

Amélioration de la qualité de l'air intérieur par l'optimisation de la ventilation dans des logements du Nunavik

RAPPORT DE RECHERCHE

Amélioration de la qualité de l'air intérieur par l'optimisation de la ventilation dans des logements du Nunavik

RAPPORT DE RECHERCHE

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Mars 2021

*Institut national
de santé publique*

Québec 

AUTEUR

Patrick Poulin, conseiller scientifique spécialisé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

CHERCHEURS PRINCIPAUX

Daniel Aubin, agent de recherche
Boualem Ouazia, agent de recherche
Conseil national de recherches Canada

Caroline Duchaine, professeure-chercheure
Jodelle Alice Degois, stagiaire postdoctorale, Sentinelle-Nord

Marc Veillette, microbiologiste et professionnel de recherche
Louis-Philippe Boulet, pneumologue
François Maltais, pneumologue

Centre de recherche, Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec, Université Laval

Benoit Lévesque, médecin spécialiste
Patrick Poulin, conseiller scientifique spécialisé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

COLLABORATEURS PRINCIPAUX

François Tremblay, technicien
Louis Poirrier, technicien
Conseil national de recherches Canada

Marjolaine Dubé, statisticienne
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Mario Brisson, médecin-conseil
Jean-François Proulx, médecin-conseil
Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik

Jean-François Gravel, ingénieur-conseil
Société d'habitation du Québec

Frédéric Valcin, spécialiste en qualité de l'air et en santé
Santé Canada

Marie-France Brisson, Directrice générale
Michel Savignac, directeur à l'entretien des bâtiments
Office municipal d'habitation Kativik

RÉVISEURS

L'INSPQ désire remercier sincèrement les personnes suivantes qui ont accepté de donner temps, expertise et commentaires sur le présent document :

Jean-Marc Leclerc, coordonnateur de l'Équipe scientifique sur l'environnement intérieur
Axelle Marchand, conseillère scientifique
Caroline Huot, médecin spécialiste
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

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

RÉVISION ET MISE EN PAGE

Véronique Paquet, agente administrative
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

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 – 2^e trimestre 2021
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-89076-8 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2021)

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce à la contribution financière du Conseil national de recherches Canada, du ministère de la Santé et des Services sociaux et du programme de recherche Sentinelle-Nord de l'Université Laval.

Les auteurs remercient la Société d'habitation du Québec, l'Office municipal d'habitation Kativik, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik, l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec et Santé Canada pour leur étroite collaboration à ce projet.

Les auteurs souhaitent adresser un merci spécial au Conseil national de recherches Canada qui a joué un rôle central dans la réalisation de ce projet en assumant la coordination générale de l'étude et en déployant les ressources techniques et financières indispensables à sa réalisation.

Avant-propos

Le présent document fait état des principaux résultats d'un vaste projet de recherche élaboré par l'Institut national de santé publique du Québec à la demande de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik. Ce projet, réalisé grâce à la contribution financière du Conseil national de recherches Canada, du ministère de la Santé et des Services sociaux et du programme de recherche Sentinelle-Nord-Université Laval, a impliqué l'étroite participation de différents partenaires du milieu de l'habitation dont la Société d'habitation du Québec, l'Office municipal d'habitation Kativik, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik, l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec et Santé Canada. Le Conseil national de recherches Canada a d'ailleurs joué un rôle central dans la réalisation de ce projet en assumant la coordination de l'étude et en déployant les ressources techniques et financières indispensables à sa réalisation.

Bien que le présent rapport de recherche porte davantage sur la description des données empiriques assemblées par le biais d'une approche méthodologique adaptée au contexte nordique, l'étude réalisée intègre également une composante à caractère communicationnel. En effet, la réalisation de ce projet a permis aux instances concernées d'établir un dialogue entre elles et de partager leurs expertises respectives pour atteindre un but commun, soit le diagnostic de l'état de fonctionnement des systèmes de ventilation des habitations du Nunavik ainsi que l'amélioration de la performance de ces systèmes, le confort et la santé de ses occupants. Les retombées de ce projet pourraient d'ailleurs influencer les bonnes pratiques de ventilation de ces habitations. D'un point de vue plus local, les échanges avec l'équipe technique ont permis aux participants de mieux comprendre les grands principes de maintien de la qualité de l'air intérieur ainsi que l'incidence de cet aspect primordial du logement sur la santé de ses occupants.

Table des matières

Liste des tableaux	VII
Liste des sigles, des acronymes et des abréviations	IX
Faits saillants	1
1 Introduction	3
1.1 Problématique générale	3
1.2 Pertinence du projet d'optimisation de la ventilation	5
1.3 Hypothèses de l'étude (postulats)	5
1.4 Objectifs de l'étude	6
2 Méthodologie	7
2.1 Déroulement général des travaux	7
2.2 Types de bâtiments à l'étude	8
2.3 Recrutement des participants	10
2.3.1 Critères d'inclusion	11
2.4 Collecte de données	11
2.4.1 Inspection visuelle des habitations	11
2.4.2 Habitudes et comportements des occupants	11
2.4.3 Déploiement des appareils de mesure	12
2.4.4 Instrumentation des unités VRC et VRE	12
2.5 Description de l'intervention	12
2.6 Collecte des données sur les infections respiratoires et l'asthme chez les enfants	16
2.7 Monitoring des unités VRC/VRE	16
2.8 Analyse statistique	17
3 Résultats	19
3.1 Données issues du formulaire d'inspection	19
3.2 Données issues du questionnaire	20
3.3 Données du monitoring des unités VRC et VRE	22
3.4 Données physico-chimiques	25
3.5 Données microbiologiques	28
3.5.1 Biodiversité microbienne	28
3.6 Données sur les infections respiratoires et l'asthme chez les enfants	29
3.6.1 Caractéristiques de la cohorte d'enfants	29
3.6.2 Épisodes d'infections respiratoires et symptômes d'asthme répertoriés	30
4 Discussion	51
4.1 Portrait général des résultats préoptimisation	51
4.2 Portrait général des observations effectuées lors des travaux d'optimisation	52

4.3	Portrait général des résultats postoptimisation	52
4.4	Conséquences de l'intervention sur les paramètres de la QAI et la santé des enfants occupant les logements équipés de VRC	53
4.5	Conséquences de l'intervention sur les paramètres de la QAI et la santé des enfants occupant les logements équipés de VRE.....	54
4.6	Conséquences de l'optimisation des logements sans système de ventilation	55
4.7	Biais et limites de l'étude.....	56
5	Conclusion.....	59
6	Références	61
Annexe 1	Liste des membres de l'équipe de recherche	65
Annexe 2	Lettre d'approbation du comité d'éthique du CNRC.....	69
Annexe 3	Plan des bâtiments visés par l'étude	73
Annexe 4	Lettre d'invitation destinée aux participants admissibles	81
Annexe 5	Lettre de confirmation destinée aux participants retenus	85
Annexe 6	Formulaires de consentement	89
Annexe 7	Feuillet d'information à l'intention des ménages participant	99
Annexe 8	Formulaire de renonciation à la participation au projet	107
Annexe 9	Formulaire d'inspection	111
Annexe 10	Questionnaire sur les habitudes et le comportement des occupants.....	115
Annexe 11	Protocole d'échantillonnage abrégé.....	119
Annexe 12	Recommandations aux occupants	125
Annexe 13	Classification des infections respiratoires aiguës et des symptômes d'asthme.....	129

Liste des tableaux

Tableau 1	Description sommaire des bâtiments investigués.....	9
Tableau 2	Description sommaire des bâtiments investigués dont les systèmes ont fait l'objet d'un suivi en temps réel	9
Tableau 3	Paramètres physico-chimiques évalués et équipements déployés dans les logements des ménages du groupe <i>intervention</i>	13
Tableau 4	Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes de chauffage des logements des ménages du groupe <i>intervention</i>	15
Tableau 5	Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes de ventilation des logements des ménages du groupe <i>intervention</i>	15
Tableau 6	Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes d'extraction des logements des ménages du groupe <i>intervention</i>	15
Tableau 7	Caractéristiques des logements investigués pour le groupe <i>intervention</i> (données issues de la phase préoptimisation uniquement).....	32
Tableau 8	Caractéristiques des logements investigués pour le groupe <i>intervention</i>	33
Tableau 9	Activités et comportements des occupants des groupes <i>témoin</i> et <i>intervention</i>	34
Tableau 10	Perceptions des occupants des groupes <i>témoin</i> et <i>intervention</i> au regard de divers déterminants de la qualité des milieux intérieurs	35
Tableau 11	Ventilation totale minimum requise pour chaque logement dont le système de ventilation a fait l'objet d'un monitoring	36
Tableau 12	Débits d'air d'alimentation et d'extraction des modèles de systèmes de ventilation monitorés	36
Tableau 13	Températures de l'air d'alimentation et d'extraction des systèmes de ventilation monitorés	37
Tableau 14	Humidité relative de l'air d'alimentation et d'extraction des systèmes de ventilation monitorés	38
Tableau 15	Efficacité de la récupération de la chaleur sensible des systèmes de ventilation monitorés	38
Tableau 16	Paramètres physico-chimiques généraux, selon les catégories de logements	39
Tableau 17	Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements.....	40
Tableau 18	Concentrations en bactéries totales, en endotoxines, et en moisissure mesurées dans l'air intérieur et les poussières sédimentées des logements du groupe <i>intervention</i>	46
Tableau 19	Caractéristiques microbiologiques des échantillons d'air prélevés dans les logements du groupe <i>intervention</i> , selon les catégories de logements	46
Tableau 20	Nombre et proportion d'enfants ayant participé à l'étude, selon le genre des enfants et la catégorie de logements.....	47
Tableau 21	Nombre et proportion d'enfants participant à l'étude, selon la tranche d'âge des enfants et la catégorie de logements.....	47
Tableau 22	Portrait général des événements, des épisodes santé et des hospitalisations, selon la catégorie de logements	47

Tableau 23	Portrait des événements santé répertoriés, selon la catégorie de logements	48
Tableau 24	Portrait des épisodes santé répertoriés, selon la catégorie de logements.....	48
Tableau 25	Nombre et proportion des enfants avec au moins un épisode santé, selon la catégorie de logement	48
Tableau 26	Effets de l'intervention sur le nombre moyen d'épisodes santé, modélisé par le biais de la régression binomiale négative à mesures répétées (ajusté pour le sexe et l'âge des enfants).....	49

Liste des sigles, des acronymes et des abréviations

ADNr	Gène codant pour l'acide ribonucléique ribosomique
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CAH	Changement d'air à l'heure
CCNSA	Centre de collaboration nationale de la santé autochtone
CCQ	Code de construction du Québec
CIM	Classification internationale des maladies
cm ²	Centimètre carré
CNRC	Conseil national de recherches Canada
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composé organique volatil
CSA	Canadian Standards Association
°C	Degré Celsius
Gb	Gigabit
h	Heure
HEPA	Filtre à air à haute efficacité (<i>high efficiency particulate air</i>)
HR	Humidité relative
ICPC	International classification of primary care
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IO	Infections aux oreilles
IUCPQ	Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec
IVRI	Infections des voies respiratoires inférieures
IVRS	Infections des voies respiratoires supérieures
J2.2	Bâtiment résidentiel de type jumelé comportant deux logements de deux chambres à coucher chacun
J2.4	Bâtiment résidentiel de type jumelé comportant deux logements de quatre chambres à coucher chacun
L/s	Litre par seconde

m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
M4.2	Immeuble résidentiel comportant quatre logements de deux chambres à coucher chacun
Max.	Maximum
MERV	<i>Minimum efficiency reporting value</i>
mg	Milligramme
µg/m ³	Microgramme par mètre cube
µm	Micromètre
Min.	Minimum
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
N ^{bre}	Nombre
OMA	Otite moyenne aiguë
OMHK	Office municipal d'habitation Kativik
OMS	Organisation mondiale de la Santé
Pi ²	Pied carré
Pi ³ /min	Pied cube par minute
PM _{2,5}	Particules microniques d'un diamètre inférieur à 2,5 microns
ppm	Parties par million
QAI	Qualité de l'air intérieur
qPCR	Réaction de polymérisation en chaîne quantitative
RRSSSN	Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik
SA	Symptômes d'asthme
SHQ	Société d'habitation du Québec
UE/mg	Unité d'endotoxine par milligramme
UTO	Unité taxonomique opérationnelle
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur
VRE	Ventilateur récupérateur d'énergie
WHO	World Health Organization

Faits saillants

- Ce rapport brosse un portrait des principaux résultats d'un projet multidisciplinaire élaboré par l'Institut national de santé publique du Québec et ses partenaires à la demande de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik. Il s'adresse d'abord à tous les professionnels, experts et gestionnaires du milieu de l'habitation et de la santé publique intéressés par l'amélioration des conditions de logement et de la santé des communautés du Nunavik. La pertinence de ce projet s'inscrit dans le contexte de l'observance d'un important déficit sanitaire, en comparaison des populations du sud de la province au regard du développement de maladies de l'appareil respiratoire chez les jeunes enfants des communautés nordiques.
- Le logement est un élément-clé de la problématique, puisqu'il constitue un point de convergence de nombreux facteurs de risque infantiles, mais également un lieu de rassemblement familial et communautaire central pour les membres des communautés nordiques.
- Ce projet a été entrepris afin de proposer des avenues d'optimisation de la qualité de l'air intérieur dans les habitations du Nunavik, et plus spécifiquement au regard des équipements de ventilation et de filtration de l'air. Il vise l'amélioration de la santé des occupants tout en maintenant l'efficacité énergétique des habitations.
- Une série de bâtiments résidentiels communément retrouvés au Nunavik ont fait l'objet d'une démarche de caractérisation suivie d'une mise au point de leurs systèmes mécaniques de ventilation, d'extraction et de chauffage. Les dossiers médicaux des enfants des ménages concernés ont également fait l'objet d'un suivi rétrospectif afin d'évaluer les retombées potentielles de l'intervention. Malgré certains biais, les résultats de cette étude ont démontré que l'intervention menée dans 55 résidences de Kuujuaq a engendré des bénéfices objectivables sur la qualité de l'air intérieur en général ainsi que, dans une moindre mesure, sur la santé respiratoire des enfants occupant celles-ci :
 - Les observations menées en phase préoptimisation ont permis de constater que les logements équipés de systèmes de ventilation mécanique étaient mieux ventilés que ceux dépourvus de systèmes de ventilation. Par contre, l'air intérieur n'y était généralement pas de meilleure qualité que dans les autres logements considérés. Des problèmes de conception, d'utilisation et d'entretien de ces systèmes ont été observés, ce qui explique cette contradiction apparente.
 - Les résultats des analyses comparatives réalisées en phase postoptimisation suggèrent que l'intervention a permis d'améliorer significativement les taux de ventilation des logements concernés, et de diminuer de manière appréciable la concentration de certains composés organiques volatils et de particules fines.
 - L'intervention menée s'est également traduite par une diminution significative de l'incidence des épisodes d'infection des voies respiratoires supérieures et inférieures et d'otites chez les enfants des ménages dont les logements étaient équipés d'un ventilateur récupérateur de chaleur.
- La mise en œuvre de cette étude a constitué une occasion de mieux distinguer les différents rôles, pratiques et leviers d'action des organisations partenaires du Nunavik au regard de la qualité de l'air intérieur. Il est ainsi présumé que la réalisation de ce projet permettra de prendre en charge les problèmes associés à la dégradation de la qualité de l'air des logements de façon plus efficace, limitant les potentielles conséquences délétères pour les occupants et, plus spécifiquement, pour les enfants.

1 Introduction

1.1 Problématique générale

Iniquités de santé affectant les enfants du Nunavik

Selon le plus récent portrait de santé des enfants et de leurs familles publié par la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik en 2014, cette frange de la population du nord du Québec présentait un important déficit sanitaire en comparaison des populations du sud de la province (RRSSSN, 2015). Il est notamment rapporté que le taux d'hospitalisation des enfants de moins de 1 an résultant du développement de maladies de l'appareil respiratoire est particulièrement élevé, soit 4 144 pour 10 000 nourrissons de moins d'un an de 2007 à 2012, comparativement à seulement 625 pour 10 000 nourrissons au Québec. Les enfants du Nunavik sont aussi fortement touchés par les otites, condition amenant une proportion substantielle à souffrir de pertes auditives en jeune âge (RRSSSN, 2015).

Il est d'ordinaire admis qu'une importante fraction de ces iniquités de santé résulte de différences marquées entre les contextes de vie des populations du nord et du sud de la province. En effet, les familles inuites sont confrontées à l'effet cumulatif de divers facteurs (de nature historique, culturelle, sociale, économique, environnementale, etc.) agissant de façon concourante sur plusieurs déterminants de la santé des populations nordiques (Centre de collaboration nationale de la santé autochtone [CCNSA], 2011). Les enfants étant généralement considérés comme les plus vulnérables des collectivités¹, le détrimement associé à certains de ces déterminants (dont ceux liés aux conditions de vie des familles tels le logement, le revenu et la sécurité alimentaire) est susceptible d'accroître l'incidence de certaines affections infantiles, dont celles touchant l'appareil respiratoire des enfants. L'identification des iniquités de santé présentes au sein de ce groupe revêt un important intérêt de santé publique, car celles-ci peuvent non seulement se traduire par un développement sous-optimal de l'enfant qui tend à se répercuter à l'âge adulte, mais également entraîner des conséquences sur la santé des générations futures (Reading et Wien, 2009).

La prise en charge de ces iniquités de santé nécessite une compréhension de l'influence synergique des facteurs sur les enfants en bas âge ainsi que l'utilisation d'un cadre d'analyse suffisamment large pour assurer l'inclusion des déterminants sociaux de la santé (Jenkins *et al.*, 2003; Reading et Wien, 2009; CCNSA, 2011). La présente étude porte plus spécifiquement sur l'influence d'un important facteur de risque environnemental étroitement associé au logement soit la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé respiratoire des enfants.

La qualité de l'air intérieur

De façon générale, l'environnement intérieur d'une habitation est un milieu dans lequel les occupants séjournent une partie notable de leur temps. Cet aspect est critique dans les milieux arctiques et subarctiques où les conditions climatiques sont particulièrement hostiles, forçant ainsi ses habitants à s'abriter et à séjourner plus longuement à l'intérieur. La résidence fait également office de lieu de partage communautaire, d'échanges culturels et de rassemblement familial. L'utilisation de l'habitation de conception conventionnelle (c'est-à-dire conforme aux codes de construction) aux fins de la pratique d'activités dites traditionnelles peut cependant engendrer certains problèmes au regard de la QAI (Jenkins *et al.*, 2003; Reading et Wien, 2009; RRSSSN, 2015; CCNSA, 2011). Il est également reconnu que l'encombrement des ménages, le tabagisme et la ventilation inadéquate des

¹ La période de croissance de 6 à 18 mois est généralement reconnue comme étant une fenêtre de vulnérabilité des enfants en raison de l'immaturité du système respiratoire et de la surface d'exposition du poumon qui est disproportionnée par rapport à la surface du corps, ce qui rend le système sensible aux infections.

logements sont susceptibles d'accroître la concentration de certains contaminants de l'air intérieur ainsi que l'exposition des occupants à ces substances aux effets potentiellement délétères (Kovesi *et al.*, 2007, 2012; Bjerg *et al.*, 2011; Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], 2016; Société d'habitation du Québec [SHQ], 2014). La crise du logement qui sévit présentement dans les communautés nordiques engendre des conditions de surpeuplement qui, d'une part, exacerbent les problèmes de santé associés à la dégradation de la QAI et qui, d'autre part, sont reconnues comme un facteur de risque de transmission de maladies respiratoires (Kovesi *et al.*, 2007, 2012; SHQ, 2014; RRSSN, 2015; INSPQ, 2016).

En ce qui concerne plus spécifiquement les problèmes de sous-ventilation observés dans les logements nordiques (soit le principal enjeu exploré dans le cadre de cette étude), ceux-ci relèvent essentiellement des changements apportés aux pratiques de construction au cours des dernières décennies qui ont rendu les nouvelles habitations mieux isolées et plus étanches. Dans un souci d'économie d'énergie, de nombreuses habitations plus anciennes ont également été rénovées afin de satisfaire les exigences prescrites aux plus récentes versions des codes de construction. Ces modifications apportées aux résidences font en sorte que la ventilation naturelle passive (infiltration et exfiltration d'air à travers des interstices de l'enveloppe) ou volontaire (échange d'air par les portes et fenêtres) peut s'avérer insuffisante (voire difficilement praticable et contrôlable) pour fournir une ventilation adéquate des espaces habitables. C'est dans ce contexte que l'optimisation des systèmes de ventilation mécanisés revêt une importance capitale pour assurer le taux de ventilation requis (l'apport minimum d'air frais) et le maintien de la QAI, surtout lors des périodes de chauffe.

Facteurs de risque de maladies respiratoires affectant les enfants du Nunavik

D'entrée de jeu, il est intéressant de souligner que plusieurs auteurs ont suggéré que le risque associé au développement de maladies respiratoires infantiles pourrait être tributaire de prédispositions tant de natures ethnique que génétique. Cette hypothèse sous-tend l'existence de certains défauts immunitaires ainsi que la présence de déficiences affectant la médiation cellulaire chez les individus des communautés inuites les prédisposant à un plus haut risque de développer des infections respiratoires aiguës (Jenkins *et al.*, 2003; Lewis *et al.*, 2004; Banerji *et al.*, 2013, 2016; Koch *et al.*, 2011). Une seconde hypothèse suggère la présence d'une association entre l'incidence des infections respiratoires (autant aiguës que chroniques) et les caractéristiques du nouveau-né relativement à la prématurité, au poids à la naissance ainsi qu'à l'âge de l'enfant. En effet, plusieurs études rapportent une plus grande incidence des infections des voies respiratoires chez les nourrissons nés prématurément et ceux dont le poids de naissance est plus faible que la moyenne (Jenkins *et al.*, 2003, Kovesi *et al.*, 2012; Banerji *et al.*, 2013, 2016; Koch *et al.*, 2011). Les enfants concernés posséderaient généralement un système respiratoire sous-développé plus vulnérable aux infections et autres troubles pulmonaires. (Banerji *et al.*, 2013; Bjerg *et al.*, 2011; Chang, Beach et Senthilselvan, 2012; Colosia *et al.*, 2012). L'âge de l'enfant semble également être un facteur de risque prépondérant quant à la vulnérabilité de ces derniers au regard des maladies respiratoires. Alors que les enfants âgés de 0 à 12 mois seraient davantage affectés par des problèmes respiratoires aigus, ceux de deux ans et plus seraient plus sensibles aux développements de problèmes respiratoires chroniques (Jenkins *et al.*, 2003, Chang, Beach et Senthilselvan, 2012; Banerji *et al.*, 2016).

Ces facteurs de risque potentiels s'ajoutent au fardeau sanitaire occasionné par l'exposition résidentiel aux contaminants de l'air intérieur et qui, ensemble, contribuent à accentuer le phénomène d'iniquité sanitaire affectant les enfants du Nunavik.

1.2 Pertinence du projet d'optimisation de la ventilation

Dans un contexte de mise à niveau du parc immobilier au Nunavik, la SHQ effectue des travaux de rénovation dans le respect des exigences du Code de construction du Québec (CCQ) et, conséquemment, du Règlement sur l'efficacité énergétique. Pour les instances de santé publique et de l'habitation, ces travaux constituent une opportunité à saisir. En effet, le moment est propice pour proposer une démarche d'évaluation de la performance des équipements de ventilation déjà en place dans les logements du Nunavik ainsi que différentes mesures techniques visant à accroître leur efficacité. L'application subséquente de ces mesures devait quant à elle contribuer à améliorer la QAI et indirectement la santé des occupants, tout en assurant l'efficacité énergétique de ces logements. C'est dans cette perspective que la RRSSSN a confié à l'INSPQ le mandat de mener une vaste recherche sur cette question.

Une revue de la littérature préliminaire, publiée par l'INSPQ en mars 2015, intitulée *Les mesures environnementales reliées à l'environnement intérieur destinées à prévenir la transmission de Mycobacterium tuberculosis au Nunavik*, a mis en évidence que la ventilation centralisée de même que les appareils de filtration portables à haute efficacité (HEPA) sont susceptibles de réduire la charge de contaminants microbiens (incluant la mycobactérie *Mycobacterium tuberculosis*) dans l'air intérieur de milieux résidentiels et, conséquemment, d'atténuer les risques sanitaires associés (Poulin *et al.*, 2015). Considérant que de tels dispositifs sont également en mesure de diminuer la charge de plusieurs autres contaminants chimiques et microbiens de l'air intérieur, le présent projet d'étude visait notamment à documenter les bénéfices sanitaires potentiels associés à une utilisation optimale des appareils de ventilation en place dans un échantillon d'habitation du Nunavik. C'est dans la foulée du dépôt de cette revue de la littérature à la RRSSSN que les médecins et professionnels des organisations partenaires concernés ont convenu de vérifier si des mesures d'optimisation de la QAI pouvaient, en situation réelle, contribuer à diminuer l'incidence de certaines maladies respiratoires chez les occupants des bâtiments visés, notamment les jeunes enfants. La liste de tous les membres de l'équipe de recherche et des collaborateurs concernés est présentée à l'annexe 1.

1.3 Hypothèses de l'étude (postulats)

Dans le cadre de ce projet, les postulats de base étaient les suivants :

- Les occupants des habitations nordiques où la ventilation/filtration de l'air est inadéquate sont davantage exposés à des contaminants de l'air intérieur que dans des habitations similaires où ces paramètres sont optimisés;
- L'optimisation des systèmes de ventilation/épuration de l'air dans une habitation permet d'en améliorer la qualité (en réduisant notamment la présence de certains contaminants), ce qui réduit l'exposition des occupants à ces contaminants;
- La diminution de l'exposition aux contaminants de l'air intérieur pourrait se traduire par des bénéfices sanitaires pour les locataires, en particulier les jeunes enfants, entre autres par la réduction des infections respiratoires.

1.4 Objectifs de l'étude

Objectif général

L'objectif principal du projet de recherche consistait à évaluer l'impact de l'optimisation des dispositifs de ventilation et filtration sur la QAI (c'est-à-dire l'intervention) et les bénéfices sanitaires potentiels pour les jeunes enfants dans des habitations du Nunavik.

Objectifs spécifiques

1. Comparer l'état de la QAI et les taux de ventilation des 3 catégories de logements à l'étude, sur la base des différents types de systèmes de ventilation en place (aucun système, système intégrant un ventilateur récupérateur de chaleur [VRC], système comprenant un ventilateur récupérateur d'énergie [VRE]);
2. Comparer les taux d'incidence des infections respiratoires et des crises de bronchospasmes chez les enfants de 0 à 10 ans de l'une ou l'autre des 3 catégories précédemment mentionnées;
3. Comparer l'état de la QAI et les taux de ventilation dans les habitations ainsi que les taux d'incidence d'infections respiratoires chez les enfants de 0 à 10 ans avant et après l'optimisation des différents types de systèmes de ventilation propres aux 3 catégories.

À terme, les résultats de cette étude visaient à identifier les principaux problèmes et enjeux pouvant mener à la dégradation de la QAI dans les habitations nordiques et de convenir des meilleures solutions techniques et humaines pour les pallier. Il sera ainsi possible de définir les meilleures pratiques de maintien de la QAI, dans un souci d'efficacité énergétique et en tenant compte de la capacité des occupants.

2 Méthodologie

2.1 Déroutement général des travaux

L'étude proposée consistait à documenter l'efficacité relative, en condition réelle, des différents types de systèmes de ventilation centralisés dans les bâtiments investigués. Dans un premier temps, elle s'est intéressée aux systèmes déjà en place et, dans un second temps, à ces mêmes installations une fois celles-ci optimisées. Cette étude, de type avant-après, a été réalisée à partir d'un échantillon de bâtiments d'habitation situés à Kuujuaq et équipés de dispositifs de ventilation distincts et du suivi rétrospectif des dossiers médicaux des enfants des ménages participant. Ces ménages formaient le groupe *intervention*. Il est à noter qu'un groupe *témoin* (auprès duquel aucune intervention n'a été menée) a également été constitué afin d'obtenir un groupe de comparaison dans l'analyse des dossiers médicaux des enfants (volet santé). De plus, la conception de cette étude est largement inspirée du devis élaboré par Koch *et al.* (2002).

En marge de la rédaction du protocole de recherche, des développements des outils de travail et de communication ainsi que des ententes de collaboration nécessaires à la bonne marche du projet (activités réalisées en 2016-2017), l'équipe a contacté le comité d'éthique du Conseil national de recherches Canada (CNRC) au début de l'année 2017. Après une série d'échanges et de représentations, le comité d'éthique a finalement approuvé le projet en présentant un certificat d'éthique au chercheur principal en novembre 2017 (voir annexe 2).

C'est au cours de cette même période que la liste préliminaire des bâtiments admissibles à l'étude a été consolidée, en partenariat avec la SHQ, qui détenait un inventaire exhaustif du parc immobilier de Kuujuaq. Cette liste comprenait également une description détaillée des équipements mécaniques retrouvés dans ces bâtiments, de même que des informations utiles concernant leurs locataires (dont le nombre total d'occupants et la présence d'enfants de moins de 10 ans). L'ensemble du matériel utile à la réalisation de l'étude a été expédié à Kuujuaq un peu avant le congé des fêtes, soit au mois de décembre 2017.

Dès les premiers jours de l'année 2018, l'équipe de projet a expédié l'ensemble des outils de travail (dont la liste précédemment mentionnée) et de communication traduits dans les 3 langues (français, anglais, inuktitut) aux représentants de l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK) afin que ceux-ci amorcent les procédures de prérecrutement. Une fois ce processus entamé, les techniciens se sont installés dans les bureaux de l'OMHK dans le but de planifier la campagne d'échantillonnage et de prendre en charge la suite des travaux de terrain. Par la suite, l'équipe s'est rendue dans chacune des résidences des ménages ayant répondu favorablement au prérecrutement. Les participants volontaires associés tant au groupe *intervention* qu'au groupe *témoin* ont dès lors été mobilisés par l'équipe technique afin que ceux-ci remplissent le formulaire de consentement et prennent connaissance des bénéfices et des exigences du projet, de même que ses différentes phases.

Alors qu'une inspection sommaire du logement et qu'une série de mesures environnementales ont été effectuées au domicile des ménages du groupe *intervention* par l'équipe technique, un bref questionnaire portant sur les habitudes et les comportements des occupants a également été présenté à tous les répondants des ménages participant à l'étude (groupes *intervention* et *témoin*). La caractérisation du fonctionnement et de la performance des systèmes de ventilation récupérateurs de chaleur (VRC) ou d'énergie (VRE) et l'évaluation des facteurs affectant leur rendement ont été réalisées de façon plus exhaustive sur 4 unités de VRC et de VRE correspondant aux 3 modèles distincts d'échangeur d'air utilisés dans l'étude. Le monitoring proposé consistait à vérifier et à documenter l'efficacité relative, en condition réelle, des différents types de VRC et de VRE, et ce, en

deux temps : une première fois avec les systèmes déjà en place et, par la suite, avec ces mêmes systèmes une fois optimisés. La performance des systèmes VRC/VRE, de type avant-après optimisation, a été évaluée pour 4 habitations de Kuujuaq équipées des modèles VRC Venmar Solo 2.0 ES², VRE Venmar K7 et RenewAire EV130. Ces appareils nécessitaient un suivi des paramètres physiques de l'air d'alimentation et d'extraction : température; humidité relative (HR); débit d'air et efficacité de température de chaque unité VRC/VRE (voir section 2.4). L'équipe technique a également procédé à la mise à niveau des équipements de chauffage et de ventilation (voir section 2.5) ainsi qu'aux travaux d'échantillonnage postoptimisation dans les logements des participants du groupe *intervention*.

Il est à noter que les travaux de recrutement des groupes *intervention* et *témoin*, les activités d'échantillonnage pré et postoptimisation, de même que les travaux d'optimisation ont tous été effectués de façon concurrente de la fin janvier 2018 au 10 mai 2018. De plus, une période approximative de 2 mois s'est écoulée entre l'évaluation pré et postoptimisation. L'équipe technique a ainsi pu rencontrer les participants au moment qui leur convenait le mieux et se pencher sur l'optimisation des systèmes lorsque le personnel qualifié était disponible pour la soutenir. L'analyse des échantillons et des données assemblées durant de cette période a été effectuée au cours de l'année suivante par les membres concernés de l'équipe.

En avril 2019, soit un an après que l'ensemble des systèmes de chauffage et de ventilation des habitations des ménages du groupe *intervention* ait été optimisé, le médecin accompagnateur et une professionnelle formée de la RRSSN ont procédé à l'étude rétrospective des dossiers médicaux de chacun des enfants des groupes *intervention* et *témoin* (voir section 2.6). Enfin, l'équipe de recherche s'est penchée sur l'élaboration et la distribution des rapports individuels qui ont été remis à chacun des participants de l'étude au cours de l'hiver 2020. Préparés à partir d'un canevas générique préalablement approuvé par le comité d'éthique, ces rapports brossaient un portrait de l'état général du logement et de certains déterminants de la qualité du milieu intérieur, tout en rappelant la pertinence d'adopter certains comportements susceptibles d'améliorer la QAI et, conséquemment, la santé des occupants.

2.2 Types de bâtiments à l'étude

L'échantillon d'habitations visé dans le cadre de cette étude était constitué de bâtiments avec des caractéristiques structurales similaires, mais équipés de différents dispositifs de ventilation centralisés et de systèmes d'extraction. Les bâtiments ciblés étaient des jumelés dotés de 2 ou de 4 chambres à coucher (de types J2.2 et J2.4 respectivement) ainsi que de petits immeubles de 4 appartements de 2 chambres chacun (de type M4.2) (voir annexe 3). Le choix de ces types de bâtiments s'est appuyé sur le fait qu'ils sont les plus communs sur le territoire du Nunavik, qu'ils sont présents dans la majorité des communautés de cette région et que l'on peut présumer que d'autres bâtiments semblables seront construits ou rénovés dans le futur afin de répondre aux besoins des communautés nordiques.

Il faut noter qu'une seule unité par immeuble à logements a été retenue aux fins de l'étude afin de permettre à l'équipe technique de visiter le plus grand nombre de bâtiments possible. D'ailleurs, un total de 55 bâtiments différents ont été investigués. Le tableau 1 présente les différents types de bâtiments ciblés par l'étude. Le tableau 2 présente quant à lui les 4 bâtiments dont les systèmes de ventilation ont fait l'objet d'un suivi à l'aide de sondes en période postoptimisation.

² Deux dispositifs de ce type ont fait l'objet d'un suivi.

Tableau 1 Description sommaire des bâtiments investigués

Type de bâtiment	Nombre retenu	Année de construction (rénovation)	Volume habitable [m ³]	Type de système de ventilation (contrôles)	Type de système de préchauffage	Type de système de chauffage
J2.2 sans VRC/VRE	14 (25 %)	2001-2010	211	Aucun ^A	Aucun	Air pulsé
J2.2 avec VRC	8 (15 %)	2014	211	VRC Venmar Solo 2.0 ES (ON/AUTO/OFF ^C)	Aucun	Air pulsé
J2.4 avec VRC	9 (16 %)	2014-2015	287	VRC vänEE 2001 HRV (ON/AUTO/OFF ^C)	Aucun	Air pulsé
J2.4 et M4.2 avec VRE	16 (29 %)	1982-1988 (2008-2009) ^B	246-300 (J2.4) 194 (M4.2)	VRE RenewAire EV130 (Humidistat ON/OFF ^C)	Hydronique au glycol	Hydronique au glycol
J2.2 avec VRE	8 (15 %)	2016	211	VRE Venmar K7 ERV (ON/AUTO/OFF ^C)	Hydronique au glycol	Hydronique au glycol

^A La ventilation de ce type d'habitation s'effectue par le biais d'une prise d'air frais reliée au conduit de retour principal du système de chauffage à air pulsé du logement. Ce conduit, dit « de compensation », permet à l'air frais d'entrer dans l'enceinte du bâtiment lorsqu'un ventilateur extracteur (salle de bain ou cuisine) est actionné par l'occupant.

^B De 2008 à 2012, la SHQ a rénové certaines habitations de type J2.4 et M4.2 du parc immobilier du Nunavik. En plus des améliorations apportées aux enveloppes (amélioration de l'étanchéité, isolation, remplacement de portes et fenêtres, etc.) et à l'aménagement intérieur, la société a entrepris l'installation de systèmes de ventilation mécanique centralisés munis d'une unité de récupération d'énergie (VRE; RenewAire EV130) et de filtres MERV 8 (*minimum efficiency reporting value*) internes et d'un boîtier de contrôle de type humidistat.

^C Deux modèles de boîtiers de contrôle des systèmes de ventilation étaient donnés aux occupants : un interrupteur manuel à trois positions (ON/AUTO/OFF) et un humidistat (régulateur d'humidité automatique) que l'utilisateur peut ajuster (30-100 %) en position ON ou interrompre son fonctionnement en position OFF.

Tableau 2 Description sommaire des bâtiments investigués dont les systèmes ont fait l'objet d'un suivi en temps réel

Type de bâtiment	Année de construction (rénovation)	Type de système de ventilation (contrôles)	Type de système de préchauffage	Type de système de chauffage
J2.2 avec VRC	2016	VRC Venmar Solo 2.0 ES (ON/AUTO/OFF)	Aucun	Air pulsé
J2.2 avec VRC	2016	Venmar (VRC Solo 2.0 ES) (ON/AUTO/OFF)	Aucun	Air pulsé
M4.2 avec VRE	1988 (2008)	VRE RenewAire EV130 (Humidistat ON/OFF)	Hydronique au glycol	Hydronique au glycol
J2.2 avec VRE	2016	VRE Venmar K7 ERV (ON/AUTO/OFF)	Hydronique au glycol	Hydronique au glycol

2.3 Recrutement des participants

Le groupe *intervention* a été formé à partir des 55 ménages (et leur habitation respective) qui ont été sélectionnés sur la base des critères présentés aux sections 2.3.1 et 2.3.2. Afin de constituer cet échantillon, l'équipe technique a d'abord procédé à des travaux de prérecrutement ciblant tous les occupants des habitations compatibles avec les critères d'inclusion précédemment mentionnés. Ces travaux devaient être entrepris par la transmission d'une invitation écrite relayée par l'OMHK aux occupants des bâtiments concernés du village de Kuujuaq (voir annexe 4A³). Par ailleurs, afin de stimuler l'intérêt des participants potentiels, les collaborateurs de l'OMHK ont diffusé cette invitation par le biais d'autres canaux tel l'envoi de messages textes, de courriels et d'appels téléphoniques ciblés mieux adaptés aux jeunes ménages qui constituent une importante fraction de la population locale. En dépit du moyen de communication préconisé, cette invitation devait notamment préciser que la participation à ce projet était entièrement volontaire, que celui-ci était soutenu par tous les paliers de gouvernance et que les retombées devaient se transposer en bénéfices tangibles et immédiats pour leur communauté. Une fois les groupes de ménages participant formés et l'intérêt de ceux-ci confirmé, 2 membres de l'équipe technique se sont rendus au domicile des participants volontaires pour leur présenter une lettre de confirmation de participation (voir annexe 5A) ainsi qu'un formulaire de consentement (voir section 6A). Ce formulaire précisait notamment que les participants étaient libres de se retirer à n'importe quel moment de l'étude sur la base d'un simple avis verbal, que ceux-ci allaient recevoir une brève évaluation de la qualité générale de l'air de leur résidence ainsi qu'une compensation financière de 200 \$ (carte prépayée de la coop alimentaire) à la fin des travaux de terrain.

En ce qui concerne le groupe *témoin*, celui-ci a été constitué à partir d'un échantillon de 24 ménages recrutés en même temps et par le biais de la même approche que le groupe *intervention* (voir annexes 4B, 5B et 6B). Les ménages associés à ce second groupe étaient recrutés au sein des occupants (avec enfants) des bâtiments dépourvus de système de ventilation (J2.2 sans VRC/VRE) et qui acceptaient de répondre à un court questionnaire (pour contrôler quelques facteurs confondants potentiels) et autorisaient la consultation des dossiers médicaux de leur(s) enfant(s). Il est à noter que ce groupe *témoin* a été formé au hasard parmi tous les ménages volontaires admissibles. Puisque les données de ce groupe concernent seulement les enfants, elles ont uniquement été utilisées pour vérifier l'évolution de l'incidence des affections respiratoires chez les enfants au cours de la période d'étude en l'absence d'intervention sur le système de chauffage ou de ventilation. Ainsi, aucune mesure environnementale et aucun travail d'optimisation n'a été effectué dans les résidences du groupe *témoin*. Un formulaire de consentement abrégé ainsi qu'une compensation financière de 50 \$ (carte prépayée de la coop alimentaire) leur ont été présentés.

Toutes les informations pertinentes divulguées dans le cadre des activités de recrutement ainsi que celles dont les participants des groupes *intervention* et *témoin* devaient garder en tête lors des travaux menés ultérieurement ont été consignées dans un feuillet d'information rédigé à l'intention des ménages concernés (voir annexe 7A et 7B). De plus, un formulaire d'abandon a été élaboré à l'intention des participants désirant se retirer de l'étude (voir annexe 8).

³ Il est à noter que, bien que présentés en français, les outils de communication présentés aux annexes 4, 5, 6 et 7 ont également été traduits et produits en anglais et en inuktitut pour les fins de l'étude (versions non présentées dans le présent rapport).

2.3.1 CRITÈRES D'INCLUSION

Pour former le groupe *intervention*, l'équipe technique a procédé à un prérecrutement ciblant tous les ménages (familles ou groupes d'individus) répondant aux critères suivants **reliés au bâtiment** :

- Petits bâtiments résidentiels de types J2.2, J2.4 ou M4.2 abritant des logements de 2 ou de 4 chambres à coucher;
- Bâtiments construits après 2008 ou ayant subi une rénovation majeure après cette date, afin d'assurer une certaine uniformité de l'échantillon de bâtiments à investiguer.

Par la suite, afin de satisfaire à certaines exigences légales ainsi qu'aux objectifs de cette étude, seuls les ménages répondant aux critères suivants **reliés aux occupants** ont été retenus :

- Ménages constitués d'au moins un individu de plus de 18 ans;
- Ménages avec au moins un enfant de 10 ans ou moins;
- Ménages avec au moins un individu apte à s'exprimer en anglais.

2.4 Collecte de données

Une importante partie de la collecte de données réalisée dans le cadre de la présente étude a été réalisée par l'entremise de 4 visites au domicile des participants du groupe *intervention*. De façon plus spécifique, 2 visites ont été effectuées en amont de la réalisation des travaux de mise à niveau des systèmes (visites préoptimisation) ainsi que 2 en aval de celle-ci (visites postoptimisation). La première et la troisième visite, d'une durée approximative de 2 heures, servaient au déploiement des équipements de mesures environnementales, alors que la deuxième et la quatrième, d'une durée d'environ 30 minutes, étaient destinées au retrait de ces mêmes équipements.

Il faut rappeler que cette démarche visait à effectuer un suivi hebdomadaire (environ 7 jours) de divers paramètres de la QAI, et ce, afin de procéder à l'évaluation des conditions moyennes de l'air intérieur des habitations investiguées avant et après les travaux d'optimisation. À des fins d'uniformité, l'ensemble des appareils de mesure a été installé par la même équipe technique dans la salle familiale (salon ou salle de séjour) de la résidence.

2.4.1 INSPECTION VISUELLE DES HABITATIONS

Une inspection visuelle de chacune des habitations sélectionnées a été réalisée par l'équipe technique lors de la première et de la troisième visite. Ces inspections sommaires et non invasives ont été réalisées afin de documenter l'état général du bâtiment, de son enveloppe et de ses principales composantes. L'ensemble des éléments devant faire l'objet d'une analyse visuelle a été colligé dans un formulaire d'inspection intégrant une dizaine de points de suivi (voir annexe 9).

2.4.2 HABITUDES ET COMPORTEMENTS DES OCCUPANTS

Lors des visites de retrait des appareils (soit les visites 2 et 4), l'équipe technique a administré aux ménages participant un bref questionnaire visant à documenter certains paramètres comportementaux clés, tels la fréquence d'occupation du logement, les périodes et modes d'utilisation des appareils de ventilation et des extracteurs de cuisine et de salle de bain, les inconforts thermiques et acoustiques, la perception de sécheresse de l'air ainsi que certains comportements ou habitudes susceptibles d'avoir une incidence sur la QAI. Il est à noter que ce bref questionnaire a été remis aux occupants dans la foulée de la réalisation de chacune des deux

campagnes d'échantillonnage pré et postoptimisation ainsi qu'après des ménages relevant du groupe *témoin* afin de contrôler certaines variables confondantes (voir annexe 10). Le temps nécessaire pour remplir ce questionnaire, qui contenait une dizaine de questions, était évalué à une dizaine de minutes.

2.4.3 DÉPLOIEMENT DES APPAREILS DE MESURE

Les techniciens ont déployé une série d'appareils de mesure actifs et passifs destinés à la mesure de certains paramètres physico-chimiques, incluant des paramètres de confort (température et HR), les concentrations de contaminants de l'air intérieur d'intérêt (monoxyde de carbone [CO], dioxyde de carbone [CO₂], particules microniques [PM_{2,5}], composés organiques volatils [COV], charge microbienne et endotoxines dans les poussières en suspension et sédimentées) ainsi que le taux de changement d'air à l'heure (CAH; c.-à-d. ventilation naturelle + mécanique) (voir tableau 3). L'ensemble des paramètres d'intérêt ont été évalués sur une période approximative de 7 jours à l'exception des mesures de performance des équipements mécaniques qui ont été effectuées sur une période approximative de 20 semaines.

2.4.4 INSTRUMENTATION DES UNITÉS VRC ET VRE

Des sondes de mesurage permettant d'évaluer la performance thermique et de la ventilation des appareils de ventilation balancés ont été déployés sur 2 récupérateurs de chaleur (VRC Venmar Solo 2.0 ES) et 2 récupérateurs d'énergie (VRE Venmar K7 ERV et RenewAire EV130) afin de documenter les caractéristiques propres à chacun. Des mesures de débit d'air frais et d'air vicié, de température et d'humidité ont été effectuées pour permettre d'évaluer certains paramètres de performance essentiels, tels le taux de ventilation des logements, la performance thermique ainsi que la capacité de ventilation et le rendement de récupération de la chaleur des systèmes de ventilation.

2.5 Description de l'intervention

L'intervention réalisée sur les bâtiments du groupe *intervention* consistait à effectuer une mise à niveau des systèmes de chauffage et de ventilation centralisés déjà en place en procédant notamment à leur nettoyage, à leur entretien, à leur ajustement ainsi qu'à leur équilibrage lorsqu'il s'avérait possible de le faire. Les dispositifs d'extraction, tels que les hottes de cuisine et les ventilateurs de salle de bain, ont également fait l'objet d'une mise à niveau ou ont été remplacés lorsqu'ils étaient endommagés ou défectueux.

À la suite d'une première évaluation de la performance des 4 unités VRC/VRE déjà en place dans les bâtiments sélectionnés aux fins de la présente étude (voir section 2.7), l'équipe technique (constituée des techniciens attirés à l'étude, de personnes-ressources de l'OMHK et de sous-traitants) a procédé à certains travaux d'optimisation visant à accroître l'efficacité ainsi que le rendement énergétique des équipements de chauffage et de ventilation de l'air intérieur. Les tableaux 4, 5 et 6 font état des travaux respectivement effectués sur les systèmes de chauffage, de ventilation et d'extraction. Il est à noter que tous les travaux d'optimisation ont été achevés le 10 mai 2018.

Tableau 3 Paramètres physico-chimiques évalués et équipements déployés dans les logements des ménages du groupe intervention

Paramètres physico-chimiques	Équipements (modèle)	Période d'échantillonnage	Variables résultantes utilisées
Salle familiale			
Température	<ul style="list-style-type: none"> Enregistreur de données (Onset HOBO® U12-011) 	En temps réel pendant 7 jours	Médiane
Humidité relative (HR)	<ul style="list-style-type: none"> Enregistreur de données (Onset HOBO® U12-011) 	En temps réel pendant 7 jours	Moyenne arithmétique
Monoxyde de carbone (CO), dioxyde de carbone (CO ₂), température, HR	<ul style="list-style-type: none"> Enregistreur de données (HOBO® U12-013) Détecteur de CO et de CO₂ (Vaisala®) 	En temps réel pendant 7 jours	Moyenne géométrique
Particules microniques (PM _{2,5})	<ul style="list-style-type: none"> Instrument de prélèvement d'aérosols (DustTrak™ 8520) 	En temps réel pendant 7 jours	Moyenne géométrique
Changement d'air à l'heure (CAH)	<ul style="list-style-type: none"> Méthode PFT^A (Brookhaven National Laboratory et celle en développement au CNRC) 	7 jours	Moyenne géométrique
Composés organiques volatils (COV)	<ul style="list-style-type: none"> Échantillonneur passif (Perkin Elmer Tenax® TA) 	7 jours	Moyenne géométrique
Aldéhydes	<ul style="list-style-type: none"> Échantillonneurs passifs (Waters Sep-Pak) 	7 jours	Médiane
Charge microbienne (microbiome) aéroportée (bactéries et moisissures)	<ul style="list-style-type: none"> Échantillonneur muni d'un filtre électrostatique (SASS® 3100 Smart) 	Échantillonnage pendant environ 20 min 3 s	Moyenne géométrique
Charge microbienne sédimentée	<ul style="list-style-type: none"> Pompe de prélèvement d'air (15 L/min), raccordée à des cassettes fermées de 37 mm munies d'un filtre de polycarbonate (pores de diamètre 0,8 µm) (SKC) 	10 minutes	Moyenne géométrique
Endotoxines	<ul style="list-style-type: none"> Pompe de prélèvement d'air (15 L/min), raccordée à des cassettes fermées de 37 mm munies d'un filtre de polycarbonate (pores de diamètre 0,8 µm) (SKC) 	10 minutes	Moyenne géométrique
Salle mécanique			
Débit d'air frais et vicié	<ul style="list-style-type: none"> Débitmètres (Nailor) Transmetteurs de pression pour la mesure de la pression différentielle (Setra) Data Logger System (Dycor) 	12 semaines	Moyenne géométrique
Température et HR de l'air à travers les VRE/VRC	<ul style="list-style-type: none"> Sondes de température et d'humidité relative Data Logger System (Dycor) 	12 semaines	Moyenne géométrique
Consommation électrique	<ul style="list-style-type: none"> Compteur de puissance Wattson 	12 semaines	Moyenne géométrique

^A Perfluorocarbon tracer (PFT) gas method.

Tous les travaux d'optimisation des systèmes de chauffage et de ventilation ont été effectués dans la salle mécanique des bâtiments J2.2, J2.4 et M4.2, celle-ci étant située dans un espace mitoyen aux logements investigués (voir annexe 3). Les travaux d'optimisation des dispositifs d'extraction ont nécessité un accès au logement des participants pour les techniciens concernés.

En marge des ajustements et des modifications appliqués aux systèmes mécaniques présents dans les habitations du groupe *intervention*, l'équipe technique a tenté de promouvoir l'adoption de certains comportements simples, mais favorables au maintien de la QAI, chez les occupants des résidences dont les équipements ont été optimisés. Des remarques constructives, des conseils verbaux ainsi que des recommandations simples ont ainsi été adressés aux occupants (voir annexe 12). Cette démarche communicative a été mise en œuvre, d'une part, pour uniformiser les comportements au regard de l'utilisation des équipements de chauffage, de ventilation et d'extraction et, d'autre part, pour réitérer les messages communément portés par l'OMHK en ce qui a trait à l'utilisation efficace des bâtiments et de ses systèmes afin d'améliorer la QAI, le confort des occupants et l'efficacité énergétique. Ainsi, les messages transmis aux occupants dans le cadre de cette étude portaient essentiellement sur le maintien des contrôles des systèmes de ventilation dans un mode qui favorise les objectifs du projet et qui constitue un point de correspondance entre les systèmes. Ces messages s'adressaient particulièrement aux :

- occupants des bâtiments équipés de systèmes de ventilation munis d'un commutateur manuel à 3 positions (Venmar Solo 2.0 ES; vänEE 2001 HRV; Venmar K7 ERV); celui-ci consiste à positionner le sélecteur du système de contrôle de l'échangeur d'air à AUTO (cycle préprogrammé sur la base d'un algorithme s'appuyant sur la mesure de la température extérieure et du taux d'humidité intérieur);
- occupants des bâtiments équipés de systèmes de ventilation de type RenewAire EV130; celui-ci consiste à positionner l'humidistat à 30 %.

De plus, tous les occupants du groupe *intervention* ont reçu des messages portant sur le maintien du confort thermique et l'humidité à un niveau acceptable. Ces messages incitaient les membres des ménages concernés à :

- utiliser le système de chauffage centralisé pour augmenter et maintenir la température de l'air intérieur des habitations (c.-à-d. éviter d'utiliser le four à cet effet);
- utiliser les ventilateurs extracteurs de la cuisine et de la salle de bain lorsque jugé nécessaire (c.-à-d. lorsque des quantités significatives de vapeur d'eau sont émises dans l'air intérieur);
- éviter de faire usage de la ventilation naturelle de façon prolongée (c.-à-d. ouvrir les fenêtres et les portes de façon ponctuelle seulement).

Tableau 4 Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes de chauffage des logements des ménages du groupe *intervention*

Type de bâtiment	Type de système de chauffage	Remplacement des filtres jetables ^A
J2.2 sans VRC/VRE	Air pulsé	Oui
J2.2 avec VRC	Air pulsé	Oui
J2.4 avec VRC	Air pulsé	Oui
J2.4 et M4.2 avec VRE	Hydronique	N.D.
J2.2 avec VRE	Hydronique	N.D.

^A Des filtres à fournaise de type MERV 8 ont été installés en remplacement des filtres usagés.
N.D. : Non documenté.

Tableau 5 Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes de ventilation des logements des ménages du groupe *intervention*

Type de bâtiment	Type de système de ventilation	Travaux d'optimisation				
		Vérification du préchauffage	Nettoyage des filtres lavables	Nettoyage de l'échangeur d'air	Remplacement du noyau	Balancement des moteurs
J2.2 sans VRC/VRE	Aucun	N.D. ^A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
J2.2 avec VRC	VRC Venmar Solo 2.0 ES	C'	Oui	Oui	N.D.	Oui
J2.4 avec VRC	VRC vänEE 2001 HRV	N.D. ^A	Oui	Oui	N.D.	N.D. ^D
J2.4 et M4.2 VRE	VRE RenewAire EV130	Oui	N.D. ^B	N.D. ^C	Oui	Oui
J2.2 avec VRE	VRE Venmar K7 ERV	Oui	Oui	Oui	N.D.	N.D. ^D

^A Seuls les VRE étaient munis d'un système de préchauffage.
^B Remplacement du filtre jetable par un filtre lavable.
^C Les systèmes étaient propres.
^D Seuls les modèles de la marque Venmar possèdent des opercules de balancement.
N.D. : Non documenté.

Tableau 6 Travaux d'optimisation effectués sur les systèmes d'extraction des logements des ménages du groupe *intervention*

Type de bâtiment	Hotte de cuisine ^A			Extracteur de salle de bain ^B	
	Type	Remplacement du filtre au charbon	Remplacement du préfiltre	Type	Vérification
J2.2 sans VRC/VRE	Sortie intérieure	Oui	Oui	Sortie extérieure	Oui
J2.2 avec VRC	Sortie extérieure	Non	Non	Sortie extérieure	Oui
J2.4 avec VRC	Sortie extérieure	Non	Non	Sortie extérieure	Oui
J2.4 et M4.2 avec VRE	Sortie extérieure	Non	Oui	Extraction VRE	Oui
J2.2 avec VRE	Sortie extérieure	Non	Non	Extraction VRE	Oui

^A Les hottes de cuisine ont été remplacées lorsque celles-ci étaient défectueuses.
^B Les extracteurs de salle de bain ont été remplacés lorsque ceux-ci étaient défectueux.

2.6 Collecte des données sur les infections respiratoires et l'asthme chez les enfants

À la fin de l'étude, soit au printemps 2019 (ou à la suite d'une année complète après la réalisation de l'intervention d'optimisation des systèmes de ventilation dans les habitations), le médecin-conseil de la RRSSSN, accompagné d'une ressource locale, a procédé à la révision des dossiers médicaux de chacun des enfants des ménages recrutés pour la réalisation de cette étude. La démarche de révision rétrospective des dossiers hospitaliers devait couvrir la période de 2 ans s'étendant du 3 mai 2017 au 3 mai 2019, soit un an avant et un an après que la dernière intervention du projet ait été complétée.

Cette ultime étape du projet a été amorcée en contactant la direction générale du Centre de santé Tulattavik de l'Ungava par le biais d'un avis écrit expédié par le médecin-conseil collaborant au projet. Cet avis incluait une grille standardisée décrivant les infections respiratoires ciblées, les numéros d'identification des enfants impliqués dans le projet ainsi qu'une copie du formulaire de consentement dûment signé par leurs parents.

Toutes les consultations à la clinique externe et à l'urgence de l'hôpital de Kuujuaq pour otites moyennes et infections respiratoires aiguës correspondant à la liste des infections respiratoires à l'étude (voir annexe 13) ont été répertoriées, de même que la prescription d'antibiotiques et les hospitalisations pour les conditions mentionnées. Les consultations pour asthme et bronchospasmes ont également été répertoriées. Le nom et la date du diagnostic porté lors de chaque événement ont été consignés. Un code a été attribué à chaque diagnostic en fonction des classifications de l'*International classification of primary care* (ICPC-2) et la Classification internationale des maladies (CIM-9 ou CIM-10) (World Health Organization [WHO], 1998; Organisation mondiale de la Santé [OMS], 1977). Seuls les nouveaux cas d'infection ont été retenus et inclus aux analyses. Par ailleurs, les consultations de suivi ont été exclues.

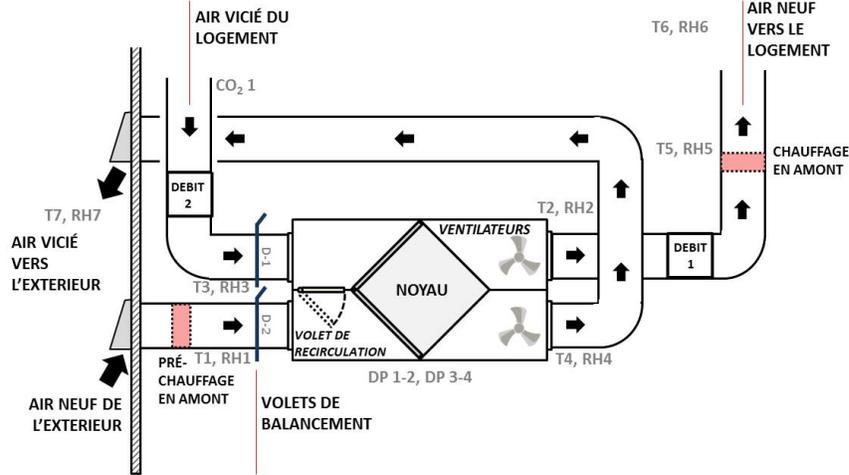
2.7 Monitoring des unités VRC/VRE

La liste des paramètres monitorés est présentée ci-dessous et l'emplacement des sites d'échantillonnage est illustré à la figure 1.

- Température et HR de l'air neuf en amont [1] et en aval [2] du système;
- Température et HR de l'air vicié en amont [3] et en aval [4] du système;
- Température et HR de l'air [5] en amont ou en aval du système de préchauffage;
- Débits d'air d'alimentation (en aval de [2]) et de retour/extraction (en amont de [3]);
- Pressions différentielles d'alimentation [1-2] et d'extraction [3-4];
- Consommation électrique de l'unité VRC/VRE.

Le déploiement de la sonde de température et d'humidité relative T5 et HR5 dépendait de la position du système de préchauffage. Un système de préchauffage électrique ou hydronique était installé dans le conduit d'alimentation d'air frais en amont de l'unité VRC/VRE comme stratégie de dégivrage ou installé dans le conduit d'alimentation d'air vers le logement (en aval de l'unité VRC/VRE) pour tempérer l'air délivré dans l'espace intérieur.

Figure 1 Déploiement des sondes pour le monitoring



Source : CNRC (document interne).

Les températures et l'humidité relative ont été mesurées à l'aide de sondes d'humidité et de température Vaisala INTERCAP® HMP60 ayant une gamme de mesure de 0 à 100 % HR (précision de ± 3 %) et de -40 à $+60$ degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (précision de $\pm 0,3$ $^{\circ}\text{C}$). Les débits d'air ont été mesurés à l'aide d'une sonde de vitesse d'air Kele FXP Series et d'un transmetteur de pression différentielle SETRA 260. La puissance électrique de chaque unité monitorée faisait partie du protocole de monitoring et a été mesurée à l'aide de système WattsON. Le système d'acquisition dédié à chaque unité VRC/VRE monitorée consistait en une valise portable et sécurisée et disposait d'un espace pouvant contenir les sondes requises pour le monitoring. Le système d'acquisition de données DT80 de Dycor était doté d'une carte mémoire interne de 2 gigabits (GB) et offrait la possibilité de télécharger les données à l'aide d'une clé USB.

2.8 Analyse statistique

Une série d'analyses statistiques successives a été effectuée afin d'être en mesure d'interpréter adéquatement les données assemblées et d'en extraire les informations les plus pertinentes. Des analyses de fréquence (ventilées par phase; pré et postoptimisation) ont d'abord été réalisées au regard des variables qualitatives (catégorisées ou discrètes) issues des questionnaires sur les habitudes et les comportements remplis par les représentants des ménages participant ainsi que sur les variables issues des questionnaires d'inspection remplis par les techniciens.

En ce qui concerne les données environnementales, diverses analyses descriptives de base ont été réalisées à partir des variables quantitatives (ou continues) telles que l'extraction des données minimales et maximales et le calcul des moyennes (géométriques et arithmétiques)⁴. Des tests de Spearman ont également été menés afin de vérifier l'éventuelle existence d'association entre les variables d'intérêt. Par la suite, des modèles d'analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées ont été réalisés pour évaluer le changement (ou l'évolution) des variables considérées entre les phases pré et postoptimisation. Lorsque la distribution des séries de données n'obéissait pas à la loi normale, une transformation logarithmique a été appliquée.

⁴ Il est à noter que seules les variables jugées essentielles ont été rapportées dans la section *Résultats*. Les lecteurs désirant consulter l'ensemble des données répertorié dans la base de données sont priés de s'adresser à l'auteur.

En ce qui a trait aux séries de variables sur lesquelles une telle transformation a été appliquée (*transformation log*), le changement constaté a été mesuré comme étant le ratio entre la moyenne géométrique observée en phase postoptimisation par rapport à celle notée en phase préoptimisation. Dans le cas des séries de variables n'ayant pas subi de telle transformation logarithmique, le changement a été défini comme étant la différence des moyennes arithmétiques entre ces deux mêmes phases du projet. D'autres modèles statistiques ont été appliqués aux assemblages de données correspondant aux 3 catégories de participants constitués (notamment au regard des types de systèmes de ventilation mécanique en place) afin de vérifier si des changements ont été observés entre les deux phases de l'étude.

Finalement, une dernière approche statistique a été appliquée aux données portant sur les infections respiratoires des enfants. Des analyses de fréquence (ventilées par la phase du projet ainsi que par le type de système de ventilation présent dans les habitations) ont été effectuées afin de caractériser les différences au regard de certains regroupements. Par la suite, pour chacun des enfants à l'étude, certaines variables ont été créées pour l'analyse du nombre d'événements et d'épisodes d'infections respiratoires répertoriés, et ce, avant et après l'intervention. Les événements associés aux cas d'infections respiratoires colligés regroupent l'ensemble des consultations ou des hospitalisations en lien avec une infection des voies respiratoires inférieures (IVRI) ou la manifestation des symptômes d'asthme (SA), une infection des voies respiratoires supérieures (IVRS) ainsi que les infections à l'oreille (IO). Un épisode regroupe toutes les consultations compatibles avec un même événement santé survenues au cours d'une période de 7 jours ou moins. Chacun des épisodes santé répertoriés a été associé à une seule pathologie déterminée selon une liste de priorisation préétablie : si l'épisode contenait un événement d'IVRI/asthme, celui-ci était considéré comme étant un épisode d'IVRS/asthme; sinon, il était considéré comme un épisode d'IVRS/IO. Le nombre moyen d'événements ou épisodes par enfant ainsi que la proportion d'enfants ayant été affectés par au moins un événement ou un épisode santé ont été calculés selon la phase de l'étude et le groupe d'appartenance des enfants concernés.

Des modèles de régression binomiale négative à mesures répétées ont ensuite été appliqués aux séries de données portant sur les épisodes d'infections respiratoires répertoriées en considérant la phase de l'étude et la catégorie de logements associée comme variable explicative. L'utilisation d'une telle approche statistique devait permettre à l'équipe de recherche de déterminer si l'intervention menée pouvait se traduire en bénéfices sanitaires objectivables pour les enfants occupant les différents types de logements concernés (sans système de ventilation, équipés d'un VRC ou équipés d'un VRE ou relevant du groupe *témoin*). Ce type de modèle a notamment permis de modéliser le nombre moyen (arithmétique) d'épisodes par enfant. Le changement observé entre les deux phases a été mesuré comme étant le ratio entre le nombre moyen d'épisodes observés par enfant lors de la phase postoptimisation et le nombre moyen d'épisodes observés en phase préoptimisation.

3 Résultats

3.1 Données issues du formulaire d'inspection

Les tableaux 7 et 8 brossent un portrait des éléments descriptifs obtenus par le biais des inspections visuelles et du formulaire associé. Le tableau 7 fait état des résultats assemblés lors de la phase préoptimisation au regard des logements associés au groupe *intervention*. La phase postoptimisation n'est pas considérée dans cet assemblage de données puisque celles-ci n'étaient pas assujetties à des changements en cours d'étude. Le tableau 8 présente quant à lui l'évolution de certains paramètres documentés lors des inspections menées au regard des logements des participants du groupe *intervention* en contexte pré et postoptimisation.

Alors que cette étude devait initialement porter sur des bâtiments de type J2.2, certaines contraintes ont fait en sorte qu'une certaine proportion de l'échantillon a intégré des J4.2 ainsi que 2 bâtiments de type M4.2. Par ailleurs, il est intéressant de rapporter que le processus de recrutement a permis de mobiliser un nombre relativement similaire de ménages associé à chacune des 3 catégories de logements, intégrant chacun une technologie de système de ventilation distincte (aucun système, VRC, VRE). Bien que les VRE de marque RenewAire (modèle EV130) étaient plus nombreux que les autres types d'appareils, l'échantillon demeurait somme toute équilibré et représentatif des systèmes installés dans les habitations de Kuujuaq. De façon similaire, les bâtiments équipés d'un système de chauffage à air pulsé ou au glycol constituaient une proportion semblable de l'échantillon. De plus, une certaine proportion de bâtiments plus âgés avaient fait l'objet de rénovations majeures (soit 27 %), faisant d'eux des analogues des bâtiments plus récents investigués dans le cadre de cette étude.

L'état de l'enveloppe extérieure des fenêtres et des aires habitables des logements à l'étude était majoritairement excellent, bien qu'une certaine proportion présentait des problèmes de fenêtres (glissière, poignée, cadre, calfeutrage en mauvais état) et que près de 20 % étaient en mauvais état (entretien déficient, murs, planchers, portes, mobilier et équipements dégradés, etc.). De plus, l'équipe technique a noté que 9 % des logements étaient surencombrés (peu ou pas de place pour circuler).

Seule une faible proportion des ménages participant possédait un humidificateur (31 %), mais leur état de même que leur fréquence d'utilisation n'ont pas été documentés. Il est à noter qu'aucun de ces ménages ne possédait de déshumidificateur. Par ailleurs, une très faible proportion de logements (5 %) disposait de revêtements de sol mur-à-mur constitués de tapis (voir tableau 7). Au tableau 8, il est possible de constater qu'en ce qui concerne les équipements d'extraction mécanisés, la grande majorité des ventilateurs de salle de bain inspectés en période postoptimisation fonctionnait adéquatement (85 %), alors qu'une faible proportion d'entre eux était hors d'usage (7 %). Presque tous les registres des extracteurs étaient empoissés (98 %); un peu plus du quart de ceux-ci était totalement obstrué par des peluches et autres débris (25 %). Il est à noter que ces données ne sont disponibles que pour la période postoptimisation.

Comme précisé en début de section, le suivi de certains paramètres susceptibles d'évoluer à la suite de la réalisation des travaux d'optimisation a également été effectué par le biais des inspections pré et postoptimisation. Entre autres, la majorité des hottes de cuisine inspectées lors de la phase préinspection fonctionnait adéquatement (82 %) et 76 % d'entre elles étaient munies d'une sortie extérieure. À la suite de l'intervention, la proportion de hottes adéquatement fonctionnelles est passée à 96 %. La réalisation de certains travaux légers a permis d'accroître la fraction de hottes de cuisine acheminant l'air vicié vers l'extérieur à 80 %.

Les techniciens de l'équipe de projet ont noté que 73 % des commutateurs des systèmes de ventilation étaient positionnés à OFF en phase préoptimisation. À la suite de cette observation, ces derniers ont activé l'ensemble de ces systèmes, si bien que 60 % des dispositifs de contrôle ont été placés en mode AUTO (VRE+VRC) alors que les autres (soit 40 % uniquement constitué de VRE) ont été positionnés à ON (humidistat à 30 %).

La proportion de logements dans lesquels des traces d'humidité excessive (ex. : condensation et ruissellement sur les surfaces froides) ont été observées est sensiblement semblable entre les deux phases du projet : 13 % en phase préoptimisation; 7 % en phase postoptimisation. De plus, sur les deux seuls cas documentés de présence d'odeurs d'humidité, l'un d'entre eux se serait résorbé à la suite de l'intervention. Des traces visibles de moisissures ont été relevées dans 67 % des logements investigués en période postoptimisation, et ce, surtout dans les salles de bain, sur les cadres de fenêtres et les murs adjacents. Ici encore, ces données n'étaient pas disponibles pour la période préoptimisation.

Enfin, peu de différences ont été observées entre les deux phases de l'étude en ce qui a trait à la présence d'odeurs de cigarette et d'hydrocarbure (possiblement issues de la salle mécanique) ainsi que pour la présence d'animaux domestiques.

3.2 Données issues du questionnaire

Les tableaux 9 et 10 décrivent les résultats des questionnaires remplis par les représentants des ménages associés aux groupes *témoin* et *intervention* (pré et postoptimisation). La moitié (50 %) des logements de type J2.2 occupés par les participants du groupe *témoin* était habitée par 3 dormeurs et moins (c.-à-d. qui passaient la nuit dans le logement), tandis que l'autre moitié accueillait plus de 4 dormeurs. Pour le groupe *intervention*, la répartition du nombre de dormeurs s'avérait assez semblable entre les deux phases. En effet, indépendamment de la taille et du type de logement concerné (c.-à-d. J2.2, J4.2, M4.2), 31 % de ceux-ci étaient occupés par 3 dormeurs et moins en période préoptimisation, alors que cette proportion atteignait 37 % en période postoptimisation. Il est à noter qu'un des ménages sondés du groupe *intervention* a rapporté accueillir 9 dormeurs par nuit dans son logement lors de la deuxième phase du projet.

Un seul participant du groupe *témoin* a rapporté la présence de fumeurs dans sa résidence (4 %). En accord avec les résultats de l'inspection, le nombre de logements associés au groupe *intervention* abritant des fumeurs qui s'adonnaient à la consommation de tabac à l'intérieur a légèrement augmenté en cours d'étude (passant de 7 à 10).

Trois quarts (75 %) des ménages du groupe *témoin* interrogés ont mentionné que la fréquence quotidienne d'utilisation de la douche était inférieure ou égale à 3, alors que la fréquence d'utilisation de la douche n'excédait pas 5 douches quotidiennes au sein de ce groupe. En ce qui concerne le groupe *intervention*, la fréquence quotidienne de l'utilisation de la douche du logement est demeurée relativement constante au cours des deux phases de l'étude. Bien qu'un nombre plus important de ménages a rapporté utiliser la douche à 3 reprises et moins par jour (avec un minimum d'une douche par jour), un ménage a déclaré que ses membres l'utilisaient jusqu'à 10 fois par jour.

En accord avec la fréquence d'utilisation de la douche, une proportion plus importante de ménages du groupe *témoin* a utilisé l'extracteur de la salle de bains 3 fois et moins par jour (63 %). D'entre eux, 21 % ont rapporté ne jamais l'utiliser, alors qu'aucun n'a employé l'extracteur en continu ou sur de longues périodes sans interruption. À l'instar du groupe *témoin*, parmi les répondants des ménages du groupe *intervention*, une proportion un peu moins importante de ménages a utilisé

l'extracteur de la salle de bains 3 fois et moins par jour sans variation notable entre les phases pré et postoptimisation. Il est cependant important de noter que deux des ménages participant ont rapporté utiliser l'extracteur 12 heures par jour lors de la première phase de l'étude, tandis que 13 % et 20 % de ceux-ci ont spécifié l'utiliser 24 heures par jour lors des phases pré et postoptimisation, respectivement. En revanche, 7 ménages n'ont jamais utilisé l'extracteur de salle de bain.

Une majorité des ménages interrogés (groupes *témoin* et *intervention*) a rapporté utiliser la cuisinière 3 fois par jour, et ce, indépendamment des phases de l'étude en ce qui a trait à ce second groupe. Alors qu'une certaine fraction des participants a rapporté en faire usage 2 fois et moins par jour (entre 24 et 30 %), une fraction inférieure l'utilisait plus de 4 fois (entre 13 et 15 %). Il est à noter qu'un des ménages du groupe *intervention* interrogé utilisait la cuisinière en continu dans la phase préoptimisation, possiblement pour se chauffer.

De façon similaire, la plus grande proportion de ménages issus des groupes *témoin* et *intervention* utilisait la hotte de cuisine de 1 à 3 fois par jour avec une augmentation plus importante de celle-ci pour les participants du groupe *intervention* en phase postoptimisation (atteignant 71 %). À cet effet, une tendance a été notée concernant la proportion des ménages du groupe *intervention* qui n'utilisaient jamais la hotte. Celle-ci est passée de 19 % au cours de la première phase à 7 % au cours de la seconde. Certains rapportaient également utiliser la hotte de cuisine jusqu'à 12 fois par jour avant (n = 2) et après (n = 4) la réalisation des travaux d'optimisation.

La fréquence d'utilisation de la ventilation naturelle (aération) demeurait relativement similaire entre les groupes *témoin* et *intervention* en période préoptimisation. Il est toutefois intéressant de constater que les ménages du groupe *intervention* utilisaient généralement davantage la ventilation naturelle en période postoptimisation; jusqu'à 37 % de ces ménages aéraient leur logement une fois par jour.

La majorité des ménages du groupe *témoin* (62 %) avait réglé le thermostat de leur logement entre 10 et 20 °C, alors qu'une plus faible proportion de ceux-ci préférait ajuster la température entre 20 °C et 25 °C (19 %) ou au-dessus de 25 °C (14 %). Il est également intéressant de mentionner que les ménages du groupe *intervention* n'ont généralement pas ajusté le thermostat de leur logement en cours d'étude. Ainsi, une faible proportion de ceux-ci avait ajusté le système de commande du système de chauffage à moins de 10 °C (entre 2 et 8 %), une proportion plus importante entre 10 et 20 °C (entre 23 et 28 %) et la majeure partie de l'effectif entre 20 et 25 °C (entre 57 et 58 %). D'autres l'avaient cependant réglé à plus de 25 °C (entre 12 et 13 %) et un seul l'avait ajusté à plus de 30 °C.

De plus, une proportion similaire des ménages des groupes *témoin* et *intervention* (en période préoptimisation) s'adonnait à l'artisanat (ex. : gravure, sculpture, peinture; soit 64 % pour le groupe *intervention* et 67 % pour le groupe *témoin*), tandis que cette proportion s'avérait moins élevée pour le groupe *intervention* en période postoptimisation (35 %). Dans ce dernier groupe, cette diminution est significative. Une telle baisse n'est toutefois pas observée au regard de la préparation de nourriture traditionnelle (ex. : phoque bouilli). Une augmentation significative de ce type de comportement a été observée au sein du groupe *intervention* entre les phases pré et postoptimisation (passant de 18 % à 41 %), alors que la proportion des participants du groupe *témoin* préparant ce type de nourriture atteignait une valeur intermédiaire de 29 %. Enfin, une majorité de ménages (tous groupes confondus) utilisait davantage la sècheuse électrique pour assécher ses vêtements (entre 71 et 80 %) que les autres modes documentés (voir tableau 9).

En ce qui a trait aux perceptions des ménages interrogés relativement à la qualité de leur milieu résidentiel, le tableau 10 montre que les participants du groupe *témoin* ont rapporté éprouver une sensation de sécheresse et des inconforts thermiques dans une importante proportion (soit 96 et 79 %, respectivement). Il est également intéressant de mentionner que davantage de répondants ont rapporté de tels inconforts en période préoptimisation en comparaison avec la période postoptimisation (passant respectivement de 84 à 70 % et de 80 à 59 %) et que cette diminution était significative. En revanche, la présence d'inconforts auditifs et olfactifs précisés par les occupants sondés ne présente que peu de changements, et ce, tant au regard du groupe concerné que de la période d'étude. De tels inconforts ont été rapportés dans une proportion variant de 30 à 46 % (voir tableau 10).

3.3 Données du monitoring des unités VRC et VRE

Le monitoring de 4 unités de ventilation a permis la collecte de paramètres de performance de 2 VRE et de 2 VRC au regard :

- des débits d'air d'alimentation et d'extraction pour vérifier le balancement des unités VRC/VRE pour un meilleur taux de récupération de chaleur ou d'énergie et vérifier si l'apport d'air frais (renouvellement d'air) répond au minimum requis;
- des températures et des niveaux d'humidité relative d'entrée et de sortie des écoulements d'alimentation et d'extraction à travers les unités VRC/VRE pour le calcul de leur efficacité de récupération de la chaleur, déterminante pour la réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage des logements;
- des niveaux de température d'air neuf alimentant les logements (qui influencent les besoins en préchauffage);
- des niveaux d'humidité relative dans l'air extrait des logements.

Ventilation

La sélection d'une unité de ventilation centralisée de type VRC ou VRE devait tenir compte du débit d'air nécessaire (taux de ventilation requis par les standards de ventilation et le code du bâtiment) selon la superficie du logement et le nombre d'occupants (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE], 2016a, 2016b; Canadian Standards Association [CSA], 2010; CNRC, 2010). La ventilation totale requise pour un logement donné est équivalente à la somme de la quantité d'air requise pour le logement (3 pieds cubes par minute [pi^3/min] d'air frais par 100 pieds carrés [pi^2] de surface intérieure habitable) et celle requise par les occupants (7,5 pi^3/min par personne). Le nombre total de personnes qui occupent théoriquement un logement est défini par le nombre de chambres à coucher dans la maison +1. Les apports d'air frais minimum requis pour chaque unité monitorée sont présentés dans le tableau 11.

La caractérisation des paramètres de ventilation (débits d'alimentation et d'extraction) obtenue par le biais du suivi des unités VRC et VRE monitorées a fourni à l'équipe de recherche d'intéressantes données concernant le niveau de balancement des unités VRC/VRE et leur performance de ventilation avant et après l'optimisation de ces systèmes. Les débits d'alimentation et d'extraction moyens (incluant les valeurs minimales et maximales mesurées) sont présentés dans le tableau 12 pour chaque unité monitorée et durant les périodes d'évaluation préoptimisation et postoptimisation. Une unité VRC ou VRE est considérée comme balancée si la différence (en pourcentage) entre les débits d'alimentation et le débit d'extraction ne dépasse pas les 10 %. Durant la période préoptimisation, seule l'unité VRC Venmar Solo 2.0 ES du logement 2632A avait un balancement acceptable de -1,7 %. Les 3 autres unités VRC et VRE monitorées étaient débalancées, avec une

différence de +24,6 % pour l'unité VRC Solo 2.0 ES du logement 2640A, de -22,5 % pour l'unité VRE RenewAire EV130 du logement 1368B et de +35,2 % pour l'unité VRE Venmar K7 ERV du logement 2605A. Après l'optimisation des unités monitorées, les différences entre les débits d'alimentation et d'extraction (balancement) sont passés de -1,7 % à -4,2 % pour le logement 2632A (maintenu en dessous de 10 %), de +24,6% à +28,8 % pour le logement 2640A (détérioration du balancement et nettement supérieur à 10 %), de -22,5 % à +2,3 % pour le logement 1368B (nette amélioration du balancement et inférieur à 10 %) et de +35,2 % à +17,2 % pour le logement 2605A (débalancement réduit, mais reste supérieur à 10 %).

À la suite de l'intervention, les débits moyens d'alimentation en air frais des logements concernés ont augmenté de 6,2 % pour le logement 2632A, ont faiblement réduit de 2,7 % et de 2,5 % pour les logements 2640A et 2605A, et ont fortement réduit de 52,4 % pour le logement 1368B. Selon les données de monitoring, la forte réduction de l'apport d'air frais au logement 1368B serait due à une plus grande durée d'interruption de l'unité VRE RenewAire EV130 par les occupants durant la période postoptimisation. En comparant les taux de ventilation moyens des 4 logements investigués au taux de ventilation prescrit par les organisations compétentes (ASHRAE, 2016b), il est possible de constater que la ventilation en phase postoptimisation était insuffisante pour les logements 2632A et 1368B, excessive (le double de ce qui est requis) pour le logement 2640A et bonne (adéquate) pour le logement 2605A.

Température

Le tableau 13 présente la température des écoulements d'air d'alimentation (entrée et sortie) et d'extraction (entrée et sortie) à travers les unités VRC et VRE monitorées, et ce, tant en phase pré que postoptimisation. Ce tableau illustre bien la différence de fonctionnement entre les unités VRC (sans préchauffage) et les unités VRE (avec préchauffage hydronique) et son influence sur la température des volumes d'air aux limites du noyau. La différence de température entre l'entrée et la sortie des écoulements d'alimentation et d'extraction des unités VRC Venmar Solo 2.0 ES installées dans les logements 2632A et 2640A sont comparables entre les phases pré et postoptimisation. Cependant, l'unité VRC du logement 2640A a présenté de plus grands gradients de température entre la sortie et l'entrée des écoulements d'alimentation et d'extraction, situation vraisemblablement due à l'activation du mode dégivrage. L'impact de la présence d'un dispositif de préchauffage (système hydronique utilisé pour prévenir la formation et l'accumulation de givre dans le noyau des VRE RenewAire EV130 et Venmar K7 ERV) est bien mis en évidence dans ce tableau. La température moyenne de l'air frais mesurée à l'entrée de l'écoulement d'alimentation s'élevait à plus de 20 °C dans le cas du VRE EV130, soit 23,2 °C durant la phase préoptimisation et 26,2 °C durant la période postoptimisation. Un meilleur contrôle du préchauffage pour fournir une température de près de 5 °C permettrait d'améliorer l'efficacité de récupération de la chaleur sensible de l'unité VRE EV130. Le système de contrôle du préchauffage de l'unité VRE K7 ERV étant défectueux, ce problème a mené à une surchauffe de l'air frais acheminé en amont de l'unité VRE. La température moyenne de l'air frais monitorée à l'entrée de l'écoulement d'alimentation dépassait les 35 °C (soit 38,4 °C durant la phase préoptimisation et 39,6 °C durant la période postoptimisation). Cette surchauffe semble avoir compromis la capacité de récupération de chaleur et d'énergie de l'unité VRE K7 ERV du logement 2605A.

Humidité relative

Le tableau 14 présente la fraction moyenne d'humidité relative présente dans l'air des écoulements d'alimentation (entrée et sortie) et d'extraction (entrée et sortie) à travers les unités VRC et VRE monitorées pour les phases pré et postoptimisation. Ce tableau décline également la fraction d'humidité relative moyenne (et de pointe) présente dans chaque logement investigué par le biais de mesures effectuées en amont de l'unité, soit à l'entrée de l'écoulement d'extraction VRC/VRE. Le niveau le plus élevé d'humidité relative de l'air extrait des logements était associé au logement 2632A doté d'un VRC. Celui-ci atteignait une valeur moyenne de 24,0 % au cours de la phase préoptimisation et de 28,2 % durant la période postoptimisation. L'air extrait du logement 2640A (également doté d'un VRC) affichait des niveaux d'humidité relative moyens plus faibles de 12,2 % au cours de la phase préoptimisation et de 15,4 % durant la période postoptimisation.

L'air extrait des logements 1368B et 2605A équipés d'unités de type VRE présentait des niveaux d'humidité relative encore plus bas : 9,4 % durant la période préoptimisation et 10,6 % durant la période postoptimisation pour le logement 1368B, et respectivement de 15,3 % et de 18,7 % pour le logement 2605A. Bien que les unités VRE soient conçues pour récupérer une partie de l'humidité de l'air extrait du logement pour la réintroduire dans celui-ci par le biais de l'alimentation en air frais, celles-ci ne semblaient pas effectuer leur travail adéquatement. Les fréquentes interruptions de l'unité VRE RenewAire EV130 par les occupants du logement 1368B, de même que les défaillances du système de préchauffage, auraient entraîné un assèchement de l'air.

Efficacité de récupération de la chaleur sensible

Les résultats de l'évaluation de l'efficacité de récupération de la chaleur sensible des 4 unités VRC/VRE monitorées en phase pré et postintervention sont présentés au tableau 15. Le calcul de l'efficacité de récupération tient compte des températures d'entrée et de sortie de l'écoulement d'air d'alimentation, de la température d'entrée de l'air d'extraction, du débit d'air d'alimentation et du minimum entre les débits d'air d'alimentation et d'extraction. L'efficacité de récupération de la chaleur sensible des unités VRC Venmar Solo 2.0 ES des logements 2632A et 2640A était très proche : 64 % (préoptimisation) et 65 % (postoptimisation) pour l'unité VRC du logement 2632A, 66 % (préoptimisation) et 67 % (postoptimisation) pour l'unité VRC identique du logement 2640 A.

L'unité VRE RenewAire EV130 du logement 1368B a présenté une efficacité de récupération de la chaleur sensible nettement inférieure aux performances rapportées par le fabricant, et ce, notamment en raison des fréquentes interruptions de service de l'unité de ventilation occasionnant un ralentissement (voir une stagnation) des écoulements d'alimentation et d'extraction à travers le noyau; d'où les très faibles gradients de température observés. L'efficacité de récupération de la chaleur sensible calculée était de 34 % pour la période préoptimisation et de 16 % pour la période postoptimisation. L'unité VRE du logement 1368B a ainsi subi une nette détérioration (de 18 %) de l'efficacité de récupération de la chaleur sensible entre la période pré et postoptimisation. L'unité VRE Venmar K7 ERV du logement 2605A a affiché les plus hautes valeurs d'efficacité de récupération de la chaleur sensible de 77 % pour la période préoptimisation et de 70 % pour la période postoptimisation, soit une légère différence de -7 % entre les deux phases de l'étude.

3.4 Données physico-chimiques

Température et humidité relative

La caractérisation des paramètres de confort dans les logements des participants du groupe *intervention* a également fourni à l'équipe de recherche d'intéressantes données concernant la température et l'humidité relative moyennes des logements investigués. La moyenne (arithmétique) des températures entre les deux phases était semblable, soit 23,6 °C pour la phase préoptimisation, et de 23,5 °C pour la phase postoptimisation. Les moyennes (arithmétiques) des taux d'humidité (toutes catégories de logement confondu) variaient entre 31,7 % (préoptimisation) et 29,5 % (postoptimisation). Les températures minimales et maximales enregistrées variaient entre 19,7 et 27,6 °C (tous groupes et phases confondus), alors que les niveaux d'humidité relative fluctuaient entre 19,1 et 46,2 %.

Il faut rappeler que Santé Canada (2015) recommande de maintenir le taux d'humidité relative des habitations à environ 30 % en période de chauffe. Bien qu'aucune différence significative n'ait été identifiée au regard de la température moyenne des différents logements investigués, il est intéressant de souligner que les taux d'humidité relative moyens ont significativement décliné de 2,2 % à la suite de l'intervention (toutes catégories confondues). Lorsque chacune des catégories de logements est considérée séparément, cette baisse des taux d'humidité est particulièrement importante (et significative) au sein des logements équipés de VRC (-5,6 %) en comparaison avec les autres catégories (tableau 16). Il est à noter que les résultats des analyses de Spearman ont montré une corrélation inverse entre le taux d'humidité moyen (moyenne géométrique) des logements investigués et l'intensité de la ventilation ($R^2 = -0,61$; $p < 0,0001$), alors qu'aucune corrélation n'a été observée entre la température moyenne et la ventilation.

Monoxyde et dioxyde de carbone

Les concentrations de CO et de CO₂ varient considérablement d'une phase du projet à l'autre (tous logements confondus) ainsi que d'un logement à l'autre (toutes phases confondues). Bien que les concentrations moyennes (géométriques) de CO₂ s'avèrent relativement élevées (941,46 parties par million [ppm] en phase préoptimisation et 76,66 ppm en phase postoptimisation, toutes catégories confondues, avec un maximum de 2 ppm), une baisse significative de 18,6 % des concentrations moyennes de CO₂ est néanmoins observée. Bien qu'aucune différence intercatégories n'ait été détectée, les logements sans système de ventilation (-22,6 %) et ceux équipés de VRC (-25,2 %) ont engendré une diminution de concentration plus importante que celle observée dans les logements équipés de VRE. Les concentrations moyennes (géométriques) de CO étaient pour leur part généralement faibles (2,62 ppm en phase préoptimisation et 1,23 ppm en phase postoptimisation) avec 5 résultats maximaux (données brutes ponctuelles) excédant 10 ppm en période préoptimisation. Une diminution significative des concentrations moyennes de CO a également été observée au sein de chacune des catégories de logements investigués (aucun système : -52,18; VRC : -50,90; VRE : -54,20), sans différence significative entre elles (tableau 16). Il faut souligner que la valeur-guide d'exposition maximale résidentielle pour une période de 24 heures est de 10 ppm (Santé Canada, 2016). Un faible coefficient de corrélation inverse (analyse de Spearman) a également été établi entre la concentration moyenne de CO₂ et le taux de ventilation ($R^2 = -0,51$; $p < 0,0001$).

Particules fines

Les moyennes (géométriques) des concentrations hebdomadaires de $PM_{2,5}$ accusaient une diminution significative (baisse de 34,7 %; toutes catégories confondues) à la suite de la mise en œuvre des travaux d'optimisation, passant de 18,91 à 12,33 microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bien qu'aucune différence significative n'ait été observée entre les différentes catégories, la diminution (significative) la plus marquée a été identifiée au sein du groupe VRC, atteignant -55,1 % (tableau 16). D'importantes concentrations de particules fines ont néanmoins été observées dans les deux phases d'évaluation, avec des concentrations hebdomadaires moyennes atteignant plus de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans certains des logements investigués abritant des fumeurs. Ces importantes concentrations de particules ont davantage été notées dans les logements occupés par un ménage constitué d'au moins un consommateur de tabac ayant rapporté avoir fumé à l'intérieur. Ici encore, il importe de souligner que Santé Canada recommande de maintenir les concentrations de particules fines aussi basses que possible (Santé Canada, 2019b). Selon les résultats des analyses de Spearman effectuées, la concentration moyenne de $PM_{2,5}$ n'était pas corrélée au taux de ventilation.

Ventilation

Le calcul des taux de ventilation (ou renouvellement de l'air d'un milieu intérieur donné) montre une augmentation des moyennes (géométriques) des volumes d'air échangés en période postoptimisation, en comparaison avec la phase préoptimisation, soit une augmentation significative de 46,7 %. Les taux de ventilation moyens (toutes catégories et phases confondues) variaient respectivement entre 0,12 et 0,35 CAH. Le taux de ventilation le plus bas enregistré atteignait 0,03 CAH, alors que le plus élevé se chiffrait à 0,85 CAH. Lorsque les différents groupes de logements étaient considérés indépendamment, l'augmentation observée dans les logements avec VRC était significativement plus grande que celle observée dans ceux sans système. Bien qu'il n'existe pas de norme en matière de ventilation résidentielle, plusieurs codes précisent le débit minimum d'air neuf à introduire pour obtenir une QAI satisfaisante (ASHRAE, 2016a, b; CSA, 2010; CNRC, 2010). Ce débit varie quelque peu d'une prescription à l'autre, selon ces normes et codes, et est souvent exprimé en différentes unités de mesure (ex. en litre par seconde [L/s] au Canada). En règle générale, un débit de ventilation de 5 à 10 L/s d'air neuf est requis pour chaque occupant, ce qui correspond à environ un renouvellement d'air complet toutes les 3 heures ou 0,33 CAH.

Composé organique volatil (COV)

La concentration de plus d'une centaine de composés organiques volatils (COV) présents dans l'air des milieux intérieurs investigués a été évaluée dans le cadre de cette étude (soit 105 composés distincts). Seuls les composés pour lesquels une mesure de concentration excédant la limite de détection ayant été rapportée dans plus de 80 % des logements (soit dans plus de 45 logements sur 55) sont décrits ci-dessous. À cet effet, le tableau 17 fait état de ces résultats déclinés par familles (ou groupements fonctionnels).

Les concentrations de COV dans les logements investigués variaient de façon importante au regard des différentes classes de composés analysées ainsi qu'au regard de chacun d'entre eux. Les composés retrouvés en plus forte concentration (toutes phases confondues) sont l'éthanol, le propylène glycol, l'acétone, le limonène, le nonane, l' α -pinène et le texanol. Une diminution des concentrations hebdomadaires moyennes a été observée au regard de la grande majorité des COV analysés entre la phase pré et postoptimisation, à l'exception du butanol, du propylène glycol et du butanone, dont les concentrations ont légèrement augmenté. L'analyse détaillée a néanmoins montré certaines diminutions significatives. Il est ainsi relevé que la concentration moyenne de plusieurs composés associés à la classe fonctionnelle des aldéhydes a significativement diminué à la suite de l'intervention (formaldéhyde, acétaldéhyde, propanal, butanal; toutes catégories confondues). En

général, les diminutions les plus importantes étaient associées aux logements avec VRC. Il est à noter que les concentrations moyennes les plus faibles ont été observées au sein des logements équipés de VRE, et ce, tant en amont qu'en aval de l'intervention.

Aucun composé de la famille des alcools n'accuse une diminution significative de sa concentration hebdomadaire moyenne (toutes catégories confondues) une fois l'intervention terminée. Cependant, une diminution significative des concentrations d'éthanol et de 2-éthyl-1-hexanol a été observée au sein des logements munis de VRE, tandis que le texanol a diminué parmi les logements munis de VRC. Il faut rapporter que les concentrations de propylène glycol et de texanol ont significativement augmenté à la suite de l'intervention dans les logements sans système de ventilation, alors que la concentration moyenne des autres composés appartenant à la famille des alcools a également augmenté au sein de ces logements, mais de façon non significative. De plus, les concentrations moyennes de propylène glycol sont particulièrement élevées dans les logements dotés de VRE en comparaison avec les autres.

Une diminution significative de tous les composés associés au groupe des hydrocarbures aliphatiques (toutes catégories confondues) a été observée à la suite de l'intervention (entre 24,1 et 44,7 %). Lorsque les différentes catégories de logements ont été comparées entre elles au regard de cette diminution, les différents systèmes en place ne semblaient pas jouer un rôle préférentiel dans l'atténuation de cette classe de contaminants.

Il en est de même pour les composés issus du groupe des hydrocarbures aromatiques, avec des baisses variant entre 33,4 et 57,4 %. Contrairement aux hydrocarbures aliphatiques, la baisse des concentrations d'hydrocarbures aromatiques à la suite de l'intervention semble en général plus importante dans les logements équipés de VRE. Alors qu'aucune diminution significative n'a été constatée en période postoptimisation concernant les acides carboxyliques, une diminution significative de 35,0 % de certains esters (l'acétate d'éthyle) associée à la présence de VRC et de VRE, a été observée. Aucune diminution significative des concentrations des composés associés aux cétones n'a été observée à la suite de l'intervention (toutes catégories confondues), notamment en raison d'une augmentation marquée des concentrations moyennes d'acétone (33,6 %) et de butanone (75,3 %) dans les logements dépourvus de système de ventilation mécanique. Par contre, une diminution de la concentration d'acétone est relevée dans les logements avec VRC, qui se distinguent significativement des deux autres catégories. Enfin, une diminution significative des concentrations de certains terpènes (α et β -pinène) a été notée à la suite de l'optimisation des systèmes (toutes catégories confondues).

Santé Canada préconise l'application de niveaux de référence au regard de certains COV qui sont réévalués de façon périodique. Selon les niveaux de référence publiés en 2018, les concentrations maximales rapportées ne dépassent en aucun cas ces critères (Santé Canada, 2018). Les analyses de Spearman effectuées sur l'ensemble des données ont montré une forte corrélation inverse entre la concentration moyenne et médiane de certains COV et l'intensité de la ventilation (ex. : formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone). À titre d'exemple, les concentrations moyennes de formaldéhyde sont inversement corrélées aux taux de ventilation mesurés ($R^2 = -0,66$; $p < 0,001$). Par ailleurs, la concentration de propylène glycol n'est pas corrélée aux taux de ventilation.

3.5 Données microbiologiques

Le microbiote des milieux intérieurs se segmente en deux réservoirs, soit les micro-organismes présents en suspension dans l'air ainsi que ceux retrouvés dans les poussières domestiques. Dans le présent projet, les concentrations en bactéries totales et en moisissures des genres *Penicillium* et *Aspergillus* ont été mesurées par méthode moléculaire, les endotoxines ayant été mesurées en complément.

Les concentrations en bactéries totales étaient en moyenne de $3,9 \times 10^3$ copies de génome/m³ dans les échantillons d'air et de $6,5 \times 10^4$ copies de génome/mg dans les échantillons de poussières domestiques. Les concentrations en endotoxines mesurées étaient, quant à elles, faibles dans les poussières sédimentées et non quantifiables dans l'air. En moyenne, cette concentration était de 3,7 unités d'endotoxine par milligramme (UE/mg) de poussières, avec une variabilité importante des mesures. De plus, les concentrations en *Penicillium/Aspergillus* étaient faibles et souvent en dessous de la limite de détection pour les échantillons d'air. Il est intéressant de constater que les concentrations de spores et de fragments de *Penicillium* et d'*Aspergillus* se révélaient faibles, témoignant d'une présence non significative de ces genres fongiques (voir tableau 18).

Ces concentrations, que ce soit en bactéries totales ou en *Penicillium/Aspergillus*, ont montré une grande variation au sein d'une même catégorie de logements, indépendamment du type de ventilation et de la phase d'intervention à l'exception des concentrations en moisissures (*Penicillium/Aspergillus*), qui sont significativement moins abondantes dans l'air intérieur à la suite de l'intervention (toutes catégories de logements confondues; baisse de 45 %) (voir tableau 19). Pour les endotoxines présentes dans les poussières domestiques, il existe une différence significative entre les logements ne possédant pas de dispositif de ventilation centralisé et les logements possédant un système de ventilation mécanique (Mann-Whitney : $p = 0,018$ pour VRC; $p = 0,040$ pour VRE). En revanche, aucune différence n'a été relevée entre les logements munis de VRC et de VRE. Les concentrations en endotoxines dans les poussières domestiques étaient moins importantes dans les maisons ayant un système de ventilation (Kruskall-Wallis : $p = 0,037$) (voir tableau 18). Actuellement, il n'y a pas de valeurs limites ou guides pour les micro-organismes aéroportés en milieu intérieur, les recommandations générales en matière d'interprétation des rapports de mesures fongiques s'articulant notamment sur la différence entre la concentration de spores d'une même espèce en milieu intérieur et extérieur (Huppé *et al.*, 2016).

3.5.1 BIODIVERSITÉ MICROBIENNE

Les analyses de biodiversité permettent de décrire : 1) les genres les plus abondants (biodiversité de cœur) et 2) les genres les plus présents. Le nombre d'unités taxonomiques opérationnelles (UTO)⁵ bactériennes était de 369 ± 2 dans les échantillons d'air (tous échantillons confondus) et de 743 ± 1 dans les échantillons de poussières. Comme pour les concentrations en bactéries totales, le nombre d'UTO (indicateur de diversité) variait de façon importante au sein d'une même catégorie de logements et pour la même phase d'intervention. Les genres bactériens *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Propionibacterium*, *Micrococcus* et *Prevotella* ont été retrouvés dans une grande majorité des échantillons (plus de 98 % des échantillons d'air et de poussières). Ces genres, habituellement présents en milieu intérieur, sont associés au microbiote humain. Bien que le genre *Mycobacterium* ne fasse pas partie de la biodiversité de cœur, celui-ci a été retrouvé dans 72 échantillons d'air (sur 110 prélevés) et dans 23 échantillons de poussières (sur 55 prélevés).

⁵ Une UTO correspond à un groupe de séquences ayant 97 % de similarité et est considérée comme appartenant à la même espèce microbienne.

La méthode utilisée ne permet pas une identification de l'espèce ou une garantie de la viabilité de la bactérie détectée.

Il est à noter que 185 ± 2 UTO fongiques ont également été identifiées dans les échantillons de poussières. Les levures *Cryptococcus*, *Malassezia*, *Candida* et les moisissures *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Alternaria* représentaient les principaux genres fongiques présents dans ce type de matrice (poussières). La biodiversité fongique dans les échantillons d'air n'a pas été investiguée en raison des faibles concentrations mesurées, ne permettant pas d'effectuer un séquençage adéquat. L'indice de dissimilarité Bray-Curtis était en moyenne de 0,78, suggérant une différence de composition bactérienne entre les échantillons d'air et de poussières. De plus, la biodiversité microbienne, tant dans l'air que dans la poussière, est importante en dépit des faibles concentrations bactériennes mesurées.

Le nombre d'UTO fongiques est plus appréciable dans les échantillons de poussières collectés dans les logements possédant un système de ventilation (Kruskall-Wallis : $p = 0,0002$). La diversité fongique s'avère donc plus importante dans les poussières en présence de ventilation. Par ailleurs, elle est plus importante dans les logements munis de VRE que dans ceux munis de VRC (Mann-Whitney : $p = 0,0299$). En ce qui concerne les bactéries, le nombre d'UTO est plus important dans les échantillons de poussières prélevés dans un logement avec un système de type VRE qu'en l'absence de système de ventilation (Mann-Whitney : $p = 0,013$). L'intervention n'a pas eu d'impact sur le nombre d'UTO bactériennes dans les échantillons d'air (tableau 19).

Le calcul des coefficients de Bray-Curtis a montré que la composition bactérienne entre les échantillons d'air avant et après l'intervention est différente. Les conclusions sont les mêmes pour la comparaison entre les échantillons d'air et de poussières. Cependant, une analyse multivariée sur l'homogénéité de dispersion des variances entre les différentes catégories (analyse PERMDISP) sur les coefficients de Bray-Curtis n'a pas permis de mettre en évidence l'impact du type de ventilation et de la phase d'intervention sur les variations de Bray-Curtis.

3.6 Données sur les infections respiratoires et l'asthme chez les enfants

3.6.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA COHORTE D'ENFANTS

Les dossiers des enfants de 10 ans et moins recrutés dans les deux groupes (*témoin* et *intervention*) ont fait l'objet d'une analyse rétrospective sur une période approximative d'un an (ou plus exactement 50 semaines) avant et après la réalisation des travaux d'optimisation. Un suivi rétrospectif des événements (consultation clinique ponctuelle) et des épisodes (événements compatibles ou de même nature survenus dans un intervalle de 7 jours ou moins) impliquant un problème de santé respiratoire a été effectué.

En ce qui a trait plus spécifiquement à la description des enfants associés aux groupes *témoin* et *intervention* (ce second groupe étant lui-même subdivisé par type de système de ventilation), le tableau 20 montre les données ventilées par genre, alors que le tableau 21 brosse un portrait des effectifs ventilés par groupes d'âge. Bien que des cohortes d'enfants de taille similaire soient associées à chacune des catégories de logements (variant entre 25 et 35 enfants; tous genres confondus), la différence de proportion d'enfants associée à chacun des genres n'excède pas 20 %. Les enfants de genre féminin sont généralement plus nombreux dans chacun des groupes, à l'exception du groupe *témoin*. La répartition des enfants selon les tranches d'âge considérées s'avère davantage hétérogène selon les types de dispositifs de ventilation en place dans les habitations. En moyenne, les enfants de la cohorte sont âgés de 5 ans.

3.6.2 ÉPISODES D'INFECTIONS RESPIRATOIRES ET SYMPTÔMES D'ASTHME RÉPERTORIÉS

Comme rapporté dans la section « Méthodologie », tous les événements⁶ ont d'abord été colligés (voir tableau 22). À des fins de simplification, les problèmes respiratoires aigus répertoriés ont été divisés en 3 catégories, soit les IVRI (incluant les SA), les IVRS et, en raison de leur fréquence élevée, les IO ont été traitées isolément au tableau 23. Puisque certains événements se rapportaient à un seul et même épisode⁷ infectieux nécessitant des suivis cliniques, voire des hospitalisations, ceux-ci ont été regroupés par épisode et par catégorie de logements.

En somme, un nombre de 205 événements et de 162 épisodes ont été recensés en phase préoptimisation, alors que 128 événements et 110 épisodes ont été colligés en phase postoptimisation, ce qui se traduit par un nombre moyen d'épisodes par enfant de 1,36 en phase préoptimisation et de 0,92 en phase postoptimisation. Cette diminution des épisodes (toutes catégories confondues) s'est également traduite par une diminution du nombre d'hospitalisations, passant de 7 à 1 seule (toutes catégories confondues). Le nombre moyen d'événements et d'épisodes, de même que la durée totale de ces épisodes, s'avèrent plus élevés au sein des logements avec VRC lors la phase préoptimisation. En période postoptimisation, le nombre moyen d'événements et d'épisodes santé, de même que la durée totale de ces épisodes, sont plus élevés au sein des logements dotés de VRE et généralement plus faibles chez ceux dotés de VRC. Tant le nombre d'événements que d'épisodes santé a diminué à la suite de la mise en œuvre de l'intervention, et ce, pour toutes les catégories logements, incluant le groupe *témoin*. Les diminutions les plus marquées ont été observées au regard des enfants occupant des logements équipés de VRC (toutes variables confondues) (tableau 22).

Sans surprise, en période pré et postoptimisation, les événements d'IVRS comptaient parmi les problèmes les plus souvent rapportés, suivis des IO, des IVRI et des manifestations des SA, et ce, pour l'ensemble des catégories. À la suite de l'intervention, il y a eu diminution du nombre d'événements d'IVRI au sein de toutes les catégories de logements, sauf pour celle des VRE. De façon étonnante, les événements IVRI ont légèrement augmenté dans ce dernier groupe. Le nombre d'événements d'IVRS a pour sa part diminué dans les logements dotés de VRC à la suite de l'intervention, tandis qu'il a augmenté dans ceux avec VRE. Le nombre d'événements d'IO a quant à lui diminué de façon importante dans les logements équipés de VRC, alors que la diminution la moins marquée (tant en nombre qu'en proportion) est associée aux habitations sans système de ventilation (tableau 23).

De façon similaire, le nombre d'épisodes d'IVRS (incluant les IO) s'est avéré plus élevé que les épisodes d'IVRI (incluant les SA), et ce, pour toutes les catégories. Même si le nombre moyen d'épisodes par enfant pour les IVRS répertorié en période préoptimisation était plus élevé dans la catégorie des VRC, cette dernière présentait la plus importante diminution de ce type d'épisodes à la suite de l'intervention. Le nombre d'épisodes d'IVRI a diminué de façon relativement uniforme à la suite de l'intervention dans toutes les catégories, excepté celle des VRE (tableau 24). En guise de complément d'information, le tableau 25 rapporte la proportion des enfants ayant été aux prises avec au moins un épisode de problème respiratoire, ventilée selon le type de système de ventilation et selon la phase de l'étude. Ici encore, la plus forte proportion d'enfants ayant éprouvé ce type de problème (tous types confondus) en phase préoptimisation ainsi que la diminution la plus importante de cette proportion sont associées aux logements munis de VRC (tableau 25).

⁶ Pour la présente étude, un événement correspond à un diagnostic clinique établi par un professionnel de la santé, impliquant le système respiratoire et répertorié dans le dossier médical de l'enfant. Chaque consultation médicale est donc considérée comme un événement.

⁷ Pour la présente étude, un épisode correspond à un ou plusieurs événements entraînés par une même cause diagnostiquée au cours d'une période de sept (7) jours ou moins.

Résultats du modèle statistique

Un modèle statistique adapté (régression binomiale négative à mesures répétées) a été appliqué aux données portant sur le nombre d'épisodes santé répertoriés en période pré et postoptimisation afin de déterminer si les travaux d'optimisation des systèmes de chauffage et de ventilation mécanique effectués pouvaient se traduire en bénéfices sanitaires pour les enfants occupant les logements concernés. Les résultats du modèle appliqué aux données ajustées pour le genre et l'âge des enfants (0-4 et 5-10 ans) sont rapportés au tableau 26.

L'optimisation des systèmes chauffage des logements dépourvus de système de ventilation mécanique est associée à une diminution de l'incidence des épisodes d'IVRI, d'IVRS et de tous ces événements dans des proportions de 57,4 %, 18,6 % et 26,9 %, respectivement. L'optimisation des systèmes VRC est pour sa part respectivement associée à des diminutions de 57,8 %, de 50,9 % et de 53,0 %, alors que l'optimisation des VRE est associée à une diminution plus modeste de l'ensemble des événements (19,3 %) et des IVRS (25,7 %), mais également à une augmentation de 16,7 % du nombre d'épisodes d'IVRI. Il est toutefois important de souligner que les changements interphases observés au sein des logements ayant fait l'objet d'une intervention (aucun système, équipés d'un VRC, équipés d'un VRE) ne sont pas significativement différents de ceux observés dans le groupe *témoin*. En effet, malgré une diminution significative des épisodes d'IVRS d'environ 51 % dans les logements équipés de VRC, cette dernière n'est pas vraiment différente de celle observée dans le groupe *témoin* (soit environ 22 %) considérant les intervalles de confiances définis.

Tableau 7 Caractéristiques des logements investigués pour le groupe *intervention* (données issues de la phase préoptimisation uniquement)

Caractéristiques des logements	Modalités	Phase postoptimisation	
		Nombre (n)	Proportion (%)
Type d'habitation	J2.2	30	54,55
	J4.2	23	41,82
	M4.2	2	3,64
Catégorie de logements	Aucun système	14	25,45
	VRC	17	30,91
	VRE	24	43,64
Modèle de système de ventilation	Venmar Solo 2.0 ES	8	14,55
	vänEE 2001 HRV	9	16,36
	RenewAire EV130	16	29,09
	Venmar K7 ERV	8	14,55
Type de système de chauffage	Air pulsé	31	56,36
	Glycol	24	43,64
Rénovation majeure	Non	40	72,73
	Oui	15	27,27
État de l'enveloppe	Mauvais	1	1,82
	Bon	4	7,27
	Excellent	50	90,91
État des fenêtres	Mauvais	9	16,36
	Bon	12	21,82
	Excellent	34	61,82
État du logement intérieur	Mauvais	10	18,18
	Bon	16	29,09
	Excellent	29	52,73
Encombrement excessif	Non	50	90,91
	Oui	5	9,09
Présence d'un humidificateur	Non	38	69,09
	Oui	17	30,91
Présence de tapis	Non	52	94,55
	Oui	3	5,45

Tableau 8 Caractéristiques des logements investigués pour le groupe *intervention*

Caractéristiques des logements	Modalités	Phase préoptimisation		Phase postoptimisation	
		Nombre (n)	Proportion (%)	Nombre (n)	Proportion (%)
État des extracteurs de salle de bain	Fonctionnement adéquat	N.D.	N.D.	47	85,45
	Fonctionnement non optimal	N.D.	N.D.	3	7,27
	Ne fonctionne pas	N.D.	N.D.	4	7,27
Registre de l'extracteur poussiéreux	Non	N.D.	N.D.	1	1,82
	Oui	N.D.	N.D.	54	98,18
Registre de l'extracteur obstrué	Non	N.D.	N.D.	41	74,55
	Oui	N.D.	N.D.	14	25,45
État des hottes de cuisine	Fonctionnement adéquat	45	81,82	53	96,36
	Fonctionnement non optimal	1	1,82	1	1,82
	Ne fonctionne pas	9	16,36	1	1,82
Hottes de cuisine avec sortie extérieure	Non	13	23,64	11	20,00
	Oui	42	76,36	44	80,00
Position du commutateur du système de ventilation (pour les logements avec VRC ou VRE)	On	6	15,00	16	40,00
	Off	29	72,50	0	0,00
	Auto	5	12,50	24	60,00
Trace d'humidité excessive	Non	48	87,27	51	92,73
	Oui	7	12,73	4	7,27
Odeurs d'humidité	Non	53	96,36	54	98,18
	Oui	2	3,64	1	1,82
Traces de moisissures	Pas de traces	N.D.	N.D.	18	32,73
	Moins de 10 cm ²	N.D.	N.D.	20	36,36
	Plus de 10 cm ²	N.D.	N.D.	17	30,91
Odeurs de cigarette	Non	47	85,45	45	81,82
	Oui	8	14,55	10	18,18
Odeurs d'hydrocarbures	Non	52	94,55	54	98,18
	Oui	3	5,45	1	1,82
Présence d'animaux	Non	46	83,64	48	87,27
	Oui	9	16,36	7	12,73

Tableau 9 Activités et comportements des occupants des groupes *témoin* et *intervention*

Activités et comportements	Modalités	Groupe <i>témoin</i>		Groupe <i>intervention</i>			
		Nombre (n)	Proportion (%)	Phase préoptimisation		Phase postoptimisation	
				Nombre (n)	Proportion (%)	Nombre (n)	Proportion (%)
Nombre de dormeurs	3 et moins	12	50,00	17	30,91	20	37,04
	4	7	29,17	13	23,64	10	18,52
	5	4	16,67	13	23,64	13	24,07
	6 et plus	1	4,17	12	21,82	11	20,37
Nombre de fumeurs de tabac (à l'intérieur)	Non	23	95,83	48	87,27	44	81,48
	Oui	1	4,17	7	12,73	10	18,52
Fréquence quotidienne d'utilisation de la douche	2 et moins	6	25,00	17	30,91	18	33,33
	3	12	50,00	21	38,18	15	27,78
	4 à 5	6	25,00	11	20,00	15	27,78
	6 et plus	0	0,00	6	10,91	6	11,11
Fréquence quotidienne d'utilisation de l'extracteur de salle de bain	3 et moins	15	62,50	23	41,82	20	37,04
	4 à 9	6	25,00	11	20,00	11	20,37
	10 et plus	3	12,50	12	21,82	12	22,22
	En marche 12 h/24	0	0,00	2	3,64	0	0,00
	En marche 24 h/24	0	0,00	7	12,73	11	20,37
Fréquence quotidienne d'utilisation de la cuisinière	2 et moins	6	25,00	13	23,64	16	29,63
	3	15	62,50	34	61,82	30	55,56
	4 et plus	3	12,50	8	14,55	8	14,81
Fréquence quotidienne d'utilisation de la hotte de cuisine	Jamais	9	37,50	19	34,55	7	12,96
	1 à 3	13	54,17	27	49,09	38	70,37
	4 et plus	2	8,33	9	16,36	9	16,67
Fréquence quotidienne d'utilisation de la ventilation naturelle	Jamais	6	26,09	14	25,45	10	18,52
	1	7	30,43	23	41,82	20	37,04
	2 à 3	6	26,09	10	18,18	11	20,37
	4 et plus	4	17,39	8	14,55	13	24,07

Tableau 9 Activités et comportements des occupants des groupes *témoin* et *intervention* (suite)

Activités et comportements	Modalités	Groupe <i>témoin</i>		Groupe <i>intervention</i>			
		Nombre (n)	Proportion (%)	Phase préoptimisation		Phase postoptimisation	
				Nombre (n)	Proportion (%)	Nombre (n)	Proportion (%)
Réglage de la température du logement	10 °C et moins	1	4,76	1	1,89	4	7,69
	Entre 10 et 20 °C	13	61,90	15	28,30	12	23,08
	Entre 20 et 25 °C	4	19,05	30	56,60	30	57,69
	Plus de 25 °C	3	14,29	7	13,21	6	11,54
Pratique d'artisanat traditionnel	Non	8	33,33	20	36,36	35	64,81
	Oui	16	66,67	35	63,64	19	35,19
Préparation de nourriture traditionnelle	Non	17	70,83	45	81,82	32	59,26
	Oui	7	29,17	10	18,18	22	40,74
Méthode de séchage des vêtements	Sècheuse	17	70,83	43	78,18	43	79,63
	Séchoir	0	0,00	7	12,73	3	5,56
	Sècheuse et séchoir	7	29,17	5	9,09	8	14,81

Tableau 10 Perceptions des occupants des groupes *témoin* et *intervention* au regard de divers déterminants de la qualité des milieux intérieurs

Perceptions des occupants	Modalités	Groupe <i>témoin</i>		Groupe <i>intervention</i>			
		Nombre (n)	Proportion (%)	Phase préoptimisation		Phase postoptimisation	
				Nombre (n)	Proportion (%)	Nombre (n)	Proportion (%)
Perception de sécheresse excessive	Non	1	4,17	9	16,36	16	29,63
	Oui	23	95,83	46	83,64	38	70,37
Perception de chaleur excessive	Non	5	20,83	11	20,00	22	40,74
	Oui	19	79,17	44	80,00	32	59,26
Présence de bruits dérangeants	Non	13	54,17	35	63,64	36	66,67
	Oui	11	45,83	20	36,36	18	33,33
Présence d'odeurs indésirables	Non	13	54,17	38	69,09	37	69,81
	Oui	11	45,83	17	30,91	16	30,19

Tableau 11 Ventilation totale minimum requise pour chaque logement dont le système de ventilation a fait l'objet d'un monitoring

Logements (no. de participant) [modèle de système de ventilation]	Type de bâtiment (année de construction)	Superficie habitable (m ²) [pi ²]	Nombre de chambres	Taux de ventilation (L/s) [minimum requis; pi ³ /min]
2632A (NUNAVIK-KUU-069) [VRC Venmar Solo 2.0 ES]	J2.2 (2016)	86,6 [932,5]	2	25,25 [50,5]
2640A (NUNAVIK-KUU-067) [VRC Venmar Solo 2.0 ES]	J2.2 (2016)	86,6 [932,5]	2	25,25 [50,5]
2605A (NUNAVIK-KUU-002) [VRE Venmar K7 ERV]	J2.2 (2016)	86,6 [932,5]	2	25,25 [50,5]
1368B (NUNAVIK-KUU-077) [VRE RenewAire EV130]	M4.2 (1988)	79,6 [856,8]	2	22,75 [48,2]

Tableau 12 Débits d'air d'alimentation et d'extraction des modèles de systèmes de ventilation monitorés

Phases de l'étude et paramètres de ventilation (moyenne [min. – max.]; pi ³ /min)		Logements (no. de participant) et modèle de système de ventilation			
		2632A (NUNAVIK-KUU-069) VRC Venmar Solo 2.0 ES	2640A (NUNAVIK-KUU-067) VRC Venmar Solo 2.0 ES	1368B (NUNAVIK-KUU-077) VRE RenewAire EV130	2605A (NUNAVIK-KUU-002) VRE Venmar K7 ERV
Préoptimisation	Alimentation	40,3 (16,7 – 169,3)	138,3 (52,7 – 244,3)	46,2 (0,0 – 140,9)	70,7 (62,2 – 75,1)
	Extraction	41,0 (30,0 – 186,5)	111,0 (42,3 – 193,2)	59,6 (0,0 – 113,5)	52,3 (37,7 – 59,1)
	Différence ^A	-0,7	+27,3	-13,4	+18,4
	Différence (%)	-1,7 %	+24,6 %	-22,5 %	+35,2 %
Postoptimisation	Alimentation	42,8 (11,3 – 185,2)	134,7 (50,0 – 231,3)	22,0 (0,0 – 145,8)	68,9 (14,2 – 74,5)
	Extraction	44,7 (29,2 – 196,7)	104,6 (38,5 – 225,0)	21,5 (0,0 – 107,8)	58,8 (49,1 – 78,1)
	Différence	-1,9	+30,1	+0,5	+10,1
	Différence (%)	-4,2	+28,8	+2,3	+17,2
Ventilation d'alimentation moyenne	Changement	+2,5	-3,6	-24,2	-1,8
	Changement (%)	+6,2	-2,7	-52,4	-2,5
Ventilation requise	-	50,5	50,5	48,2	50,5
Qualité de ventilation	-	Insuffisante	Excessive	Très Insuffisante	Bonne

Notes : Différence = Alimentation – Extraction; Différence (%) = $\frac{(Alimentation - Extraction)}{Extraction \times 100}$; Changement = *Postoptimisation* – *Préoptimisation*;
 Changement (%) = $\frac{(Postoptimisation - préoptimisation)}{Préoptimisation \times 100}$.

Tableau 13 Températures de l'air d'alimentation et d'extraction des systèmes de ventilation monitorés

Phases de l'étude et températures de l'air (moyenne [min. – max.]; °C)		Logements et modèles de systèmes de ventilation			
		2632A (NUNAVIK-KUU-069)	2640A (NUNAVIK-KUU-067)	1368B (NUNAVIK-KUU-077)	2605A (NUNAVIK-KUU-002)
		VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRE RenewAire EV130	VRE Venmar K7 ERV
Préoptimisation	Alimentation (entrée)	15,9 (-1,6 – 25,9)	2,0 (-29,4 – 27,3)	23,2 (3,3 – 34,2)	38,4 (5,0 – 48,2)
	Alimentation (sortie)	18,4 (7,8 – 26,6)	11,7 (-23,1 – 27,0)	25,8 (14,2 – 33,7)	31,9 (15,5 – 38,1)
	Différence ^A	2,5	9,3	2,6	-6,5
	Extraction (entrée)	20,1 (9,6 – 27,6)	23,1 (13,2 – 29,2)	26,6 (19,3 – 33,5)	26,9 (17,5 – 30,4)
	Extraction (sortie)	18,7 (7,5 – 28,1)	11,1 (-23,6 – 28,5)	24,0 (6,5 – 34,4)	35,2 (11,2 – 43,3)
	Différence ^B	1,4	12,0	2,7	8,3
Postoptimisation	Alimentation (entrée)	16,0 (-9,3 – 27,6)	5,2 (-22,6 – 25,9)	26,2 (2,2 – 33,9)	39,6 (2,0 – 47,6)
	Alimentation (sortie)	19,1 (7,8 – 27,9)	12,9 (-17,7 – 26,9)	27,9 (16,6 – 33,9)	31,7 (14,1 – 36,6)
	Différence ^A	3,0	7,7	1,7	-7,9
	Extraction (entrée)	20,9 (10,8 – 27,5)	22,9 (13,9 – 28,7)	28,3 (18,5 – 33,6)	26,3 (15,9 – 29,9)
	Extraction (sortie)	19,0 (2,2 – 29,6)	12,7 (-20,0 – 28,8)	27,0 (5,2 – 33,9)	35,5 (9,7 – 41,4)
	Différence ^B	1,9	10,7	1,4	9,2

^A Différence = *Sortie* – *Entrée*.

^B Différence = *Entrée* – *Sortie*.

Tableau 14 Humidité relative de l'air d'alimentation et d'extraction des systèmes de ventilation monitorés

Phases de l'étude et humidité relative de l'air (moyenne [min. – max.]; %)		Logements et modèles de systèmes de ventilation			
		2632A (NUNAVIK-KUU-069)	2640A (NUNAVIK-KUU-067)	1368B (NUNAVIK-KUU-077)	2605A (NUNAVIK-KUU-002)
		VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRE RenewAire EV130	VRE Venmar K7 ERV
Préoptimisation	Alimentation (entrée)	16,7 (6,9 – 71,1)	33,0 (2,3 – 92,4)	4,6 (1,6 – 41,8)	6,2 (5,5 – 9,0)
	Alimentation (sortie)	15,2 (6,4 – 37,3)	19,5 (2,0 – 92,4)	9,1 (5,1 – 68,7)	6,6 (4,8 – 14,1)
	Différence ^A	1,5	13,5	4,5	0,4
	Extraction (entrée)	24,0 (8,3 – 85,3)	12,2 (4,3 – 56,7)	9,4 (3,1 – 48,8)	15,3 (8,8 – 74,2)
	Extraction (sortie)	24,4 (7,0 – 85,6)	29,5 (3,9 – 92,6)	8,6 (1,6 – 47,8)	11,2 (7,8 – 46,7)
	Différence ^B	0,4	17,3	0,8	4,1
Postoptimisation	Alimentation (entrée)	21,3 (7,2 – 68,1)	35,5 (5,3 – 85,7)	10,5 (2,6 – 47,0)	7,9 (5,8 – 37,8)
	Alimentation (sortie)	18,7 (5,2 – 36,6)	22,5 (2,4 – 92,4)	12,2 (7,9 – 61,4)	9,6 (5,5 – 43,8)
	Différence ^A	2,6	13,0	1,7	1,7
	Extraction (entrée)	28,2 (7,3 – 90,5)	15,4 (5,3 – 64,1)	10,6 (4,1 – 52,3)	18,7 (9,5 – 85,1)
	Extraction (sortie)	29,7 (9,6 – 91,5)	30,3 (4,1 – 92,6)	13,3 (1,7 – 76,5)	12,6 (7,9 – 89,1)
	Différence ^B	1,5	14,9	2,7	6,1

^A Différence = *Sortie* – *Entrée*.

^B Différence = *Entrée* – *Sortie*.

Tableau 15 Efficacité de la récupération de la chaleur sensible des systèmes de ventilation monitorés

Efficacité sensible (moyenne [min. – max.]; %)		Logements et modèles de systèmes de ventilation			
		2632A (NUNAVIK-KUU-069)	2640A (NUNAVIK-KUU-067)	1368B (NUNAVIK-KUU-077)	2605A (NUNAVIK-KUU-002)
		VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRC Venmar Solo 2.0 ES	VRE RenewAire EV130	VRE Venmar K7 ERV
Efficacité sensible	Préoptimisation	64 (6 – 100)	66 (6 – 100)	34 (0 – 100)	77 (25 – 99)
	Postoptimisation	65 (5 – 100)	67 (17 – 100)	16 (0 – 100)	70 (25 – 95)
	Différence ^A (%)	+1,0	-1,0	-18,0	-7,0

^A Différence : *Postoptimisation* – *Préoptimisation*.

Tableau 16 Paramètres physico-chimiques généraux, selon les catégories de logements

Paramètres physico-chimiques (moyenne [min. – max.])		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Température (moy. arithmétique; °C)	Préoptimisation	23,50 (22,66 – 24,33)	23,25 (22,48 – 24,02)	23,89 (23,25 – 24,53)	23,60 (23,17 – 24,02)
	Postoptimisation	23,16 (22,31 – 24,01)	23,24 (22,47 – 24,01)	23,92 (23,28 – 24,57)	23,52 (23,09 – 23,95)
	Changement (différence)	-0,34	-0,01	0,03	-0,08
Humidité relative (moy. arithmétique; %)	Préoptimisation	34,57 (32,06 – 37,07)	33,3 (30,97 – 35,63)	28,9 (26,98 – 30,81)	31,65 (30,21 – 33,10)
	Postoptimisation	34,37 (31,79 – 36,95)	27,64 (25,32 – 29,97)	27,88 (25,94 – 29,83)	29,45 (27,98 – 30,91)
	Changement (différence)	-0,20 ^B	-5,65 ^{A,B,C}	-1,01 ^C	-2,21^A
CO₂ (moy. géo.; ppm)	Préoptimisation	1225,18 (1062,67 – 1412,54)	946,46 (828,71 – 1080,94)	805,56 (722,6 – 898,05)	941,46 (867,36 – 1021,88)
	Postoptimisation	948,86 (818,84 – 1099,51)	708,43 (620,30 – 809,10)	720,61 (644,91 – 805,01)	766,66 (705,18 – 833,30)
	Changement (ratio)	0,77 ^A	0,75 ^A	0,89	0,81^A
	Changement (%)	-22,55	-25,15	-10,60	-18,6
CO (moy. géo.; ppm)	Préoptimisation	2,63 (1,72 – 4,03)	2,11 (1,43 – 3,11)	3,04 (2,19 – 4,21)	2,62 (2,11 – 3,24)
	Postoptimisation	1,26 (0,82 – 1,93)	1,04 (0,70 – 1,55)	1,39 (0,97 – 1,99)	1,23 (0,98 – 1,54)
	Changement (ratio)	0,48 ^A	0,49 ^A	0,46 ^A	0,47^A
	Changement (%)	-52,18	-50,90	-54,20	-52,9
PM_{2,5} (moy. géo.; µg/m³)	Préoptimisation	16,63 (8,59 – 32,17)	17,29 (9,58 – 31,20)	22,18 (12,94 – 38,03)	18,91 (13,44 – 26,59)
	Postoptimisation	15,94 (8,24 – 30,84)	7,77 (4,31 – 14,02)	15,28 (8,91 – 26,19)	12,33 (8,77 – 17,35)
	Changement (ratio)	0,96	0,45 ^A	0,69	0,65^A
	Changement (%)	-4,1	-55,1	-31,1	-34,7
Ventilation naturelle + mécanique (moy. géo.; CAH)	Préoptimisation	0,12 (0,10 – 0,16)	0,16 (0,13 – 0,21)	0,23 (0,19 – 0,29)	0,18 (0,15 – 0,21)
	Postoptimisation	0,13 (0,10 – 0,17)	0,30 (0,24 – 0,39)	0,35 (0,28 – 0,43)	0,26 (0,22 – 0,31)
	Changement (ratio)	1,07 ^B	1,88 ^{A,B}	1,49 ^A	1,47^A
	Changement (%)	6,8	88,3	49,4	46,7

Notes : Changement (ratio) = $\frac{\text{Postoptimisation}}{\text{Préoptimisation}}$; Changement (%) = $\frac{(\text{Postoptimisation} - \text{préoptimisation})}{\text{Préoptimisation} \times 100}$; Changement (différence) : $\text{Postoptimisation} - \text{Préoptimisation}$.

^A Différence significative (p < 0,05) entre les phases pré et postoptimisation.

^B Différence significative du changement observé entre les logements munis de VRC et sans système.

^C Différence significative du changement observé entre les logements équipés de VRC et de VRE.

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Aldéhydes					
Formaldéhyde	Préoptimisation	16,87 (13,75 – 20,71)	16,90 (14,03 – 20,35)	10,85 (9,28 – 12,69)	13,92 (12,32 – 15,73)
	Postoptimisation	16,85 (13,73 – 20,68)	9,53 (7,91 – 11,47)	8,64 (7,39 – 10,10)	10,56 (9,34 – 11,93)
	Changement (ratio)	1,00 ^B	0,56 ^{A,B,D}	0,80 ^{A,D}	0,76^A
	Changement (%)	-0,13	-43,6	-20,3	-24,2
Acétaldéhyde	Préoptimisation	19,53 (15,36 – 24,82)	23,92 (19,24 – 29,74)	15,86 (13,21 – 19,05)	18,99 (16,55 – 21,78)
	Postoptimisation	23,10 (18,17 – 29,36)	11,52 (9,27 – 14,33)	11,20 (9,32 – 13,45)	13,58 (11,84 – 15,58)
	Changement (ratio)	1,18 ^{B,C}	0,48 ^{A,B,D}	0,71 ^{A,C,D}	0,72^A
	Changement (%)	18,3	-51,8	-29,4	-28,5
Propanal	Préoptimisation	5,81 (3,83 – 8,81)	5,08 (3,50 – 7,36)	5,04 (3,70 – 6,85)	5,23 (4,26 – 6,42)
	Postoptimisation	4,41 (2,95 – 6,57)	3,86 (2,72 – 5,48)	2,94 (2,19 – 3,95)	3,53 (2,90 – 4,29)
	Changement (ratio)	0,76	0,76	0,58 ^A	0,68^A
	Changement (%)	-24,2	-23,9	-41,6	-32,5
Butanal	Préoptimisation	2,77 (1,99 – 3,85)	2,69 (1,99 – 3,63)	1,58 (1,23 – 2,04)	2,15 (1,81 – 2,56)
	Postoptimisation	2,13 (1,53 – 2,96)	1,69 (1,26 – 2,28)	1,61 (1,24 – 2,08)	1,75 (1,47 – 2,09)
	Changement (ratio)	0,77	0,63 ^{A,D}	1,02 ^D	0,82^A
	Changement (%)	-23,2	-37,0	1,5	-18,5
Benzaldéhyde	Préoptimisation	5,32 (3,16 – 8,96)	4,45 (2,79 – 7,09)	2,58 (1,76 – 3,79)	3,66 (2,78 – 4,82)
	Postoptimisation	5,19 (3,15 – 8,57)	2,3 (1,37 – 3,87)	1,78 (1,20 – 2,64)	2,57 (1,93 – 3,41)
	Changement (ratio)	0,98	0,52	0,69	0,70
	Changement (%)	-2,4	-48,4	-31,0	-29,8
Hexanal	Préoptimisation	13,74 (10,75 – 17,54)	22,06 (17,67 – 27,55)	11,60 (9,62 – 13,98)	15,21 (13,4 – 17,26)
	Postoptimisation	15,61 (12,23 – 19,94)	15,77 (12,63 – 19,69)	11,17 (9,27 – 13,47)	14,77 (12,89 – 16,93)
	Changement (ratio)	1,14 ^B	0,71 ^{A,B,D}	0,96 ^D	0,92
	Changement (%)	13,7	-28,5	-3,7	-8,4
Alcools					
Éthanol	Préoptimisation	155,70 (85,78 – 282,55)	187,37 (107,57 – 326,29)	189,98 (121,37 – 297,37)	179,85 (132,71 – 243,72)
	Postoptimisation	257,51 (141,91 – 467,41)	108,39 (61,19 – 192,00)	111,87 (71,47 – 175,11)	137,85 (101,44 – 187,37)
	Changement (ratio)	1,65 ^{B,C}	0,58 ^B	0,59 ^{A,C}	0,77
	Changement (%)	65,4	-42,2	-41,1	-23,4

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements (suite)

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Alcools (suite)					
Alcool isopropylique	Préoptimisation	4,43 (2,14 – 9,16)	5,69 (2,89 – 11,19)	3,46 (2,01 – 5,98)	4,27 (2,95 – 6,17)
	Postoptimisation	4,86 (2,35 – 10,05)	2,50 (1,24 – 5,04)	1,96 (1,14 – 3,39)	2,66 (1,83 – 3,86)
	Changement (ratio)	1,10	0,44	0,57	0,62
	Changement (%)	9,7	-56,0	-43,4	-37,7
Butanol	Préoptimisation	2,76 (1,63 – 4,67)	1,19 (0,73 – 1,94)	2,02 (1,36 – 3,00)	1,87 (1,42 – 2,46)
	Postoptimisation	3,65 (2,16 – 6,17)	1,79 (1,08 – 2,96)	1,83 (1,23 – 2,71)	2,17 (1,64 – 2,86)
	Changement (ratio)	1,32	1,51	0,9	1,16
	Changement (%)	32,2	50,7	-9,78	15,8
Propylène glycol	Préoptimisation	13,41 (7,19 – 25,01)	16,75 (9,24 – 30,34)	90,99 (57,72 – 143,45)	34,35 (22,96 – 51,38)
	Postoptimisation	27,66 (14,83 – 51,61)	12,12 (6,80 – 21,60)	100,16 (63,55 – 157,91)	38,73 (25,95 – 57,81)
	Changement (ratio)	2,06 ^{A,B}	0,72 ^B	1,10	1,13
	Changement (%)	106,3	-27,6	10,1	12,7
2-éthyl-1-hexanol	Préoptimisation	2,80 (1,90 – 4,12)	2,64 (1,84 – 3,78)	2,85 (2,13 – 3,81)	2,77 (2,28 – 3,37)
	Postoptimisation	3,13 (2,13 – 4,60)	2,06 (1,42 – 2,99)	2,04 (1,52 – 2,72)	2,28 (1,88 – 2,78)
	Changement (ratio)	1,12	0,78	0,72 ^A	0,82
	Changement (%)	11,6	-21,9	-28,5	-17,7
Texanol	Préoptimisation	11,54 (6,84 – 19,47)	24,67 (15,16 – 40,15)	16,39 (11,06 – 24,29)	16,90 (12,97 – 22,03)
	Postoptimisation	18,78 (11,14 – 31,70)	15,90 (9,70 – 26,06)	15,97 (10,78 – 23,66)	16,73 (12,82 – 21,84)
	Changement (ratio)	1,63 ^{A,B,C}	0,64 ^{A,B}	0,97 ^C	0,99
	Changement (%)	62,7	-35,5	-2,6	-1,0
Hydrocarbures aliphatiques					
Heptane	Préoptimisation	3,18 (1,75 – 5,79)	3,84 (2,32 – 6,36)	2,17 (1,40 – 3,34)	2,83 (2,11 – 3,80)
	Postoptimisation	1,47 (0,86 – 2,54)	2,60 (1,55 – 4,36)	1,17 (0,73 – 1,85)	1,59 (1,18 – 2,15)
	Changement (ratio)	0,46 ^A	0,68	0,54 ^A	0,56^A
	Changement (%)	-53,7	-32,3	-46,1	-43,6
Octane	Préoptimisation	1,43 (0,97 – 2,10)	1,75 (1,21 – 2,52)	1,03 (0,76 – 1,39)	1,31 (1,06 – 1,62)
	Postoptimisation	1,03 (0,69 – 1,54)	1,57 (1,07 – 2,29)	0,69 (0,52 – 0,93)	0,96 (0,78 – 1,19)
	Changement (ratio)	0,72	0,90	0,67 ^A	0,74^A
	Changement (%)	-27,6	-10,3	-32,6	-26,5

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements (suite)

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Hydrocarbures aliphatiques (suite)					
Octane	Préoptimisation	1,43 (0,97 – 2,10)	1,75 (1,21 – 2,52)	1,03 (0,76 – 1,39)	1,31 (1,06 – 1,62)
	Postoptimisation	1,03 (0,69 – 1,54)	1,57 (1,07 – 2,29)	0,69 (0,52 – 0,93)	0,96 (0,78 – 1,19)
	Changement (ratio)	0,72	0,90	0,67 ^A	0,74^A
	Changement (%)	-27,6	-10,3	-32,6	-26,5
Nonane	Préoptimisation	1,22 (0,69 – 2,16)	1,22 (0,71 – 2,08)	0,77 (0,46 – 1,28)	1,02 (0,75 – 1,4)
	Postoptimisation	0,74 (0,41 – 1,31)	1,15 (0,67 – 1,98)	0,49 (0,27 – 0,88)	0,75 (0,54 – 1,05)
	Changement (ratio)	0,60 ^A	0,94	0,64	0,74^A
	Changement (%)	-39,6	-5,62	-36,3	-26,3
Décane	Préoptimisation	2,48 (1,33 – 4,64)	2,49 (1,39 – 4,45)	1,24 (0,76 – 2,02)	1,83 (1,31 – 2,55)
	Postoptimisation	1,46 (0,78 – 2,72)	2,23 (1,23 – 4,02)	0,89 (0,55 – 1,42)	1,31 (0,94 – 1,82)
	Changement (ratio)	0,59 ^A	0,89	0,71	0,72^A
	Changement (%)	-41,4	-10,5	-28,7	-28,3
Undécane	Préoptimisation	2,72 (1,47 – 5,02)	2,89 (1,62 – 5,16)	1,26 (0,80 – 2,01)	1,96 (1,42 – 2,70)
	Postoptimisation	1,54 (0,83 – 2,85)	1,96 (1,10 – 3,50)	0,98 (0,61 – 1,58)	1,34 (0,97 – 1,85)
	Changement (ratio)	0,57 ^A	0,68 ^A	0,77	0,68
	Changement (%)	-43,3	-32,1	-22,7	-31,6^A
Dodécane	Préoptimisation	2,40 (1,50 – 3,82)	2,92 (1,88 – 4,53)	1,34 (0,94 – 1,90)	1,95 (1,51 – 2,50)
	Postoptimisation	1,80 (1,13 – 2,87)	1,73 (1,12 – 2,69)	0,85 (0,60 – 1,22)	1,28 (0,99 – 1,64)
	Changement (ratio)	0,75 ^A	0,59 ^A	0,64 ^A	0,66^A
	Changement (%)	-24,8	-40,7	-36,2	-34,5
Tridécano	Préoptimisation	1,27 (0,79 – 2,05)	1,52 (0,96 – 2,42)	0,77 (0,54 – 1,10)	1,06 (0,82 – 1,37)
	Postoptimisation	1,13 (0,69 – 1,84)	0,97 (0,61 – 1,55)	0,51 (0,35 – 0,75)	0,76 (0,58 – 0,98)
	Changement (ratio)	0,88	0,64 ^A	0,67 ^A	0,71
	Changement (%)	-11,7	-36,2	-33,2	-28,5
Tétradécane	Préoptimisation	2,13 (1,55 – 2,93)	2,51 (1,86 – 3,39)	1,46 (1,15 – 1,85)	1,88 (1,58 – 2,24)
	Postoptimisation	1,65 (1,20 – 2,27)	1,57 (1,16 – 2,11)	0,95 (0,74 – 1,21)	1,27 (1,07 – 1,51)
	Changement (ratio)	0,78 ^A	0,62 ^A	0,65 ^A	0,67^A
	Changement (%)	-22,4	-37,6	-35,2	-32,5
Pentadécane	Préoptimisation	1,59 (1,22 – 2,08)	1,64 (1,27 – 2,11)	1,04 (0,85 – 1,27)	1,88 (1,58 – 2,24)
	Postoptimisation	1,21 (0,93 – 1,58)	1,12 (0,87 – 1,44)	0,76 (0,61 – 0,93)	1,27 (1,07 – 1,51)
	Changement (ratio)	0,76 ^A	0,68 ^A	0,73 ^A	0,67^A
	Changement (%)	-23,9	-31,9	-27,1	-32,5

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements (suite)

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Hydrocarbures aromatiques					
Toluène	Préoptimisation	6,14 (3,70 – 10,21)	9,05 (5,64 – 14,52)	11,05 (7,54 – 16,19)	8,97 (6,93 – 11,62)
	Postoptimisation	7,07 (4,25 – 11,75)	5,65 (3,47 – 9,19)	4,49 (3,07 – 6,58)	5,39 (4,15 – 6,99)
	Changement (ratio)	1,15 ^c	0,62	0,41 ^{A,C}	0,60^A
	Changement (%)	15,0	-37,6	-59,3	-39,9
Éthylbenzène	Préoptimisation	1,30 (0,77 – 2,22)	2,31 (1,41 – 3,79)	2,10 (1,41 – 3,14)	1,91 (1,46 – 2,51)
	Postoptimisation	1,06 (0,62 – 1,80)	1,42 (0,85 – 2,35)	0,77 (0,52 – 1,15)	0,99 (0,76 – 1,31)
	Changement (ratio)	0,81 ^c	0,61 ^A	0,37 ^{A,C}	0,52^A
	Changement (%)	-18,7	-38,8	-63,4	-48,1
Benzène, 1, 3, 4-diméthyl	Préoptimisation	5,32 (3,02 – 9,36)	11,99 (7,08 – 20,30)	9,79 (6,40 – 14,98)	8,89 (6,64 – 11,92)
	Postoptimisation	3,98 (2,26 – 7,00)	6,83 (3,98 – 11,71)	3,31 (2,16 – 5,07)	4,27 (3,18 – 5,73)
	Changement (ratio)	0,75 ^c	0,57 ^A	0,34 ^{A,C}	0,48^A
	Changement (%)	-25,2	-43,0	-66,2	-52,0
Benzène, 1,2-diméthyl	Préoptimisation	2,04 (1,16 – 3,58)	4,64 (2,75 – 7,83)	3,52 (2,31 – 5,38)	3,32 (2,48 – 4,45)
	Postoptimisation	1,46 (0,83 – 2,56)	2,65 (1,55 – 4,54)	1,16 (0,76 – 1,77)	1,56 (1,16 – 2,09)
	Changement (ratio)	0,72 ^c	0,57 ^A	0,33 ^{A,C}	0,47^A
	Changement (%)	-28,4	-42,8	-67,2	-53,2
Styrène	Préoptimisation	0,74 (0,54 – 1,02)	0,81 (0,60 – 1,09)	0,82 (0,65 – 1,05)	0,80 (0,68 – 0,94)
	Postoptimisation	0,69 (0,50 – 0,96)	0,55 (0,40 – 0,75)	0,44 (0,35 – 0,57)	0,53 (0,45 – 0,63)
	Changement (ratio)	0,94 ^c	0,68 ^A	0,54 ^{A,C}	0,67^A
	Changement (%)	-6,0	-31,6	-46,0	-33,4
Éthyl-3 toluène	Préoptimisation	1,02 (0,54 – 1,90)	1,56 (0,87 – 2,79)	1,25 (0,78 – 2,01)	1,27 (0,92 – 1,74)
	Postoptimisation	0,61 (0,32 – 1,13)	0,79 (0,44 – 1,44)	0,40 (0,25 – 0,64)	0,54 (0,39 – 0,74)
	Changement (ratio)	0,59	0,51 ^A	0,32 ^A	0,43^A
	Changement (%)	-40,5	-49,0	-68,2	-57,4
Triméthyl-1, 3, 5 benzène	Préoptimisation	0,65 (0,37 – 1,17)	1,12 (0,65 – 1,92)	0,75 (0,49 – 1,16)	0,82 (0,61 – 1,10)
	Postoptimisation	0,37 (0,21 – 0,65)	0,63 (0,36 – 1,09)	0,27 (0,17 – 0,41)	0,37 (0,27 – 0,50)
	Changement (ratio)	0,56 ^A	0,56 ^A	0,35 ^A	0,45^A
	Changement (%)	-44,0	-43,9	-64,7	-54,6

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements (suite)

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Hydrocarbures aromatiques (suite)					
Éthyl-2 toluène	Préoptimisation	0,47 (0,26 – 0,87)	0,66 (0,38 – 1,16)	0,54 (0,34 – 0,85)	0,56 (0,41 – 0,75)
	Postoptimisation	0,27 (0,15 – 0,50)	0,36 (0,20 – 0,64)	0,18 (0,11 – 0,30)	0,25 (0,18 – 0,34)
	Changement (ratio)	0,58	0,54 ^A	0,34 ^A	0,45^A
	Changement (%)	-42,5	-46,4	-66,0	-55,0
Triméthyl-1, 2, 4 benzène	Préoptimisation	2,36 (1,30 – 4,28)	3,58 (2,06 – 6,24)	2,60 (1,66 – 4,08)	2,79 (2,06 – 3,78)
	Postoptimisation	1,58 (0,86 – 2,92)	1,76 (1,00 – 3,10)	0,89 (0,57 – 1,40)	1,25 (0,92 – 1,70)
	Changement (ratio)	0,67	0,49 ^A	0,34 ^A	0,45^A
	Changement (%)	-33,1	-50,9	-65,7	-55,3
Triméthyl-1, 2, 3 benzène	Préoptimisation	0,75 (0,41 – 1,35)	1,04 (0,60 – 1,81)	0,75 (0,48 – 1,17)	0,82 (0,61 – 1,12)
	Postoptimisation	0,45 (0,25 – 0,81)	0,52 (0,29 – 0,91)	0,24 (0,15 – 0,38)	0,36 (0,26 – 0,48)
	Changement (ratio)	0,60	0,50 ^A	0,33 ^A	0,43^A
	Changement (%)	-40,0	-50,4	-67,4	-56,8
Acide carboxylique					
Acide hexanoïque	Préoptimisation	1,15 (0,84 – 1,58)	1,48 (1,12 – 1,96)	1,10 (0,87 – 1,38)	1,21 (1,04 – 1,42)
	Postoptimisation	1,18 (0,87 – 1,59)	1,31 (0,97 – 1,77)	1,12 (0,89 – 1,41)	1,19 (1,02 – 1,39)
	Changement (ratio)	1,02	0,89	1,02	0,98
	Changement (%)	1,9	-11,4	2,2	-2,1
Esters					
Acétate d'éthyle	Préoptimisation	11,11 (6,68 – 18,48)	13,79 (8,59 – 22,14)	8,59 (5,86 – 12,59)	10,54 (8,08 – 13,75)
	Postoptimisation	12,87 (7,74 – 21,40)	6,16 (3,78 – 10,05)	5,10 (3,48 – 7,48)	6,85 (5,24 – 8,96)
	Changement (ratio)	1,16 ^B	0,45 ^{A, B}	0,59 ^A	0,65^A
	Changement (%)	15,8	-55,3	-40,6	-35,0
Propionate d'éthyle	Préoptimisation	2,82 (1,91 – 4,17)	4,05 (2,81 – 5,84)	3,68 (2,74 – 4,95)	3,54 (2,91 – 4,31)
	Postoptimisation	3,58 (2,42 – 5,30)	3,38 (2,34 – 4,90)	3,38 (2,52 – 4,53)	3,44 (2,82 – 4,19)
	Changement (ratio)	1,27 ^{B, C}	0,83 ^B	0,92 ^C	0,97
	Changement (%)	27,1	-16,5	-8,3	-2,9

Tableau 17 Concentrations des composés organiques volatils, présentés par famille de composés, selon les catégories de logements (suite)

Composés organiques volatils (moy. géométriques [min. – max.]; µg/m³)		Catégories de logements			Total (non ajusté)
		Aucun	VRC	VRE	
Cétones					
Acétone	Préoptimisation	37,44 (23,05 – 60,80)	38,99 (25,44 – 59,76)	21,82 (15,23 – 31,25)	30,01 (23,24 – 38,74)
	Postoptimisation	50,00 (31,24 – 80,06)	16,12 (10,52 – 24,71)	21,05 (14,70 – 30,15)	24,16 (18,75 – 31,14)
	Changement (ratio)	1,34 ^B	0,41 ^{A,B,D}	0,96 ^D	0,81
	Changement (%)	33,6	-58,6	-3,5	-19,5
Butanone	Préoptimisation	1,11 (0,69 – 1,78)	1,47 (0,95 – 2,28)	0,89 (0,62 – 1,26)	1,09 (0,86 – 1,39)
	Postoptimisation	1,95 (1,22 – 3,12)	1,08 (0,69 – 1,70)	1,14 (0,80 – 1,62)	1,29 (1,02 – 1,65)
	Changement (ratio)	1,75 ^{A,B}	0,74 ^{B,D}	1,28 ^D	1,19
	Changement (%)	75,3	-26,4	28,2	18,8
Terpènes					
α-pinène	Préoptimisation	10,51 (4,52 – 24,43)	60,58 (27,61 – 132,89)	9,94 (5,27 – 18,75)	17,16 (10,55 – 27,89)
	Postoptimisation	7,51 (3,23 – 17,46)	53,52 (24,13 – 118,69)	6,49 (3,44 – 12,24)	12,42 (7,63 – 20,21)
	Changement (ratio)	0,71	0,88	0,65 ^A	0,72^A
	Changement (%)	-28,5	-11,6	-34,7	-27,6
β-pinène	Préoptimisation	2,67 (1,41 – 5,04)	9,87 (5,39 – 18,07)	2,37 (1,47 – 3,82)	3,69 (2,57 – 5,31)
	Postoptimisation	1,77 (0,94 – 3,34)	6,41 (3,50 – 11,75)	1,51 (0,92 – 2,50)	2,39 (1,65 – 3,46)
	Changement (ratio)	0,66	0,65	0,64 ^A	0,65^A
	Changement (%)	-33,7	-35,0	-6,0	-35,3
Limonène	Préoptimisation	25,73 (15,47 – 42,80)	35,78 (22,28 – 57,45)	17,79 (12,13 – 26,07)	24,00 (18,48 – 31,17)
	Postoptimisation	27,93 (16,79 – 46,45)	20,09 (12,32 – 32,76)	17,05 (11,63 – 25,00)	20,35 (15,63 – 26,50)
	Changement (ratio)	1,09	0,56	0,65	0,85
	Changement (%)	8,5	-43,8	-34,7	-15,2

Notes : $\text{Changement (ratio)} = \frac{\text{Postoptimisation}}{\text{Préoptimisation}}$; $\text{Changement (\%)} = \frac{(\text{Postoptimisation} - \text{Préoptimisation})}{\text{Préoptimisation}} \times 100$; $\text{Changement (différence)} : \text{Postoptimisation} - \text{Préoptimisation}$.

- ^A Différence significative ($p < 0,05$) entre les phases pré et postoptimisation.
^B Différence significative du changement observé entre les logements avec VRC et sans système.
^C Différence significative du changement observé entre les logements avec VRE et sans système.
^D Différence significative du changement observé entre les logements avec VRC et VRE.

Tableau 18 Concentrations en bactéries totales, en endotoxines, et en moisissure mesurées dans l'air intérieur et les poussières sédimentées des logements du groupe *intervention*

Paramètres microbiologiques (moyenne géométrique [± écart-type géométrique])	Phases pré et postoptimisation combinées	
	Air	Poussières
Concentration en bactéries totales (copies génome/m ³ ou copies de génome/mg)	3,9 x 10 ³ (±3,3)	6,5 x 10 ⁴ (±3,5)
Concentration en endotoxines (UE/mg)	-	3,7 (±4,1)
Concentration en <i>Penicillium/Aspergillus</i> (copies de génome/m ³ ou copies de génome/mg)	12,5 (±3,8)	49,6 (±2,6)

Tableau 19 Caractéristiques microbiologiques des échantillons d'air prélevés dans les logements du groupe *intervention*, selon les catégories de logements

Paramètres microbiologiques (moy. géométriques [min. – max.])		Catégories de logements			Total
		Aucun	VRC	VRE	
Aerosol_conc_ADN_bacterien^B	Préoptimisation	2966,88 (1161,98 – 7575,3)	2902,69 (1239,65 – 6795,16)	2449,06 (1196,74 – 5010,72)	2763,12 (1701,37 – 4486,42)
	Postoptimisation	2255,8 (883,49 – 5761,03)	2682,25 (1145,78 – 6280,58)	4069,12 (1988,84 – 8327,22)	2909,38 (1791,84 – 4723,89)
	Changement (ratio)	0,76	0,92	1,66	1,05
	Changement (%)	-24,0	-7,6	66,2	5,3
Aerosol_conc_ADN_asp_pen^B	Préoptimisation	15,93 (7,34 – 34,55)	13,07 (6,47 – 26,39)	8,67 (4,8 – 15,67)	12,18 (8,16 – 18,18)
	Postoptimisation	8,43 (3,89 – 18,29)	6,77 (3,35 – 13,67)	5,26 (2,91 – 9,5)	6,69 (4,49 – 9,99)
	Changement (ratio)	0,53	0,52	0,61	0,55^A
	Changement (%)	-47,1	-48,2	-39,4	-45,0
Aerosol_n^{bre}OTU_bacteries^B	Préoptimisation	385,36 (298,98 – 471,73)	431,82 (351,42 – 512,22)	459,71 (389,7 – 529,73)	425,63 (379,89 – 471,37)
	Postoptimisation	430,45 (341,35 – 519,55)	389,7 (309,29 – 470,1)	420,13 (351,48 – 488,79)	413,43 (367,34 – 459,51)
	Changement (différence)	45,1	-42,1	-39,6	-12,2

Notes : Changement (ratio) = $\frac{\text{Postoptimisation}}{\text{Préoptimisation}}$; Changement (%) = $\frac{(\text{Postoptimisation} - \text{préoptimisation})}{\text{Préoptimisation} \times 100}$; Changement (différence) : $\text{Postoptimisation} - \text{Préoptimisation}$.

^A Différence significative (p < 0,01) entre la phase pré et postoptimisation.

^B Les valeurs de concentrations sont exprimées en copies de génome/mètre cube (m³) d'air.

Tableau 20 Nombre et proportion d'enfants ayant participé à l'étude, selon le genre des enfants et la catégorie de logements

Genre (n [%])	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégorie de logements			Total
		Aucun	VRC	VRE	
Féminin	16 (48,48)	14 (53,85)	15 (60,00)	20 (57,14)	65 (54,62)
Masculin	17 (51,52)	12 (46,15)	10 (40,00)	15 (42,86)	54 (45,38)
Total	33 (100,00)	26 (100,00)	25 (100,00)	35 (100,00)	119 (100,00)

Tableau 21 Nombre et proportion d'enfants participant à l'étude, selon la tranche d'âge des enfants et la catégorie de logements

Tranche d'âge (n [%])	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégorie de logements			Total
		Aucun	VRC	VRE	
2 ans et moins	10 (30,30)	5 (19,23)	7 (28,00)	11 (31,43)	33 (27,73)
3 à 5 ans	15 (45,45)	8 (30,77)	6 (24,00)	8 (22,86)	37 (31,09)
6 à 8 ans	5 (15,15)	11 (42,31)	10 (40,00)	9 (25,71)	35 (29,41)
9 ans et plus	3 (9,09)	2 (7,69)	2 (8,00)	7 (20,00)	14 (11,76)
Total	33 (100,00)	26 (100,00)	25 (100,00)	35 (100,00)	119 (100,00)

Tableau 22 Portrait général des événements, des épisodes santé et des hospitalisations, selon la catégorie de logements

Nombre et nombre moyen par enfant (n [n ^{bre} moyen par enfants])	Phase de l'étude	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégories de logements			Total
			Aucun	VRC	VRE	
Événements	Préoptimisation	48 (1,45)	44 (1,69)	64 (2,56)	49 (1,40)	205 (1,72)
	Postoptimisation	27 (0,81)	30 (1,15)	26 (1,04)	45 (1,29)	128 (1,08)
Épisodes	Préoptimisation	35 (1,06)	33 (1,27)	51 (2,04)	43 (1,23)	162 (1,36)
	Postoptimisation	25 (0,76)	25 (0,96)	25 (1,00)	35 (1,00)	110 (0,92)
Hospitalisations	Préoptimisation	1 (0,03)	3 (0,12)	0 (0,00)	3 (0,09)	7 (0,06)
	Postoptimisation	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	1 (0,03)	1 (0,01)

Tableau 23 Portrait des événements santé répertoriés, selon la catégorie de logements

Événements (n [n ^{bre} moyen par enfants])	Phase de l'étude	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégories de logements			Total
			Aucun	VRC	VRE	
Infections des voies respiratoires inférieures (et symptômes d'asthme)	Préoptimisation	8 (0,24)	9 (0,35)	8 (0,32)	9 (0,26)	34 (0,29)
	Postoptimisation	3 (0,09)	4 (0,15)	3 (0,12)	11 (0,31)	21 (0,18)
Infections des voies respiratoires supérieures	Préoptimisation	26 (0,79)	23 (0,88)	29 (1,16)	13 (0,37)	91 (0,76)
	Postoptimisation	17 (0,52)	17 (0,65)	18 (0,72)	18 (0,51)	70 (0,59)
Infections aux oreilles	Préoptimisation	14 (0,42)	12 (0,46)	27 (1,08)	27 (0,77)	80 (0,67)
	Postoptimisation	7 (0,21)	9 (0,35)	5 (0,20)	18 (0,51)	37 (0,31)

Tableau 24 Portrait des épisodes santé répertoriés, selon la catégorie de logements

Épisodes (n [n ^{bre} moyen par enfants])	Phase de l'étude	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégories de logements			Total
			Aucun	VRC	VRE	
Infections des voies respiratoires inférieures (et symptômes d'asthme)	Préoptimisation	7 (0,21)	7 (0,27)	8 (0,32)	7 (0,20)	29 (0,24)
	Postoptimisation	3 (0,09)	3 (0,12)	3 (0,12)	8 (0,23)	17 (0,14)
Infections des voies respiratoires supérieures (et infections aux oreilles)	Préoptimisation	28 (0,85)	26 (1,00)	43 (1,72)	36 (1,03)	133 (1,12)
	Postoptimisation	22 (0,67)	22 (0,85)	22 (0,88)	27 (0,77)	93 (0,78)

Tableau 25 Nombre et proportion des enfants avec au moins un épisode santé, selon la catégorie de logement

Épisodes de problèmes respiratoires (nombre par enfant [%])	Phase de l'étude	Groupe témoin	Groupe <i>intervention</i> ; Catégories de logements			Total
			Aucun	VRC	VRE	
Infections des voies respiratoires inférieures (et symptômes d'asthme)	Préoptimisation	4 (12,12)	5 (19,23)	5 (20,00)	4 (11,43)	18 (15,13)
	Postoptimisation	3 (9,09)	3 (11,54)	1 (4,00)	5 (14,29)	12 (10,08)
Infections des voies respiratoires supérieures (et infections aux oreilles)	Préoptimisation	21 (63,64)	13 (50,00)	19 (76,00)	17 (48,57)	70 (58,82)
	Postoptimisation	16 (48,48)	11 (42,31)	11 (44,00)	13 (37,14)	51 (42,86)
Ensemble des épisodes	Préoptimisation	23 (69,70)	14 (53,85)	20 (80,00)	18 (51,43)	75 (63,03)
	Postoptimisation	19 (57,58)	11 (42,31)	11 (44,00)	14 (40,00)	55 (46,22)

Tableau 26 Effets de l'intervention sur le nombre moyen d'épisodes santé, modélisé par le biais de la régression binomiale négative à mesures répétées (ajusté pour le sexe et l'âge des enfants)

Épisodes de problèmes respiratoires (incidence [intervalle de confiance])	Phase de l'étude	Groupe <i>témoin</i>	Groupe intervention; Catégories de logements		
			Aucun	VRC	VRE
Infections des voies respiratoires inférieures (et symptômes d'asthme)	Préoptimisation	0,20 (0,05 – 0,88)	0,27 (0,12 – 0,62)	0,25 (0,11 – 0,53)	0,15 (0,06 – 0,36)
	Postoptimisation	0,08 (0,02 – 0,27)	0,12 (0,04 – 0,35)	0,10 (0,02 – 0,70)	0,17 (0,08 – 0,39)
	Changement (ratio)	0,37 (0,13 – 1,07)	0,43 (0,10 – 1,84)	0,42 (0,08 – 2,17)	1,17 (0,46 – 2,97)
	Changement (%)	-62,8	-57,4	-57,8	16,7
Infections des voies respiratoires supérieures (et infections aux oreilles)	Préoptimisation	0,75 (0,52 – 1,07)	1,07 (0,67 – 1,73)	1,66 (1,10 – 2,51)	0,92 (0,64 – 1,34)
	Postoptimisation	0,58 (0,37 – 0,93)	0,87 (0,48 – 1,60)	0,81 (0,48 – 1,39)	0,69 (0,44 – 1,06)
	Changement (ratio)	0,78 (0,52 – 1,18)	0,81 (0,48 – 1,39)	0,49* (0,29 – 0,83)	0,74 (0,49 – 1,13)
	Changement (%)	-21,9	-18,6	-50,9	-25,7
Ensemble des épisodes	Préoptimisation	0,95 (0,63 – 1,44)	1,37 (0,88 – 2,14)	1,95 (1,36 – 2,82)	1,08 (0,75 – 1,55)
	Postoptimisation	0,67 (0,44 – 1,03)	1,00 (0,54 – 1,86)	0,92 (0,56 – 1,51)	0,87 (0,56 – 1,35)
	Changement (ratio)	0,71 ^A (0,51 – 0,99)	0,73 (0,42 – 1,26)	0,47 ^A (0,29 – 0,77)	0,81 (0,52 – 1,24)
	Changement (%)	-29,3	-26,9	-53,0	-19,3

^A Différence significative

4 Discussion

4.1 Portrait général des résultats préoptimisation

L'étude réalisée a constitué une occasion unique de colliger des données probantes permettant de circonscrire, dans les limites de ses contraintes et biais méthodologiques, l'impact d'une intervention sur les principaux déterminants de la QAI et la santé respiratoire d'une cohorte d'enfants de Kuujuaq. Avant la réalisation des travaux d'optimisation des dispositifs de ventilation en place, la majorité des bâtiments, des logements et des systèmes mécaniques investigués se trouvaient généralement en bon état. Seule une faible proportion de bâtiments présentaient des problèmes mineurs au niveau de l'enveloppe (ex. : fenêtres brisées ou défectueuses) ou souffraient d'un léger déficit d'entretien. Ceux-ci étaient possiblement à l'origine de la présence de traces de moisissures localisées (dans environ 67 % des logements), bien que la présence de traces d'humidité excessive (condensation) et d'odeurs d'humidité n'ait été relevée qu'à de rares occasions (7 % et 2 %, respectivement; voir le tableau 8). De plus, selon les observations des techniciens, seule une faible fraction des extracteurs de salle de bain et des hottes de cuisine inspectés étaient défectueux ou présentaient des dysfonctionnements. Il est à noter que seules des données fragmentaires étaient disponibles au regard de ce dernier aspect pour la période préoptimisation.

L'air intérieur des logements était généralement de bonne qualité et conforme aux recommandations de Santé Canada (2018). À titre d'exemple, la température moyenne des logements investigués (toutes catégories confondues) était de 24 °C, le taux moyen d'humidité de 32 %, alors que les concentrations moyennes de CO et de particules fines étaient généralement faibles (2,6 ppm et 18,9 µg/m³, respectivement) (tableau 16). Par ailleurs, les concentrations moyennes de CO₂ (941,5 ppm) et de COV (455 µg/m³) (tableau 17) étaient relativement élevées, ce qui peut s'expliquer par le fait que les logements étaient généralement mal ventilés (0,18 CAH) (tableau 16). À la suite de l'intervention, une amélioration significative de certains de ces paramètres de la QAI a été constatée (voir sections ci-dessous). L'un des résultats les plus inattendus issus des travaux d'inspection préoptimisation relève du fait que 73 % des systèmes de ventilation mécanique étaient désactivés (commutateurs en position OFF) (tableau 8). D'après les propos recueillis auprès des techniciens de l'équipe de projet, la majorité des occupants concevait mal l'utilité de ces systèmes et avait généralement peu d'explications à fournir concernant la position du commutateur du système de ventilation de leur logement. Certains ne comprenaient simplement pas le fonctionnement du module de contrôle. Bien entendu, la désactivation des systèmes de ventilation annihile leur capacité à générer un renouvellement d'air adéquat à l'intérieur des logements.

En ce qui concerne les habitudes des locataires en matière de maintien de la QAI, il est d'abord intéressant de souligner qu'un certain nombre des habitudes d'occupation et des comportements étudiés n'ont pas changé entre les phases pré et postoptimisation. Ainsi, seule une faible proportion des logements (22 %) étaient surpeuplés (c'est-à-dire plus d'une personne par pièce), alors qu'une proportion inférieure de participants a déclaré consommer du tabac⁸ à l'intérieur du domicile (13 %), et ce, sans changement de comportement notable observé entre les deux phases d'investigation. La fréquence d'utilisation de la douche s'est avérée généralement compatible avec le nombre d'occupants (considérant une douche par personne par jour) et près des deux tiers d'entre eux utilisaient l'extracteur de la salle de bain de façon appropriée (soit lorsque la salle de bain est occupée). De plus, la sècheuse était largement préférée au séchage par suspension à l'intérieur du logement (78 %) (tableau 9).

⁸ À noter que la proportion d'occupants faisant usage de la vapoteuse ou encore de cannabis en milieu intérieur n'a pas été documentée dans cette étude.

Enfin, les concentrations de bactéries aéroportées étaient d'un niveau attendu pour ce type d'environnement et faible pour les concentrations de moisissures aéroportées, notamment pour les genres *Penicillium* et *Aspergillus*. Ces deux genres fongiques étant des marqueurs d'humidité excessive, de telles conditions ne semblent pas prépondérantes dans l'échantillon des logements investigués. En effet, les faibles valeurs d'humidité relative mesurées dans les logements, l'absence de traces de dégâts d'eau ou d'infiltrations d'eau peuvent expliquer ces faibles concentrations dans les échantillons d'air comme dans les échantillons de poussières. La contamination de l'air intérieur par les moisissures peut également provenir de l'air extérieur (tableau 18). Lors du projet, la température extérieure au moment des prélèvements (notamment lors de la phase préoptimisation) était inadéquate à la survie et aux développements des moisissures. Les communautés bactériennes et fongiques retrouvées dans les échantillons d'air et de poussières étaient donc celles attendues, associées à la présence et aux activités humaines (Hospodsky *et al.*, 2012).

4.2 Portrait général des observations effectuées lors des travaux d'optimisation

Les principaux problèmes identifiés lors de la réalisation des activités de mise à niveau des systèmes de ventilation et de chauffage concernaient l'obstruction partielle ou totale des registres d'extraction et de ventilation (retour d'air) par des peluches et de la poussière. Les filtres à fournaise, de même que les filtres à particules des VRC et des VRE, étaient généralement colmatés, alors que les volets de nombreux registres d'entrée d'air frais des VRC et des VRE ont été retrouvés en position fermée (résultat probable d'une intervention inappropriée des équipes de maintenance). De plus, les électrovalves des systèmes de préchauffage au glycol des VRE (modèles K7 ERV et EV130) étaient figées en position ouverte ou fermée (possiblement sous l'effet de la corrosion). De nombreux systèmes étaient également débalancés.

Ensemble, ces problèmes ont limité la possibilité d'acheminer les volumes d'air frais nécessaires au bien-être et au confort des occupants dans leur logement. Les défauts observés sur le dispositif de préchauffage de l'admission d'air frais des VRE pourraient être à l'origine de fuites de propylène glycol et de sous-performance, incluant des problèmes de surchauffe ou de gel des composantes du boîtier. En effet, ces défauts seraient possiblement la cause de la dégradation de la QAI et d'une perte de confort pour les occupants. C'est d'ailleurs peut-être en raison de ces inconforts que certains occupants ont préféré désactiver leur système de ventilation, bien que cette avenue demeure à confirmer. Puisque les travaux ont été conjointement réalisés par les techniciens attirés au projet, avec l'aide des employés de l'OMHK et des sous-traitants spécialisés, l'équipe de recherche n'a pas été en mesure d'élaborer un registre technique détaillé des problèmes et des travaux ayant été réalisés. De plus, aucun suivi n'a été effectué au regard de la réalisation et de l'efficacité des travaux complétés, cette tâche relevant des gestionnaires de l'OMHK.

4.3 Portrait général des résultats postoptimisation

À la suite de la réalisation de travaux d'entretien et de mise à niveau (inspection et réparation des systèmes de chauffage à air pulsé et hydroniques alimentés au propylène glycol, changement de filtres et de certains noyaux enthalpiques, nettoyage des registres, équilibrage des VRC et des VRE, ouverture des volets de ventilation, ajustement des brûleurs, changement de certaines électrovalves, activation des systèmes, etc.), une augmentation significative du taux de changement d'air à l'heure moyen dans les logements a été observée. En effet, la moyenne géométrique est passée de 0,16 à 0,30 CAH dans les logements équipés de VRC et de 0,23 à 0,35 CAH dans les logements équipés de VRE (tableau 16). Par la même occasion, le taux de ventilation moyen est resté pratiquement

inchangé dans les logements non équipés de tels systèmes. Le critère de ventilation ciblé par l'équipe de projet et la SHQ (soit 0,3 CAH) a donc pu être atteint dans une large proportion des logements munis de VRC (53 % ou 9/17) et de VRE (65 % ou 15/23), le principal facteur modulant la ventilation des logements étant l'utilisation adéquate du système par les occupants une fois celui-ci rendu pleinement fonctionnel. À cet effet, le monitoring en continu des débits d'alimentation et d'extraction réalisé sur les 4 unités de ventilation a permis de mettre en évidence que certains occupants ont interrompu (de façon délibérée ou par inadvertance) le fonctionnement de leur unité VRC ou VRE. Cette situation a d'ailleurs été observée dans un des logements investigués, et ce, tant en période préoptimisation que postoptimisation, avec des débits mesurés à 0.

En complément à la réalisation de ces travaux, le déploiement d'outils de communication visant à inciter les occupants à faire bon usage de ces systèmes a très certainement pu contribuer à l'amélioration de la performance de ces derniers. En effet, l'utilisation accrue de la ventilation mécanique, de la hotte de cuisine et, dans une moindre mesure, l'augmentation de la fréquence de l'utilisation de la ventilation naturelle, ont été observées dans le groupe *intervention*.

Cette dernière observation témoigne d'un effet de saisonnalité qui, à l'instar de l'optimisation des systèmes et de l'amélioration des habitudes des occupants en matière de maintien de la QAI, a pu contribuer à accroître la ventilation des logements investigués en phase postoptimisation. En effet, puisque la campagne d'évaluation postoptimisation a été réalisée dans un contexte climatique printanier (avril-mai) comparativement à la campagne préoptimisation réalisée dans un contexte climatique hivernal (janvier à mars), les habitudes des occupants avaient possiblement évolué au gré du changement de saison, telles que la pratique de nombreuses activités traditionnelles. De plus, le recrutement du groupe *témoin* et l'administration du questionnaire auprès des participants de ce groupe ont davantage été complétés au printemps, ce qui a pu engendrer une certaine variabilité des données colligées. À titre d'exemple, la proportion de ménages ayant rapporté pratiquer l'artisanat à domicile a diminué de près de la moitié en phase postoptimisation, en comparaison avec la phase préoptimisation (activité généralement pratiquée en hiver, lorsque les conditions climatiques sont davantage hostiles). Alternativement, le temps de préparation de nourriture traditionnelle a plus que doublé en période postoptimisation (activité habituellement pratiquée au printemps, lorsque le temps est plus clément). L'évolution saisonnière des comportements des occupants est également susceptible d'avoir affecté certains paramètres de l'air intérieur (voir section suivante) qui, en retour, peuvent avoir contribué à moduler les perceptions des occupants. À cet effet, il est intéressant de souligner que la fréquence des perceptions de sécheresse et de chaleur excessive s'est atténuée d'environ 20 % entre les phases pré et postoptimisation (toutes catégories de logements confondues) (tableau 10).

4.4 Conséquences de l'intervention sur les paramètres de la QAI et la santé des enfants occupant les logements équipés de VRC

Les résultats de la campagne d'échantillonnage postoptimisation menée dans les logements équipés de VRC ont permis d'observer une diminution significative du taux d'humidité relative de 5,65 %, à l'instar des concentrations de CO₂ (qui ont chuté de 25,15 %) et de particules fines (qui ont diminué de 55,1 %). Il est à noter que les concentrations de CO ont également chuté de 50,9 % au sein de ces logements (tableau 16). De plus, une diminution significative de plusieurs COV a été constatée dans les logements, dont certains aldéhydes, alcools, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, esters et cétones. Les concentrations de propylène glycol n'ont toutefois pas diminué de façon significative entre les deux phases de l'étude (tableau 17). De plus, les concentrations de cellules microbiennes en suspension dans l'air, celles déposées dans les poussières de même que la diversité de celles-ci ont peu évolué à la suite de l'intervention, bien qu'une diminution significative

des concentrations en *Penicillium/Aspergillus* dans l'air intérieur ait été observée à la suite de l'intervention (tableau 18). Ceci peut s'expliquer par le fait que d'autres paramètres environnementaux et occupationnels avaient sans doute plus d'influence sur la composition et l'abondance du microbiote (ex. : température, humidité, activité humaine et animale, etc.) que l'intervention à proprement parler.

L'amélioration de la ventilation et la diminution concomitante des concentrations de plusieurs contaminants chimiques (gazeux et particulaires), dont l'exposition, sont notamment reconnues pour engendrer certains risques à la santé aigus (ex. : irritation des voies respiratoires) et chroniques (effets cancérogènes), susceptibles d'avoir contribué à une baisse de la fréquence de certains épisodes chez les enfants du groupe *intervention*. En effet, l'amélioration des conditions environnementales dans les logements équipés de VRC pleinement fonctionnels est associée à une réduction significative de l'incidence des IVRS et des IO de plus de 50 % auprès des enfants concernés (tableau 22). Il est à noter que, lorsque tous les épisodes santé sont considérés ensemble, les résultats du modèle multivarié ajusté pour l'âge des enfants suggèrent également une diminution significative de l'incidence de tous les types d'épisodes, bien que ce résultat ait également été observé dans le groupe *témoin*. Il est possible que la venue des conditions printanières et, par conséquent, la diminution des facteurs de risque associés à la propagation des agents infectieux (ex. : promiscuité), ait constitué une source de confusion entre le groupe et le groupe *témoin* et le groupe *intervention* (voir section Biais et limites de l'étude). En conséquence, aucune corrélation n'a pu être établie entre le taux de ventilation mesuré dans tous les logements investigués et la fréquence des événements ou des épisodes répertoriés.

4.5 Conséquences de l'intervention sur les paramètres de la QAI et la santé des enfants occupant les logements équipés de VRE

Une diminution modeste du taux d'humidité relative ainsi qu'une baisse non significative des concentrations de CO₂ et de PM_{2,5} ont été observées dans les logements équipés de VRE à la suite de la réalisation de l'intervention (tableau 16). À l'instar des autres logements investigués, une diminution significative des concentrations de CO d'environ 54 % a également été notée. Ici encore, l'intervention a atténué de façon significative les concentrations de certains aldéhydes, alcools, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, esters, mais également de terpènes, et ce, bien qu'une augmentation marquée des concentrations moyennes de propylène glycol de plus de 10 % ait également été observée (tableau 17). Il s'agit d'ailleurs de l'un des seuls COV pour lequel la concentration moyenne a augmenté à la suite du déploiement de l'intervention (à l'instar du butanal, de l'acide hexanoïque et du butanone). De plus, les concentrations de propylène glycol étaient généralement plus élevées au sein des logements équipés de VRE que dans les autres, atteignant en moyenne plus de 100 µg/m³ en phase postoptimisation. Parmi les sources susceptibles d'être impliquées, les fuites du système de chauffage centralisé au propylène glycol (également utilisé pour le préchauffage de l'air frais en provenance de l'extérieur) s'avèrent les plus plausibles. En effet, les travaux d'inspection ont démontré la présence de telles fuites de propylène glycol qui, lorsque surchauffé, se décompose en substances corrosives, et potentiellement irritantes (ex. : acides oxalique, formique, acétylique), lesquelles s'attaquent aux composantes métalliques du système de préchauffage, dont les bagues de jonctions et les valves mécaniques. Le bon fonctionnement du système de préchauffage implanté en amont des systèmes VRE s'avère néanmoins crucial pour assurer une récupération efficace de la chaleur sensible et latente. En effet, le fonctionnement déficitaire de ce système peut occasionner le gel du noyau, alors qu'un fonctionnement excédentaire est susceptible d'entraîner un assèchement excessif de l'air intérieur de même qu'une importante consommation énergétique.

Les auteurs posent l'hypothèse prudente que l'activation des VRE a pu contribuer à la contamination de l'air d'alimentation circulant à travers le système se trouvant dans la salle mécanique ainsi qu'à la dispersion subséquente de vapeurs de propylène glycol dans l'air intérieur des habitations. Malheureusement, l'évaluation des concentrations moyennes des composés de dégradation du propylène glycol dans l'air intérieur des logements ou des salles mécaniques concernées n'a pas fait l'objet d'un suivi dans la présente étude. Par ailleurs, cette hypothèse est compatible avec la survenue d'autres cas similaires, notamment dans certaines écoles du Nunavik. La contribution des effluves de vapotage (également riche en propylène glycol) pourrait également être en cause, mais dans une proportion actuellement inconnue. Il est intéressant de constater que les résultats du modèle multivarié sont également compatibles avec l'hypothèse de la présence de fuites de propylène glycol, puisqu'aucune diminution significative de la fréquence des épisodes santé n'a été observée au regard des enfants occupants les logements équipés de VRE. De plus, la fréquence des IVRI (incluant les SA) a même augmenté de plus de 16 % dans cet ensemble de logements, tandis que celle-ci a subi une diminution de plus de 57 % au regard des autres catégories de logement, incluant le groupe *témoin* (tableau 26). Sans être directement à l'origine du développement des infections et des autres symptômes répertoriés, la présence de propylène glycol a pu indirectement contribuer à l'augmentation de la fréquence des épisodes et de leur durée, en contribuant à l'irritation des muqueuses des enfants exposés. À cet effet, aucune corrélation n'a été identifiée entre la concentration de propylène glycol de l'air intérieur des logements investigués et la fréquence des événements ou des épisodes santé. En ce qui concerne les données microbiologiques, les mêmes observations que celles articulées au regard des logements munis de VRC s'appliquent ici.

4.6 Conséquences de l'optimisation des logements sans système de ventilation

Les logements sans système de ventilation présentaient, sans étonnement, les taux de ventilation moyens les plus faibles, ainsi que les concentrations moyennes de CO₂ et les taux d'humidité relative les plus élevés, et ce, tant en phase pré que postoptimisation. L'intervention menée dans ces bâtiments a notamment engendré une baisse significative des concentrations de CO et de CO₂, sans toutefois avoir significativement modifié les autres paramètres de la QAI, à l'exception de la concentration de certains composés aromatiques aliphatiques. Il est possible que l'atténuation des concentrations de CO et de CO₂ (gaz notamment issus des émanations des fournaies au mazout) soit associée à l'entretien des équipements de chauffage, puisque les comportements des occupants, susceptibles d'engendrer des contaminants de l'air intérieur, ont peu changé d'une phase à l'autre. Bien que les concentrations de propylène glycol se sont avérées généralement plus faibles que dans les logements avec VRE, une augmentation significative de ce contaminant de l'air intérieur a été observée dans cet ensemble de logements de même que pour les concentrations de texanol et de butanone (cétone). Les sources de ces produits ne peuvent malheureusement pas être précisées. Malgré l'amélioration de certains paramètres de la QAI à la suite de la mise en œuvre de l'intervention, aucune diminution significative des épisodes santé n'a été relevée dans cet ensemble de logements.

4.7 Biais et limites de l'étude

Les résultats de cette étude ont démontré que l'intervention menée dans un petit nombre de résidences de Kuujuaq (n = 55) a engendré des bénéfices mesurables sur la QAI en général ainsi que, dans une moindre mesure, sur la santé respiratoire des enfants occupant celles-ci. Par ailleurs, certains biais doivent toutefois être considérés afin de mieux apprécier la portée des faits assemblés dans le cadre de cette étude ainsi que la robustesse des constats pouvant en découler.

D'abord, le design de l'étude (de type avant-après avec groupe *témoin*) a permis de contrôler certains facteurs confondants sur la mesure des effets recherchés (ex. : l'influence du contexte familial sur la fréquence des épisodes santé répertoriés), bien qu'un biais de sélection des participants ait pu en affecter la validité. En effet, la volonté admise de l'équipe de recherche de recruter des occupants de logements équipés de différents types de systèmes de ventilation spécifiques n'a pas permis de choisir les ménages de façon aléatoire. Certaines disparités intercatégoriques au regard de certains facteurs de risque pouvant affecter la santé des enfants ont donc pu être induites. De plus, la représentativité de l'échantillon est jugée faible, rendant l'extrapolation des données à toute la communauté du Nunavik hasardeuse.

Ensuite, l'échantillon d'enfants recrutés (ainsi que des ménages et logements associés) était également de petite taille. Celle-ci répondait aux exigences du calcul de puissance statistique, mais l'importante variabilité des résultats obtenus (grande dispersion des données, distribution et diminution des épisodes dans le groupe *témoin*) a complexifié l'identification de tendances aussi clairement que l'équipe de recherche l'aurait souhaité. Bien que considérée comme une approche objective, la consultation des dossiers médicaux *a posteriori* n'était probablement pas le moyen le plus approprié pour détecter des améliorations de la santé respiratoire des enfants associées à l'optimisation des systèmes de ventilation. En effet, l'administration de journaux de symptômes aurait pu permettre le suivi de certains symptômes associés à la QAI (maux de tête, irritation de la gorge ou du nez, sensation de sécheresse), mais la gestion d'une telle approche comporte son lot de difficultés et de biais.

De plus, il est fort probable que l'étalement du déploiement de l'étude ait affecté les données environnementales colligées. En effet, compte tenu de la petite équipe de techniciens, la réalisation des différentes phases du projet a nécessité une période de prélèvements relativement longue (couvrant près de 5 mois au total) qui, de surcroît, n'était pas la même pour toutes les habitations investiguées. Les conditions environnementales documentées en période préoptimisation ont ainsi évolué et étaient devenues plus favorables en période postoptimisation sans que de telles améliorations soient dues à l'intervention menée par l'équipe de recherche. L'arrivée des conditions printanières s'accompagnant généralement de l'ouverture de la saison de la chasse, d'une diminution de la promiscuité, et de la possibilité de faire davantage usage de la ventilation naturelle, celle-ci s'est manifestée par une amélioration générale des conditions d'habitation telles qu'observées en phase postoptimisation.

Dans un autre ordre d'idée, bien qu'approprié au contexte expérimental, le modèle statistique utilisé pour l'analyse des épisodes santé (régression binomiale à mesures répétées) était très sensible, voire instable aux intrants. Certains dossiers d'enfants comptaient un nombre très important d'épisodes, tandis qu'une majorité d'entre eux comptaient peu d'épisodes. Le poids relatif de ces enfants, non distribué uniformément dans les groupes formés, se trouvait donc disproportionné au regard de l'échantillon. Aussi robuste soit-il, le modèle utilisé n'est pas parvenu à discriminer l'influence de certains aspects affectant les variations interannuelles de la virulence des infections respiratoires et de l'évolution des facteurs de transmission et de propagation associés. En effet, il est possible que la

diminution générale de l'incidence des infections respiratoires répertoriées (incluant le groupe *témoin*) soit tributaire de l'atténuation de diverses composantes populationnelles du risque infectieux dans l'ensemble de la population à l'étude à la suite de la saison hivernale 2017, sans pour autant que l'intervention ne soit en cause. Ce biais historique peut entre autres être associé à la présence de souches virales moins virulentes ou à l'application plus stricte de mesures d'hygiène suivant la communication de messages de santé publique, ce qui a pu affecter les résultats du modèle. Par ailleurs, l'influence de certains facteurs de risques individuels, tels l'âge et le sexe des enfants, a été contrôlée par le modèle.

Enfin, l'implication conjointe des instances de santé publique et des gestionnaires du parc résidentiel du Nunavik peut avoir engendré un biais d'information ou de désirabilité auprès des ménages participant, y compris au sein du groupe *témoin*. Étant informés du thème de l'étude dans le cadre des visites de recrutement à domicile, les ménages de ce groupe ont pu également améliorer leurs comportements au regard du maintien de la QAI avant les premières mesures.

5 Conclusion

Le premier objectif consistait à comparer l'état de la QAI et les taux de ventilation des 3 catégories de logements à l'étude, sur la base des différents types de systèmes de ventilation en place (aucun système, système muni d'un VRC, système muni d'un VRE). Il est possible de constater que, en phase préoptimisation, les logements équipés de VRC et de VRE étaient mieux ventilés que ceux dépourvus de système de ventilation. Cependant, l'air intérieur dans les logements dépourvus de système de ventilation n'était généralement pas de moindre qualité ou moins sec que dans les autres logements considérés. Cela peut s'expliquer par le fait que les filtres des systèmes de ventilation et de chauffage étaient généralement encrassés, que la majorité des systèmes de ventilation étaient désactivés (module de contrôle en position fermée), que les volets d'admission de l'air frais d'un nombre important d'entre eux étaient également fermés, que les valves des systèmes de préchauffage hydronique au glycol étaient défectueuses (contrôle non fonctionnel) et que des fuites de propylène glycol ont été identifiées par endroit.

En ce qui concerne le deuxième objectif, il visait à comparer les taux d'incidence des infections respiratoires et des crises de bronchospasmes chez les enfants de 0 à 10 ans de l'un ou l'autre des 3 catégories précédemment mentionnées. En phase préoptimisation, la fréquence des épisodes d'IRVI et des manifestations des SA étaient similaires dans toutes les catégories, incluant le groupe *témoin*. Par ailleurs, la fréquence des symptômes d'IVRS (et d'IO) s'avérait plus relativement importante au sein des logements avec VRC et VRE. Bien qu'inexpliqué, il est assumé que ce résultat puisse être le fruit du hasard considérant que c'est également ce type d'infection qui était le plus souvent responsable des épisodes santé répertoriés dans les dossiers médicaux des enfants participant à l'étude. L'incidence des épisodes atteignait 1,36 épisode par enfant; soit 162 pour 119 enfants (tous types d'infections et toutes catégories confondus).

Quant à la comparaison de l'état de la QAI et des taux de ventilation dans les habitations ainsi que des taux d'incidence d'infections respiratoires chez les enfants de 0 à 10 ans avant et après l'optimisation des différents types de systèmes de ventilation propres aux 3 catégories, la réalisation des travaux d'optimisation des systèmes de ventilation ainsi que les efforts de sensibilisation des occupants ont vraisemblablement permis d'améliorer significativement les taux de ventilation et certains paramètres de la QAI. Une fois l'entretien et la mise en fonction des appareils effectués, la ventilation des logements avec VRC et VRE s'est respectivement accru de 88 % et de 49 %, tandis qu'aucune amélioration significative n'a été observée pour les logements sans système (7 %). Une baisse significative de la concentration de certains COV a également été constatée pour ceux-ci. De plus, une diminution significative des concentrations de particules fines a été observée dans les logements munis de VRC, mais aucun changement du compartiment microbien n'a été relevé. L'intervention menée s'est également traduite par une importante diminution significative de l'incidence des épisodes d'IVRS+IO+IVRI chez les enfants habitant dans les logements munis de VRC, passant de 1,95 (1,36 – 2,82) à 0,92 (0,56 – 1,51) épisode par enfant, soit une diminution de 53 %. Des diminutions de plus faible amplitude (et de surcroît non significatives) ont également été notées au sein des autres catégories de logements. De plus, puisqu'aucun lien direct entre la ventilation et la fréquence des épisodes santé n'a été démontré, il est présumé qu'un ensemble de facteurs ont contribué à l'amélioration de la santé des enfants.

Principaux constats

- Ce portrait, somme toute rassurant, témoigne néanmoins de la présence de certains problèmes pouvant être solutionnés par la vérification de l'installation de nouveaux systèmes de ventilation par un personnel qualifié et la mise en œuvre de travaux d'entretien préventifs sur une base annuelle, soit avant le début de la saison de chauffe. La réalisation de tels travaux a d'ailleurs démontré son efficacité au regard de l'amélioration de nombreux paramètres de ventilation et de la QAI.
- Les résultats du sondage ont révélé que les occupants jouent un rôle central dans le maintien de la QAI de leur logement. Les résultats de l'intervention ont montré qu'il est non seulement possible de faire la promotion de saines habitudes à cet égard, mais que l'adhésion des ménages à ceux-ci peut contribuer à améliorer les conditions de logement. La nécessité de bien communiquer les bénéfices découlant de l'utilisation adéquate des systèmes de chauffage et des dispositifs de ventilation s'avère essentielle.
- La réalisation de l'intervention est associée avec une diminution significative de la fréquence des épisodes santé et laisse présager des améliorations encore plus substantielles si les équipements étaient correctement conçus, installés, utilisés et entretenus, dans un souci de prise en charge des contraintes inhérentes au contexte climatique arctique.
- La conception des interfaces de contrôle, destinées aux occupants, pourrait être simplifiée et leur utilisation devrait être expliquée aux occupants pour éviter toute interruption de fonctionnement des systèmes de ventilation. À cet égard, une fiche explicative pourrait être installée à proximité de l'interface de contrôle.
- La conception des systèmes de préchauffage hydronique au glycol, de son contrôle et de leurs composantes pourrait être améliorée.

Retombées

À terme, les résultats de cette étude visaient à déterminer les meilleures pratiques pouvant être appliquées au milieu de l'habitation nordique au regard de l'optimisation de la QAI, dans une perspective d'amélioration de l'état de santé des enfants, tout en tenant compte du maintien de l'efficacité énergétique. L'équipe de projet réunie pour l'élaboration et la mise en œuvre de ce projet multidisciplinaire a non seulement permis de répondre aux objectifs scientifiques de l'étude, mais également de cibler des avenues techniques et administratives pour pallier certains problèmes de la QAI relevés dans les logements.

En plus d'avoir favorisé un certain transfert de connaissances entre les chercheurs et les gestionnaires du parc résidentiel du Nunavik relativement à certains enjeux associés au maintien de la QAI, la réalisation de l'ensemble des travaux conjointement menés par les partenaires a permis d'établir un partenariat durable entre les organisations concernées. De façon plus spécifique, cette étude a constitué une occasion unique de mieux connaître et de départager les rôles des organisations partenaires, ainsi que de prendre connaissance de leur pratique et des leviers d'action dont ils peuvent bénéficier. Les échanges récurrents des derniers mois, portant sur la qualité du logement et l'état de santé des *Nunavimmiut* (en langue inuktitute), ont culminé vers une compréhension réciproque des enjeux respectifs soutenus par les différentes instances locales ainsi que de certains aspects transversaux requérant davantage d'attention. Dans l'avenir, il est ainsi présumé que les problèmes associés à la dégradation de la QAI pourront être pris en charge de façon plus rapide et efficace, limitant les potentielles conséquences délétères pour les occupants.

6 Références

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016a). Addenda to Standard 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Repéré à <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda/addenda-to-standard-62-1-2016>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016b). Interpretations to Standard 62.2. Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. Repéré à <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-interpretations/interpretations-to-standard-62-2-2016>
- Bach, H. J., Tomanova, J., Schloter, M. et Munch, J. C. (2002). Enumeration of total bacteria and bacteria with genes for proteolytic activity in pure cultures and in environmental samples by quantitative PCR mediated amplification. *Journal of Microbiological Methods*, 49(3): 235-245.
- Banerji A., Panzov, V., Robinson, J., Young, M., Ng, K., Mamdani, M. (2013). The cost of lower respiratory tract infections hospital admissions in the Canadian Arctic. *International journal of circumpolar health*, 72.
- Banerji, A., Panzov, V., Young, M., Robinson, J., Lee, B., Moraes, T., Mamdani, M., Giles, B.L., Jiang, D., Bisson, D., Dennis, M., Morel, J., Hall, J., Hui, C., Paes, B. et Mahony, J. (2016). Hospital admissions for lower respiratory tract infections among infants in the Canadian Arctic: a cohort study. *CMAJ open*, 4(4), e615-e622.
- Bjerg, A., Hedman, L., Perzanowski, M., Lundbäck, B. et Rönmark, E. (2011). A strong synergism of low birth weight and prenatal smoking on asthma in schoolchildren. *Pediatrics*, 127(4), e905-e912.
- Canadian Standards Association. (2010). CAN/CSA-F326-M91. Ventilation mécanique des habitations. Repéré à <https://www.scc.ca/fr/standards/work-programs/csa/ventilation-mecanique-des-habitations>
- Centre de collaboration nationale de la santé autochtone. (2011). État des connaissances en matière de santé publique des inuits. Repéré à <https://www.ccsa-nccah.ca/docs/context/RPT-InuitPublicHealth-Cameron-FR.pdf>
- Chang, H. -J., Beach, J. et Senthilselvan, A. (2012). Prevalence and risk factors of asthma in off-reserve Aboriginal children and adults in Canada. *Canadian respiratory journal*, 19(6), e68-e74.
- Colosia, A. D., Masaquel, A., Hall, C.B., Barrett, A.M., Mahadevia, P.J. et Yogeve, R. (2012). Residential crowding and severe respiratory syncytial virus disease among infants and young children: a systematic literature review. *BMC infectious diseases*, 12, 95.
- Conseil national de recherches Canada. (2010). Code national du bâtiment – Canada 2010 (CNB). Repéré à https://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/doc/solutions-solutions/advisory-consultatifs/codes-centre-centre-codes/revisions_errata-revisions_errata/2010_cnb_revisions_errata_decembre2012.pdf
- Hospodsky, D., Qian, J., Nazaroff, W.W., Yamamoto, N., Bibby, K., Rismani-Yazdi, H. et Peccia, J. (2012). Human occupancy as a source of indoor airborne bacteria. *Plos One*, 7(4), e34867.

- Huppé, V., Leclerc, J.-M., Legris, M. et Marchand, G. (2016). Outil d'aide à l'interprétation de rapports d'investigation de la contamination fongique. Institut national de santé publique du Québec. Repéré à www.inspq.qc.ca/sites/default/files/livres/outil-contamination-fongique/outil_investigation_fongique.pdf
- Institut national de santé publique du Québec. (2016). Logement et santé des Autochtones au Québec - État de la situation et pistes d'action prometteuses. Document archivé.
- Jenkins, A.L., Gyorkos, T.W., Culman, K.N., Ward, B.J., Pেকেles, G.S. et Mills, E.S. (2003). An overview of factors influencing the health of Canadian Inuit infants. *International Journal of Circumpolar Health*, 62(1), 17-39.
- Koch, A, Homøe, P., Pipper, C., Hjulær, T. et Melbye, M. (2011). Chronic suppurative otitis media in a birth cohort of children in Greenland: population-based study of incidence and risk factors. *The Pediatric infectious disease journal*, 30(1): 25-29.
- Koch, A., Sorensen, P., Homoe, P., Molbak, K., Pedersen, F.K., Mortensen, T., Elberling, H., Eriksen, A.M., Olsen, O.R. et Melbye, M. (2002). Population-based study of acute respiratory infections in children, Greenland. *Emerging infectious diseases*, 8(6), 586-593.
- Kovesi T., Gilbert, N.L., Stocco, C., Fugler, D., Dales R.E., Guay, M. et Miller, J.D. (2007). Indoor air quality and the risk of lower respiratory tract infections in young Canadian Inuit children. *Canadian Medical Association Journal*, 177(2), 155-160. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/6199534_Indoor_air_quality_and_the_risk_of_lower_respiratory_tract_infections_in_young_Canadian_Inuit_children
- Kovesi, T. (2012). Respiratory disease in Canadian First Nations and Inuit children. *Paediatrics & child health*, 17(7), 376-380.
- Kozich, J.J., Westcott, S.L., Baxter, N.T., Highlander, S.K. et Schloss, P.D. (2013). Development of a dual-index sequencing strategy and curation pipeline for analyzing amplicon sequence data on the MiSeq Illumina sequencing platform. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(17), 5112-5120.
- Lewis, T. C., Stout, J. W., Martinez, P., Morray, B., White, L.C., Heckbert, S.R. et Redding, G.J. (2004). Prevalence of asthma and chronic respiratory symptoms among Alaska Native children. *CHEST*, 125(5), 1665-1673.
- Organisation mondiale de la Santé. (1977). CIM-9/CCA et ICD-9-CM. Repéré à <https://www.cihi.ca/fr/donnees-et-normes/normes/classification-et-codification/cim-9cca-et-icd-9-cm>
- Poulin, P., Bourgault, M.H., Leclerc, J.-M. et Chevalier, P. (2015). Mesures de contrôle environnementales visant à prévenir la transmission de *Mycobacterium tuberculosis* en milieu intérieur au Nunavik. Institut national de santé publique du Québec. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1948_Mesures_Prevenir_Micobacterium_Tuberculosis.pdf
- Reading, C. et Wien, F. (2009). Inégalités en matière de santé et déterminants sociaux de la santé des peuples autochtones. Prince George (C.-B.) : Centre de collaboration nationale de la santé autochtone. Repéré à <https://www.ccsa-nccah.ca/docs/determinants/RPT-HealthInequalities-Reading-Wien-FR.pdf>

- Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik. (2015). Portrait de santé du Nunavik - Les jeunes enfants et leur famille - 2014. Gouvernement du Québec. Repéré à https://nrhss.ca/sites/default/files/Profile_Enfants_Famille_FR.pdf
- Santé Canada. (2015). Moisissures. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/contaminants-air-interieur/reduisez-humidite-et-moisissures.html>
- Santé Canada. (2016). Ligne directrice sur la qualité de l'air intérieur résidentiel : Monoxyde de carbone. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/ligne-directrice-qualite-air-interieur-residentiel-monoxyde-carbone.html>
- Santé Canada. (2018). Lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur résidentiel : monoxyde de carbone. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/lignes-directrices-qualite-air-interieur-residentiel.html>
- Santé Canada. (2019). Particules fines. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/contaminants-air-interieur/particules-fines.html>
- Schloss, P., Westcott, S., Ryabin, T., Hall, J., Hartmann, M., Hollister, E., Lesniewski, R., Oakley, B., Parks, D., Robinson, C., Sahl, J., Stres, B., Thallinger, G., Van Horn, D. et Weber, C. (2009). Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(23), 7537-7541. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/26867721_Introducing_mothur_Open-Source_Platform-Independent_Community-Supported_Software_for_Describing_and_Comparing_Microbial_Communities
- Société d'habitation du Québec. (2014). Le logement au Nunavik. Gouvernement du Québec. Repéré à <http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/publications/0000023767.pdf>
- World Health Organization. (1998). International Classification of Primary Care, Second edition (ICPC-2). Repéré à <https://www.who.int/standards/classifications/other-classifications/international-classification-of-primary-care>

Annexe 1

Liste des membres de l'équipe de recherche

L'équipe de recherche est constituée de membres de diverses organisations possédant des expertises pertinentes et complémentaires.

Nom	Titre	Fonction
Conseil national de recherches Canada (CNRC)		
Daniel Aubin	Agent de recherche	Chercheur
Boualem Ouazia	Agent de recherche	Chercheur
Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)		
Benoit Lévesque	Médecin spécialiste	Chercheur
Patrick Poulin	Conseiller scientifique spécialisé	Chercheur
Louis Poirier	Technicien	À temps partiel, recruté par le CNRC
François Tremblay	Technicien	Technicien recruté pour ~1 an par le CNRC
Marjolaine Dubé	Statisticienne	Collaboratrice
Institut universitaire de cardiologie et pneumologie de Québec (IUCPQ) et Université Laval		
Louis-Philippe Boulet	Pneumologue	Chercheur
Caroline Duchaine	Professeure-chercheure	Chercheure
François Maltais	Pneumologue	Chercheur
Marc Veillette	Microbiologiste et professionnel de recherche	Chercheur
Jodelle Alice Degois	Stagiaire post doctorale, Sentinelle-Nord	Chercheure
Société d'habitation du Québec (SHQ)		
Jean-François Gravel	Ingénieur-conseil	Collaborateur
Office municipal d'habitation Kativik (OMHK)		
Marie-France Brisson	Directrice générale	Collaboratrice
Michel Savignac	Directeur à l'entretien des bâtiments	Collaborateur, recruté à temps partiel par le CNRC
Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik (RRSSN)		
Jean-François Proulx	Médecin-conseil	Chercheur
Mario Brisson	Médecin-conseil	Collaborateur
Santé Canada (SC)		
Frédéric Valcin	Spécialiste en qualité de l'air et en santé	Collaborateur

Annexe 2

Lettre d'approbation du comité d'éthique du CNRC

Ottawa, 6 novembre 2017

Daniel Aubin, Ph.D.
CNRC - Construction
Ottawa, ON K1A 0R6

Cher Dr. Aubin :

**Re : Approbation éthique du projet 2017-48
Amélioration de la qualité de l'air intérieur dans les habitations du Nunavik : Projet
d'optimisation de la ventilation des bâtiments**

Merci d'avoir adressé les conditions imposées suite à l'examen de ce projet par le Comité d'éthique de la recherche (CÉR) du CNRC à la réunion du 27 juin 2017. Il me fait plaisir de vous confirmer l'approbation en date du 6 novembre 2017.

Cette approbation est valide pour une durée d'un an et se termine le 5 novembre 2018. Si ce projet et les éléments impliquant des êtres humains se prolongent au-delà de la date d'expiration, veuillez contacter le Secrétariat du Comité d'éthique de la recherche du CNRC ou, selon le cas, votre Conseiller en technologie industrielle du PARI-CNRC pour renouveler ou confirmer l'approbation éthique au moins trente jours avant l'expiration.

Conformément aux normes nationales en éthique de la recherche, cette approbation implique que vous soumettiez au CÉR du CNRC les informations suivantes :

- tout changement envisagé au projet ou au consentement
- tout événement indésirable affectant les participants
- une demande de renouvellement annuel si nécessaire
- un rapport final à la fin du projet.

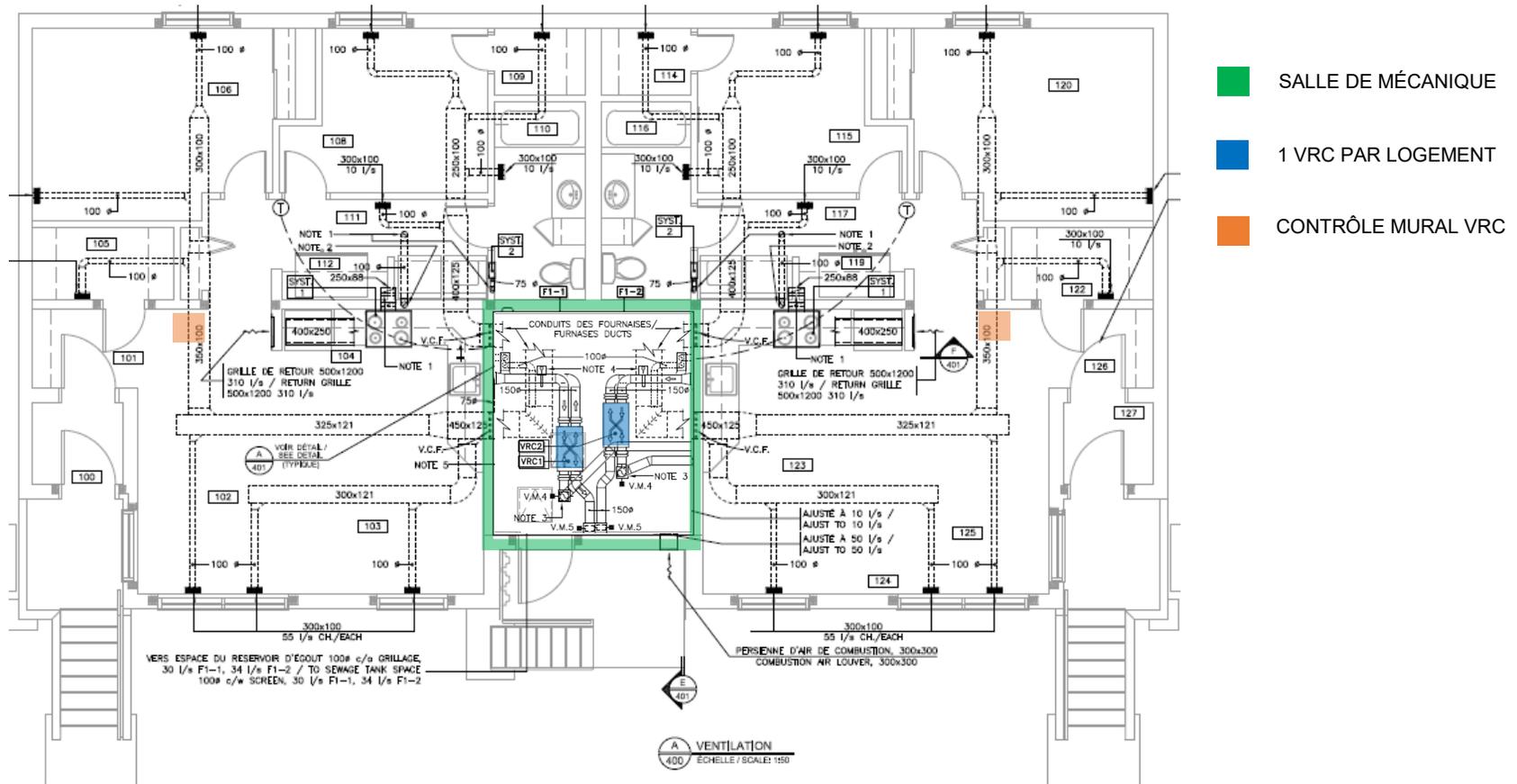
Je vous souhaite le meilleur des succès dans vos activités,

Gordon Duval, JSD
Président, Comité d'éthique de la recherche du CNRC

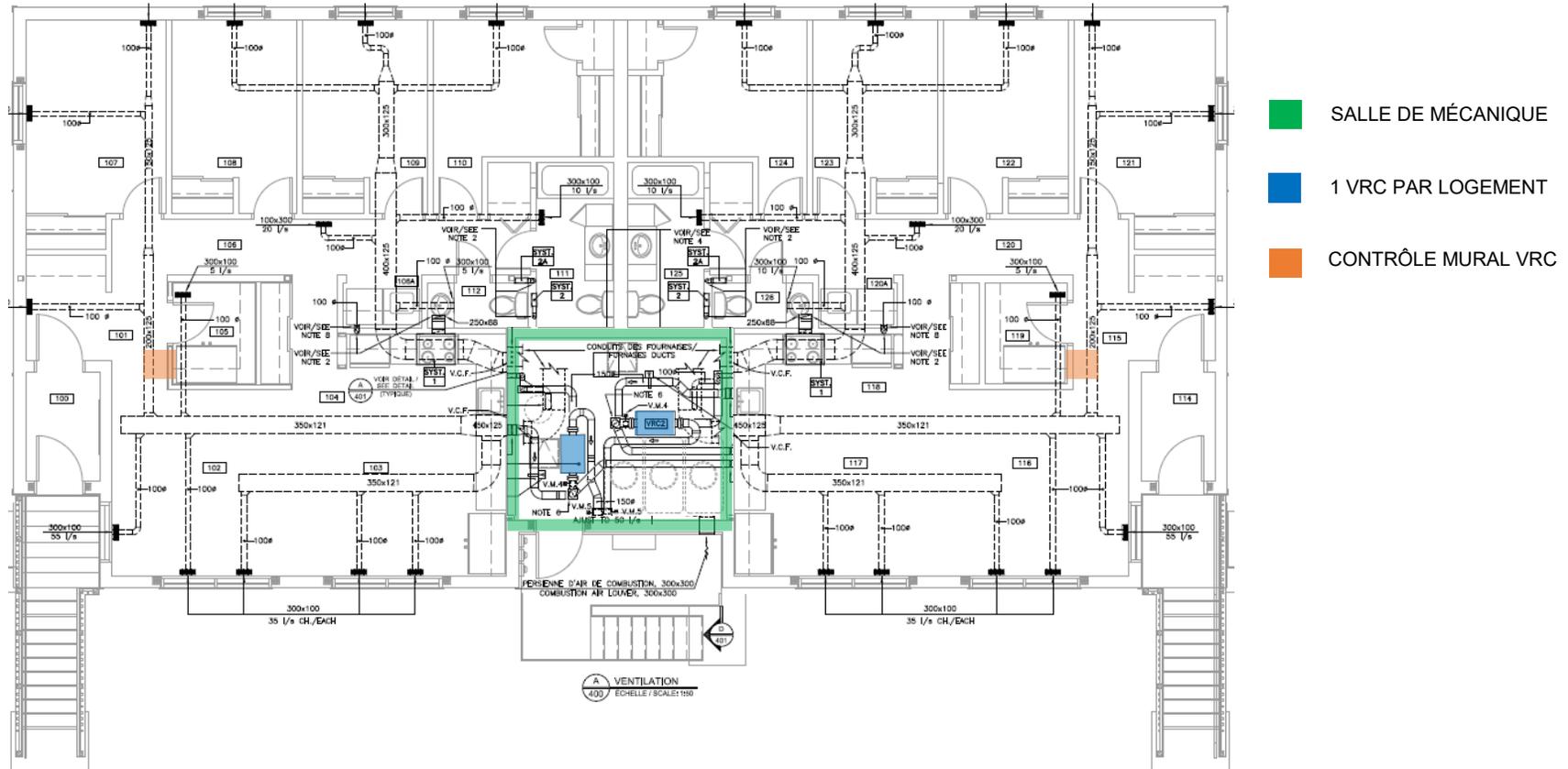
Annexe 3

Plan des bâtiments visés par l'étude

J2.2 équipé d'un VRC (Venmar Solo 2.0 ES) et d'un système de chauffage à air pulsé

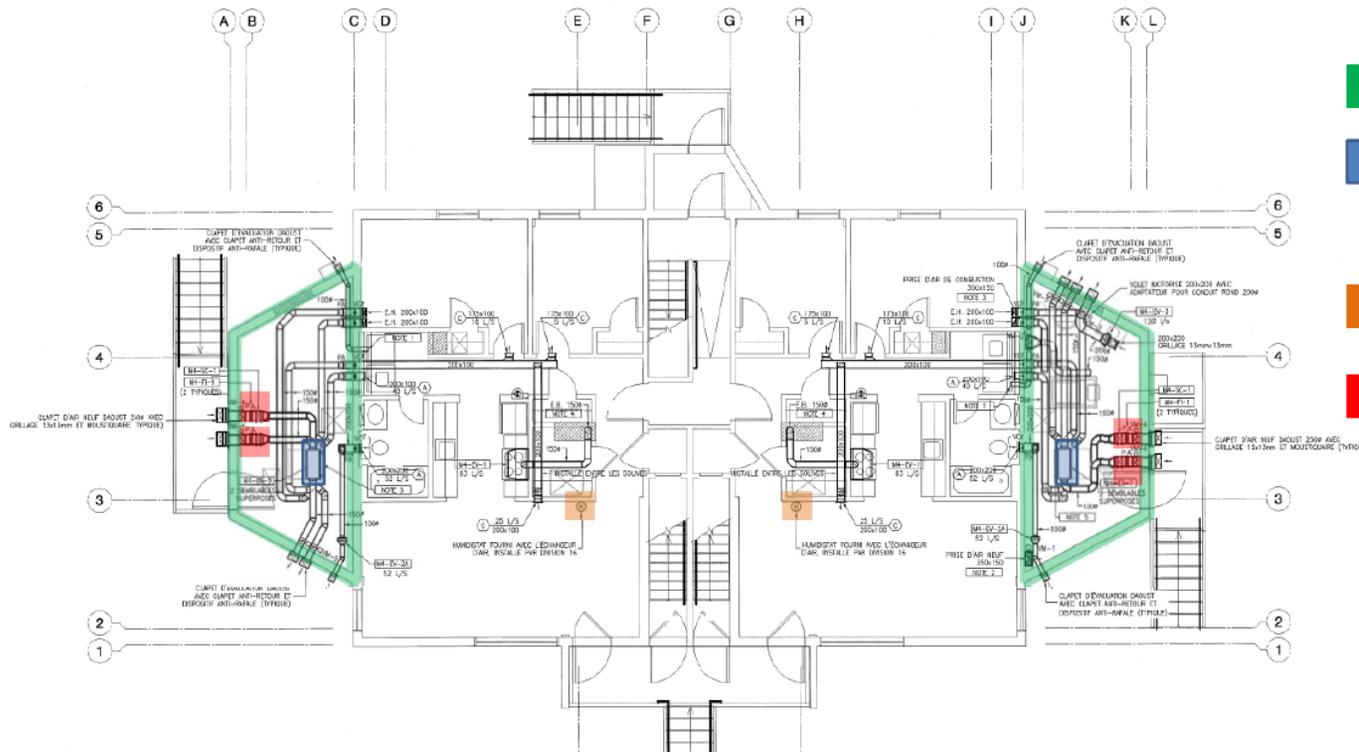


J2.4 équipé d'un VRC (vănEE 2001 HRV) et d'un système de chauffage à air pulsé



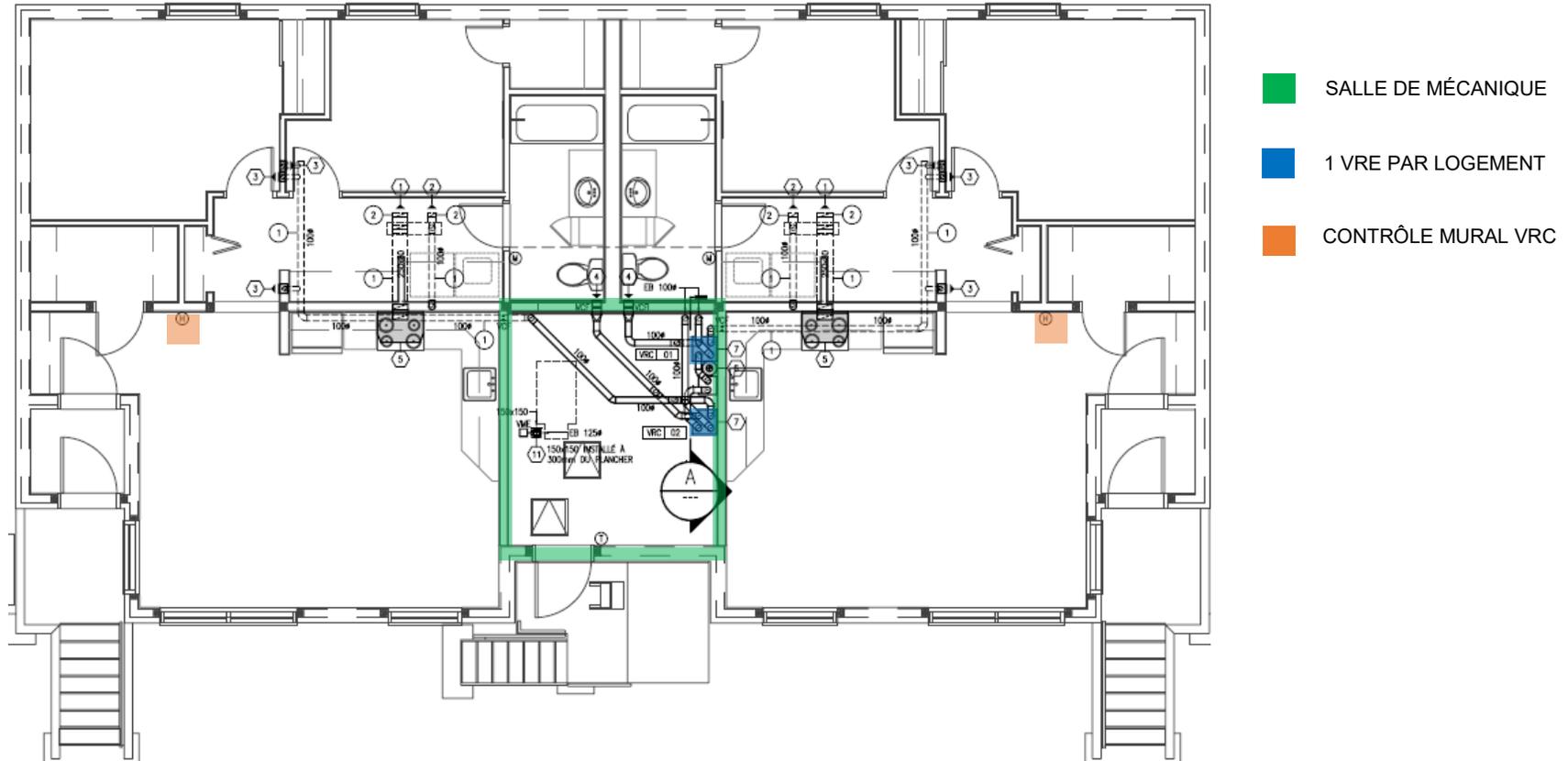
M4.2 équipé d'un VRE (RenewAire EV130) et d'un système de chauffage hydronique

4 LOGEMENTS DE 2 CHAMBRES À COUCHER (2 LOGEMENTS PAR ÉTAGE)
 30 LOGEMENTS SITUÉS À KUUJJUAQ
 SYSTÈME DE CHAUFFAGE HYDRONIQUE (PLINTHES MURALES)



- SALLE DE MÉCANIQUE
 - 1 VRE PAR LOGEMENT
MARQUE : RENEWAIRE,
MODÈLE : EV-130
2 FILTRES MERV 8
 - CONTRÔLE MURAL
VRE
 - SERPENTIN DE
PRÉCHAUFFAGE DE
L'AIR FRAIS DU VRE
- UNE SONDE DE
TEMPÉRATURE EST
SITUÉE DANS LE
CONDUIT
D'ALIMENTATION VERS
LE LOGEMENT. LE
POINT DE CONSIGNE
EST AJUSTÉ À 16°C

J2.2 équipé d'un VRE (Venmar K7 ERV) et d'un système de chauffage hydronique



Annexe 4

Lettre d'invitation destinée aux participants admissibles

Annexe 4A Groupe *intervention*

Introduction

On se questionne beaucoup sur les systèmes de chauffage et de ventilation et sur leur entretien dans un contexte de logements en milieu nordique. Le Conseil national de recherches Canada, avec la collaboration étroite de l'Institut national de santé publique du Québec, de l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et de l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), vous invite à participer à une étude portant sur l'amélioration de la ventilation dans des habitations du Nunavik et ses retombées sur la qualité de l'air intérieur ainsi que l'état de santé respiratoire des enfants.

Comment se déroulera l'étude?

L'étude vise à comparer deux groupes de logements possédant des systèmes de ventilation mécanique (groupe *intervention*) et un groupe dépourvu de ce type de système (groupe *témoin*). En tant que participant au **groupe *intervention***, l'étude implique 4 visites fixées à votre convenance entre l'automne 2017 et l'hiver 2018. Une première série de mesures sera effectuée à l'automne 2017, suivie d'une période de travaux de vérification et d'entretien des systèmes de chauffage et de ventilation le cas échéant. Une deuxième série de mesures identique à la première sera effectuée à l'hiver 2018. Un suivi rétrospectif des dossiers médicaux des enfants participant à l'étude sera effectué dans la troisième phase de l'étude, c'est-à-dire à l'automne 2018, pour vérifier la santé respiratoire des enfants.

Qui peut participer à l'étude?

Pour participer à cette étude, vous devez être âgé de 18 ans et plus et au minimum un enfant de 10 ans et moins doit faire partie du ménage. Le bâtiment doit avoir été construit à Kuujuaq ou à Puvimuituq après l'année 2000. Ces travaux de mise à niveau seront éventuellement effectués dans tous les logements, peu importe si les occupants font partie de cette étude.

De quelle façon vais-je profiter de l'étude?

Vous aurez droit à une compensation financière de 200 \$. Les systèmes de chauffage et de ventilation de votre résidence seront vérifiés et entretenus et vous recevrez un rapport individuel détaillant la qualité de l'air intérieur de votre résidence. Ce rapport inclura certaines recommandations en lien avec les observations effectuées.

Pour de plus amples informations, contactez :

Donna Davies
Coordonnatrice du projet
Office municipal d'habitation de Kativik *Note : les coordonnées complètes ont été fournies aux participants.*

Merci!

Votre participation est primordiale à la bonne réussite de cette étude et nous vous remercions à l'avance de votre collaboration. Si toutefois vous désirez ne pas vous prévaloir de cette invitation, vous êtes invités à vous manifester à la coordonnatrice du projet.

Annexe 4B Groupe *témoin*

Introduction

On se questionne beaucoup sur les systèmes de chauffage et de ventilation et sur leur entretien dans un contexte de logements en milieu nordique. Le Conseil national de recherches Canada, avec la collaboration étroite de l'Institut national de santé publique du Québec, de l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, de la Société d'habitation du Québec, de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et de l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), vous invite à participer à une étude portant sur l'amélioration de la ventilation dans des habitations du Nunavik et ses retombées sur la qualité de l'air intérieur ainsi que l'état de santé respiratoire des enfants.

Comment se déroulera l'étude?

L'étude vise à comparer deux groupes de logements possédant des systèmes de ventilation mécanique (groupe *intervention*) et un groupe dépourvu de ce type de système (groupe *témoin*). En tant que participant au **groupe témoin**, une courte visite sera nécessaire dans le but de compléter la collecte des données. Un suivi rétrospectif des dossiers médicaux des enfants participant à l'étude sera effectué à l'automne 2018 pour vérifier la santé respiratoire des enfants.

Qui peut participer?

Pour participer à cette étude, vous devez être âgé de 18 ans et plus et au minimum un enfant de 10 ans et moins doit faire partie du ménage. Le bâtiment doit avoir été construit à Kuujuaq ou à Puvimituq après l'année 2000.

De quelle façon vais-je profiter de l'étude?

En tant que participant au groupe *témoin*, vous aurez droit à une compensation financière de 50 \$. De plus, votre participation nous permettra de mieux comprendre les facteurs qui influencent la qualité de l'air intérieur et la santé respiratoire des jeunes enfants et d'élaborer des recommandations qui favoriseront la santé des Canadiens en milieu nordique.

Pour de plus amples informations, contactez :

Donna Davies

Coordonnatrice du projet

Office municipal d'habitation de Kativik

Note : les coordonnées complètes ont été fournies aux participants.

Merci!

Votre participation est primordiale à la bonne réussite de cette étude et nous vous remercions à l'avance de votre collaboration. Si toutefois vous désirez ne pas vous prévaloir de cette invitation, vous êtes invités à vous manifester à la coordonnatrice du projet.

Annexe 5

Lettre de confirmation destinée aux participants retenus

Annexe 5A Groupe *intervention*

LETTRE DE CONFIRMATION DESTINÉE AUX PARTICIPANTS VOLONTAIRES RETENUS

Projet *Ventilation-Nunavik*

Bonjour,

Merci de soutenir l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), gestionnaire de votre habitation, ainsi que l'équipe de recherche impliquée dans le projet *Ventilation-Nunavik*. Le coordonnateur du projet entrera bientôt en contact avec vous afin de planifier la première visite à votre domicile.

Tout sera mis en œuvre afin que ces travaux engendrent le moins de dérangement possible pour vous et les membres de votre famille. Une seule personne âgée de plus de 18 ans (soit la personne responsable du ménage) sera sollicitée afin de remplir de courts questionnaires. De plus, l'équipe de recherche procédera à la prise d'échantillons d'air (lors de 2 périodes de prélèvements d'une durée approximative de 7 jours) ainsi qu'à l'entretien des appareils de ventilation/chauffage desservant votre logement. Il est à noter que vous ne serez pas directement sollicités pour la réalisation de ces travaux.

Votre participation est importante, car elle permettra d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans votre logement et la santé respiratoire des personnes de votre famille. À terme, les résultats de ce projet permettront de planifier des travaux utiles à l'amélioration de tout le parc résidentiel du Nunavik.

Soyez certain que vous êtes libre de vous retirer à tout moment de l'étude et de ne pas répondre à certaines questions si vous en ressentez le besoin. De plus, nous vous rappelons qu'aucune de vos données personnelles telles que vos noms, adresses et numéros de téléphone ne seront partagées ou diffusées.

Nous réitérons nos plus sincères remerciements au regard de votre participation à l'étude.

Cordialement,

Daniel Aubin, Ph. D.
Gestionnaire du projet et chercheur principal
Opération du bâtiment intelligent
Conseil national de recherches Canada

Boualem Ouazia, Ph. D.
Chercheur principal
Opération du bâtiment intelligent
Conseil national de recherches Canada

Annexe 5B Groupe *témoin*

LETTRE DE CONFIRMATION DESTINÉE AUX PARTICIPANTS VOLONTAIRES RETENUS

Projet *Ventilation-Nunavik*

Bonjour,

Merci de soutenir l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), gestionnaire de votre habitation, ainsi que l'équipe de recherche impliquée dans le projet *Ventilation-Nunavik*. Le coordonnateur du projet entrera bientôt en contact avec vous afin de planifier la visite du technicien de projet à votre domicile afin de compléter les documents utiles.

Une seule personne âgée de plus de 18 ans (soit la personne responsable du ménage) sera sollicitée afin de remplir le questionnaire à l'égard de chacun de vos enfants âgés de 10 ans et moins participant à l'étude.

Votre participation est importante, car elle contribuera à améliorer les connaissances sur les façons d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les habitations du Nunavik pour le futur et, de façon indirecte, la santé des membres de votre communauté. À terme, les résultats de ce projet devraient aider à planifier des travaux utiles à l'amélioration de tout le parc résidentiel du Nunavik.

Soyez certain que vous êtes libre de vous retirer à tout moment de l'étude et de ne pas répondre à certaines questions si vous en ressentez le besoin. De plus, nous vous rappelons qu'aucune de vos données personnelles telles que vos noms, adresses et numéros de téléphone ne seront partagées ou diffusées.

Nous réitérons nos plus sincères remerciements au regard de votre participation à l'étude.

Cordialement,

Daniel Aubin, Ph. D.
Gestionnaire du projet et chercheur principal
Opération du bâtiment intelligent
Conseil national de recherches Canada

Boualem Ouazia, Ph. D.
Chercheur principal
Opération du bâtiment intelligent
Conseil national de recherches Canada

Annexe 6

Formulaires de consentement

Annexe 6A Groupe *intervention*

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT

Projet d'optimisation des paramètres de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les habitations du Nunavik et son impact sur la santé respiratoire des occupants (Projet *Ventilation-Nunavik*)

Le Conseil national de recherches Canada (CNRC), en collaboration avec l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), la Société d'habitation du Québec (SHQ), l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK), mènent une étude portant sur l'amélioration de la ventilation dans des habitations du Nunavik, ses retombées sur la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé respiratoire des enfants.

En quoi consiste le projet?

L'étude vise à comparer deux groupes de 24 logements avec des systèmes de ventilation différents (avec récupération de chaleur ou d'énergie) et un autre groupe de 24 logements dépourvus de système de ventilation. Deux séries de mesures de la qualité de l'air seront effectuées, soit : l'une à l'automne 2017 et l'autre à l'hiver 2018. Entre ces deux séries de mesures, la réalisation de travaux sur le système de chauffage et de ventilation sera effectuée dans le logement (le cas échéant) et des recommandations seront adressées aux occupants des trois catégories de logements concernés afin d'améliorer la qualité de l'air. Pour vérifier l'impact de ces travaux sur la qualité de l'air intérieur (QAI), on comparera les résultats des analyses d'air issus des deux séries de mesures. Pour vérifier les effets de l'amélioration de l'air intérieur sur la santé des enfants, on vérifiera les dossiers médicaux des enfants de 10 ans et moins pour documenter les problèmes respiratoires (infections respiratoires, bronchospasme et asthme) avant et après l'intervention. On comparera les problèmes respiratoires des enfants vivant dans les trois types d'habitation (groupe *intervention*) à un groupe *témoin* d'environ 30 enfants vivant dans des logements sans système de ventilation et sans *intervention* (groupe *témoin*). Les résultats de cette étude visent à identifier les meilleures pratiques pouvant être appliquées au milieu de l'habitation nordique au regard de l'amélioration de la QAI, dans le souci d'améliorer la santé des occupants, en particulier les enfants. Vous faites partie du groupe ***intervention***.

Quelles mesures seront effectuées dans mon logement?

Un certain nombre de paramètres de l'air intérieur seront mesurés à l'intérieur de votre résidence avant et après les travaux d'amélioration des équipements de chauffage et de ventilation. Voici la liste : température, humidité relative, concentration de contaminants (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, composés organiques volatils, particules fines, charge microbienne), débit des appareils de chauffage et de ventilation, évaluation de l'étanchéité du logement. Les appareils de mesure utilisés seront placés de manière à ce qu'ils ne nuisent pas à vos activités habituelles et ne présentent aucun danger pour vous et votre famille.

De façon complémentaire, vous aurez à répondre à un court questionnaire qui vise à recueillir des informations sur divers comportements et habitudes des membres de votre ménage qui pourraient avoir un effet sur la QAI de votre logement. Remplir le questionnaire de base devrait vous prendre environ 10 minutes.

Que devrais-je faire concernant mon ou mes enfant(s)?

Le volet santé de cette étude porte sur l'analyse des problèmes respiratoires des enfants contenus dans les dossiers médicaux des enfants pour lesquels les parents (ou tuteurs légaux) auront accordé leur consentement. Pour permettre de vérifier ces renseignements, il vous est demandé, pour chacun des enfants de votre famille âgés de 0 à 10 ans, de nous indiquer la date de naissance, le sexe et le numéro de dossier médical. Sachez que tous ces renseignements seront traités avec la plus stricte confidentialité, que seules les données de santé pertinentes seront collectées et qu'aucun identifiant ne sera enregistré dans le cadre de cet examen.

Quels avantages vais-je retirer de l'étude?

Vous aurez droit à une compensation financière relative à votre contribution au projet, c'est-à-dire 200 \$ pour les participants du groupe *intervention*. À partir des résultats des mesures qui seront effectuées dans votre logement, certaines améliorations des dispositifs de ventilation en place seront effectuées afin d'améliorer la QAI de votre logement. Vous bénéficierez donc directement de ces améliorations. Dans une perspective plus large, vous contribuerez à améliorer les connaissances sur les façons d'améliorer la QAI dans les habitations du Nunavik pour le futur et, de façon indirecte, la santé des membres de votre communauté.

Quels sont les torts, blessures, inconforts et désagréments possibles de la participation à l'étude?

La participation à ce projet n'engendrera aucun tort ou inconfort à vous, à votre famille et autres occupants de votre logement. Les désagréments potentiels associés à la réalisation de l'étude sont les visites de techniciens dans votre résidence (4 au total, d'une durée approximative de 45 minutes) et la présence d'équipements de mesure lors des périodes d'échantillonnage (2 fois 7 jours pour une durée totale de 14 jours). Quelques appareils peuvent faire un léger bruit, similaire au fonctionnement d'un ventilateur de table de petite dimension. Le temps que vous prendrez pour répondre aux deux questionnaires (habitudes des occupants, coordonnées des enfants) est également à considérer.

Puis-je me retirer de l'étude en cours de route?

Si vous ne vous sentez plus à l'aise de participer à l'étude ou si vous n'êtes plus disponible, vous pourrez vous retirer à n'importe quel moment sans aucun préjudice et sur la base d'un simple avis verbal.

Mes renseignements personnels seront-ils protégés?

Toute l'information que vous allez fournir demeurera strictement confidentielle, en conformité avec la Loi provinciale sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels. Les données seront saisies et enregistrées dans un ordinateur sécurisé et seul votre numéro de participant sera conservé lors du traitement de ces données (pas votre nom). Vos informations personnelles seront conservées pour une période de cinq ans, après laquelle les documents seront détruits.

Consentement et signature

Par ma signature, je reconnais ce qui suit :

	Réponse (veuillez encercler la réponse appropriée)	
Que je suis d'accord pour participer à l'étude.	Oui	Non
Que l'on m'a expliqué l'étude.	Oui	Non
Que l'on a répondu à toutes mes questions.	Oui	Non
Que je comprends mon droit de refuser de participer et mon droit de me retirer à tout moment.	Oui	Non
Que j'ai le choix de ne pas répondre à certaines questions.	Oui	Non
Que je suis libre de poser des questions, maintenant et à l'avenir.	Oui	Non
Que j'ai été informé que mes renseignements personnels resteront confidentiels.	Oui	Non
Que je consens à ce que des photos soient prises dans ma résidence si nécessaire.	Oui	Non
Je consens à permettre la consultation des dossiers médicaux de mes enfants impliqués à l'étude.	Oui	Non

Signature

Date (aaaa/mm/jj)

Nom du participant : _____

Numéro du participant : NUNAVIK - _____ - _____

Téléphone (résidence) : _____

Téléphone (cellulaire ou bureau) : _____

Adresse postale :

SIGNATURE DE L'ASSISTANT DE RECHERCHE

J'ai expliqué le formulaire de consentement au participant, j'ai répondu à toutes ses questions et je lui ai expliqué que sa participation est libre et volontaire.

Nom de l'assistant de recherche

Signature

Date (aaaa/mm/jj)

ENGAGEMENT DES CHERCHEURS PRINCIPAUX

Nous certifions que nous avons expliqué au participant les termes du présent formulaire de consentement, que l'on a répondu à ses questions et qu'on lui a clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice. Nous nous engageons avec l'équipe de recherche à respecter ce qui a été convenu dans le formulaire de consentement et à en remettre une copie signée par l'assistant de recherche autorisé au participant.

Annexe 6B Groupe *témoin*

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT

Projet d'optimisation des paramètres de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les habitations du Nunavik et son impact sur la santé respiratoire des occupants (Projet *Vent-Nunavik*)

Le Conseil national de recherches Canada (CNRC), en collaboration avec l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), la Société d'habitation du Québec (SHQ), l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK), mènent une étude portant sur l'amélioration de la ventilation dans des habitations du Nunavik, ses retombées sur la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé respiratoire des enfants. Vous avez d'ailleurs été sollicité par l'OMHK pour participer à cette étude.

En quoi consiste le projet?

L'étude vise à comparer deux groupes de 24 logements avec des systèmes de ventilation différents (avec récupération de chaleur ou d'énergie) et un autre groupe de 24 logements dépourvus de système de ventilation. Deux séries de mesures de la qualité de l'air seront effectuées, soit : l'une à l'automne 2017 et l'autre à l'hiver 2018. Entre ces deux séries de mesures, la réalisation de travaux sur le système de chauffage et de ventilation sera effectuée dans le logement (le cas échéant) et des recommandations seront adressées aux occupants des trois catégories de logements concernés afin d'améliorer la qualité de l'air. Pour vérifier l'impact de ces travaux sur la qualité de l'air intérieur (QAI), on comparera les résultats des analyses d'air issus des deux séries de mesures. Pour vérifier les effets de l'amélioration de l'air intérieur sur la santé des enfants, on vérifiera les dossiers médicaux des enfants de 10 ans et moins pour documenter les problèmes respiratoires (infections respiratoires, bronchospasme et asthme) avant et après l'intervention. On comparera les problèmes respiratoires des enfants vivant dans les trois types d'habitation (groupe *intervention*) à un groupe *témoin* d'environ 30 enfants vivant dans des logements sans système de ventilation et sans *intervention* (groupe *témoin*). Les résultats de cette étude visent à identifier les meilleures pratiques pouvant être appliquées au milieu de l'habitation nordique au regard de l'amélioration de la QAI, dans le souci d'améliorer la santé des occupants, en particulier les enfants. Vous faites partie du **groupe *témoin***.

Quelles mesures seront effectuées dans mon logement?

Pour les logements du groupe *témoin*, il n'y aura pas d'échantillonnage environnemental.

Que devrais-je faire concernant mon ou mes enfant(s)?

Le volet santé de cette étude porte sur l'analyse des problèmes respiratoires des enfants contenus dans les dossiers médicaux des enfants pour lesquels les parents (ou tuteurs légaux) auront accordé leur consentement. Pour permettre de vérifier ces renseignements, il vous est demandé, pour chacun des enfants de votre famille âgés de 0 à 10 ans, de nous indiquer la date de naissance, le sexe et le numéro de dossier médical. Sachez que tous ces renseignements seront traités avec la plus stricte confidentialité, que seules les données de santé pertinentes seront collectées et qu'aucun identifiant ne sera enregistré dans le cadre de cet examen.

Quels avantages vais-je retirer de l'étude?

Vous aurez droit à une compensation financière relative à votre contribution au projet, c'est-à-dire 50 \$ pour les participants du groupe *témoin*. Vous contribuerez aussi à améliorer les connaissances sur les façons d'améliorer la QAI dans les habitations du Nunavik pour le futur et, de façon indirecte, la santé des membres de votre communauté.

Quels sont les torts, blessures, inconforts et désagréments possibles de la participation à l'étude?

La participation à ce projet n'engendrera aucun tort ou inconfort à vous, à votre famille et autres occupants de votre logement hormis le temps que vous prendrez pour compléter la documentation et le questionnaire. Ceci devrait prendre de 15 à 30 minutes.

Puis-je me retirer de l'étude en cours de route?

Si vous ne vous sentez plus à l'aise de participer à l'étude ou si vous n'êtes plus disponible, vous pourrez vous retirer à n'importe quel moment sans aucun préjudice et sur la base d'un simple avis verbal.

Mes renseignements personnels seront-ils protégés?

Toute l'information que vous allez fournir demeurera strictement confidentielle, en conformité avec la Loi provinciale sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels. Les données seront saisies et enregistrées dans un ordinateur sécurisé et seul votre numéro de participant sera conservé lors du traitement de ces données (pas votre nom). Vos informations personnelles seront conservées pour une période de cinq ans, après laquelle les documents seront détruits.

Consentement et signature

Par ma signature, je reconnais ce qui suit :

Réponse
(veuillez encercler la réponse appropriée)

Que je suis d'accord pour participer à l'étude.	Oui	Non
Que l'on m'a expliqué l'étude.	Oui	Non
Que l'on a répondu à toutes mes questions.	Oui	Non
Que je comprends mon droit de refuser de participer et mon droit de me retirer à tout moment.	Oui	Non
Que j'ai le choix de ne pas répondre à certaines questions.	Oui	Non
Que je suis libre de poser des questions, maintenant et à l'avenir.	Oui	Non
Que j'ai été informé que mes renseignements personnels resteront confidentiels.	Oui	Non
Je consens à permettre la consultation des dossiers médicaux de mes enfants impliqués à l'étude.	Oui	Non

Signature

Date (aaaa/mm/jj)

Nom du participant : _____

Téléphone (résidence) : _____

Téléphone (cellulaire ou bureau) : _____

Adresse postale :

Numéro du participant : NUNAVIK - _____ - _____

SIGNATURE DE L'ASSISTANT DE RECHERCHE

J'ai expliqué le formulaire de consentement au participant, j'ai répondu à toutes ses questions et je lui ai expliqué que sa participation est libre et volontaire.

Nom de l'assistant de recherche

Signature

Date (aaaa/mm/jj)

ENGAGEMENT DES CHERCHEURS PRINCIPAUX

Nous certifions que nous avons expliqué au participant les termes du présent formulaire de consentement, que l'on a répondu à ses questions et qu'on lui a clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice. Nous nous engageons avec l'équipe de recherche à respecter ce qui a été convenu dans le formulaire de consentement et à en remettre une copie signée par l'assistant de recherche autorisé au participant.

Annexe 7

Feuillelet d'information à l'intention des ménages participant

Annexe 7A Groupe *intervention*

FEUILLET D'INFORMATION À L'INTENTION DES MÉNAGES PARTICIPANT

Numéro du participant : NUNAVIK - _____ - _____

Horaire des visites à votre résidence :

	Automne 2017		Hiver 2018	
VISITES	Visite #1	Visite #2	Visite #3	Visite #4
	Installation	Retrait	Installation	Retrait
Date (AAAA/MM/JJ)				
Heure du rendez-vous				
Nom des techniciens				

Pourquoi réaliser cette étude?

Le Conseil national de recherches Canada, avec la collaboration étroite de l'Institut national de santé publique du Québec, de l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, de la Société d'habitation du Québec, de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et de l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), a développé un projet dont le but est l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les habitations du Nunavik. De façon plus spécifique, l'étude vise à comparer l'efficacité relative de différents types d'installations de chauffage/ventilation/purification (optimisé et non optimisé) sur la base de paramètres reliés à la qualité de l'air intérieur et à la santé respiratoire des jeunes enfants.

Qui peut participer à l'étude?

Pour participer à cette étude, vous devez être âgé de 18 ans et plus et au minimum un enfant de 10 ans et moins doit faire partie du ménage. Le ménage doit occuper un bâtiment résidentiel et doit être situé dans les villages de Kuujuaq et Puvimituq.

Déroulement général de l'étude

L'étude vise à comparer deux catégories de logements possédant des systèmes de ventilation mécanique (groupe *intervention*) et une catégorie dépourvue de ce type de système (groupe *témoin*). En tant que participant au **groupe *intervention***, l'étude implique 4 visites fixées à votre convenance entre l'automne 2017 et l'hiver 2018. Une première série de mesures sera effectuée à l'automne 2017, suivie d'une période de travaux de vérification et d'entretien des systèmes de chauffage et de ventilation le cas échéant. Une deuxième série de mesures identiques à la première sera effectuée à l'hiver 2018. Un suivi rétrospectif des dossiers médicaux des enfants participant à l'étude sera complété dans la troisième phase de l'étude, c'est-à-dire à l'automne 2018, pour vérifier la santé respiratoire des enfants lors de l'étude.

En quoi consisterait ma participation à cette étude?

En tant que participant au groupe *intervention*, vous aurez à accueillir les techniciens qui feront des prélèvements de l'air et de poussières (voir les tableaux des paramètres mesurés à la fin de ce texte) à 2 reprises dans votre habitation (1 fois à l'automne 2017 et 1 fois à l'hiver 2018). Vous serez également invités à laisser en place, sur une période de 7 jours, des appareils de mesures qui permettront l'évaluation de la qualité de l'air intérieur. Lors de la seconde série de mesures, vous serez également invités à poser des gestes qui favoriseront la qualité de l'air intérieur. À la fin de chacune des périodes d'échantillonnage, vous devrez également remplir un court questionnaire d'environ 10 minutes portant sur les habitudes et comportements des occupants qui pourraient avoir une incidence sur la qualité de l'air intérieur. Finalement, vous devrez remplir un bref questionnaire d'identification de chacun des enfants âgés de 0 à 10 ans de votre ménage et autoriser les médecins chercheurs et le personnel médical autorisé et formé à consulter le dossier médical de chacun des enfants participant à l'étude pour recueillir les informations concernant les infections respiratoires survenues au cours des dernières années.

Est-ce que le projet entraînera des changements dans le suivi médical de mon enfant?

Non. Ce sont seulement les données de la revue du dossier médical de votre enfant concernant les affections respiratoires qui seront utilisées pour l'étude.

Quels sont les avantages pour moi et mon (mes) enfant (s) de participer à cette étude?

Les systèmes de chauffage et de ventilation de votre résidence seront vérifiés et entretenus. Vous aurez l'opportunité d'obtenir un portrait de la qualité de l'air intérieur et de la ventilation intérieure de votre habitation, sans aucuns frais. Vous pourrez obtenir des conseils de base pratiques et sans frais pour améliorer les conditions intérieures de votre habitation, si celles-ci ne sont pas adéquates. Vous aurez droit à une compensation financière de 200 \$ en guise de compensation pour le temps et le dérangement occasionnés par votre participation à l'étude.

Quels sont les inconvénients ou les risques de participer à cette étude?

Il vous faudra consacrer 1 à 2 heures pour compléter la collecte de données.

Il vous faudra accueillir des techniciens qui prendront des échantillons d'air et de poussière à votre domicile à deux reprises au cours du projet. Il n'y a pas de risque associé à votre participation à l'étude.

Sera-t-il possible pour moi de me retirer du projet si je le désire?

Oui, tout à fait. Vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps, sans conséquence négative pour vous et sans avoir à justifier votre décision.

Pourrais-je obtenir les résultats qui concernent mon logement?

Oui. Les responsables du projet ont prévu de remettre aux participants un court rapport présentant les résultats de l'échantillonnage et leur signification.

Si j'ai besoin de plus d'information, à qui dois-je m'adresser?

Donna Davies

Coordonnatrice du projet

Office municipal d'habitation de Kativik Note : les coordonnées complètes ont été fournies aux participants.

Mesures et paramètres analysés lors de cette étude

Les mesures effectuées dans votre résidence sont regroupées en quatre grandes catégories*.

■ Mesures de ventilation et d'infiltration d'air de la résidence

Mesure	Durée de l'échantillonnage
Taux d'échange d'air par un gaz traceur le perfluorocarbone (PFT)	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Apport d'air dans la résidence	Le test prend une quinzaine de minutes à réaliser
Test d'infiltration d'air	Le test prend ~1 heure à réaliser (effectué à l'automne 2017)

■ Mesures des paramètres physiques

Mesure	Durée de l'échantillonnage
Température de l'air dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Humidité relative dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Mesure des concentrations de particules dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours

■ Mesures des paramètres chimiques

Mesure	Durée de l'échantillonnage
Monoxyde de carbone (CO) dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Dioxyde de carbone (CO ₂) dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Composés organiques volatils (COV) dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours
Aldéhydes dans la résidence	Échantillonnage sur une période de 7 jours

■ Mesures des paramètres biologiques

Mesure	Durée de l'échantillonnage
Abondance microbienne totale dans l'air de la résidence	65 min
Principales espèces de bactéries dans l'air de la résidence	65 min
Endotoxines	10 min

* Il est à noter que plusieurs de ces tests se feront simultanément.

Annexe 7B Groupe *témoin*

FEUILLET D'INFORMATION À L'INTENTION DES MÉNAGES PARTICIPANT

Pourquoi réaliser cette étude?

Le Conseil national de recherches Canada, avec la collaboration étroite de l'Institut national de santé publique du Québec, de l'Institut de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval, de la Société d'habitation du Québec, de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik et de l'Office municipal d'habitation de Kativik (OMHK), a développé un projet dont le but est l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les habitations du Nunavik. De façon plus spécifique, l'étude vise à comparer l'efficacité relative de différents types d'installations de chauffage/ventilation/purification (optimisé et non optimisé) sur la base de paramètres liés à la qualité de l'air intérieur et à la santé respiratoire des jeunes enfants.

Qui peut participer à l'étude?

Pour participer à cette étude, vous devez être âgé de 18 ans et plus et au minimum un enfant de 10 ans et moins doit faire partie du ménage. Le ménage doit occuper un bâtiment résidentiel situé dans les villages de Kuujuaq et Puvirnituq.

Déroulement général de l'étude

L'étude vise à comparer deux catégories de logements possédant des systèmes de ventilation mécanique (groupe *intervention*) et une catégorie dépourvue de ce type de système (groupe *témoin*). Pour le groupe *intervention*, 4 visites sont prévues pour prendre des prélèvements d'air. Cependant, en tant que participant au **groupe témoin**, une seule courte visite d'environ 15 à 30 minutes est nécessaire dans le but de compléter la collecte des données. Un suivi rétrospectif des dossiers médicaux des enfants participant à l'étude sera effectué à l'automne 2018 pour vérifier la santé respiratoire des enfants lors de l'étude.

En quoi consisterait ma participation à de cette étude?

Les participants au groupe *témoin* ont à remplir un bref questionnaire d'identification de chacun des enfants âgés de 0 à 10 ans participants à l'étude et autoriser les médecins chercheurs et le personnel médical autorisé et formé à consulter le dossier médical de chacun des enfants participant pour recueillir les informations concernant les infections respiratoires survenues au cours des dernières années.

Est-ce que le projet entraînera des changements dans le suivi médical de mon enfant?

Non. Ce sont seulement les données de la revue du dossier médical de votre enfant concernant les affections respiratoires qui seront utilisées pour l'étude.

Quels sont les avantages pour moi et mon (mes) enfant (s) de participer à cette étude?

Vous aurez droit à une compensation financière de 50 \$ en guise de rétribution pour le temps et le dérangement occasionnés par votre participation à l'étude. Vous contribuerez aussi à améliorer les connaissances sur les façons d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les habitations du Nunavik pour le futur et, de façon indirecte, la santé des membres de votre communauté.

Quels sont les inconvénients ou les risques de participer à cette étude?

Il vous faudra consacrer une courte période de temps (environ 15 à 30 minutes) à la rencontre avec le technicien de l'étude pour compléter la collecte de données. Il n'y a pas de risque associé à votre participation à l'étude.

Sera-t-il possible pour moi de me retirer du projet si je le désire?

Oui, tout à fait. Vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps sans conséquence négative pour vous et sans avoir à justifier votre décision.

Si j'ai besoin de plus d'information, à qui dois-je m'adresser?

Donna Davies

Coordonnatrice du projet

Office municipal d'habitation de Kativik

Note : les coordonnées complètes ont été fournies aux participants.

Annexe 8

Formulaire de renonciation à la participation au projet

Nom complet du répondant : _____

Numéro du répondant : NUNAVIK - _____ - _____

Adresse : _____

Numéro de téléphone : _____

Par la présente, je désire me retirer du projet de recherche portant sur l'optimisation de la ventilation dans les habitations du Nunavik.

Je demande à ce que les informations personnelles me concernant, les mesures physico-chimiques et microbiologiques effectuées dans ma résidence ainsi que les informations cumulées par l'équipe de recherche relativement aux habitudes et comportements du ménage soient détruites dans les plus brefs délais.

De plus, les informations relatives aux dossiers médicaux des enfants de mon ménage participant à l'étude ne seront plus consultées et les informations déjà cumulées par l'équipe de recherche seront également détruites.

Par ailleurs, l'équipe de recherche se réserve le droit de conserver et d'utiliser les données qui concerne le bâtiment que vous habitez ainsi que ses équipements de ventilation et de chauffage, détenus et régis par l'OMHK.

En date du : _____

Signé à : _____

Signature : _____

Annexe 9
Formulaire d'inspection

Numéro du participant : NUNAVIK - _____ - _____

Nom de l'inspecteur : _____

Date de l'inspection : _____

Bâtiment

Quel type de bâtiment et de système :

J2.2 sans système

J2.2 avec VCR J2.4 avec VRC

J2.2 avec VRE M4.2 avec VRE

Quel est l'état général de l'enveloppe extérieure :

Quel est l'état des fenêtres :

Quel est l'état général de l'intérieur :

Systemes mécaniques

Présence de poussière à la sortie ou à l'entrée des systèmes de ventilation ou de chauffage :

Oui Non

Registre(s) de ventilation et/ou de chauffage obstrué(s) :

Oui Non

État des extracteurs d'air :

Salle de bain :

Hotte de cuisine : Raccordée à l'extérieur Non raccordée

Sortie de sècheuse : Raccordée à l'extérieur Non raccordée ou fuite majeure

Présence d'un humidificateur portatif :

Oui

Non

Présence d'un déshumidificateur :

Oui

Non

Humidité/moisissures

Humidité excessive (condensation) :

Odeur d'humidité :

Oui

Non

Moisissures :

Aucune trace

Surface < à 10 cm²

Surface > à 10 cm²

Autres constatations

Odeur de cigarette :

Oui

Non

Entreposage de matériel important :

Oui

Non

Présence de réservoir(s) d'hydrocarbures dans la résidence :

Oui

Non

Présence d'animaux à l'intérieur de la résidence :

Oui

Non

Présence de tapis à l'intérieur de la résidence :

Oui

Non

Annexe 10

Questionnaire sur les habitudes et le comportement des occupants

Numéro du participant : NUNAVIK - _____ - _____

Nom de l'inspecteur : _____

Date de l'inspection : _____

Enfants de ma maisonnée

Nombre d'enfant(s) de moins de 10 ans (admissibles) : _____

Nom et sexe de l'enfant admissible : _____

Date de naissance de l'enfant admissible : _____

Numéro de dossier médical de l'enfant admissible : _____

Nom et sexe de l'enfant admissible : _____

Date de naissance de l'enfant admissible : _____

Numéro de dossier médical de l'enfant admissible : _____

Nom et sexe de l'enfant admissible : _____

Date de naissance de l'enfant admissible : _____

Numéro de dossier médical de l'enfant admissible : _____

Nom et sexe de l'enfant admissible : _____

Date de naissance de l'enfant admissible : _____

Numéro de dossier médical de l'enfant admissible : _____

Mode d'occupation

Nombre de personnes qui dorment dans la résidence quotidiennement : _____

Fréquence d'utilisation de la douche (par jour) : _____

Fréquence d'utilisation de la hotte de salle de bain (par jour) : _____

Fréquence d'utilisation de la cuisinière (par jour) : _____

Fréquence d'utilisation de la hotte de cuisine (# par jour) : _____

Fréquence d'utilisation de la ventilation naturelle (# heure par jour) : _____

Mode d'utilisation de la ventilation centralisée (High/Auto/% Hum/Off) : _____

Positionnement du thermostat (°C ou °F) : _____

Perception (demandez, si possible, à la personne responsable du foyer)

Sécheresse (O/N) : _____

Inconfort thermique (O/N) : _____

Inconfort acoustique (O/N) : _____

Odeurs désagréables (O/N) : _____

Comportements

Est-ce qu'on fume dans le logement? (# pers, par jour) : _____

Bricolage et artisanat (coupe, collage, peinture) (O/N) : _____

Transformation de produits de la chasse (dépeçage, tannage) (O/N) : _____

Comment sèche-t-on le linge (sècheuse, intérieure ou extérieure)? : _____

Annexe 11

Protocole d'échantillonnage abrégé

Paramètres physico-chimiques

Paramètres de confort (température, humidité relative [HR]) et concentrations de monoxyde de carbone [CO] et de dioxyde de carbone [CO₂]

Ces paramètres fondamentaux de la qualité de l'air intérieur ont été évalués à l'aide d'appareils à lecture continue de type HOBO. Ce type d'appareil est constitué d'un enregistreur de données muni de 4 entrées externes, d'un capteur de température, d'une sonde à humidité, d'un capteur de CO, d'un capteur de CO₂ ainsi que d'un bloc d'alimentation de 24 V. Ces appareils ont été installés à environ 1 m du sol dans un meuble de rangement encastré et disposé non loin de la salle familiale des logements investigués. Ceux-ci ont enregistré une mesure à toutes les minutes sur une durée approximative de 7 jours. Une fois la période d'échantillonnage terminée, les appareils ont été retirés et les données ont été extraites à l'aide du logiciel HOBOWare Pro puis exportées en format CSV pour traitement ultérieur.

Particules microniques (PM_{2,5})

La concentration des PM_{2,5} (de diamètre égal ou inférieur à 2,5 microns) a été évaluée à l'aide d'appareils de type DustTrak™ (modèle 8520, TSI, ST Paul, MN), procurant une mesure de l'abondance relative intégrée à chaque intervalle de 1 minute. Il est à noter que des mesures ont été effectuées dans les milieux intérieurs ciblés ainsi qu'en milieux extérieurs. Des blancs analytiques et les duplicatas ont été installés aléatoirement à l'intérieur pour les mesures gravimétriques, et ce, dans une proportion atteignant 10 % de la taille totale de l'échantillon. La limite de détection de l'appareil était de 0,001 mg/m³, et l'incertitude sur la mesure de 0,1 %.

Ventilation

Les émetteurs PFT et les capteurs passifs (CATS) ont été utilisés pour déterminer le taux d'infiltration et d'exfiltration d'air à l'intérieur des logements à l'étude. À la suite de l'entreposage et du transport des émetteurs et des capteurs de façon adéquate (c'est-à-dire maintenus séparés en tout temps), ceux-ci étaient placés dans la salle de séjour des logements investigués à environ 1,25 m à 1,8 m du sol, mais pas plus près que 1,5 m du mur extérieur. Ceux-ci étaient apposés sur un mur intérieur de la salle de séjour à l'aide de ruban adhésif loin de toute source de chaleur, de lumière directe, d'une porte ou d'une fenêtre. Par la suite, les capteurs étaient installés dans la salle de séjour en prenant soin de noter la date et l'heure à laquelle le bouchon protecteur était retiré (ce qui marquait le début de l'échantillonnage). Une fois la période d'échantillonnage d'environ une semaine écoulée, les capteurs étaient récupérés et leur bouchon était remis en place. La date et l'heure du retrait étaient inscrites au registre de terrain. Les émetteurs étaient également retirés et entreposés adéquatement

Composés organiques volatils (COV) Trois cartouches (tubes) imprégnées de 2,4-dinitrophénylhydrazine (ou 2,4-DNPH ou réactif de Brady; Sep-Pak Xposure, Waters Ltd.) ont été déployés dans chacun des logements investigués. Alors que l'une d'entre elles a été utilisée à titre de blanc de terrain, les deux autres ont été utilisées à titre de répliqua. Les cartouches devaient d'abord atteindre la température de la pièce avant que celles-ci ne soient retirées de leur sac protecteur et que les bouchons ne soient retirés afin d'exposer l'agent réactif à l'air ambiant. Les cartouches étaient ensuite disposées ensemble dans une boîte de pétri et déposées sur une étagère du meuble de rangement encastré non loin de la salle familiale des logements investigués. Celles-ci devaient être installées à 1 mètre au-dessus du sol, à au moins 1 mètre d'une fenêtre ou d'un conduit de ventilation et hors d'atteinte des enfants et des animaux de compagnie. La date et l'heure d'installation étaient consignées dans un registre de terrain. À la suite de la période d'échantillonnage d'une durée approximative d'une semaine, les bouchons étaient replacés sur les tubes. L'heure et la date de la fin de l'échantillonnage étaient notées. Les tubes dûment identifiés étaient ensuite

replacés dans leur sac protecteur et entreposés à 4 °C à l'abri de la lumière. Une glacière était utilisée pour assurer des conditions de transport adéquates.

Charge microbienne aéroportée et sédimentée

Pour la prise des échantillons d'air, les échantillonneurs à haut débit ont été placés en hauteur, sur une table ou un comptoir dans la salle de vie du logement, pour un volume final de 20 min 3 s d'air collecté (les particules d'air sont collectées sur un filtre électrostatique). En parallèle, des prélèvements de poussières ont été réalisés par aspiration sur un filtre en polycarbonate dans une cassette fermée via une pompe de prélèvement d'air SKC. Le temps de latence entre les deux phases de prélèvement (avant et après l'intervention) étant trop court pour avoir une influence sur la poussière, seul l'échantillon prélevé avant l'intervention a été traité pour les analyses biologiques.

En amont des analyses, les filtres contenant les échantillons d'air ont été traités avec un tampon adéquat permettant l'élution des particules présentes sur le filtre électrostatique. En parallèle, les échantillons de poussières ont été conditionnés dans une chambre environnementale, puis la quantité de poussière présente, sur le filtre et dans la cassette fermée, a été pesée. Les particules biologiques ont ensuite été extraites de la poussière par agitation dans un tampon adéquat. Pour tous les types d'échantillons, deux aliquotes ont été préparées : une pour l'analyse des endotoxines et une pour l'extraction d'ADN en vue des analyses de biologie moléculaire (quantification des micro-organismes et analyse de la biodiversité microbienne). L'ADN a été extrait avec un kit commercial selon les indications du fabricant.

Les concentrations en bactéries totales et en *Penicillium* et en *Aspergillus* ont été quantifiées. Ces genres fongiques sont des marqueurs de la contamination fongique de l'air intérieur. C'est pourquoi ils ont été spécifiquement quantifiés dans le cadre du projet. La quantification de la charge microbienne a été réalisée de la même manière dans les échantillons d'air et dans ceux de poussière sédimentée. Les concentrations en bactéries totales ont été mesurées par réaction de polymérisation en chaîne quantitative (qPCR), en ciblant les régions variables V4-V5 du gène ribosomique 16S, qui est le marqueur de référence des bactéries (Bach *et al.*, 2002). L'ADN d'*Escherichia coli* (*E. coli*) a servi pour la courbe standard. Les résultats sont exprimés en copie équivalant à *E. coli* par mètre cube (m³) d'air ou par milligramme (mg) de poussière. Les concentrations en *Penicillium* et en *Aspergillus* ont été quantifiées par qPCR en ciblant la région ITS, marqueur des champignons. La moisissure *Aspergillus fumigatus* a été utilisée pour la courbe standard. Les résultats s'expriment en copie équivalant à *A. fumigatus* par m³ d'air ou par mg de poussière.

La biodiversité bactérienne et fongique a été évaluée par séquençage à haut débit en ciblant les régions variables V6-V8 du gène codant pour l'acide ribonucléique ribosomique (ADNr) 16S pour les bactéries et la région ITS1 pour les champignons. Le séquençage a été réalisé à l'aide de la plateforme de l'IBIS (Institut de biologie intégrative et des systèmes, Université Laval). La biodiversité bactérienne a été analysée dans les échantillons d'air et de poussières ayant une concentration en bactéries totales supérieure au bruit de fond, tandis que la biodiversité fongique a été analysée dans les échantillons de poussières ayant une concentration en *Penicillium/Aspergillus* supérieure à 10 copies/puits pour garantir le succès du séquençage. Les concentrations en *Penicillium/Aspergillus* étaient trop faibles dans les échantillons d'air pour garantir un séquençage de bonne qualité. Le traitement des séquences brutes a été réalisé avec le logiciel Mothur (Kozich *et al.*, 2013; Schloss *et al.*, 2009). Différents indices de diversité bactérienne ont été calculés : le nombre d'unités taxonomiques opérationnelles (UTO), le coefficient de Bray-Curtis et le coefficient de Jaccard. Une UTO correspond à un groupe de séquences ayant 97 % de similarité et est représentative d'une espèce microbienne. Le coefficient de Bray-Curtis permet de comparer la composition de deux échantillons en tenant compte de l'abondance relative de chaque UTO. L'indice de Jaccard permet

quant à lui de comparer deux communautés microbiennes se basant sur la présence ou l'absence d'une UTO. Les coefficients de Bray-Curtis et de Jaccard ont été calculés pour comparer les communautés bactériennes :

1. dans les échantillons d'air avant et après l'intervention;
2. dans les échantillons d'air et les échantillons de poussière avant l'intervention.

Les endotoxines ont été dosées dans les échantillons dont les concentrations en bactéries totales étaient supérieures au bruit de fond. La méthode choisie pour la quantification est un dosage au LAL en méthode cinétique (Limulus Amebocyte Lysate Kinetic-QCL™, Lonza) selon les recommandations du fabricant. Les résultats sont exprimés en unité d'entoxines (UE) par mg de poussière.

Suivi temporel des dispositifs de ventilation

Des dispositifs de monitoring permettant de caractériser les performances de ventilation thermiques des appareils de ventilation ont été déployés sur les 4 unités de ventilation récupératrices de chaleur (VRC) et d'énergie (VRE) afin de documenter les performances de chacun d'eux de même que les problèmes spécifiques pouvant affecter ces systèmes. Des mesures de débit, de température et d'humidité relative ont été effectuées au niveau des conduits d'apport d'air frais, de retour d'air vicié ainsi que des mesures de pression différentielle d'alimentation/d'extraction. Ces mesures ont permis d'évaluer le fonctionnement des unités VRC/VRE, l'apport d'air frais requis par le logement et le rendement de récupération de la chaleur sensible des ventilateurs récupérateurs de chaleur et d'énergie exprimé par l'efficacité de température. La consommation électrique des unités a également été mesurée par le biais d'un appareil WattsON, qui mesure la puissance électrique de chaque unité VRC/VRE monitorée. Chacune d'entre elle comprenait un système d'acquisition qui consistait en une valise portable et sécurisée avec un espace pouvant contenir les sondes requises pour le monitoring. Le système d'acquisition de données DT80 de Dycor était doté d'une carte mémoire interne de 2 GB et offrait la possibilité de télécharger les données à l'aide d'une clé USB. Les données collectées par le biais de cette approche expérimentale et l'acquisition de données dédiées ont été transmises à intervalles réguliers par les partenaires à l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK) et au Conseil national de recherches Canada (CNRC), par voie électronique.

Annexe 12

Recommandations aux occupants

- Ne pas ouvrir les portes et fenêtres de façon prolongée en période de chauffe
- Placer le commutateur du système de ventilation en position auto ou l'humidistat à 30 %
- Utiliser l'extracteur de salle de bain lorsque la douche ou le bain est utilisé
- Utiliser la hotte de cuisine lorsque la cuisinière est en fonction
- Ajuster le rhéostat du système de chauffage, pour le confort des occupants, entre 19 et 25 °C

Annexe 13

Classification des infections respiratoires aiguës et des symptômes d'asthme

Catégories	Codes			Diagnostics
	ICPC-2 ^A	CIM-9 ^B	CIM-10	
Otite moyenne aiguë (OMA)	H71	382	H66	OMA/myringite
Infections des voies respiratoires supérieures (IVRS)	R72	462	J02.0	Pharyngite et amygdalite à streptocoques
	R74	460	J00	IVRS aiguë, rhinopharyngite aiguë (rhume), rhinite, nasopharyngite
			J02	Pharyngite, coryza
	R75	461	J01	Sinusite aiguë
	R76	463	J03	Amygdalite ou angine
	R77	464	J04	Laryngite, trachéite
			J05	Croup
R80	487,1	J06	IVRS grippale, influenza	
Infections des voies respiratoires inférieures (IVRS) (chez les moins de 10 ans)	R78	466	J20	Bronchite
			J21	Bronchiolite aiguë, IVRI aiguë SAI, infection de la poitrine SAI, laryngotrachéobronchite, trachéobronchite
	R81	480	J12	Pneumonie virale
			J15	Pneumonie bactérienne
J10			Pneumonie grippale, bronchopneumonie, pneumonite	
Asthme	R96	493	J45	Symptômes de l'asthme

^A *International Classification of Primary Care, Second edition* (World Health Organization, 1998).

^B Classification internationale des maladies, 9^e et 10^e édition (Organisation mondiale de la Santé, 1977).

www.inspq.qc.ca