe 1) a été appliquée à l'interface de recherche *OvidSP*. Les bases bibliographiques consultées à partir de cette interface sont EBM Reviews, EMBASE, Global Health, MEDLINE ainsi que Total Access Collection. La stratégie de recherche a été lancée le 5 mars 2014.

À partir des 37 articles identifiés, une analyse de pertinence a été effectuée sur la base du titre et du résumé de ces documents. Huit (8) documents ont été retenus.

2.1.2 CRITÈRES D'EXCLUSION

Les résumés des documents retenus ont été lus pour éliminer les articles jugés non pertinents sur la base des critères d'exclusion suivants :

- articles rédigés dans une autre langue que le français ou l'anglais;
- articles ne traitant pas :
 - de mesure de contrôle environnemental de la tuberculose;
 - de dispositifs d'épuration de l'air intérieur;
 - de dispositifs compatibles à un usage résidentiel/domestique.

Alors que le critère linguistique a été retenu en raison des connaissances limitées des ressources impliquées au regard des langues étrangères, les autres critères d'exclusion ont été désignés afin de limiter la recherche sur le thème de **l'identification d'équipements pouvant être installés dans les habitations afin de réduire les risques de transmission du *Mycobacterium tuberculosis* par le biais de l'air intérieur**. Il est à noter qu'aucun critère d'exclusion concernant la période de publication n'a été appliqué à la présente revue de littérature.

2.2 Littérature complémentaire

Parallèlement à la revue effectuée pour répondre aux thèmes spécifiques du mandat, un survol de la littérature scientifique et de la littérature grise (études, rapports et documents techniques non révisés par des pairs) a été entrepris afin d'assembler les éléments utiles à la rédaction des différents sujets couverts. Cette recherche a été réalisée à l'aide :

- des listes de référence des articles scientifiques et des rapports préalablement identifiés par l'entremise de la recherche bibliographique;
- de recherches par les moteurs de recherche Google et Google Scholar à partir de mots-clés contenus dans les titres des rapports pertinents;
- des sites Internet des organismes sanitaires canadiens et américains crédibles;
- des sites Internet des fabricants et fournisseurs d'épurateurs d'air intérieur répondant aux critères spécifiés dans le mandat.

Pour être retenus, les documents consultés devaient répondre aux critères suivants :

- contenir des informations pertinentes en lien avec la problématique;
- provenir d'organismes gouvernementaux et paragouvernementaux ou d'équipes universitaires reconnus.

3 Résultats de l'analyse de la littérature

3.1 Incidence et facteurs de risques relatifs à la transmission

Le nombre de personnes infectées par *Mycobacterium tuberculosis* constitue toujours un important problème de santé publique au Canada, surtout dans les populations autochtones, chez les métis ainsi que chez les personnes nées ailleurs qu'au Canada (ASPC, 2007). Au Canada, l'incidence moyenne, compilée de 2008 à 2010, est de 5 pour 100 000 personnes (ASPC, 2013). Yong (2011) rapporte que le taux d'incidence de tuberculose serait particulièrement élevé dans de nombreuses communautés établies dans des régions

adjacentes au cercle polaire, et ce, particulièrement au Nunavut, où le taux d'incidence annuel moyen est de 153 cas par 100 000 personnes. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2013), les individus de sexe masculin âgés de plus de 65 ans seraient généralement plus touchés par la maladie.

Bien que le taux d'incidence de la tuberculose ait considérablement régressé depuis les décennies 1950-1960 (notamment grâce à l'apparition des antibiotiques), il persiste toujours dans certaines communautés autochtones (Wesche *et al.*, 2011). Une enquête nationale réalisée en 2008 pour l'ensemble des provinces et des territoires canadiens a permis de recenser 1 563 cas de tuberculose active et 11 935 cas traités contre une infection tuberculeuse latente (Menziés et Wong, 2013). Chez les populations des Premières Nations vivant dans des réserves fédérales, ce taux serait de 8 à 10 fois plus élevé que chez les Canadiens non autochtones (ASPC, 2007). Chez l'ensemble des membres de ces communautés, le taux moyen d'incidence serait de 27 à 31 fois plus élevé que chez les Canadiens non autochtones (Kovesi, 2012; Wesche *et al.*, 2011). En ce qui a trait plus spécifiquement à la région du Nunavik, le taux d'incidence annuel de la tuberculose entre 2008 et 2011 était de 159,3 cas pour 100 000 personnes alors qu'il était de 2,8 pour 100 000 personnes à l'échelle provinciale (MSSS, 2014).

Parmi les facteurs qui contribuent à la propagation de l'infection tuberculeuse chez les populations des Premières Nations, mentionnons la présence d'individus atteints d'infection latente, des problèmes de comorbidité (dont le diabète) et de toxicomanie, ainsi que des facteurs d'ordre génétiques, socioéconomiques et environnementaux (voir section 3.3 pour plus de détails). Au nombre des facteurs socioéconomiques impliqués figurent notamment le groupe ethnique, le revenu, la situation à l'égard de l'emploi, la scolarité, la malnutrition et les conditions de logement (ASPC, 2007; Wesche *et al.*, 2011; Kovesi, 2012).

Afin d'expliquer cet historique de forte prévalence de tuberculose chez les autochtones canadiens, Wesche *et al.* (2011) rapportent qu'il est possible que certains aînés de cette communauté soient porteurs de la bactérie, pouvant ainsi infecter d'autres personnes de leur entourage, surtout si elles ne sont pas traitées. Une

recrudescence des cas de tuberculose serait observée depuis 2007 dans certaines communautés du Nunavik; à titre d'exemple, une cinquantaine de cas de tuberculose active auraient été confirmés par des analyses en laboratoire en 2011-2012, dans la petite municipalité de Kangiqsualujuaq (George-River), comptant 850 résidents (Jean-François Proulx, communication personnelle).

3.2 Mécanismes de transmission

De façon générale, il est assumé que le patron de transmission des infections telles que la tuberculose est relativement bien connu et découle de contacts directs entre individus (CDC, 2012). De façon plus spécifique, l'infection tuberculeuse se transmet par voie aérienne, c'est-à-dire par le biais de projections de gouttelettes aérosolisées véhiculant des bacilles, dont le diamètre est généralement inférieur à 5 µm (FJCNTC, 2007). À cet effet, il est estimé qu'un individu atteint de tuberculose pulmonaire active pourrait, au cours d'un épisode de forte toux, projeter dans l'air ambiant l'équivalent de 10⁶ gouttelettes potentiellement contaminées et susceptibles d'infecter les occupants du milieu environnant immédiat (ASPC, 2007). Selon Kowalski et Bahnfleth (1998), le diamètre moyen d'un bacille serait quant à lui de 0,86 µm. L'annexe 2 présente des informations complémentaires concernant la taille des bacilles de tuberculose, la distribution de taille des gouttelettes aérosolisées projetées ainsi que leur temps de suspension dans l'air.

Certaines projections, principalement émises par la toux et les éternuements, pourraient demeurer en suspension dans l'air intérieur durant plusieurs heures avant de se déposer ou être éliminées par la ventilation naturelle ou mécanique (ASPC, 2007; ASHRAE, 2009; CDC, 2003; NAFA, 2012; FJCNTC, 2007; Hyttinen *et al.*, 2011). Le risque de transmission serait plus grand lors d'épisodes de toux répétitives survenant chez les individus dont l'examen des expectorations révèle la présence de la bactérie (MASSPE, 1996). De plus, il est largement reconnu que le risque de transmission de l'infection tuberculeuse serait plus élevé dans les milieux mal ventilés et densément occupés, et où les contacts interpersonnels sont plus étroits et prolongés (Beggs *et al.*, 2003; ASPC, 2007; voir section 3.3). En dépit de l'influence de divers facteurs environnementaux (décrits dans la section suivante), certains auteurs mentionnent que la transmission de la

tuberculose par projection d'aérosols est généralement circonscrite à un rayon d'environ un à deux mètres (Memarzadeh *et al.*, 2010; Hyttinen *et al.*, 2011); ces microgouttelettes infectieuses peuvent néanmoins franchir des distances beaucoup plus importantes (Kowalski et Bahnfleth, 1998). En raison de leur diamètre, les aérosols impliqués dans la transmission de la tuberculose se déposeraient préférentiellement dans les alvéoles pulmonaires des individus exposés (Hyttinen *et al.*, 2011). Il est à noter que dans le cas de la tuberculose, l'inhalation d'une seule gouttelette aérosolisée contenant par des bacilles de *Mycobacterium tuberculosis* serait théoriquement suffisante pour engendrer une infection (Nardell, 1993).

3.3 Facteurs environnementaux de la transmission de la tuberculose

Selon la littérature consultée, certains facteurs associés à l'environnement intérieur, dont certains de nature occupationnelle, seraient susceptibles d'accroître les probabilités de transmission de la bactérie responsable de la tuberculose. La présente section du document est consacrée à la description spécifique de chacun de ces facteurs.

3.3.1 DURÉE DE L'EXPOSITION

Selon plusieurs études, l'ampleur et la persistance du contact avec une/des personne(s) infectée(s) constituent l'un des principaux facteurs environnementaux de transmission de la tuberculose (Menziez *et al.*, 1999; ASPC, 2007). Bien que le diagnostic précoce de la maladie soit un objectif important des mesures dites administratives visant à prévenir la transmission de l'infection tuberculeuse, il n'est pas rare que des semaines ou des mois s'écoulent avant l'établissement du diagnostic d'une personne atteinte, période durant laquelle elle peut contribuer à accroître le risque d'infection dans son environnement (ASPC, 2007).

3.3.2 SURPEUPLEMENT ET PROMISCUITÉ

Le surpeuplement a été identifié comme un important facteur de risque de transmission de l'infection tuberculeuse (Beggs *et al.*, 2003; ASPC, 2007; Larcombe *et al.*, 2011) de même qu'une caractéristique commune des logements occupés par les membres des communautés autochtones situés tant à l'intérieur

qu'à l'extérieur des réserves fédérales (Clark *et al.*, 2002; ASPC, 2007). Lienhardt (2001) a effectué une revue de littérature dont les résultats corroborent que le surpeuplement est un facteur de risque d'infection et que celui-ci accroît le risque d'évolution de l'infection vers la maladie. Une étude canadienne a également démontré qu'une augmentation du taux d'occupation de 0,1 personne par pièce (PPP) pouvait accroître de 40 % le risque de survenue de deux cas ou plus de tuberculose au sein d'une communauté (Clark *et al.*, 2002; ASPC, 2007). Les conclusions d'une étude menée par Larcombe *et al.* (2011) dans deux communautés autochtones du Manitoba vont dans le même sens. Ceux-ci ont en effet montré une association significative entre le nombre de résidents permanents des habitations de la communauté du Lac Brochet, et le nombre de cas de tuberculose latents, actifs ou passés.

En ce qui concerne le taux d'occupation des habitations canadiennes par des ménages autochtones, les données du recensement fédéral de 1996 montrent qu'environ 9 100 logements (15 %) étaient surpeuplés, que 6 765 logements (23 %) avaient besoin de réparations majeures (d'habitabilité peu convenable), et que 7 280 ménages (12 %) occupaient un logement qui ne répondait pas aux normes de dimensions et de qualité convenables (Spurr *et al.*, 2001). Les données du recensement fédéral de 2001 soutiennent que 10,3 % des ménages établis sur le territoire de réserves autochtones fédérales ne respectaient pas la norme en ce qui concerne le nombre suffisant de chambres (au regard de la composition du ménage) comparativement à 1,9 % des ménages non autochtones nés au Canada (SCHL, 2004). Une étude publiée par Kunimoto *et al.* (2004) a montré que près de 50 % des logements situés sur le territoire des réserves de l'Alberta et occupés par des membres de la communauté autochtone ne rencontraient pas les normes relatives à un logement acceptable. Dans une publication de 2005, le ministère fédéral des affaires autochtones et développement du Nord Canada³ précisait que le nombre moyen de PPP dans les populations des Premières Nations serait de 0,6 PPP, soit 20 % plus élevé que pour le reste de la population canadienne (AINC, 2005). Ensemble, ces statistiques témoignent du surpeuplement qui affecte les communautés des Premières Nations canadiennes et qui est susceptible

de constituer un facteur favorable à la transmission de l'infection tuberculeuse.

3.3.3 VENTILATION INADÉQUATE

Il est reconnu qu'un nombre important de facteurs environnementaux, structuraux et comportementaux sont susceptibles d'affecter le renouvellement de l'air intérieur (ou la ventilation) des bâtiments. Parmi ceux-ci figurent l'étanchéité de l'enveloppe, la température, l'humidité et le bruit extérieurs, l'état ou le type de fenestration et/ou des portes, la présence de système de chauffage à combustion, la présence d'un système de ventilation mécanique, la recherche de confort, le coût de l'énergie, les connaissances et les habitudes des occupants, etc. (Sundell *et al.*, 2011).

De façon plus spécifique, la ventilation des habitations situées en milieux nordiques peut s'avérer un problème important selon la SCHL (2012). En effet, les températures moyennes extérieures en milieux nordiques sont fréquemment inférieures à -25 °C. Cette température est également utilisée comme point de référence par les constructeurs de VRC ou de VRE pour établir leur efficacité de récupération. Ainsi, ces appareils doivent répondre à des exigences de performance, d'émission de bruit et de rendement énergétique pour obtenir une certification par les organismes compétents (SCHL, 2012). Cependant, il n'existe pas encore d'appareils réunissant les caractéristiques et les qualités de performance suffisamment acceptables pour les recommander dans ces milieux (SCHL, 2012). Une description complète des caractéristiques techniques auxquelles devraient répondre les appareils de ventilation de type VRC utilisés en milieux nordiques est présentée dans Zaloum (2010).

L'absence de système pouvant performer en milieu nordique est susceptible d'aggraver les problèmes de ventilation des habitations qui s'y retrouvent et d'accentuer les risques sanitaires associés à la dégradation de la qualité de l'air intérieur (voir Sundell *et al.*, 2011; Larcombe *et al.*, 2011). Au Canada, une étude descriptive réalisée sur le territoire du Nunavut a démontré une association entre la mauvaise qualité de l'air intérieur, incluant la ventilation déficiente, et l'augmentation du risque d'infections des voies respiratoires inférieures chez les jeunes enfants inuits (Kovesi *et al.*, 2007). Une étude d'intervention

³ Autrefois appelé ministère fédéral des Affaires indiennes et du Nord Canada.

randomisée, réalisée par la suite auprès de la même population, a démontré que l'installation de ventilateurs récupérateurs de chaleur augmentait le taux de ventilation dans les résidences et réduisait le risque d'infections respiratoires (Kovesi *et al.*, 2009).

Il existe également un large consensus dans la communauté scientifique concernant le fait qu'une ventilation inadéquate peut accentuer le risque d'infection propagée par des agents aéroportés, tel le bacille responsable de la tuberculose (voir revue de la littérature effectuée par Li *et al.*, 2007). À titre d'exemple, Beggs *et al.* (2003) ont constaté qu'il existe des corrélations significatives entre la densité d'occupation, le volume des pièces occupées, le taux de renouvellement d'air, et le nombre de nouvelles infections tuberculeuses chez les personnes qui partagent les mêmes espaces. De plus, des études réalisées dans des établissements de santé canadiens ont montré que la mauvaise conception (ou construction) des systèmes de ventilation dans ces milieux a pu contribuer à la transmission d'infections dans les chambres des patients où il y avait moins de deux renouvellements d'air à l'heure (Menzies *et al.*, 2000).

3.3.4 MOISSURES, FUMÉE DE TABAC ET CANNABIS

Les bâtiments qui ne bénéficient pas d'une ventilation adéquate et qui possèdent une isolation déficiente sont susceptibles de présenter un taux d'humidité relative excessif, de la condensation sur les surfaces froides ainsi que des moisissures (SCHL, 1982; ASPC, 2007; Larcombe *et al.*, 2011). Bien que les conditions d'humidité excessive et la présence de moisissures ne soient pas reliées à l'acquisition de l'infection tuberculeuse, ces facteurs ont fréquemment été identifiés comme des causes potentielles de l'augmentation de la susceptibilité aux infections respiratoires, à l'asthme et aux allergies chez les jeunes enfants (ASPC, 2007; Mendell *et al.*, 2011). À cet effet, Dales et collaborateurs (1998) ont identifié une association entre l'exposition à une contamination fongique intérieure et une altération du système immunitaire, en comparaison aux enfants dont la chambre à coucher n'était pas affectée par la contamination fongique. Ces mêmes auteurs ont également démontré que la présence de moisissures dans les habitations est liée à une inhibition de la production de certains globules blancs, laquelle était

associée à un prolongement de la période de rétablissement après le développement de la tuberculose (Dales *et al.*, 1998). C'est notamment pour ces raisons que les Centers for Disease Control and Prevention (CDC) recommandent de maintenir un niveau d'humidité relative inférieur à 60 % en milieu hospitalier, d'une part, pour réduire la contamination du milieu, et d'autre part pour maintenir une qualité de l'air intérieur acceptable (CDC, 2005).

En ce qui a trait à l'association plus large entre la contamination de l'air intérieur et la transmission de l'infection tuberculeuse, Sumpter et Chandramohan (2012) ont effectué une méta-analyse portant sur des individus infectés et l'exposition à la fumée de combustion (de biomasse ou de cuisson). Sur la base des 13 études sélectionnées, les auteurs ont rapporté que les individus atteints par la tuberculose étaient plus souvent exposés à ce type de contaminant de l'air intérieur que les individus en santé constituant le groupe contrôle (OR 1.30; 95 % IC 1.04-1.62; P = 0.02).

Au regard de l'exposition à la fumée de tabac, les données statistiques montrent que le taux de tabagisme dans les communautés des Premières Nations atteindrait 40 % (Wesche *et al.*, 2011). Singh *et al.* ont montré que l'exposition à la fumée secondaire peut être associée à une augmentation de l'incidence de la tuberculose chez les enfants. Ces auteurs ont avancé l'hypothèse que la fumée de cigarette peut altérer les mécanismes de défenses pulmonaires, accroissant ainsi la susceptibilité des voies aériennes à l'infection (Singh *et al.*, 2005).

Une intéressante méta-analyse concernant l'impact de la fumée de tabac et, plus généralement, de la pollution de l'air intérieur sur les risques de développement de la tuberculose, a également été réalisée par Lin *et al.* (2007). Ces derniers ont déterminé qu'il y avait de fortes évidences à l'effet que les fumeurs seraient plus à risque de développer une infection active et de décéder des suites de la tuberculose que les non-fumeurs.

Dans la même lignée, Ozturk *et al.* ont également publié une étude cas-témoin portant sur l'influence du tabagisme et de la pollution de l'air intérieur sur les risques d'infection par la tuberculose (Ozturk *et al.*, 2014). Les résultats de cette étude ont montré que les fumeurs avaient 5 fois plus de chance d'être infectés que les non-fumeurs (95 % IC 3.2-7.5, p < 0,0001),

alors que les individus possédant un foyer au bois ou au charbon avaient 1,6 fois plus de chance d'être infectés (95 % IC 1.18-2.31, $p < 0,0001$). Bien qu'une corrélation significative ait pu être établie entre le risque d'infection et le nombre de cigarettes fumées (> 20 paquets par année, $p < 0,0001$), de même que l'âge d'adoption d'habitudes tabagiques (< 16 ans, $p < 0,041$), aucune association significative n'a pu être établie dans cette étude entre l'exposition à la fumée secondaire et la tuberculose (Ozturk *et al.*, 2014).

Pour sa part, l'Agence de la santé publique du Canada (ASPC) précise également que le tabagisme, à l'instar de l'exposition à la fumée secondaire, augmenterait les risques d'infection et de développement de la tuberculose active chez les adultes ainsi que chez les enfants (ASPC, 2012). De plus, selon l'OMS (2009), la consommation de tabac multiplierait par plus de deux fois et demie le risque d'être infecté par la tuberculose.

Contrairement à l'exposition à la fumée de tabac pour laquelle un lien direct avec l'augmentation du risque de développer la tuberculose a été démontré, aucune étude n'est parvenue à établir une telle relation au regard de la consommation de cannabis (Reid *et al.*, 2010). En revanche, il existe certaines évidences épidémiologiques qui témoignent que le partage d'articles de fumeurs pourrait contribuer à disséminer la bactérie. À titre d'exemple, Munckhof *et al.* (2003) ont étudié un agrégat de cas de tuberculose survenus chez des jeunes hommes du Queensland (Australie) consommant de la marijuana par l'entremise de *bongs* (dispositif destiné à la combustion et à l'inhalation de fumée de cannabis; synonyme de pipe à eau). Alors que ces auteurs ont établi que parmi les facteurs de risque associés à l'acquisition de la maladie, la promiscuité constituait un déterminant de premier ordre (95 %, OR 4.91, IC 1.13-20.17), le partage de *bongs* avec une personne infectée doublerait le risque de transmission (95 %, OR 2.22, IC 0.96-5.17) (Munckhof *et al.*, 2003). Une récente étude menée avec un groupe de jeunes adultes australiens corrobore ces résultats. En effet, les travaux réalisés par Thu *et al.* (2013) ont montré que le partage de *bongs* avec des individus infectés par *Mycobacterium tuberculosis* peut multiplier par 6 le risque de transmission de l'infection (OR 6.5, IC 1.4-30.4, $p = 0.016$). Oeltmann *et al.* (2006) et Reid *et al.* (2010) rapportent par ailleurs que diverses pratiques associées à la consommation de cannabis pourraient augmenter les risques de transmission de l'infection

tuberculeuse, dont le *hotboxing* (consommation de cannabis dans un endroit clos et exigu) et le *shutgunning* (exhalation de fumée directement dans la bouche d'une autre personne).

Certains chercheurs ont également émis l'intéressante hypothèse que les spores de moisissures fréquemment retrouvés sur la marijuana (c.-à-d. *Aspergillus sp.*) pouvaient augmenter le risque d'infection respiratoire chez les consommateurs de cannabis (Reid *et al.*, 2010). Ces moisissures proviendraient des milieux de culture de cannabis, où des taux d'humidité et des températures élevés sont maintenus afin de maximiser la production.

3.4 Mesures de contrôle environnementales

Puisque les gouttelettes infectées dispersées par les individus atteints de tuberculose sont susceptibles de demeurer en suspension dans l'air intérieur durant une longue période et de franchir des distances appréciables (voir annexe 2), la mise en place d'une stratégie de contrôle de la qualité de l'air intérieur peut donc jouer un rôle prépondérant pour la propagation de ce type d'infection (Hassen-Khodja, 2007). C'est pourquoi plusieurs organismes ont émis des lignes directrices ainsi que des normes concernant l'application de mesures de contrôle environnementales destinées à limiter la dispersion de bacilles infectieux dans les établissements de soins de santé ou dans d'autres endroits jugés à risque, tels les refuges pour sans-abri. Parmi les mesures de contrôle environnementales recensées pour le milieu hospitalier, celles concernant les aires d'isolement de patients atteints ou soupçonnés d'avoir développé une infection respiratoire comme la tuberculose sont les plus strictes et, par conséquent, les plus protectrices à l'égard de la santé des occupants, des professionnels et autres personnes fréquentant ces milieux. L'annexe 3 présente de façon détaillée les mesures de contrôle environnementales recommandées pour ce type de milieu par différents organismes sanitaires compétents. Celles-ci sont résumées ci-dessous (voir section 3.4.1).

3.4.1 CHAMBRE D'ISOLEMENT EN MILIEU HOSPITALIER

Les documents consultés et émanant des organismes compétents en la matière recommandent tous l'emploi d'un système de ventilation centralisé (ACN, 2010);

ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008; INSPQ, 2013; MSSS, 2012; Menzies et Wong, 2013; CDC, 2005; FGI, 2010; FJCNTC, 2007; OSHA, 1996; Hyttinen *et al.*, 2011). Selon le Francis J. Curry National Tuberculosis Center (FJCTNC; 2007) et les CDC (2005), les systèmes de ventilation centralisés seraient en mesure de limiter la propagation de l'infection tuberculeuse en permettant l'introduction d'air frais dans le bâtiment, et en diluant les agents pathogènes présents dans l'air intérieur de celui-ci. L'évacuation extérieure d'une quantité d'air vicié, équivalente à la quantité d'air frais s'introduisant à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment, contribuerait également à maintenir l'effet épurateur. Lorsque le dispositif est équipé d'un noyau thermique récupérateur de chaleur ou d'énergie (VRC et VRE), la température de l'air frais peut être ajustée avant que celle-ci soit acheminée dans les conduits de ventilation du bâtiment. Le principe de fonctionnement de ces systèmes diffère des systèmes conventionnels de chauffage ou de climatisation qui utilisent généralement de l'air intérieur recyclé.

L'un des principaux avantages des systèmes de ventilation centralisés est que la quantité d'air frais qui est introduite dans le bâtiment ou évacuée à l'extérieur peut être ajustée selon les besoins des occupants. De plus, la conception et la calibration de tels systèmes permettent de créer des aires de confinement en pression négative ainsi que des courants d'air frais non contaminés. L'étanchéité de la chambre d'isolement constitue un facteur déterminant dans le maintien de la pression négative, laquelle doit faire l'objet d'une surveillance en continu (Menzies et Wong, 2013; CDC 2005; voir annexe 3).

Toujours selon le FJCTNC (2007) et les CDC (2005), les systèmes de ventilation centralisés sans recirculation (opérant en mode *échange d'air avec l'extérieur*) offriraient le meilleur contrôle de la tuberculose; assumant que les débits d'apport d'air frais (CAH) recommandés par la plupart des organismes sanitaires sont respectés (voir tableau récapitulatif de l'annexe 3). À cet effet, la grande majorité des organismes consultés qui ont statué sur la ventilation de chambres d'isolement en milieu hospitalier recommandent un débit minimal de 12 CAH (ACN, 2010; ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008; Menzies et Wong, 2013; CDC, 2005; FJCNTC, 2007).

Pour les bâtiments existants dont le système de ventilation centralisé ne permet pas d'atteindre cette valeur, notamment en raison de l'âge du bâtiment, certains organismes recommandent l'installation d'unités fixes ou portables de filtration à haute efficacité des particules de l'air (HEPA) dans les aires d'isolement (CDC 2005; annexe 3). Toutefois, l'Association canadienne de normalisation (ACN, 2010) ne recommande pas que ce type d'appareil de filtration soit installé de façon permanente, car cela pourrait compromettre les débits d'air, la distribution et la pressurisation du système centralisé de ventilation.

Les CDC (2005) recommandent que le taux de ventilation soit maintenu à au moins 6 CAH dans les bâtiments hospitaliers érigés avant 1994 (notamment en raison de leur plus faible étanchéité et du rapport coût/efficacité engendré). De plus, lorsque le système de ventilation en place nécessite qu'une certaine proportion de l'air soit recirculée, l'installation de filtres HEPA dans les conduits s'avère une mesure incontournable selon la grande majorité des organismes consultés (ACN, 2010; ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008; MSSS, 2012; Menzies et Wong, 2013; CDC, 2005; FGI, 2010; FJCNTC, 2007; OSHA, 1996).

Enfin, de façon complémentaire, les CDC (2005) recommandent de recourir à un système germicide d'irradiation aux ultraviolets (IGUV) dans le but d'obtenir une ventilation équivalente de 12 CAH dans les chambres d'isolement des patients tuberculeux. L'effet germicide des tubes UV peut en effet être converti en équivalent CAH; effet épurateur pouvant être additionné à la ventilation pour atteindre une somme de 12 eCAH. L'organisme américain ne recommande toutefois pas que le système IGUV soit utilisé comme substitut au système de filtration HEPA lorsqu'il y a recirculation d'air potentiellement contaminé en provenance des chambres d'isolement. Le Francis J. Curry National Tuberculosis center (FJCNTC) (2007) précise que l'utilisation d'IGUV dans les chambres d'isolement apporterait, somme toute, peu de bénéfices au regard des autres mesures environnementales préconisées (annexe 3).

3.4.2 AUTRES MILIEUX INTÉRIEURS

Tel que mentionné, le recours à un système de ventilation centralisé pour assainir l'air des chambres d'isolement en milieu hospitalier est considéré comme la stratégie de contrôle environnemental la plus efficace pour lutter contre la propagation de la tuberculose, notamment en raison de la polyvalence de ses usages et du cadre réglementaire (annexe 3) qui balise son emploi. Toutefois, en dépit des qualités irréfutables de ce type de système, les CDC (2005) et l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) (2009) ont également émis certaines réserves concernant l'efficacité de la ventilation centralisée comme moyen de contrôle de certaines infections transmises par voie aérienne. En effet, lorsque les systèmes de ventilation centralisés ne sont pas spécifiquement conçus ou installés pour répondre à de tels usages, ceux-ci peuvent constituer une voie de dissémination pour les infections aéropoortées. En effet, alors que certains types de systèmes permettent une recirculation de l'air (en partie ou en totalité) dans le bâtiment, la plupart des filtres et des dépoussiéreurs couramment retrouvés dans les appareils commerciaux pour traiter l'air intérieur s'avèrent inefficaces pour contrer la dissémination des agents pathogènes présents dans l'air intérieur. Bien qu'ils puissent contribuer à retirer une partie de la charge de particules présentes dans l'air ambiant, ces filtres sont généralement conçus pour protéger le moteur des appareils et non d'assainir l'air intérieur. De plus, en milieu résidentiel, l'United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2009) précise que des dispositifs d'épuration peuvent être installés dans les conduits de système de ventilation centralisé pour traiter l'air de bâtiments pourvus de tels équipements, sans toutefois faire mention de l'efficacité de ces dispositifs sur la transmission de la tuberculose.

Par ailleurs, l'exiguïté de certaines pièces et couloirs d'accès ainsi que l'existence de zones isolées présentes dans les anciennes constructions rendent souvent l'installation de systèmes de ventilation centralisée très difficile, voire impossible (Hassen-Khodja, 2007). Ainsi, même s'il est possible d'installer des systèmes de ventilation centralisés dans les bâtiments existants, il s'avère beaucoup plus simple de les concevoir et de les installer selon les règles de l'art dans les nouveaux bâtiments. À cet effet, le règlement modifiant le Code de construction pour favoriser

l'efficacité énergétique, entré en vigueur en août 2012, prescrit l'installation obligatoire de VRC dans tous les nouveaux petits bâtiments d'habitation au Québec⁴.

Dans ce contexte, la vétusté de certains bâtiments a notamment stimulé la commercialisation d'appareils portables de purification d'air visant à contrer les limites imposées par l'architecture de certaines constructions (FJCNTC, 2007). L'efficacité de ces dispositifs portables, utilisés dans divers contextes dans les pays industrialisés, a par ailleurs fait l'objet de très peu d'études au regard de la prévention de la tuberculose (ex. : Kawalski et Bahnfleth, 1998). C'est particulièrement pour cette raison que le recours unique à ces dispositifs n'est généralement pas officiellement recommandé par les organismes sanitaires pour limiter la transmission de la tuberculose (Nardell, 2013).

À l'heure actuelle, il existe sur le marché des unités mobiles de différentes tailles, conçues pour traiter divers contaminants de l'air intérieur. La performance de ces unités de purification dépend de nombreux facteurs comme les caractéristiques de l'environnement intérieur, la nature des contaminants en présence, la conception et l'entretien des médias épurateurs inclus dans ces équipements (Shaughnessy et Sextro, 2006; Hassen-Khodja, 2007; EPA, 2009). Ceux-ci sont généralement conçus pour être installés sur le mobilier en place, sur le plancher, ou comme unité murale (Hassen-Khodja, 2007). Selon ces mêmes auteurs, il existerait environ huit procédés de purification de l'air intégrés à des équipements disponibles sur le marché :

- La ventilation localisée.
- Le rayonnement ultraviolet (UV).
- L'oxydation photocatalytique.
- Les filtres de haute efficacité de type HEPA.
- Le procédé au plasma.
- Les filtres électroniques.
- L'émission d'ozone.
- Les générateurs d'ions (ioniseurs).

⁴ <https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/acces-information/projet-reglement-code-efficacite-energetique.pdf> et <https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/Info-RBQ-reglement-favoriser-efficacite-energetique.pdf>.

Une description spécifique de chacun de ces procédés d'épuration est présentée à l'annexe 4. Afin de faciliter la lecture du présent document, seule une synthèse des informations concernant ces dispositifs est présentée sous forme de tableau comparatif (tableau 1). Il est à noter que l'utilisation de tous les systèmes d'assainissement de l'air intérieur présentés dans le présent avis est relativement simple; dans la grande majorité des cas, ils ne nécessitent qu'une mise sous tension et la sélection de l'intensité désirée. L'efficacité de ces dispositifs demeure toutefois conditionnelle à une utilisation et à un entretien adéquats des appareils (c.-à-d. selon les directives du fabricant) ainsi qu'à un usage durant une période de temps suffisante pour maximiser leur pouvoir épurateur, c.-à-d. lorsque les espaces ciblés sont occupés ainsi que quelques heures suivant la période d'occupation (voir section 4.4).

Il est important de mentionner que certains équipements intègrent simultanément deux ou plusieurs des procédés d'épuration présentés ci-haut. À cet égard, l'EPA (2009) mentionne que, considérant la variété de contaminants présents dans l'air intérieur, leur dynamique spécifique et leur synergie potentielle, plusieurs manufacturiers estiment que les systèmes hybrides faisant appel à différentes techniques seraient plus efficaces que les systèmes faisant appel à une seule technologie. Ainsi, dans les contextes où la ventilation s'avère déficiente, plusieurs auteurs précisent qu'il demeure pertinent de combiner les procédés d'épuration potentiellement utiles, tout en gardant en mémoire que la ventilation doit être considérée comme un facteur clef dans l'efficacité potentielle de toute démarche d'assainissement de l'air (Whitby *et al.*, 1983; Hassen-Khodja, 2007). De plus, dans le but d'accroître le pouvoir épurateur du système ou de prolonger la durée de vie utile de certains dispositifs (dont les appareils munis de filtre HEPA), il est fréquent de jumeler ces filtres à d'autres dispositifs d'épuration tels des cartouches de préfiltration, des filtres au charbon activé, des lampes à rayons UV ou des générateurs d'ions (Hassen-Khodja, 2007; Shaufhnessy et sextro, 2006).

Enfin, il est à noter que deux autres mesures complémentaires fréquemment citées dans la littérature sont présentées comme des actions susceptibles de réduire la concentration de bacilles dans l'air intérieur potentiellement contaminé par un individu atteint de tuberculose. D'une part, la ventilation naturelle par l'ouverture de fenêtre par temps doux peut favoriser l'introduction d'air frais susceptible de diluer l'air contaminé présent dans l'enceinte du bâtiment (MASSPE, 1996). Il faut toutefois noter que ce type de ventilation n'offre aucun contrôle sur les débits d'air entrant; ceux-ci pouvant varier de façon importante selon qu'il y ait présence ou absence de vent à l'extérieur, par exemple. D'autre part, une exposition directe de l'air intérieur contaminé aux rayons solaires aurait pour effet de favoriser la destruction des bacilles en quelques heures alors qu'une exposition diffuse à la lumière du jour contribuerait à éliminer les bacilles en quelques jours (MASSPE, 1996). Il est entendu que ces mesures complémentaires sont difficilement applicables en milieux nordiques, notamment dans les régions situées au-delà du 55° parallèle.

Tableau 1 Synthèse des informations techniques concernant les dispositifs d'assainissement d'air utilisables pour limiter la transmission du bacille de la tuberculose

Méthode	Principe actif	Avantages	Inconvénients	Références pertinentes
Système de ventilation localisé	Apport d'air frais, extraction d'air vicié et mélange de l'air intérieur (à l'aide d'un ventilateur plafonnier ou sur pied)	<ul style="list-style-type: none"> Permet de réduire la concentration d'agents pathogènes (ou de la diluer) dans un espace donné 	<ul style="list-style-type: none"> En mode recirculation, peut contribuer à étendre la contamination aux autres aires du bâtiment Efficacité mal documentée 	ASHRAE, 2009; CDC, 2005; FJCNTC, 2007
Système à lampe à rayons UV (les lampes suspendues ou intégrées aux conduits des systèmes de ventilation centralisés ou portables)	Destruction des agents pathogènes par UV-C ($\lambda = 254 \text{ nm}$)	<ul style="list-style-type: none"> Permet de détruire les agents pathogènes présents dans un espace donné Efficacité démontrée 	<ul style="list-style-type: none"> Performance du système tributaire d'une installation et d'un entretien adéquats (nettoyage et changement des tubes), du temps d'exposition des agents pathogènes aux UV (ventilation), et des conditions ambiantes (humidité et température) Risque d'exposition aux UV des occupants 	ACSP, 2013; ASHRAE, 2009; AAW, 2010; CDC 2005, CDC, 2009; EPA, 2009; Escombe <i>et al.</i> , 2009; FJCNTC, 2007; Hassen-Khodja, 2007, Kowalski et Bahnfleth, 1998; Macher <i>et al.</i> , 1992; MASSPE, 1996; Memarzadeh <i>et al.</i> , 2010; Nardell, 1993; Nardell, 2013; Peccia <i>et al.</i> , 2001; Riley et Nardell, 1993
Système à filtre HEPA et <i>ultra low penetration air filters</i> (ULPA)	Rétention des particules de la taille du micromètre (rétention de 99,97 % des particules de taille supérieure à 0,3 μm)	<ul style="list-style-type: none"> Permet de capter les particules de la taille du micron (dont les bacilles de tuberculose dans un espace donné) Efficacité démontrée 	<ul style="list-style-type: none"> Performance tributaire de l'entretien (changement des filtres) et de la disposition de l'appareil 	ACSP, 2013, ASHRAE, 2013a; EPA, 2009; FJCNTC, 2007; Hassen-Khodja, 2007; Kowalski et Bahnfleth, 1998; Miller-Leiden <i>et al.</i> , 1996; Olmsted et Arbor, 2008; Rutala <i>et al.</i> , 1995
Système à filtre au charbon activé	Absorption des composés organiques volatils (COV) et aérosols	<ul style="list-style-type: none"> Permet de capter les COV et les aérosols associés à la fumée de combustion de matière organique (tabac et marijuana) dans un espace donné 	<ul style="list-style-type: none"> Performance tributaire de l'entretien (changement des filtres) et de la disposition de l'appareil Faible efficacité spécifique 	Hassen-Khodja, 2007; EPA, 2009
Système à filtre électrostatique	Ionisation et immobilisation des particules de taille inférieure à 0,1 μm	<ul style="list-style-type: none"> Permet de capter une fraction des gouttelettes infectieuses Entretien simple et peu onéreux Efficacité démontrée 	<ul style="list-style-type: none"> Performance variable et notamment tributaire de l'entretien (nettoyage des plaques collectrices) et de la disposition de l'appareil Risque d'exposition des occupants à l'ozone émis par l'appareil 	ASHRAE, 2013 b, ASHRAE, 2013c; Boelter et Davidson, 1997; EPA, 2009; Hassen-Khodja, 2007; Howard-Reed <i>et al.</i> , 2003; Huang et Chen, 2002; Wallace <i>et al.</i> , 2004
Système de type générateur d'ions	Ionisation des particules de taille égale ou inférieure à 1 μm et dépôt sur les surfaces de la pièce	<ul style="list-style-type: none"> Permet de capter une fraction des gouttelettes infectieuses Entretien simple et peu onéreux Efficacité démontrée 	<ul style="list-style-type: none"> Performance tributaire de l'entretien et de la disposition de l'appareil Risque d'exposition des occupants à l'ozone émis par l'appareil ainsi qu'à d'autres contaminants générés par la réaction de l'ozone avec des objets synthétiques (ex. : COV) 	EPA, 2013; EPA, 2009; Escombe <i>et al.</i> , 2009; Hassen-Khodja, 2007

Tableau 1 Synthèse des informations techniques concernant les dispositifs d’assainissement d’air utilisables pour limiter la transmission du bacille de la tuberculose (suite)

Méthode	Principe actif	Avantages	Inconvénients	Références pertinentes
Système à Plasma froid	Destruction des microorganismes sous l’action combinée de champs électromagnétiques et de plasma	<ul style="list-style-type: none"> Permet de détruire les gouttelettes infectieuses captées par l’appareil 	<ul style="list-style-type: none"> Très peu de littérature disponible au sujet de cette technologie 	Hassen-Khodja, 2007
Système à générateur d’ozone	Émission d’ozone susceptible de réagir avec les contaminants organiques volatils de l’air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> Permet d’oxyder les contaminants gazeux (dont certaines composantes des fumées de combustion) 	<ul style="list-style-type: none"> Efficacité spécifique nulle Risque d’exposition des occupants à l’ozone émis par l’appareil 	CDC, 2013; SC, 2012; EPA, 2009; EPA, 2013; Hassen-Khodja, 2007
Système de filtration par oxydation photo catalytique	Production de radicaux libres susceptibles de réagir avec les contaminants organiques de l’air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> Permet de détruire les gouttelettes infectieuses captées par l’appareil 	Très peu de littérature disponible au sujet de cette technologie	Hassen-Khodja, 2007

4 Discussion

4.1 Option privilégiée

Sur la base des termes du mandat confié à l’équipe de recherche de l’INSPQ et des informations génériques compilées dans ce document (et plus spécifiquement celles présentées au tableau 1 et à l’annexe 4), les auteurs jugent appropriés de cibler les systèmes de filtration d’air portable HEPA comme une option qui peut être privilégiée à titre d’outil de gestion des environnements intérieurs potentiellement contaminés par des bacilles de *Mycobacterium tuberculosis*.

Conscients des limites inhérentes au manque de données probantes concernant l’efficacité de ces systèmes dans un contexte d’utilisation résidentielle nordique, les auteurs considèrent qu’en première analyse, cette option satisfait aux critères de faisabilité et d’acceptabilité définis dans le mandat (voir section 1.2), et qu’elle mériterait d’être testée en situation réelle. Bien qu’aucune étude comparative randomisée sur l’efficacité des unités de filtration portables n’ait été identifiée (la plupart des études disponibles étant des tests expérimentaux), ce type de système semble toutefois rencontrer les exigences du contexte présenté par la DSP en matière d’efficacité, de

polyvalence, de simplicité d’utilisation ainsi que de coûts d’achat, d’opération et d’entretien. Il est à noter que ces derniers aspects devront faire l’objet d’une vérification plus approfondie auprès des principaux fabricants et distributeurs afin d’identifier les appareils offrant le meilleur rapport qualité/prix.

En ce qui concerne l’acceptabilité sociale du dispositif ciblé, Shaughnessy et Sextro (2006) rapportent que la vente d’appareil d’épuration d’air portable a considérablement augmenté au cours de la dernière décennie. Ainsi, par exemple, 3 Américains sur 10 posséderaient au moins un type d’appareil portable dans leur résidence. Sur la base de ces informations, les auteurs supposent que l’usage quotidien d’un système portable de filtration HEPA conventionnel n’entraînerait pas d’inconvénient majeur chez les occupants. Par ailleurs, il pourrait être pertinent de développer des outils de communication adaptés aux communautés autochtones pour favoriser une utilisation optimale de ces équipements. En effet, les auteurs du présent avis sont conscients que l’application de cette mesure peut s’avérer fort complexe, voir inefficace, si les utilisateurs ciblés ne font pas un usage ainsi qu’un entretien adéquats de ces appareils.

Tel que mentionné par le FJCNTC (2007), dans le contexte où la ventilation naturelle est peu praticable et en écartant la possibilité de mettre en place des systèmes de ventilation centralisés (pour les raisons évoquées plus haut), l'utilisation d'un appareil de ventilation portable muni de filtre HEPA devient envisageable et adaptable au milieu résidentiel. Bien que l'inactivation bactérienne par un système IGUV (généralement installé près du plafond des pièces) ait prouvé son efficacité, ce type de dispositif nécessite d'être installé et entretenu par des ressources compétentes (FJCNTC, 2007), en plus de constituer un risque d'irradiation pour les occupants (Talbot *et al.*, 2002; voir annexe 4).

Alors qu'il est possible de se procurer sur le marché des appareils hybrides destinés à l'épuration de l'air muni d'une lampe à rayons UV en plus d'un filtre HEPA (cette combinaison augmentant théoriquement l'efficacité recherchée), le débit d'air élevé généré par ces équipements n'offrirait pas le temps de latence nécessaire pour permettre aux UV de détruire efficacement les agents pathogènes présents dans l'air intérieur (FJCNTC, 2007). Ces derniers mentionnent que la présence de lampes à rayons UV serait plus utile à la désinfection des conduits de l'appareil (et toute autre surface exposée aux UV) que de l'air qui transite par celui-ci. Ces mêmes auteurs soulignent que l'ajout d'une lampe à rayons UV à l'intérieur de tels dispositifs de filtration portables s'avère superflu, considérant que les filtres HEPA sont déjà en mesure de retenir les aérosols porteurs de bacilles infectieux (FJCNTC, 2007). La revue de littérature effectuée par le Medical Advisory Secretariat (MAS) du ministère de la santé de l'Ontario va dans le même sens. Les résultats indiquent qu'il subsiste des incertitudes quant aux bénéfices que pourraient offrir les appareils d'épuration portables hybrides munis d'un filtre HEPA et d'une lampe à rayons UV, comparativement à ceux uniquement équipés d'un filtre HEPA sur le risque de transmission d'agents infectieux aéroportés (MAS, 2005). Le MAS (2005) affirme qu'au regard des incertitudes relatives aux bénéfices, le filtre HEPA constitue une alternative raisonnable aux technologies combinées UV-HEPA.

En contrepartie de cet argumentaire, il importe toutefois de mentionner que l'EPA (2009) recommande l'utilisation de systèmes portables mixtes constitués de filtres HEPA et de lampes à rayons UV pour contrôler la propagation d'agents infectieux aéroportés. En outre,

les résultats des travaux de laboratoire effectués par Kawalski et Bahnfleth (1998) appuient cette recommandation. Selon ces derniers, les systèmes hybrides amalgamant les filtres HEPA et UV constitueraient le moyen le plus efficace de diminuer les risques de contamination, dans la mesure où chacun des éléments en lien avec la performance de ces technologies soit bien compris et optimisé (c.-à-d. assurer la recirculation de l'air dans l'appareil de façon uniforme et à une fréquence suffisante pour favoriser l'irradiation complète des agents pathogènes présents dans l'air intérieur). Selon l'ASHRAE (2009), l'efficacité des filtres et des lampes à rayons UV qui peuvent être installés dans les conduits de systèmes de ventilation centralisés serait par ailleurs comparable. Dans des conditions de mélange parfait de l'air intérieur, Kawalski et Bahnfleth (1998) ont également présenté certains éléments de preuve soutenant que les équipements localisés sont en mesure d'offrir une efficacité similaire aux systèmes centralisés au regard de la diminution des concentrations de bactéries dans l'air intérieur.

Bien que contrairement au FJCNTC (2007) et au MAS (2005), l'ASHRAE ne qualifie pas l'utilisation de systèmes munis de lampe à rayons UV de superflue; elle souligne tout de même qu'il serait pertinent d'entreprendre de nouvelles recherches portant sur les moyens de contrôle de la transmission de ce type d'agent infectieux (ASHRAE, 2009). Les conclusions du rapport publié par Hassen-Khodja (2007) vont dans le même sens. Tout en réaffirmant que l'utilisation de dispositifs portables munis de filtre HEPA est en mesure de réduire de façon significative les concentrations d'agents pathogènes dans l'air intérieur ainsi que le taux d'infection secondaire des occupants, ceux-ci mentionnent qu'il serait intéressant de documenter les coûts d'opération et d'entretien de tels équipements ainsi que les mesures de gestion des odeurs et des bruits qui devraient être considérés tant par les fabricants que pour les occupants. Selon ces auteurs, tous ces éléments devraient d'ailleurs être considérés lors du choix d'un type d'appareil.

4.2 Choix d'un dispositif de filtration portable de type HEPA

Un nombre important de modèles d'appareils de filtration portables de type HEPA sont disponibles sur le marché. Dans le contexte qui nous occupe, il importe de sélectionner un modèle dont les performances sont

compatibles avec la dimension des pièces dans lesquelles des mesures de contrôle environnementales devront être appliquées (Whitby *et al.*, 1983; Shaughnessy et Sextro, 2006).

4.2.1 DÉBIT MINIMUM D'AIR TRAITÉ REQUIS

Afin de promouvoir l'usage de systèmes efficaces et adaptés aux divers types de milieux intérieurs, l'American National Standards Institute (ANSI) (norme ANSI et l'Association of Home Appliance Manufacturer [AHAM]; AC-1-2002) ont développé un standard d'efficacité pour les appareils portables, basé sur la quantité d'air propre livré par unité de temps (AHAM, 2004). Ce critère est nommé *Clean Air Delivery Rate* (CADR) et s'applique à trois types de contaminants particuliers fréquemment présents dans l'environnement intérieur, soit les poussières, la fumée de tabac et les pollens. Ce standard est essentiellement élaboré en fonction de la dimension des pièces afin d'en optimiser l'efficacité. Il est exprimé en PCM ou CFM (*cubic feet per minute* en anglais), et permet d'établir une comparaison directe entre l'efficacité de différents appareils portables dans un contexte donné (EPA, 2009). L'efficacité visée par les recommandations générales d'usage est standardisée pour fournir un volume d'air équivalent à 4-5 fois le volume de la pièce par unité de temps donnée (soit 4-5 eCAH), assumant un rendement normalisé des appareils à 80 %. Bien que ce rapport d'air propre délivré (CADR) permette de comparer les performances de divers équipements, celui-ci n'est malheureusement pas toujours précisé par les manufacturiers, car il s'agit d'un programme auquel l'adhésion des fabricants demeure volontaire. De plus, il est à noter que les recommandations générales fournies par ces organismes concernant le traitement de l'air intérieur ne seraient pas suffisamment strictes pour pallier au risque associé à la transmission de la tuberculose.

Afin de faciliter le choix d'une unité de filtration portable dont les capacités sont adaptées à l'actuelle problématique ainsi qu'au volume de la pièce ciblée, le FJCNTC (2007) a préparé une grille d'analyse basée sur l'efficacité de l'appareil lorsque celui-ci est opéré au débit minimum (Tableau 2). En effet, il est reconnu que les occupants préfèrent opérer les dispositifs de filtration portables au mode générant le moins de bruit possible, ce qui correspond au débit minimal de l'appareil (ou médian dans certaines occasions), et ce,

même si cette préférence affecte l'efficacité générale de l'unité de filtration. Le FJCNTC (2007) recommande également d'opter pour un appareil qui soit en mesure de générer un minimum de 6 eCAH. Bien que certains organismes recommandent de choisir des équipements capables de générer un minimum de 12 eCAH (ACN, 2010; ANSI/ASHRAE/ASHE, 2008) dans les salles d'isolement, l'atteinte de l'objectif de 6 eCAH apporterait un compromis acceptable en terme de bénéfices, en considérant qu'il est important de le mettre en perspective avec les coûts d'achat et de fonctionnement engendrés. C'est notamment pour cette raison que les CDC (2005) recommandent le maintien d'une ventilation équivalente à 6 eCAH dans les bâtiments érigés avant 1994 (voir annexe 3).

Par ailleurs, des études ont montré qu'un taux de ventilation de 1 CAH (dans des conditions de mélange parfait) permettrait à lui seul de réduire à plus de 60 % la charge de contaminants de l'air intérieur dans un bâtiment normalement occupé (Riley, 1979; Nardell *et al.*, 1991). Dans des conditions de mélange plus réalistes, cette proportion se situerait entre 20 et 63 % (MAS, 2005). Aussi, Menzies et Wong (2013) mentionnent qu'en augmentant le taux de renouvellement de l'air de 1 à 6 CAH, le système de ventilation serait en mesure d'éliminer à lui seul de 4 à 5 fois plus rapidement les microorganismes présents dans l'air intérieur. D'autre part, selon le Ministère des Affaires sociales, de la Santé publique et de l'Environnement (MASSPE) (1996), le renouvellement minimal de l'air intérieur (incluant le chauffage ou la climatisation) devrait comporter de 4 à 6 eCAH tout en évitant la recirculation de l'air provenant des locaux contaminés. Pour leur part, Memarzadeh *et al.* (2010) rapportent qu'une ventilation intense (ex. : 12 CAH) s'avère une mesure efficace pour contrôler l'abondance de particules aéroportées alors qu'un taux de ventilation de 6 CAH est considéré minimal.

En marge de ces constats, certains auteurs signalent que toute hausse au-delà de 6 CAH engendrerait des résultats de plus en plus mitigés alors qu'au-delà de 12 CAH, la ventilation n'apporterait que très peu de bénéfices additionnels (Menzies et Wong 2013; Nardell *et al.*, 1991). Effectivement, il a été estimé qu'au-delà de 12 à 15 CAH, le retrait des microorganismes pathogènes entraîne davantage de coûts que de bénéfices, car il est reconnu que plus le nombre de CAH est élevé, plus les coûts de conception,

d'installation, d'utilisation et d'entretien augmentent proportionnellement (Menzie et Wong, 2013).

Quoi qu'il en soit, les résultats des études réalisées notamment dans les zones publiques d'hôpitaux (c.-à-d. salle d'attente) montrent qu'il n'existerait pas de taux universel de ventilation pour prévenir la transmission de la tuberculose (Knibbs *et al.*, 2011), mais que celui-ci devrait être adapté aux caractéristiques du milieu

intérieur concerné (ex. : volume) (Menzie et Wong, 2013). Enfin, et en dépit du type d'appareil sélectionné, le FJCNTC (2007) recommande d'ajouter un facteur de 25 % au débit minimum présenté par le fabricant du dispositif pour un volume de pièce donné, car celui-ci est généralement atteint dans un contexte d'opération idéal (considérant des filtres neufs non souillés; FJCNTC, 2007).

Tableau 2 Débits minimums requis PCM en fonction de la dimension de la pièce (Pied cube ou p³)

Volume de la pièce (pi ³)	6 eCAH		12 eCAH	
	Débit minimum requis (PCM)	Débit minimum indiqué par le fabricant (PCM)	Débit minimum requis (PCM)	Débit minimum indiqué par le fabricant (PCM)
800	80	100	160	200
1 000	100	130	200	250
1 500	150	190	300	375
2 000	200	250	400	500
4 000	400	500	800	1 000
8 000	800	1 000	1 600	2 000

Le débit minimum requis (PCM) est calculé comme suit : [(volume de la pièce x 6 CAH)/60 minutes par heure]*125 %.

Modifié du FJCNTC (2007).

4.2.2 FILTRES ET PRÉFILTRES

Outre le choix de l'appareil de filtration et de ses capacités à bas régime, le choix des filtres compte parmi les éléments les plus susceptibles de moduler l'efficacité de ce type de dispositif pour lutter contre la propagation d'agents infectieux. L'utilisation d'un préfiltre (*minimum efficiency reporting value* [MERV] 7 offrant un rendement d'environ 30 %) suivi d'un filtre à haut rendement (HEPA) constituerait une combinaison durable et efficace, selon le FJCNTC (2007), pour des applications en milieux hospitaliers. En effet, l'utilisation d'un préfiltre de diamètre poral plus élevé que le filtre HEPA pourrait contribuer, dans des conditions d'utilisation dites normales, à allonger la durée de vie utile de ce dernier. L'utilisation d'un préfiltre ou d'une cartouche constituée de charbon actif pourrait également être considérée pour atténuer les odeurs ainsi que les concentrations de COV présents dans l'air ambiant (c.-à-d. toluène, hexane, dichlorométhane, formaldéhyde) (Shaughnessy et Sextro, 2006, voir annexe 4). Un tableau descriptif présentant l'efficacité des différents filtres et préfiltres disponibles sur le marché est également présenté à l'annexe 5.

En ce qui a trait à la fréquence de remplacement des filtres et préfiltres, il est important d'établir un échéancier de remplacement basé sur les prescriptions du manufacturier (FJCNTC, 2007). Il est particulièrement important d'observer cette recommandation si l'unité de filtration portable n'est pas équipée d'une minuterie, d'une jauge de pression ou autres systèmes électroniques témoignant de la durée totale d'utilisation de l'appareil, de l'obturation du filtre ou de son espérance de vie utile. De façon générale, et suivant une utilisation normale de ce type de dispositif, il est habituellement conseillé de changer les préfiltres à tous les six mois, et les filtres HEPA tous les ans (voir références citées à l'annexe 7). Bien entendu, la nécessité de remplacer des filtres est modulée par la fréquence d'utilisation de l'appareil ainsi que par la concentration de particules en suspension dans l'espace concerné. Les CDC (2005) ont d'ailleurs élaboré des lignes directrices balisant les mesures d'installation, d'entretien et d'élimination des filtres employés pour purifier l'air en milieu hospitalier. La prise en charge de ces aspects demeure importante dans un contexte d'atténuation du risque posé par la présence d'agents infectieux dans l'air intérieur, car ces derniers sont susceptibles d'être remis en suspension

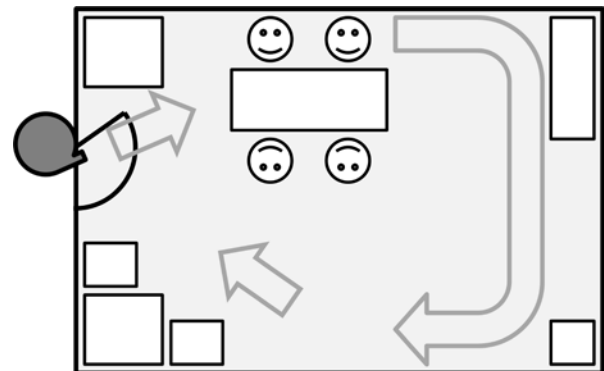
lors des manipulations associées au remplacement et à l'élimination des filtres.

4.3 Emplacement du dispositif

En plus du choix du type de filtres pouvant être utilisés dans l'unité mobile, l'emplacement de cette dernière est susceptible d'affecter son efficacité (MAS, 2005). Lorsque la source de contamination est diffuse (comme c'est le cas dans le présent contexte), l'appareil doit être installé pour forcer l'introduction d'air propre dans la pièce ciblée, à bonne distance de tout objet qui pourrait restreindre l'entrée ou la sortie d'air dans l'appareil (FJCNTC, 2007). À cet effet, Olmsted et Arbor (2008) ont démontré, à l'aide d'une étude en conditions contrôlées, que l'élimination des particules de la taille de *Mycobacterium tuberculosis* était plus efficace lorsque l'appareil de filtration était placé à l'entrée de l'espace à protéger avec un flux d'air filtré orienté vers cet espace. En plus d'alimenter l'espace intérieur à protéger en air filtré, cette configuration orienterait le flux d'air vicié vers l'extérieur de la pièce. Ce mouvement d'air circulaire peut être favorisé en s'assurant que la configuration des murs de la pièce, de même que les objets s'y trouvant ne fassent pas obstacle à l'écoulement de l'air. Selon le FJCNTC (2007), les personnes nécessitant une protection devraient idéalement être placées directement vis-à-vis le flux d'air filtré (voir exemple présenté à la figure 1). De plus, ce type d'appareil offre de meilleures performances lorsque les portes donnant accès aux autres pièces du bâtiment sont maintenues fermées (EPA, 2009).

Les auteurs du présent ouvrage sont également d'avis que le mode d'occupation de l'ensemble des pièces des bâtiments devrait être considéré dans l'élaboration d'une stratégie d'atténuation des risques de transmission du bacille. Cette préoccupation vise essentiellement à limiter la transmission de la bactérie aux occupants localisés à l'intérieur même de la pièce où se situerait un cas source ainsi que ceux se trouvant dans une pièce adjacente à celle-ci. Ainsi, l'utilisation de plusieurs appareils pourrait être également envisagée dans le cas où plusieurs pièces seraient potentiellement occupées par des personnes nécessitant une protection de ce type.

Figure 1 Exemple schématique de l'emplacement idéal d'un système de filtration



L'appareil de filtration (cercle gris foncé) est disposé sur le seuil de la porte d'accès à la pièce, alors que le flux d'air frais (flèches grises) est dirigé vers les occupants à protéger.

4.4 Période d'utilisation

Selon la majorité des auteurs consultés, les équipements d'épuration de l'air intérieur portables devraient être utilisés dès que les occupants pénètrent dans l'espace à protéger. De façon générale, il est recommandé de laisser l'appareil en marche environ une heure après le départ des occupants afin d'achever le processus d'épuration (FJCNTC, 2007). Menzies et Wong (2013) ont d'ailleurs publié un intéressant tableau présentant le temps requis pour l'élimination des agents infectieux de l'air intérieur lorsque la production d'aérosols est interrompue (voir tableau 3).

Tableau 3 Temps requis pour éliminer les agents infectieux aéroportés suite à l'arrêt de la production d'aérosols (adapté des recommandations des CDC)

Renouvellements d'air à l'heure	Nombres de minutes requises pour éliminer les aérosols infectieux	
	Élimination à 99 %	Élimination à 99,9 %
2	138	207
4	69	104
6*	46	69
12*	23	35
15	18	28
20	14	21
50	6	8

* Temps d'épuration requis pour les taux de CAH minimal (6 eCAH) et optimal (12 eCAH) recommandés.
Tiré de Menzies et Wong (2013).

4.5 Atténuation des risques associés à l'usage de dispositifs de filtration HEPA

Aux fins de la présente discussion, une analyse de risque a été réalisée en utilisant les équations en lien avec l'évaluation de l'efficacité des mesures de contrôle environnementales applicables à la tuberculose, soit les équations de Wells-Riley présentées à l'annexe 6. En dépit des incertitudes inhérentes au modèle théorique soutenu par ces équations et sur la base de certaines hypothèses de travail conservatrices, cette approche quantitative a été mise à profit dans le cadre de la présente requête pour évaluer l'efficacité théorique des unités de filtration portables de type HEPA. Bien entendu, cette évaluation ne tient pas compte des contraintes relatives à l'utilisation des équipements qui pourrait influencer leur efficacité (c.-à-d. emplacement de l'appareil).

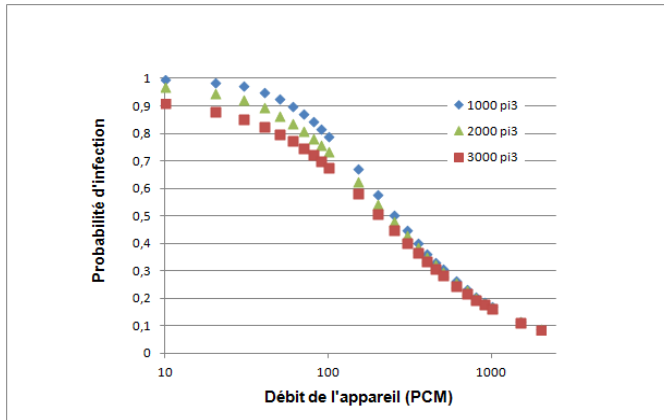
L'analyse effectuée avec l'équation de Wells-Riley pour des pièces dont le volume est équivalent à 1 000, 2 000 et 3 000 pi³ (ou 28,3, 56,6 et 85 m³, respectivement) assume la présence de gouttelettes infectieuses de la taille de 0,5 µm dans un espace aux caractéristiques uniformes et homogènes. La ventilation naturelle (non mécanisée) de cette pièce est fixée à 0,1 CAH⁵, alors que la recirculation de l'air par l'appareil de filtration est considérée comme étant négligeable. Le rendement de l'appareil de filtration est ajusté à 80 %, et la période d'utilisation excède légèrement la période d'occupation (9 h d'utilisation pour une période d'occupation de 8 h; $f_{\text{syst}} = 1,125$). L'analyse présentée intègre également un quanta équivalent à 13 (NAFA, 2012), et la présence de 4 adultes ayant chacun un débit de ventilation pulmonaire équivalente à 0,71 m³/h (INSPQ, 2012)⁶. Une seule personne du groupe présente dans la pièce est infectée alors que l'irradiation solaire de la pièce est considérée comme négligeable.

L'analyse confirme que l'utilisation d'un appareil de filtration est théoriquement en mesure d'atténuer les risques de propagation de l'agent infectieux de façon significative (voir figure 2).

⁵ Les auteurs posent cette hypothèse assumant que l'enveloppe du bâtiment concerné possède une grande étanchéité; soit un scénario conservateur au regard des risques de transmission de la tuberculose.

⁶ Calculé sur la base d'un taux d'inhalation moyen d'un adulte de 0,227 Accessible au :m³/kg-jour (écart-type de 0,025) Accessible au ; le poids corporel moyen de l'adulte étant de 74,6 kg (écart-type de 17) (voir INSPQ, 2012)

Figure 2 Évaluation théorique du risque d'infection en fonction du débit de l'appareil de filtration portable de type HEPA basé sur les équations de Wells-Riley



Alors que les probabilités théoriques d'infection pour des occupants qui ne bénéficieraient pas de système de filtration atteignent respectivement 99 %, 98 % et 94 %, celles-ci pourraient être réduites à près de 30 %, suivant l'utilisation d'un appareil de filtration dont le débit atteindrait 500 PCM, et ce, pour les 3 dimensions de pièces considérées. Sur la base des paramètres de calculs présentés, les probabilités moyennes d'infection pourraient donc être abaissées d'environ 70 %, suivant l'utilisation de ce type d'appareil d'épuration de l'air intérieur.

En ce qui concerne l'exemple plus spécifique d'une pièce dont le volume est équivalent à 2 000 pi³, l'utilisation de cet appareil (fournissant un débit de 500 PCM et entraînant une ventilation de l'ordre de 15 eCAH) rencontrerait les exigences de l'ACN et de l'ASHRAE concernant la ventilation des chambres d'isolement des patients soupçonnés d'être atteints de tuberculose en milieu hospitalier (c.-à-d. un minimum de 12 eCAH; voir annexe 3). Sur la base de ce même exemple (pièce de 2 000 pi³) et des mêmes paramètres de calcul, l'utilisation d'un appareil délivrant 250 PCM d'air frais serait largement en mesure d'engendrer 6 eCAH, et de diminuer le risque théorique d'infection d'environ 50 %.

Selon les estimés présentés par la National Air Filtration Association (NAFA) (2012; basés sur les mêmes équations de Wells-Riley), l'utilisation des filtres HEPA intégrés dans des systèmes centralisés (HVAC)

diminuerait les risques d'infection associés à des pathogènes aéroportés d'environ 55 %, 60 % et de 82 % dans des conditions environnementales jugées raisonnables associées à des espaces situés dans des bureaux, des écoles et des hôpitaux respectivement. Ces conditions rencontrent notamment les normes ASHRAE élaborées pour chacun de ces types de milieu (NAFA, 2012). En somme, l'utilisation de filtres HEPA dans les systèmes de ventilation centralisés permettrait une réduction théorique moyenne du risque relatif de 67 % selon les calculs de la NAFA (2012). L'analyse de Rutala *et al.* (1995) va dans le même sens, en affirmant que les unités de filtration portables peuvent rapidement réduire la concentration de particules aérosolisées présentes dans l'air intérieur, et qu'en ce sens, celles-ci peuvent contribuer à réduire le risque d'exposition à *Mycobacterium tuberculosis*.

Il est à noter que, bien que les calculs effectués dans le cadre du présent exercice corroborent les affirmations des auteurs consultés, il demeure hasardeux d'effectuer une transposition directe de l'ensemble de ces résultats aux milieux concernés en raison de la méconnaissance de ces derniers, compte tenu des nombreux facteurs environnementaux et comportementaux qui pourraient invalider cette analyse théorique (c.-à.-d. condition d'humidité, concentration en matières particulaires en suspension, installation et entretien de l'appareil de filtration, etc.).

4.6 Sélection d'un système

4.6.1 INVENTAIRE DES MARQUES ET MODÈLES DISPONIBLES AU CANADA

En accord avec la demande de la DSP du Nunavik, les auteurs du présent rapport ont dressé une liste détaillée (quoique non exhaustive) de systèmes pouvant, *a priori* et sur la base des informations disponibles, s'avérer compatibles au contexte présenté. Les auteurs ont fait le choix de présenter la gamme des appareils disponibles, l'étendue des caractéristiques techniques répertoriées, et des prix suggérés par les fournisseurs/distributeurs répertoriés. Ces informations sont déclinées dans un tableau synthèse présenté à l'annexe 7. De plus, les auteurs tiennent à souligner qu'il n'existe pas d'appareil idéal qui offrirait, en toutes circonstances, un rapport coût/efficacité optimal. Ainsi, le choix d'un appareil doit toujours être effectué au regard des spécificités du milieu intérieur concerné.

4.6.2 CRITÈRES DE SÉLECTION D'UN SYSTÈME

Les auteurs du présent document ne préconisent pas de faire l'acquisition d'un modèle en particulier, mais recommandent le choix d'un appareil de filtration HEPA compatible avec les caractéristiques structurales et occupationnelles des milieux concernés. Une attention particulière doit en effet être portée au choix du modèle, car le volume d'air pouvant être traité varie grandement d'un dispositif à l'autre. En marge de cette orientation générale, certains critères minimaux devraient néanmoins être pris en considération lors des démarches d'acquisition d'un tel appareil. Ainsi, sur la base des informations présentées dans les précédentes sections, l'appareil sélectionné devrait :

- Posséder une puissance (un débit d'air minimal) compatible avec le volume d'air à assainir (ex. : 250 PCM si le volume de la pièce est de 2 000 pi³ afin d'obtenir un taux de ventilation de [6 eCAH]).
- Contenir un préfiltre au charbon actif.
- Avoir une faible consommation énergétique.
- Produire un niveau sonore acceptable.

5 Conclusion

Les gouttelettes contenant des micro-organismes infectieux émises dans l'air intérieur par les individus atteints de tuberculose sont susceptibles de persister dans le milieu pendant une période relativement longue et, incidemment, de franchir des distances relativement importantes. De ce fait, la mise en place d'une stratégie de contrôle de la qualité de l'air intérieur pourrait s'avérer un moyen efficace pour limiter la propagation de ce type d'infection. Il va de soi que l'application de mesures de contrôle environnementales ne peut à elle seule garantir une réduction significative du risque d'infection et qu'en ce sens, il demeure nécessaire d'intégrer de telles mesures dans une démarche de gestion du risque intégrée [incluant des mesures administratives, environnementales et individuelles] afin de limiter ou de prévenir la transmission de la maladie.

Alors que les appareils de ventilation centralisés sont recommandés comme mesure de contrôle environnementale de premier choix, les appareils de filtration portables offrent une solution palliative complémentaire théoriquement efficace pour diminuer la concentration d'agents pathogènes de l'air intérieur.

Lorsque ce type de dispositif est utilisé dans des conditions optimales, tant les données issues d'études en laboratoire, de milieux hospitaliers que des calculs théoriques effectués tendent à démontrer que les appareils de filtration HEPA sont en mesure de réduire significativement les risques de transmission d'agents infectieux aéroportés.

Bien que les appareils d'épuration portables munis de filtre HEPA s'avèreraient efficaces pour retenir une fraction des particules fines associées à la fumée de tabac ou de cannabis [dont la présence est potentiellement élevée dans les milieux concernés par la présente revue de littérature], l'ajout d'un préfiltre au charbon est souhaitable, compte tenu de son efficacité à réduire la charge de contaminants gazeux de l'air intérieur. L'ajout de ce type de préfiltre limiterait la synergie observée entre l'exposition à la fumée de tabac et les risques de développer une infection pulmonaire, tout en améliorant la qualité de l'air général des milieux intérieurs concernés.

Il est important de souligner que les documents consultés dans le cadre de l'élaboration du présent avis ne permettent pas de discriminer sur la base de données probantes l'utilisation d'un dispositif au détriment d'un autre. Dans ce contexte, la sélection d'un dispositif est davantage fondée sur des données techniques théoriques [rendement, efficacité, prix d'achat et d'utilisation, niveau sonore, etc.] issues de la littérature grise produite par les distributeurs et fabricants. En effet, bien que certains critères d'efficacité standardisés permettent d'orienter ce choix, la littérature ne rapporte aucune étude comparative pertinente, les critères de sélection préconisés demeurant théoriques. Les données fournies par certains fabricants sont par ailleurs fragmentaires et non spécifiques à la prévention de la tuberculose.

Ainsi, puisque l'efficacité théorique des systèmes de filtration de type HEPA est essentiellement appuyée sur des données non spécifiques au contexte de la présente requête, il devient nécessaire de générer de nouvelles données probantes par l'entremise d'une étude exploratoire effectuée dans des conditions reflétant la réalité des communautés nordiques. Cette orientation est compatible avec certaines interventions clés prescrites par l'OMS dans la lutte à la tuberculose, soit : I) de prendre en compte les groupes les plus vulnérables et les plus difficiles à atteindre; II) d'investir

dans la recherche et dans de nouveaux outils (OMS, 2014).

À titre d'exemple, un projet pilote pourrait être conjointement élaboré par les organismes liés au domaine de l'habitation (ex. SHQ, CNRC Construction, RBQ, etc.) en collaboration avec le réseau de la santé (ex. : DRSP du Nunavik et INSPQ). L'acquisition de données spécifiques permettrait de valider la pertinence des propositions techniques présentées dans le présent rapport, et d'élaborer un plan de prévention davantage adapté au contexte dans lequel évoluent les communautés concernées par la tuberculose. Dans l'éventualité où une telle avenue était envisagée, il importerait de bien cibler les objectifs à atteindre et de bien définir les paramètres de l'expérimentation (ex. : type d'habitation, mode d'occupation, mesures préventives, groupes contrôle et témoin, etc.).

Références

- Affaires indiennes et du Nord Canada (AINC) (2005). *Points saillants du rapport de la commission royale sur les peuples autochtones : à l'aube d'un rapprochement*. Accessible au : http://www.aadnc-aandc.gc.ca/fra/1100100014597/1100100014637?utm_source=sgmm_f.html&utm_medium=url.
- American Air et Water (AAW) (2010). *UV light fight tuberculosis*. Accessible au : <http://www.americanairandwater.com/uv-facts/tb-uv.htm>.
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC) (2013). *Taux internationaux d'incidence de la tuberculose*. Accessible au : <http://www.phac-aspc.gc.ca/tbpc-latb/itir-fra.php>.
- Agence de santé publique du Canada (ASPC) (2012). *Tuberculose et tabagisme*. Accessible au : <http://www.phac-aspc.gc.ca/tbpc-latb/fa-fi/tbtobacco-tabag-fra.php>.
- Agence de santé publique du Canada (ASPC) (2007). *Les conditions de logement comme facteur de risque d'infection tuberculeuse et de tuberculose active*. Accessible au : <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/07vol33/acs-09/index-fra.php>.
- ASHRAE (2013a). *Assessment of two control strategies for reducing human exposure to airborne particles while sleeping in low-energy homes*. ASHRAE IAQ 2013 proceeding: Environmental Health in low energy buildings. Accessible au : www.ashrae.org.
- ASHRAE (2013 b). *Effectiveness of an in-dust electrostatic precipitator in nanoparticle removal with consideration of ozone emissions*. ASHRAE IAQ 2013 proceeding: Environmental Health in low energy buildings. Accessible au : www.ashrae.org.
- ASHRAE (2013c). *Stand-alone air-filters improve indoor air quality in a first nation community*.
- ASHRAE IAQ 2013. *Proceeding: Environmental Health in low energy buildings*. Accessible au : www.ashrae.org.
- ASHRAE (2009). *Position document on airborne infectious diseases*. Accessible au : www.ashrae.org.
- Association canadienne de normalisation (ACN) (2010). *Système de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air (CVCA) dans les établissements de santé: exigences particulières*. CAN/CSA-Z317.2-10
- American National Standards Institute, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association (ANSI/ASHRAE/ASHE) (2008) Standard 170-2008. *Ventilation of Health Care Facilities*. ASHRAE, Atlanta.
- Beggs, C.B, Noakes, C.J. et Sleigh, P.A. (2003). The transmission of tuberculosis in confined spaces: analytical review of alternative epidemiological models. *Int J Tuberc Lung Dis*. 7: 1015-1026.
- Boelter, K.J. et Davidson, J.H. (1997). Ozone generation by indoor electrostatic air cleaner. *Aerosol Science and Technology*. 27: 689-708.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2013). *Ozone*. Accessible au : <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ozone/>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012). *Basic TB Facts*. Accessible au : <http://www.cdc.gov/TB/TOPIC/basics/default.htm>.

- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2009). *Environmental control for tuberculosis: Basic upper-room ultraviolet germicidal irradiation guidelines for healthcare setting*. Accessible au : <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/pdfs/2009-105.pdf>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2005). Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Setting. *MMWR* 54(RR-17):140.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2003). *Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities*. *MMWR* 52(RR-10):144.
- Clark, M., Riben, P., Nowgesic, E. (2002). The association of housing density, isolation and tuberculosis in Canadian First Nation Communities. *Int. Epidemiol*, 31:940-943.
- Dales, R. Miller, D., White, J., Dulgerg, C., Lazarovitzs, A.I. (1998). Influence of residential fungal contamination on peripheral blood lymphocyte population of children. *Archive of environmental Health*. 53(3): 190-195.
- Escombe, A.R., Moore, D.A.J., Gilman, R.H., Navincopa, M., Ticona, E., Mitchell, B., Noakes, C., Martinez, C, Sheen, P., Ramirez, R., Quino, W., Gonzalez, A., Friedland, J.S., Evans. C.A (2009). Upper-Room Ultraviolet Light and Negative Air Ionization to Prevent Tuberculosis Transmission. *PLoS Med*. 6(3):e1000043.
- Francis J. Curry National Tuberculosis Center (FJCNTC) (2007). *Tuberculosis infection control: a practical manual for preventing TB*. Accessible au : <https://www.ndhealth.gov/Disease/TB/Documents/infection%20Control.pdf>.
- Hassen-Khodja, R. (2007). *Les purificateurs d'air portables en milieu hospitalier : État de la question*. Rapport préparé par l'Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé de l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. Accessible au : <http://www.hscm.ca/fileadmin/contenu/pdf/PURIFICATEURS%20D'AIR.pdf>.
- Howard-Reed, C., Wallace, L.A. et Emmerich, S.J. (2003). Effect of ventilation systems and air filters on decay rates of particle produced by indoor sources in an occupied townhouse. *Atmospheric Environment*, 37:5295-5306.
- Huang, H.S. et Chen, C.C. (2002). Ultrafine aerosol penetration through electrostatic precipitator. *Environ. Sci. Technol.* 36(21):4625-4632.
- Hyttinen, M.é, Rautio, A., Pasanen, P., Reponon, T., Scott Earnest, G., Streifel, A. Et Kalliokoski, P. (2011). Airborne infection isolation rooms – A review of experimental studies. *Indoor and Built Environment*, 20:584-594.
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (2013). *Mesures de prévention et contrôle des infections à l'urgence. Comité sur les infections nosocomiales du Québec*. Direction des risques biologiques et de la santé au travail.
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (2012). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec*. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec.
- Larcombe, L., Nickerson, P., Singer, M., Robson, R., Dantouze, J., McKay, L. et Orr, P. (2011). Housing conditions in 2 Canadian First Nation communities. *International Journal of Circumpolar Health*, 70(2):141-153.
- Li, Y., Leung, G.M., Tang, J.W., Yang, X., Chao, C.Y.H., Lin, J.Z., Lu, J.W., Neilsen, P.V., Niu, J., Qina, H., Sleight, A.C., Su, H.-J.J., Sundell, J., Wong, T.W. et Yune, P.L. (2007) Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air*, 17: 2-18.
- Lienhardt, C. (2001) From exposure to disease: the role of environmental factors in susceptibility to development of tuberculosis. *Epidemiol Rev*, 23: 288-301.
- Lin, H.-H., Ezzati, M. et Murray, M. (2007) Tobacco smoke, indoor air pollution and tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Medecine*. 4(1e-20)0173-0189.
- Knibbs, L.D., Morawska, L., Bell, S.C. et Grybowski, P. (2011) Room ventilation and the risk of airborne infection transmission in 3 health care setting within a large teaching hospital. *Am J Infect Control*. 39:866-872.

- Kovesi, T. (2012) *Respiratory disease in Canadian First Nation and Inuit children*. Paediatr. Child Health, 17(7):376-380.
- Kovesi, T., Zaloum, C., Stocco, C., Fugler, D., Dales, R.E., Ni, A., Barrowman, N., Gilbert, N.L. et Miller, J.D. (2009). Heat recovery ventilators prevent respiratory disorders in Inuit children. *Indoor Air*, 19:489-99.
- Kovesi, T., Gilbert, N.L., Stocco, C., Fugler, D., Dales, R.E., Guay, M. et Miller JD, (2007). Indoor air quality and the risk of respiratory tract infections in young Inuit children. *CMAJ*, 17: 155-160.
- Kowalski, W.J. et Bahnfleth, W. (2000). *UVGI design basics for air and surface disinfection*. Air Conditionning, 72(1) : 100-110.
- Kowalski, W.J. et Bahnfleth, W. (1998). *Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes*. Air Conditionning, 70(7) : 34-48.
- Kunimoto, D, Sutherland, K., Wooldrage, K. Fanning, A., Chui, L. Manfreda, J. et Long, R. (2004). Transmission characteristics of tuberculosis in the Foreign-born and the Canadian-born population of Alberta, Canada. *Int J Tuberc Lung Dis*, 8: 1213-1220.
- Macher, J.M., Alevantis, L.E., Chang, Y.L. et Liu, K.S. (1992). Effect of ultraviolet germicidal lamps on airborne microorganism in an outpatient waiting room. *Appl Occup. Environ. Hyg*, 7:505-513.
- MacIntosh, D.L., Myatt, T.A., Ludwig, J.F., Baker, B.J., Suh, H.H. et Spengler, J.D. (2008). Whole house particle removal and clean air delivery rates for induct and portable ventilation systems. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(11): 1474-1482.
- Medical Advisory Secretariat (MAS) (2005). *Air cleaning technologies: an evidence-based analysis*. Ontario Health Technology Assessment Series, 5(17): 1-52. Accessible au : http://www.hqontario.ca/english/providers/program/mas/tech/reviews/pdf/rev_act_110105.pdf.
- Memarzadeh, F., Olmsted, R.N. et Bartley, J.M. (2010). Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in health care facilities: Effective adjunct, but not stand-alone technology. *Am J Infect Control*, 38: S13-S24.
- Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M. et Douwes, J. (2011). *Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence*. *Environ Health Perspect*. 119(6):748-56.
- Menzies D. et Wong T. (éd.) 2013. *Normes canadiennes pour la lutte antituberculeuse, 7^e édition*. Société canadienne de thoracologie, Association pulmonaire du Canada, Agence de la santé publique du Canada. Accessible au : <http://www.lignesdirectricesrespiratoires.ca/normes-antituberculeuse-2013>.
- Menzies, D., Fanning, A., Yan, L. et FitzGerald, J.M. (2000). Hospital ventilation and risk for tuberculosis infection in Canadian health care workers. *Ann Intern Med*, 133: 779-789.
- Menzies, D., Tannenbaum, T.N. et FitzGerald, J.M. (1999). Tuberculosis: 10. *Prevention CMAJ*, 161: 717-724.
- Miller, S.L., Linnes, J. et Luongo, J. (2013). *Ultraviolet germicidal irradiation: Future direction for air disinfection and building applications*. Photochemistry and photobiology, 89 : 777-781.
- Miller-Leiden, S., Lobascio, C., Nazaroff, W.W., Macher, J.M. (1996). Effectiveness of in-room air filtration and dilution ventilation for tuberculosis infection control. *J Air Waste Manag Assoc*. 46(9): 869-82.
- Ministère des Affaires sociales, de la Santé Publique et de l'Environnement (MASSPE) (1996). *Recommandation pour la prévention de l'infection tuberculeuse dans les institutions de soins*. Université catholique de Louvain. Accessible au : <http://www.md.ucl.ac.be/didac/hosp/cours/pre tub.htm>.
- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) (2014). *Épidémiologie de la tuberculose au Québec de 2008 à 2011*. Accessible au : <http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2014/14-266-01W.pdf>.
- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) (2012). *Principes généraux d'aménagement en prévention et en contrôle des infections nosocomiales, 2^e édition, Répertoire des guides de planification immobilière*. Accessible au : <http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2012/12-610-05W.pdf>.

- Munckhof, W.J., Konstantinos, S., Wamsley, M., Mortlock, M. et Gilpin, C. (2003). A cluster of tuberculosis associated with use of a marijuana water pipe. *Int J Tuberc Lung Dis*, 7(9):860-865.
- National Air Filtration Association (NAFA) (2012). *HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases*, The Built Environment Research Group. Accessible au : <http://www.nafahq.org/wp-content/uploads/WellsRileyReport.pdf>.
- Nardell, E. (2013). *Upper-room ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for air disinfection: a symposium in print*. Photochemistry and Photobiology, 89: 764-769.
- Nardell, E.A. (1993). *Environmental control of tuberculosis*. Medical Clinics of North America, 77(6): 1315-1334.
- Nardell, E., Keegan, J., Cheney, S. et Etkinds, S. (1991). Theoretical limits of protection achievable by building ventilation. *Am Rev. Resp. Dis.*, 144: 302-306.
- Nicas, M., Nazaroff, W.W. et Hubbard, A. (2005). Toward understanding the risk of secondary airborne infection: emission of respirable pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2: 143-154.
- Oeltmann, J.E., Oren, E., Haddad, M.B., Lake, L.K., Harrington, T.A., Ijaz, K., Narita, M. (2006). Tuberculosis outbreak in marijuana users, Seattle, Washington, 2004. *Emerg Infect Dis.*, 12(7):1-7.
- Olmsted, R.N. et Arbor, A.A.(2008). Pilot study of directional airflow and contaminant of airborne particles in the size of *Mycobacterium tuberculosis* in an operating room. *AM j Infect Control*. 36:260-267.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2014). *L'OMS vise l'élimination de la tuberculose dans plus de 30 pays*. Accessible au : <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/tb-elimination/fr/>.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2013). *Global tuberculosis Report 2013*. Accessible au : http://www.who.int/tb/publications/global_report/en/.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2009). *Tuberculose et tabac*. Accessible au : http://www.who.int/tobacco/publications/health_effcts/tb_tobacco_fact_sheet_fr.pdf.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1996). *CPL 2.106 Enforcement Procedures and Scheduling for Occupational Exposure to Tuberculosis*. Accessible au : https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=DIRECTIVES&p_id=1586.
- Ozturk, A.B., Kilicaslan, Z. Et Issever, H. (2014). *Effect of somking and indoor air pollution on the risk of tuberculosis: smoking, indoor air pollution and tuberculosis*. Tuberk Toraks, 62(1):1-6.
- Peccia, J., Werth, H.M., Miller, S. et Hernandez, M. (2001). *Effects of relative humidity on the ultraviolet induced inactivation of airborne bacteria*. Aerosol Science and Technology, 35(3): 728-740.
- Reid, P.T., Macleod, J. et Robertson, J.R. (2010). *Cannabis and the lung*. J R Coll Physicians Edinb, 40:328-334.
- Riley, R.L. et Nardell, E.A. (1993). Controlling transmission of tuberculosis in health care facilities: ventilation, filtration and ultraviolet air disinfection. *Plant Technology and Safety Management Series*, 1: 25-31.
- Riley, R.L. et Nardell, E.A. (1989). Clearing the Air: The theory and Application of Ultraviolet Air Disinfection. *American Review of Respiratory Deseases*, 139(5):1286-1294.
- Riley, R.L. (1979). Indoor spread of respiratory infection by recirculation of air. *Bull Eur Physiopathol Resp*, 15(5)699-705.
- Rutala, W.A., Jones, S.M., Worthington, J.M., Reist, P.C. et Weber, D.J. (1995). Efficacy of portable filtration units in reducing aerosolized particles in the size range of *Mycobacterium tuberculosis*. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 16: 391-398.
- Santé Canada (SC) (2012). *L'ozone*. Accessible au : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/in/poll/ozone/index-fra.php>.

- Singh, M., Mynak, M.L., Kumar, L., Mathew, J.L. et Jindal, S.K. (2005). *Prevalence and risk factors for transmission of infection among children in household contact with adults having pulmonary tuberculosis*. *Archives of Disease in Childhood*, 90: 624-628.
- Shaughnessy, R.J. et Sextro, R.G. (2006). What is an effective portable air cleaning device? A review. *J. Occup Environ Hyg*, 3(4) 169-181.
- Société Canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) (1982). *L'air et l'humidité : Guide du propriétaire – problèmes et solutions*. Accessible au : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/61227.pdf?fr=1335297519328>.
- Société Canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) (2012). *Conception et mise à l'essai d'appareils de ventilation mécanique destinés aux régions nordiques*. Série technique, 12-105. Accessible au : <http://www.schl.ca/textVersion/?tv=/odpub/pdf/67677.pdf?lang=fr+mur>.
- Société Canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) (2004). *Séries sur le logement selon les données du recensement de 2001*, numéro 6 révisé : Ménages autochtones. Le point en recherche : Série Socio-économique, 04-036. Accessible au : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/63696.pdf>.
- Spurr, P., Melzer, I., Engeland, J. (2001). *Études spéciales sur les données du recensement de 1996 : conditions de logement des ménages autochtones*. Le point en recherche, Série Socio-économique, 55-6. Accessible au : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/62445.pdf?lang=fr>.
- Sumpter, C. et Chandramohan, D. (2012). Systematic review and meta-analysis of the associations between indoor air pollution and tuberculosis. *Trop Med Int Health*. 18(1): 101-108.
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W.W., Cain, W.S., Fisk, W.J., Grimsrud, D.T., Gyntelberg, F., Li, Y., Persily, A.K., Pickering, A.C., Samet, J.M., Spengler, J.D., Taylor, S.T. et Weschler, C.J. (2011). Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21 : 191-204.
- Talbot, E.A., Jensen, P., Moffat, H.J. et Wells, C.D. (2002). Occupational risk from ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) lamps. *Int J tuberc Lung Dis*, 6(8)738-741.
- Thu, K., Hayes, M., Miles, S., Tierney, L. et Foy, A. (2013). Marijuana bong smoking and tuberculosis. *International Medicine Journal*. 43(4) 456-458.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2013). Ozone generator that are sold as air cleaners. Accessible au : <http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html>.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2009). *Residential air cleaners. (second edition)* Report EPA 402-F-09-002, 33 pp. Accessible au : <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1005MBO.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmiQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C06thru10%5Ctxt%5C00000012%5CP1005MBO.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>.
- Wallace, L.A., Emmerich, S.J., Howard-Reed, C. (2004). Effect of central fans and in-duct filters on deposition rates of ultrafine and fine particles in an occupied townhouse. *Atmospheric Environment*. 38:405-413.
- Wesche, S., Ryan, R. Et Carry, C. (2011). *Les premières nations, les Inuits et les Métis : Analyse environnementale des initiatives en santé respiratoire*. Rapport de l'Organisation nationale de la santé autochtone, Ottawa. Accessible au : http://www.naho.ca/documents/naho/french/2011_respiratory-illness-escan_FR.pdf.
- Whitby, K.T., Anderson, G.R. et Rubow, K.L. (1983). *Dynamic model for evaluating room-sized air cleaner*. ASHRAE, 89-2A: 172-182.
- Young, T.K. (2011). Data Brief from the circumpolar health observatory: Infectious diseases [2011:1]. *International Journal of Circumpolar Health*. 70(5):450-456.

Zaloum, C. (2010). *Technical advice to task force on northern mechanical ventilation equipment design and testing*. Report submit to CMHC, 24 pp.
Accessible au : http://books.google.ca/books/about/Technical_Advice_to_Task_Force_on_Northe.html?id=A0GYMwEACAAJ&redir_esc=y.

www.inspq.qc.ca