



Étude des impacts de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur et la santé respiratoire des enfants asthmatiques dans les habitations (Projet IVAIRE)

Étude des impacts de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur et la santé respiratoire des enfants asthmatiques dans les habitations (Projet IVAIRE)

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Août 2015

AUTEURS

Pierre Lajoie, M.D., FRCP
Institut national de santé publique du Québec

Daniel Aubin, Ph. D.
Conseil national de recherches Canada

Véronique Gingras, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Patrick Daigneault, M.D., FRCP
Centre mère-enfant, Centre hospitalier universitaire de Québec

Francine M. Ducharme, M.D., FRCP
Centre hospitalier universitaire Ste-Justine, Montréal

Denis Gauvin, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Don Fugler, P. Eng.
Société canadienne d'hypothèque et de logement

Jean-Marc Leclerc, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Doyun Won, Ph. D.
Conseil national de recherches Canada

Marilène Courteau, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Suzanne Gingras, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Marie-Ève Héroux, M. Sc.
Bureau de l'eau, de l'air et du changement climatique, Santé Canada

Wenping Yang, Ph. D.
Conseil national de recherches Canada

Hans Schleiginger, Ph. D.
Conseil national de recherches Canada

AVEC LA COLLABORATION DE

Louis-Philippe Boulet, M.D., FRCP
Institut de cardiologie et de pneumologie
Hôpital Laval, Université Laval

Marjolaine Dubé, M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Pascale Gervais, M.D., FRCP
Centre mère-enfant, Centre hospitalier universitaire de Québec

Jacques Hébert, M.D., FRCP
Centre hospitalier universitaire de Québec

Ian McDonald, Ph. D.
Robert Magee, M. Sc.
Conseil national de recherches Canada

Georges Rivard, M.D., FRCP
Centre hospitalier universitaire de Québec

Ken Ruest
Société canadienne d'hypothèque et de logement

MISE EN PAGES

Julie Colas, agente administrative
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Institut national de santé publique du Québec

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 – 3^e TRIMESTRE 2015
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-73920-3 (VERSION IMPRIMÉE)
ISBN : 978-2-550-73921-0 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2015)

Remerciements

Ce projet de recherche a été réalisé par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), en collaboration avec le Centre mère-enfant (CME) du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ). Les auteurs tiennent à souligner l'appui financier du CNRC, du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS), de Santé Canada et de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), qui ont rendu possible la réalisation de cette étude.

Les auteurs tiennent à remercier, en premier lieu, tous les participants et leur famille pour leur engagement remarquable tout au long de leur participation à cette étude. De plus, les auteurs remercient les médecins et les professionnels de la Clinique d'asthme du CHUQ, en particulier mesdames Annie Noël et Julie Tanguay, du Centre d'enseignement sur l'asthme pour leur étroite collaboration dans le projet.

Les auteurs remercient l'équipe de techniciens pour leur travail rigoureux et soutenu dans la cueillette des données : Pierre-Luc Lamarre (chef d'équipe), Simon Godbout (technicien en ventilation), Karine Barriault, Kristina Boros, Jean-François Chouinard, Jonathan Montminy-Morin, Véronique Racine, Jean-François Roy, Stephanie So, François Tremblay, et Catherine Vaillancourt.

Avant-propos

Le présent document constitue un rapport de recherche destiné au ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS) et au Conseil national de recherche du Canada (CNRC), de même qu'aux autres organismes partenaires. Le projet de recherche Impact de la Ventilation sur l'Air Intérieur et la Respiration des Enfants asthmatiques dans les habitations (IVAIRE) a également donné lieu à la publication d'un article scientifique dans la revue *Indoor Air* (Lajoie *et al.*, 2015), ainsi qu'à diverses communications. Le projet a été initié en 2008 par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et le CNRC, avec la collaboration du Centre mère-enfant (CME) du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ). Le MSSS, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), et Santé Canada sont des partenaires au projet. M. Pierre Lajoie, médecin-conseil en santé environnementale à l'INSPQ, est le chercheur principal et le responsable du volet santé. M. Hans Schleibinger, agent de recherche du CNRC, est le cochercheur responsable du volet bâtiment. Cette étude fait suite à la publication en 2006, par l'INSPQ, d'un avis sur l'impact de la ventilation sur la santé qui a mis en évidence le besoin de nouvelles études dans ce domaine : <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/490-VentilationBatimentsHabitation.pdf>.

En mars 2010, l'INSPQ et le CNRC ont signé une entente-cadre. En vertu de cette entente de partenariat, l'INSPQ est responsable de la coordination de l'ensemble de l'étude et de la réalisation du volet santé tandis que le CNRC est responsable de la réalisation du volet bâtiment. Le projet a été approuvé par les comités d'éthique de la recherche du CHUQ, du CNRC et de Santé Canada.

Table des matières

Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	IX
Liste des abréviations	XI
Faits saillants.....	1
Sommaire.....	3
1 Problématique	9
1.1 Fréquence de l'asthme	9
1.2 Impact de la ventilation sur la santé respiratoire.....	9
1.3 Facteurs environnementaux associés	11
1.4 Pertinence de l'étude.....	11
2 Hypothèses et objectifs de l'étude.....	13
2.1 Hypothèses.....	13
2.2 Objectifs.....	13
3 Méthodologie.....	15
3.1 Méthodologie générale	15
3.2 Population à l'étude.....	16
3.3 Déroulement de l'étude	16
3.4 Variables mesurées.....	24
3.5 Analyses statistiques	33
3.6 Considérations éthiques	34
4 Résultats	37
4.1 Cheminement des participants dans l'étude.....	37
4.2 Résultats de l'étude descriptive (phase préintervention – phase I).....	39
4.3 Résultats de l'étude randomisée (phase postintervention - phase II).....	85
5 Discussion.....	111
5.1 Principaux faits saillants de l'étude descriptive	111
5.2 Principaux faits saillants de l'étude randomisée	116
5.3 Points forts et limites de l'étude	118
5.4 Retombées pratiques des résultats et implications pour la recherche.....	121
Conclusion.....	123
Bibliographie	125

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

https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2039_impact_ventilation_air_interieur_enfants_asthme_annexes.pdf.

Annexes

Annexe 1	Schéma d'évolution de l'étude
Annexe 2	Critères d'éligibilité de l'enfant pour les médecins traitants
Annexe 3	Critères d'éligibilité – Questionnaire aux parents
Annexe 4	Formulaire de consentement à l'intention des familles participantes (première phase)
Annexe 5	Symptômes respiratoires et allergiques – Questionnaire aux parents – ISAAC
Annexe 6	Antécédents familiaux et personnels de l'enfant – Questionnaire aux parents
Annexe 7	Journal quotidien des symptômes
Annexe 8	Quiz sur l'asthme pour les jeunes
Annexe 9	Formulaire de consentement à l'intention des familles participantes (deuxième phase)
Annexe 10	Fiche d'évaluation technique de la ventilation
Annexe 11	Prescription technique reliée à la ventilation
Annexe 12	Autorisation de communiquer des renseignements contenus au dossier – patient du pharmacien
Annexe 13	Questionnaire – Environnement intérieur
Annexe 14	Inspection résidentielle
Annexe 15	Protocole d'échantillonnage environnemental
Annexe 16	Environnement intérieur – Questionnaire après échantillonnage de 7 jours
Annexe 17	Formulaire d'assentiment de l'enfant
Annexe 18	Rapport individuel aux participants

Liste des tableaux

Tableau 1	Critères d'inclusion.....	17
Tableau 2	Critères d'exclusion.....	18
Tableau 3	Période d'échantillonnage dans l'habitation des familles participantes.....	20
Tableau 4	Principaux thèmes des questionnaires santé	24
Tableau 5	Principaux thèmes du questionnaire sur l'environnement intérieur des résidences	27
Tableau 6	Caractéristiques des habitations de la population à l'étude (n = 111)	40
Tableau 7	Caractéristiques du système de chauffage (n = 111)	41
Tableau 8	Habitudes de vie des participants (n = 111)	42
Tableau 9	Équipement de ventilation (n = 111)	43
Tableau 10	Habitudes de ventilation (n = 111)	44
Tableau 11	Caractéristiques sociodémographiques de la population à l'entrée dans l'étude (n = 111).....	59
Tableau 12	Antécédents familiaux et médicaux de la population à l'entrée dans l'étude (n = 111).....	60
Tableau 13	Statut d'atopie de la population à l'entrée dans l'étude (n = 88).....	60
Tableau 14	Prévalence des symptômes respiratoires et allergiques, des visites à l'urgence et des hospitalisations au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111).....	61
Tableau 15	Fréquence des symptômes liés à l'asthme par période de 14 jours.....	62
Tableau 16	Fréquence de prise de médicaments pour asthme par période de 14 jours	62
Tableau 17	Fréquence de la maîtrise de l'asthme (4 mois)	63
Tableau 18	Fonction respiratoire des participants	63
Tableau 19	Relation entre les variables liées à l'habitation et le taux de ventilation, le taux d'étanchéité et la concentration de CO ₂ (n = 111).....	64
Tableau 20	Relation entre les variables liées à l'habitation et les concentrations de formaldéhyde, de toluène, de dioxyde d'azote et d'ozone (n = 111)	66
Tableau 21	Relation entre les variables liées à l'habitation et les concentrations de PM _{2,5} , de PM ₁₀ , de COV totaux, de phtalates totaux et de nicotine (n = 111).....	68
Tableau 22	Relation entre les variables liées à l'habitation et l'humidité relative, les concentrations de spores de moisissures et d'allergènes d'acariens <i>Der f1</i> et <i>Der p1</i> (n = 111).....	71
Tableau 23	Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et les principaux symptômes par période de 14 jours (n = 100).....	76
Tableau 24	Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et les principaux symptômes respiratoires et allergiques et les visites à l'urgence au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111).....	77
Tableau 25	Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et la maîtrise de l'asthme (n = 80).....	78

Tableau 26	Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et la fonction respiratoire (n = 60)	79
Tableau 27	Relation entre certains paramètres environnementaux et la fréquence des principaux symptômes sur une période de 14 jours (n = 100).....	81
Tableau 28	Relation entre certains paramètres environnementaux et la fréquence des principaux symptômes respiratoires et allergiques et des visites à l'urgence au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111).....	82
Tableau 29	Relation entre certains paramètres environnementaux et la maîtrise de l'asthme (n = 80).....	83
Tableau 30	Relation entre certains paramètres environnementaux et la fonction respiratoire (n = 41).....	84
Tableau 31	Caractéristiques des habitations, du système de chauffage et habitudes de vie des 83 participants de l'étude randomisée	86
Tableau 32	Équipement et habitudes de ventilation des 83 participants de l'étude randomisée.....	88
Tableau 33	Paramètres de ventilation et facteurs physiques des 83 résidences de l'étude randomisée	90
Tableau 34	Contaminants environnementaux des 83 résidences de l'étude randomisée	91
Tableau 35	Caractéristiques sociodémographiques, antécédents familiaux et médicaux et statut d'atopie des 83 participants de l'étude randomisée	92
Tableau 36	Symptômes respiratoires et allergiques, visites à l'urgence et hospitalisations des 83 participants de l'étude randomisée au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude	94
Tableau 37	Santé respiratoire des 83 participants de l'étude randomisée par période de 14 jours	95
Tableau 38	Effets de l'intervention sur les paramètres de ventilation	97
Tableau 39	Effets de l'intervention sur les facteurs physiques de l'air intérieur	98
Tableau 40	Effets de l'intervention sur les principaux contaminants environnementaux	100
Tableau 41	Effets de l'intervention sur les contaminants environnementaux secondaires.....	101
Tableau 42	Effets de l'intervention sur les moisissures et les allergènes.....	103
Tableau 43	Effets de l'intervention sur la fréquence des symptômes reliés à l'asthme par période de 14 jours.....	105
Tableau 44	Effets de l'intervention sur le pourcentage d'enfants avec symptômes respiratoires et allergiques, visites à l'urgence et hospitalisations au cours des 12 mois précédents.....	106
Tableau 45	Effets de l'intervention sur la fréquence de la prise de médicaments pour asthme par période de 14 jours	107
Tableau 46	Effets de l'intervention sur la fréquence de la maîtrise de l'asthme	108
Tableau 47	Effets de l'intervention sur la fonction respiratoire.....	109
Tableau 48	Relation entre la réduction de 50 % de la concentration de formaldéhyde et le changement de la prévalence annuelle de symptômes d'asthme et d'utilisation des services de santé parmi les enfants du groupe intervention	110
Tableau 49	Taux de ventilation mesurés dans les principales études réalisées en Amérique du Nord et en Europe	113

Liste des figures

Figure 1	Déroulement général du projet IVAIRE	16
Figure 2	Cheminement des participants dans l'étude	38
Figure 3	Taux de ventilation mesurés à l'aide du PFT dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b).....	46
Figure 4	Concentrations de CO ₂ mesurées dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b).....	47
Figure 5	Taux de ventilation mesurés à l'aide du PFT en hiver (a) et en été (b) et à l'aide du SF ₆ en hiver (c).....	48
Figure 6	Taux d'humidité relative mesurés dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b).....	50
Figure 7	Concentrations de PM _{2,5} (a) et de PM ₁₀ (b) dans la chambre de l'enfant.....	51
Figure 8	Concentrations de formaldéhyde mesurées durant les saisons automne-hiver (a) et durant la saison d'été (b).....	52
Figure 9	Concentrations de toluène mesurées durant l'année 1	53
Figure 10	Concentrations d'ozone mesurées dans la chambre de l'enfant	54
Figure 11	Concentrations de dioxyde d'azote	54
Figure 12	Concentrations d'allergènes d'acariens Der p 1 (a) et Der f 1 (b) mesurées dans le matelas	56
Figure 13	Concentrations d'allergènes de chat Fel d1 (a) et de chien Can f1 (b) mesurées dans le matelas	57
Figure 14	Concentrations de spores mesurées dans l'air	58

Liste des abréviations

AIVC	<i>Air Infiltration and Ventilation Centre</i>
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials American Society for Testing and Materials
BNL	Brookhaven National Laboratory
CAH	Changement d'air à l'heure
CATS	<i>Capillary Adsorption Tube Samplers</i>
CFU	<i>Colony Forming Unit</i>
CHUQ	Centre hospitalier universitaire de Québec ou CHU de Québec
CME	Centre mère-enfant
CNB	Code national du bâtiment
CNRC	Conseil national de recherche du Canada
COV	Composés organiques volatils
COSV	Composés organiques semi-volatils
CVCA	Système de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air; correspond à l'appellation anglaise « Heating, Ventilating, Air-Conditioning system » (HVAC)
DEP	Débit expiratoire de pointe
<i>DER P1</i>	<i>Dermatophagoïdes pteronyssimus</i>
EA	Échangeur d'air
ELISA	<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>
FTE	Fumée de tabac environnementale - fumée secondaire
HEVC	<i>High-Efficiency Vacuum Cleaner</i> (traduction libre : Aspirateur doté d'un filtre à haute efficacité)
HR	Humidité relative
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IOM	Institute of Medicine
ISAAC	<i>International Study on Asthma and Allergy in Children</i>
IVAIRE	Impact de la Ventilation sur l'Air Intérieur et la Respiration des Enfants asthmatiques dans les habitations

MEA.	<i>Malt Extract Agar</i>
MERV	<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>
MPOC	Maladie pulmonaire obstructive chronique
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
OR	<i>Odd ratio</i> (en français : rapport de cotes)
Pa	Pascal
PEF	<i>Peak expiratory flow</i> – équivalent du DEP
PFT	Perfluorocarbon Tracer gas technique
PM ₁₀	Particules de 10 microns et moins (respirables)
PM _{2.5}	Particules fines de 2.5 microns et moins
rah	Renouvellement d'air à l'heure (équivalent de « CAH » qui signifie « changement d'air à l'heure »)
RR	Risque relatif
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement
SEH	Syndrome de l'édifice hermétique
SF ₆	Sulphur hexafluoride tracer gas technique
SVM	Système de ventilation mécanique
VEMS	Volume expiratoire maximum par seconde
VRC	Ventilateur à récupération de chaleur ou ventilateur récupérateur de chaleur; correspond à l'appellation anglaise « Mechanical Ventilation with Heat Recovery »
VRE	Ventilateur récupérateur d'énergie

Faits saillants

Les objectifs du projet IVAIRE étaient d'évaluer l'impact de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur et la fréquence des symptômes respiratoires chez des enfants asthmatiques d'habitations unifamiliales. Le projet s'est déroulé en deux phases d'une durée d'un an chacune : la phase préintervention (phase I), qui a permis de réaliser une étude descriptive de l'ensemble des participants recrutés et de sélectionner les participants admissibles à l'étude randomisée portant sur l'amélioration de la ventilation, et la phase postintervention (phase II), au cours de laquelle on a effectué le suivi des participants de l'étude randomisée.

En collaboration avec la clinique d'asthme du Centre mère-enfant (CME) du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ), et avec le consentement des familles concernées, l'équipe de recherche a recruté 115 enfants âgés de 3 à 12 ans. Pendant une année entière, les participants ont été suivis de façon prospective, et l'environnement intérieur de leur résidence a été évalué à l'aide de divers outils suivants. Cent-onze (111) enfants ont complété la période d'observation.

À la fin de la première phase, 83 participants (75 %) dont la résidence présentait un taux de ventilation faible ont été sélectionnés pour participer à l'étude randomisée. En juin 2010, les participants du groupe intervention (n = 43) et du groupe témoin (n = 40) ont été sélectionnés de façon aléatoire. L'intervention pour améliorer la ventilation a été effectuée dans les maisons du groupe intervention au cours de l'été et au début de l'automne. Une réévaluation de tous les paramètres à l'étude a été effectuée au cours de la deuxième année d'observation. Les constats suivants ressortent des analyses effectuées :

- Une proportion relativement élevée (65 %) des habitations unifamiliales évaluées pendant l'étude étaient déjà pourvues, dès le départ, d'un système de ventilation mécanique, ce qui représente à peu près le double de la proportion rapportée dans la population générale.
- La qualité de l'air intérieur était en général bonne dans la grande majorité des habitations, et ce, en comparaison avec les concentrations moyennes de plusieurs contaminants traditionnels : allergènes d'acariens, moisissures, particules fines ($PM_{2,5}$), dioxyde d'azote (NO_2), par exemple.
- Une proportion non négligeable (30 %) de ces habitations présentait une concentration moyenne de formaldéhyde qui dépassait la valeur guide de $50 \mu g/m^3$ sur 8 heures, recommandée par Santé Canada pour prévenir les symptômes respiratoires chez les enfants asthmatiques.
- Une proportion élevée (70 %) des habitations présentait un taux de ventilation inférieur à 0,30 changement d'air à l'heure, valeur guide recommandée dans le code national du bâtiment du Canada et le Code de construction du Québec.
- L'installation et l'utilisation d'un système de ventilation mécanique, selon les règles de l'art, que ce soit un ventilateur récupérateur de chaleur ou un ventilateur récupérateur d'énergie, a permis d'améliorer de façon significative le taux de ventilation et la qualité de l'air intérieur dans les habitations du groupe intervention, en comparaison avec celle du groupe contrôle, et de contrôler en totalité les dépassements de la valeur guide du formaldéhyde, et ce, pendant l'automne et l'hiver.
- Suite à cette intervention sur la ventilation, les chercheurs n'ont pas observé de diminution significative du nombre de jours avec symptômes d'asthme chez les enfants du groupe intervention, en comparaison avec ceux du groupe témoin pendant l'automne et l'hiver. Toutefois, ils ont observé une diminution significative de 22 % de la proportion d'enfants ayant eu un épisode ou plus de sifflement respiratoire (*wheezing*), et de 20 % de ceux ayant eu 4 épisodes

ou plus, et ce, au cours des 12 mois suivant, dans le groupe intervention en comparaison avec le groupe témoin.

- Sur la base de la différence de risque observée entre les deux groupes, il a été estimé que l'intervention sur la ventilation réalisée dans 5 maisons de l'échantillon de l'étude, prévenait la survenue d'un dépassement de la valeur guide de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 heures dans une habitation, et la survenue d'un épisode de sifflement respiratoire ou plus chez un enfant asthmatique au cours de l'année.
- Compte tenu de la petite taille de l'échantillon et des limites de l'étude, une étude de plus grande envergure apparaît souhaitable.

Sommaire

Les objectifs du projet de recherche Impact de la Ventilation sur l'Air Intérieur et la Respiration des Enfants asthmatiques dans les habitations (IVAIRE) étaient d'évaluer l'impact de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur et la fréquence des symptômes respiratoires chez des enfants asthmatiques d'habitations unifamiliales. Le projet s'est déroulé en deux phases d'une durée d'un an chacune : la phase préintervention (phase I), qui a permis de réaliser une étude descriptive de l'ensemble des participants recrutés et de sélectionner les participants admissibles à l'étude randomisée portant sur l'amélioration de la ventilation, et la phase postintervention (phase II), au cours de laquelle on a effectué le suivi des participants de l'étude randomisée.

La première phase de l'étude a débuté en octobre 2008. En collaboration avec la clinique d'asthme du Centre mère-enfant du Centre hospitalier universitaire de Québec, et avec le consentement des familles concernées, l'équipe de recherche a recruté 115 enfants âgés de 3 à 12 ans. Pendant une année entière, les participants ont été suivis de façon prospective, et l'environnement intérieur de leur résidence a été évalué à l'aide des outils suivants : questionnaires standardisés sur la santé et l'environnement intérieur, appareils de mesures de la ventilation et des contaminants de l'air dans les résidences au cours de l'été, de l'automne et de l'hiver, journal quotidien des symptômes avec mesure du débit expiratoire de pointe complété par les parents de novembre à mars, puis spirométrie et test cutané d'allergie effectués dans le cadre du suivi médical. Cent-onze (111) enfants ont complété la période d'observation.

Résultats de l'étude descriptive

Les résultats de l'étude descriptive indiquent que les enfants présentaient des symptômes respiratoires en moyenne 5,6 jours par période de 14 jours, une fréquence témoignant d'une maîtrise non optimale de l'asthme. Quarante-huit pour cent (48 %) d'entre eux étaient atopiques, 76 % avaient eu une visite à l'urgence et 43 % avaient été hospitalisés pour asthme au cours de l'année précédente. Quinze pour cent (15 %) prenaient 4 doses et plus de médicaments de secours (β_2 – agoniste) par semaine, ce qui représente également un critère de maîtrise non optimale de l'asthme. Une proportion élevée (66 %) des résidences étaient dotées d'un système de ventilation mécanique (SVM). Cette proportion de SVM s'avère 2 fois plus élevée que celle observée dans des études antérieures réalisées auprès de la population générale de la ville de Québec (Gilbert *et al.*, 2006), de même qu'en Californie (Offermann, 2009). Cependant, le taux de ventilation moyen mesuré dans les 111 résidences était de 0,21 changement d'air à l'heure (CAH), se situant au-dessous du taux de 0,30 CAH prescrit par le code national du bâtiment (CNB, 2010).

Le taux de ventilation mesuré dans les résidences pourvues d'un système de ventilation mécanique était également inférieur à 0,30 changement d'air à l'heure. La qualité de l'air intérieur dans les résidences à l'étude était en général adéquate, et le taux moyen d'humidité relative se situait à l'intérieur des limites recommandées par Santé Canada. Les concentrations des allergènes communs (acariens, chat, chien) et de la plupart des contaminants chimiques étaient relativement faibles en comparaison avec les valeurs ayant été observées dans les domiciles canadiens et ailleurs dans le monde; les concentrations observées respectaient, pour la grande majorité des contaminants, les valeurs guides ou valeurs de références actuellement en vigueur. Cependant, pour ce qui est du formaldéhyde, on a observé un pourcentage élevé de résidences (été : 63 %; automne/hiver : 23 %) dépassant la valeur guide de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 heures recommandée par Santé Canada pour prévenir les symptômes respiratoires chez les enfants. Les concentrations de formaldéhyde étaient habituellement plus élevées en été.

À la fin de la première phase, 83 participants (75 %) dont la résidence présentait un taux de ventilation faible (2 résultats de ventilation $< 0,3$ changement d'air à l'heure ou 1 résultat $< 0,25$ changement d'air à l'heure mesurés par le perfluorocarbène ou l'hexafluorure de soufre) ont été sélectionnés pour participer à l'étude randomisée. En juin 2010, les participants du groupe intervention ($n = 43$) et du groupe témoin ($n = 40$) ont été sélectionnés de façon aléatoire. L'intervention pour améliorer la ventilation a été effectuée dans les maisons du groupe intervention au cours de l'été et au début de l'automne. Celle-ci consistait à installer un ventilateur récupérateur de chaleur ou un ventilateur récupérateur d'énergie dans les maisons sans système de ventilation mécanique, ou à optimiser le système existant dans les résidences qui en étaient déjà pourvues. L'intervention visait à augmenter le taux de ventilation de 0,15 changement d'air à l'heure en moyenne dans chacune des résidences. Sous la supervision d'un groupe de travail spécialisé sur la ventilation, un technicien a procédé à l'évaluation technique de la ventilation incluant une mesure des débits d'air. Par la suite, une prescription détaillée des corrections à effectuer était complétée. Une séance d'information sur l'utilisation et l'entretien adéquat du système de ventilation mécanique a été réalisée auprès de chacun des propriétaires du groupe intervention. Aucune intervention n'a été effectuée dans les maisons du groupe témoin. Les paramètres environnementaux et sanitaires mesurés pendant la phase I ont été mesurés à nouveau à l'aide des mêmes protocoles chez tous les participants au cours de la phase II.

Résultats de l'étude randomisée

L'étude randomisée a démontré qu'une intervention ciblée sur l'amélioration de la ventilation dans les résidences avec un taux de ventilation faible a permis de corriger efficacement les lacunes identifiées. Une telle intervention a permis d'augmenter de façon significative le taux de ventilation dans les résidences du groupe intervention en comparaison avec le groupe contrôle, et d'atteindre le taux de 0,30 changement d'air à l'heure recommandé dans la majorité des cas. L'amélioration de la ventilation a également permis de diminuer de façon significative les concentrations moyennes de certains contaminants, dont plusieurs composés organiques volatils, incluant le formaldéhyde, et des spores de moisissures à l'intérieur de ces résidences. En particulier, en ce qui concerne le formaldéhyde, l'étude a montré que l'amélioration de la ventilation dans les résidences a prévenu tout dépassement de la valeur guide de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 heures pendant la saison automne-hiver.

En ce qui concerne la santé respiratoire des enfants, l'étude n'a pas montré d'effet significatif de l'amélioration de la ventilation dans les résidences du groupe intervention sur le nombre de jours avec symptôme d'asthme par période de 14 jours pendant l'automne-hiver en comparaison avec le groupe témoin. Toutefois, l'étude a montré des diminutions significatives de 22 % de la proportion d'enfants ayant présenté un épisode et plus de sifflement respiratoire, et de 20 % de la proportion d'enfants ayant présenté 4 épisodes et plus de sifflement respiratoire au cours des 12 mois suivant l'intervention, dans le groupe intervention en comparaison avec le groupe témoin. Les auteurs ne peuvent cependant exclure la possibilité que ce résultat soit lié à des comparaisons multiples. Par contre, le fait que la diminution du sifflement respiratoire et la tendance à la baisse dans la prise de médicaments de secours observées chez les enfants du groupe intervention soient reliées au même phénomène clinique suggère que l'effet de l'amélioration de la ventilation sur la diminution du sifflement n'est pas lié au hasard. De plus, en faisant le lien avec les résultats au niveau de la qualité de l'air intérieur, il a été estimé, à l'aide d'un modèle statistique, qu'une réduction de 50 % de la concentration de formaldéhyde serait susceptible d'entraîner des diminutions respectives de 14,8 %, 20,4 %, et 16,0 % des proportions d'enfants avec sifflement, toux nocturne et visite à l'urgence au cours des 12 mois suivant l'amélioration de la ventilation dans les résidences.

L'étude IVAIRE a été réalisée par une équipe multidisciplinaire auprès d'une clientèle prioritaire suivie dans des conditions réelles sur le terrain. De nombreux paramètres environnementaux et respiratoires ont été mesurés au cours des deux années d'observation. Les limites de l'étude sont principalement liées à la petite taille de l'échantillon. Une plus grande étude, avec une puissance suffisante, est souhaitable pour étudier de façon plus adéquate l'effet à court terme de l'amélioration de la ventilation des résidences sur la fréquence quotidienne des symptômes, de même que la fréquence et la sévérité des exacerbations, notamment pendant la période d'automne-hiver, au cours de laquelle les enfants sont davantage exposés à la pollution de l'air intérieur. Les résultats de l'étude font clairement ressortir l'importance pour les occupants de s'assurer que la ventilation de leur résidence est suffisante. Elle démontre qu'une augmentation du taux de ventilation constitue une mesure efficace pour diminuer, durant l'automne/hiver, les concentrations dans l'air intérieur de plusieurs contaminants présentant des propriétés irritantes pour les voies respiratoires, en particulier le formaldéhyde. Cette mesure permet ainsi de réduire l'exposition des occupants à ces contaminants, et de diminuer le risque d'épisodes de sifflement respiratoire chez les enfants asthmatiques. À la lumière de ces résultats, il apparaît pertinent pour les propriétaires de s'assurer que la ventilation de leur résidence soit adéquate, et de procéder aux modifications nécessaires s'il y a lieu.

Introduction

L'air intérieur peut contenir de nombreux contaminants auxquels les occupants sont susceptibles d'être exposés. La réduction à la source appliquée seule s'avère généralement insuffisante pour réduire les concentrations à des niveaux considérés comme acceptables quant aux risques pour la santé. La ventilation des espaces habitables peut aider à y parvenir. La ventilation est le procédé par lequel l'air intérieur vicié est évacué et remplacé par de l'air frais provenant de l'extérieur. Ce procédé peut se faire de façon naturelle, soit par l'ouverture des portes, des fenêtres, ou par les orifices de l'enveloppe, ou encore de façon mécanique à l'aide d'un système mécanique central complémentaire à la ventilation naturelle.

Le taux de ventilation naturelle est généralement faible dans les nouveaux bâtiments d'habitation qui sont dépourvus de système de ventilation mécanique (Sundell *et al.*, 2004). En effet, les changements récents apportés aux méthodes de construction ont rendu les habitations plus étanches. De plus, dans un souci d'économie d'énergie, de nombreuses habitations plus anciennes ont été rénovées, procurant une meilleure isolation et des fenêtres plus hermétiques. Dans plusieurs de ces habitations, pendant la période hivernale, l'infiltration d'air par les portes, les fenêtres et les murs n'est plus suffisante pour apporter une ventilation adéquate des espaces habitables. Par ailleurs, dans la plupart des pays, le taux de renouvellement de l'air recommandé dans les habitations se situe entre 0,30 et 0,50 changement d'air à l'heure (CAH), ces taux étant respectivement en vigueur dans les pays nord-américains et scandinaves. Depuis le début des années 80, on a assisté, en Amérique du Nord, à une tendance à la baisse du taux de renouvellement de l'air prescrit par les codes en raison principalement des politiques de conservation d'énergie (Angell et Grimsrud, 2004).

À l'heure actuelle, les taux de ventilation recommandés par les organismes concernés ne sont pas basés sur des préoccupations de santé mais visent plutôt le contrôle des bio-effluents humains. Les jeunes enfants, notamment ceux qui sont asthmatiques, sont très vulnérables à la pollution de l'air intérieur (Franklin, 2007; Hulin *et al.*, 2012). Certaines études suggèrent que l'augmentation de la ventilation peut être associée à une diminution des concentrations de contaminants de l'air à l'intérieur des habitations ainsi que des symptômes respiratoires chez les enfants asthmatiques, en particulier dans les régions au climat nordique, comme la Scandinavie, par exemple (Sundell *et al.*, 2011). Une seule étude randomisée avait été réalisée à ce jour pour évaluer l'impact de la ventilation sur la qualité de vie des enfants asthmatiques (Woodfine *et al.*, 2011). Celle-ci, réalisée chez 192 enfants asthmatiques au pays de Galles, a montré une amélioration significative des symptômes respiratoires. Toutefois, aucun paramètre environnemental n'avait été mesuré et les améliorations concernaient tant le chauffage que la ventilation des habitations. Ainsi, compte tenu du peu de données disponibles pour des régions semblables au Québec, le projet IVAIRE portant sur l'impact de la ventilation résidentielle sur la qualité de l'air intérieur et les symptômes respiratoires chez les enfants asthmatiques a été mis de l'avant.

1 Problématique

1.1 Fréquence de l'asthme

La prévalence de l'asthme et de l'allergie a augmenté au cours des dernières décennies, en particulier chez les enfants, la pollution de l'air intérieur étant l'une des hypothèses avancées pour expliquer cette hausse (Eder *et al.*, 2006; Aubier *et al.*, 2005). Les liens entre l'exposition à plusieurs des contaminants de l'air intérieur et une fréquence plus élevée de certains problèmes de santé, en particulier les problèmes respiratoires, sont bien documentés (Brunekreef, 2004; Spengler, 2001). Les directives ou standards concernant la ventilation ne sont cependant pas basés sur la prévention des problèmes de santé, mais plutôt sur le confort et la réduction des mauvaises odeurs (Yaglou *et al.*, 1936; Yaglou et Witheridge, 1937) ainsi que sur l'économie d'énergie. Au cours des 20 dernières années, plusieurs études ont été réalisées pour évaluer les effets de la ventilation sur la santé, en particulier dans les édifices à bureaux (Mendell, 1993; Mendell *et al.*, 1996).

Une revue systématique des études publiées entre 1991 et 2006 concernant l'impact de la ventilation des habitations sur la qualité de l'air intérieur et les problèmes respiratoires et allergiques en particulier sur les symptômes reliés à l'asthme a été réalisée (Lajoie *et al.*, 2006). En se basant sur l'histoire naturelle des maladies d'origine environnementale, un modèle conceptuel explicatif pour identifier et analyser les études pertinentes adapté de celui de Davies *et al.*, comprenant trois composantes : la ventilation, son impact sur les contaminants et les effets sur la santé (Davies *et al.*, 2004) a été utilisé. Les trois groupes de contaminants environnementaux suivants ont été retenus à cause de leur plausibilité dans l'histoire naturelle des maladies respiratoires et allergiques : les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils, en particulier le formaldéhyde. Au niveau des études, le modèle met en évidence des liens directs ou indirects possibles entre la ventilation et les problèmes de santé respiratoire reliés à l'asthme.

1.2 Impact de la ventilation sur la santé respiratoire

Plusieurs études de bonne qualité suggèrent un lien direct entre la ventilation et une amélioration de la santé respiratoire chez les asthmatiques. Chez les adultes, Harving *et al.* ont montré que la ventilation mécanique avait un impact positif sur le volume expiratoire maximum par seconde (VEMS), le débit de pointe (DEP), le niveau d'anticorps, les symptômes, et la consommation de médicaments (Harving *et al.*, 1994a). Par ailleurs, Norbäck *et al.* ont montré que les asthmatiques vivaient plus fréquemment dans des maisons avec ventilation naturelle seule et que les symptômes nocturnes étaient plus fréquents quand le taux de renouvellement de l'air était inadéquat (Norbäck *et al.*, 1995). En Écosse, Wright *et al.* ont réalisé une étude randomisée à double insu avec placebo pour évaluer l'impact sur le DEP, l'humidité relative, et les concentrations d'acariens d'une intervention comprenant l'installation d'un ventilateur à récupération de chaleur (VRC) avec une augmentation de 0,50 CAH du taux de ventilation et une stratégie de contrôle environnemental des acariens dans les résidences de 120 asthmatiques âgés de 16 à 60 ans, sensibilisés à *Der p1* (Wright *et al.*, 2009). Douze (12) mois après l'intervention, les chercheurs ont observé une augmentation significative du DEP moyen le soir (24,5 l/min; CI 95 % : 8,9-40,1, $p = 0,002$). Toutefois, ils n'ont observé aucune différence au niveau du DEP le matin. Suite à l'intervention, une diminution significative de l'humidité relative a été observée dans la chambre de l'enfant en avril, et dans le salon, d'octobre à février. La concentration d'allergènes d'acariens n'a pas changé.

Chez des enfants asthmatiques, les études ont montré une fréquence de symptômes respiratoires, de rhinite et d'eczéma, 2 fois plus élevée quand le taux de ventilation était faible (Bornehag *et al.*, 2005). Une ventilation inadéquate augmentait le risque de sensibilisation aux acariens et de symptômes respiratoires (Wickman *et al.*, 1991; Hesselmar *et al.*, 2005). La ventilation mécanique des habitations avait un effet protecteur contre les symptômes respiratoires chez les enfants (Aberg *et al.*, 1996). Deux (2) études ont montré une association entre le sifflement récurrent (*recurrent wheezing*) chez les nouveau-nés et l'humidité excessive, en particulier quand le taux de ventilation est inférieur à 0,50 CAH (Emenius *et al.*, 2004; Oie *et al.*, 1999). En 2011, dans le cadre d'un essai randomisé réalisé chez 192 enfants asthmatiques de 5 à 14 ans (moy. : 9.59 ans) participant au projet CHARISMA (*Children's health in Asthma : Research to Improve Status by Modifying Accomodation*) dans le pays de Galles, les chercheurs ont observé une amélioration significative de la qualité de vie mesurée à l'aide du questionnaire *Juniper*, 4 et 12 mois après une intervention comprenant l'installation d'un VRC et l'amélioration du chauffage dans la résidence (Woodfine *et al.*, 2011). Toutefois, aucune mesure des symptômes ou de l'environnement intérieur n'a été effectuée.

Quant au lien indirect avec les acariens, les études font ressortir une association entre l'exposition aux acariens en milieu domestique et la sensibilisation aux allergènes, le « développement » de l'asthme chez l'enfant ainsi que l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées. En se basant sur les critères de Bradford-Hill, l'IOM a conclu qu'il s'agissait d'une association causale (Institute of medicine 2000). Signalons que certains chercheurs comme Pearce *et al.* sont d'avis que, compte tenu de l'incertitude entourant le diagnostic d'asthme chez les jeunes enfants, l'association avec le développement de l'asthme est moins certaine (Pearce *et al.*, 2000). Ces chercheurs ne contestent cependant pas l'association entre l'exposition aux acariens et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires chez les enfants de même que l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées.

Au niveau environnemental, les résultats de certaines études d'intervention réalisées en Scandinavie ont montré une capacité de la ventilation à réduire le niveau d'humidité à l'intérieur, le nombre d'acariens, et la concentration d'allergènes dans la poussière (Harving *et al.*, 1994a; Harving *et al.*, 1994b). Les études d'intervention réalisées ailleurs dans le monde (Grande-Bretagne, Australie, Amérique) sont en général négatives en ce qui concerne l'impact sur la santé respiratoire des occupants (Warner *et al.*, 2000; Niven *et al.*, 1999; Crane *et al.*, 1998; Stephen *et al.*, 1997; Fletcher *et al.*, 1996). Toutefois, plusieurs d'entre elles indiquent aussi que la ventilation réduit l'humidité à l'intérieur. Quelques-unes montrent aussi une réduction des acariens et des allergènes, dont les études réalisées en Amérique du Nord sur l'air conditionné (Van Strien *et al.*, 2004; 1994; Lintner *et al.*, 1993). Les études cas-témoins et de cohortes réalisées par Van Strien *et al.* dans des habitations d'enfants ont montré une réduction de 50 % des allergènes dans la chambre de l'enfant associée à la ventilation mécanique. Toutefois, l'humidité relative intérieure n'a pas été mesurée. En général, les résultats des études réalisées ailleurs qu'en Scandinavie montrent un impact plus mitigé, pouvant possiblement s'expliquer par les différences climatiques et le faible nombre d'études entreprises. Rappelons que dans le cadre du projet *Inner-City Asthma Study – ICAS*, une étude d'intervention randomisée sur le contrôle de l'environnement intérieur a été réalisée en milieu résidentiel auprès de 937 enfants asthmatiques (469 intervention, 468 témoin) demeurant dans 7 grandes villes des États-Unis (Morgan *et al.*, 2004). Cette intervention multifactorielle visait la population défavorisée des centres-villes. L'intervention comprenait des activités d'éducation et de contrôle étalées sur 1 an, visant à réduire l'exposition des occupants aux allergènes et à la fumée de tabac environnementale. Les chercheurs ont démontré une réduction significative des allergènes d'acariens et de blattes, de même qu'une réduction de la fréquence des symptômes respiratoires.

En ce qui concerne le lien avec l'exposition aux moisissures, plusieurs études ont montré une fréquence plus élevée des symptômes reliés à l'asthme chez les enfants. Deux nouvelles études de cohorte chez des enfants, publiées récemment, ont mis en évidence une association significative entre l'exposition aux moisissures et un excès de risque de « développer » de l'asthme et de présenter des symptômes respiratoires, particulièrement lorsque les parents sont atopiques (Jaakkola *et al.*, 2005; Belanger *et al.*, 2003). Pour ce qui est de l'impact de la ventilation sur la concentration de moisissures en milieu intérieur, les résultats des études descriptives disponibles suggèrent que le manque de ventilation (dans ce cas-ci, ventilation naturelle par les fenêtres) a tendance à entraîner une augmentation de la concentration de spores dans l'air.

Les études portant sur l'association avec l'exposition résidentielle aux COV sont peu nombreuses. Dales et Raizenne ont répertorié une douzaine d'études auxquelles se sont ajoutées les études plus récentes de Rumchev *et al.* et de Venn *et al.* qui font appel à des mesures des concentrations de COV dans l'air (Dales *et al.*, 2004; Rumchev *et al.*, 2004; Venn *et al.*, 2003). Plusieurs études ont montré des effets significatifs caractérisés par une augmentation de la fréquence des symptômes d'asthme chez les enfants exposés aux COV, en particulier au formaldéhyde. En ce qui concerne l'influence de la ventilation sur les concentrations de formaldéhyde à l'intérieur, les travaux de Sherman et Hodgson, en 2004, et d'un Comité de l'Institute of Medicine, permettent d'estimer à partir de modèles mathématiques l'impact prévisible sur la qualité de l'air et la santé respiratoire (Sherman et Hodgson, 2004).

1.3 Facteurs environnementaux associés

En plus des acariens, des moisissures et des COV précédemment mentionnés, l'exposition à plusieurs cofacteurs environnementaux est associée à une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires chez les personnes plus sensibles. Ce sont les particules, le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃) (WHO, 2006), les composés organiques semi-volatils (COSV), la fumée de tabac environnementale (FTE) (IOM, 2000), l'ergostérol et le bêta-1,3-D-glucan (Burge, 2002; Miller *et al.*, 2007), les endotoxines (Dales *et al.*, 2006; Braun-Fahrländer *et al.*, 2002; Thorne *et al.*, 2005) et les allergènes. En 1989, Santé Canada a recommandé des valeurs guides pour plusieurs d'entre eux (Santé Canada, 1989). Certaines valeurs guides ont été révisées récemment, notamment celle pour le formaldéhyde. Il existe aussi des recommandations concernant un certain nombre de composés organiques volatils spécifiques (European Commission INDEX Project, 2005). Ces cofacteurs environnementaux doivent donc être pris en compte dans les études portant sur l'impact de la ventilation sur la santé respiratoire.

1.4 Pertinence de l'étude

La pertinence de réaliser la présente étude repose sur l'importance de déterminer l'effet de la ventilation sur la QAI et la santé respiratoire en climat nordique et la nécessité de recueillir des données spécifiques au Québec. La présente étude, basée sur un échantillon relativement petit, vise à la fois à mesurer les impacts de la ventilation et à recueillir de l'information pertinente dans le contexte québécois. L'uniformisation des exigences en matière de ventilation mécanique dans les nouvelles habitations est un enjeu faisant actuellement l'objet d'une réflexion, notamment par les organismes chargés de rédiger les codes de bâtiments. Alors que le taux de renouvellement d'air se situe maintenant autour de 0,30 CAH en Amérique du Nord, celui prescrit dans les pays scandinaves avoisine toujours les 0,50 CAH. Les résultats des études réalisées dans les pays scandinaves suggèrent, à ce dernier taux de ventilation, des effets bénéfiques sur l'environnement intérieur et la santé respiratoire, en particulier sur la fréquence des symptômes reliés à l'asthme. Une revue de la littérature publiée récemment par Sundell *et al.* conclut dans le même sens (Sundell *et al.*, 2011).

Il existe des similitudes entre le climat québécois et celui des pays scandinaves, qui laissent supposer que les résultats obtenus, en particulier chez les enfants asthmatiques, puissent être également observables en Amérique du Nord. Cependant, on note l'absence de données canadiennes et québécoises sur les impacts réels des différents modes de ventilation (naturelle, mécanique) ainsi que des débits de ventilation actuellement prescrits par les codes sur la concentration de contaminants aéroportés et la santé respiratoire des occupants. Récemment, une étude d'intervention randomisée à double insu sur la ventilation dans les résidences (26 intervention, 25 placebos) a été réalisée chez les enfants inuits (âge moyen : 26,8 mois) du Nunavut pour mesurer l'impact de l'ajout d'un système de ventilation mécanique à récupération de chaleur (VRC) sur la QAI et la santé respiratoire (Kovesi *et al.*, 2009). Les chercheurs ont observé une réduction significative des concentrations de CO₂ et une diminution de l'humidité relative. Ils ont aussi observé une diminution significative du risque de *wheezing* et de rhinite. Toutefois, les problèmes respiratoires étaient principalement reliés à la bronchiolite, une maladie fréquente dans cette population dont les caractéristiques sont très différentes de la population québécoise.

Bien qu'aucune donnée n'existe concernant la prévalence des systèmes de ventilation mécanique dans les maisons récentes de la région de Québec, les quelques données disponibles laissent croire que cette proportion serait d'environ 30 % au niveau de la population générale. Les données préliminaires recueillies par la clinique d'asthme du Centre mère-enfant (CME) du CHUQ auprès des parents d'enfants asthmatiques suggèrent qu'un pourcentage plus élevé de maisons récentes seraient pourvu d'un système de ventilation mécanique. Le nombre d'habitations pourvu d'un tel système dans la population à l'étude semble plus élevé que dans la population générale, celles qui en sont dépourvues étant des habitations plus anciennes et en principe beaucoup moins étanches. Compte tenu de ce contexte, il devient donc pertinent d'effectuer une description détaillée de la population d'enfants asthmatiques suivis au CHUQ et des habitations occupées par les familles de ces enfants.

La présente étude constitue donc l'une des premières études d'intervention randomisée réalisée en milieu nordique auprès d'un échantillon d'enfants asthmatiques, et de leurs habitations. Les enfants souffrant de symptômes respiratoires obstructifs récurrents reliés à l'asthme constituent une clientèle plus vulnérable et donc prioritaire. Les résultats permettront aux professionnels de la santé et aux familles d'obtenir une information plus complète concernant les bénéfices potentiels d'une ventilation plus adéquate des habitations.

2 Hypothèses et objectifs de l'étude

2.1 Hypothèses

Dans le cadre de ce projet, les trois hypothèses principales suivantes ont été posées :

- Les enfants souffrant de problèmes respiratoires obstructifs récurrents reliés à l'asthme vivant dans des habitations où la ventilation est insuffisante ont une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires que dans des habitations bien ventilées, en particulier durant la période hivernale.
- La concentration de certains contaminants de l'air intérieur et la fréquence des symptômes respiratoires sont corrélées avec le taux de ventilation dans l'habitation.
- L'augmentation du taux de renouvellement de l'air dans une habitation où la ventilation naturelle ou mécanique est insuffisante, améliore la qualité de l'air des habitations (humidité excessive, acariens, moisissures, COV) et réduit la fréquence des symptômes respiratoires obstructifs récurrents reliés à l'asthme chez ces enfants.

2.2 Objectifs

2.2.1 OBJECTIF GÉNÉRAL

L'étude vise à mesurer l'impact de la ventilation des habitations et du taux de renouvellement de l'air sur la qualité de l'air des habitations et la santé respiratoire des enfants souffrant de symptômes respiratoires obstructifs récurrents reliés à l'asthme.

2.2.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

L'étude vise les objectifs spécifiques suivants :

- Réaliser un portrait de la ventilation et la qualité de l'air intérieur des habitations occupées par les familles d'enfants asthmatiques de la population suivie au CHUQ.
- Comparer les impacts du taux de renouvellement de l'air sur les variations de la concentration de certains contaminants de l'air intérieur.
- Comparer les impacts du taux de renouvellement de l'air sur les variations de la fréquence des symptômes respiratoires obstructifs (toux, dyspnée, sifflement, oppression thoracique).
- Comparer les impacts du taux de renouvellement de l'air sur les variations des valeurs de certains paramètres de la fonction respiratoire.

Compte tenu de l'absence de données québécoises sur le sujet, l'étude vise aussi à évaluer la faisabilité d'une étude plus large sur la base des facteurs suivants : prévalence des symptômes dans une population d'enfants asthmatiques suivis au Québec, caractéristiques des habitations des participants, efficacité du modèle d'intervention sur la ventilation, adhésion/observance/persistance des participants dans le projet, fidélité au journal quotidien des symptômes, efficacité de la stratégie d'échantillonnage de l'environnement intérieur dans les résidences, collaboration satisfaisante et soutenue des participants du groupe témoin.

3 Méthodologie

3.1 Méthodologie générale

Le projet IVAIRE est une étude d'intervention comprenant deux grandes phases : la phase préintervention (ou phase I) et la phase postintervention (ou phase II) (voir figure 1 et annexe 1). Durant la phase préintervention, on a réalisé l'étude descriptive de l'ensemble des participants inscrits, incluant celle des participants admis dans l'étude randomisée; la phase postintervention a servi à effectuer le suivi des participants de l'étude randomisée.

3.1.1 PHASE PRÉINTERVENTION (PHASE I)

Au cours de la phase préintervention, une cohorte prospective a été mise en place et une évaluation de la santé respiratoire des enfants, du taux de ventilation, et de la qualité de l'air intérieur de leur habitation a été réalisée. Cette phase, réalisée auprès d'un échantillon de 115 enfants, a débuté en novembre 2008, et s'est terminée en juin 2010. Cent-onze (111) enfants ont complété la période d'observation.

L'objectif de la phase préintervention était de dresser un portrait de l'ensemble des habitations occupées par les familles participantes en ce qui concerne la ventilation et la qualité de l'air intérieur ainsi que de la santé respiratoire des enfants à l'étude. L'analyse des données recueillies lors de cette première année d'observation a permis de classer les habitations selon les taux de ventilation mesurés, et de sélectionner les 83 participants admissibles à l'intervention dans le cadre de l'étude randomisée. Les données recueillies au cours de cette phase ont aussi permis d'établir les caractéristiques de base des participants de l'étude randomisée.

3.1.2 INTERVENTION

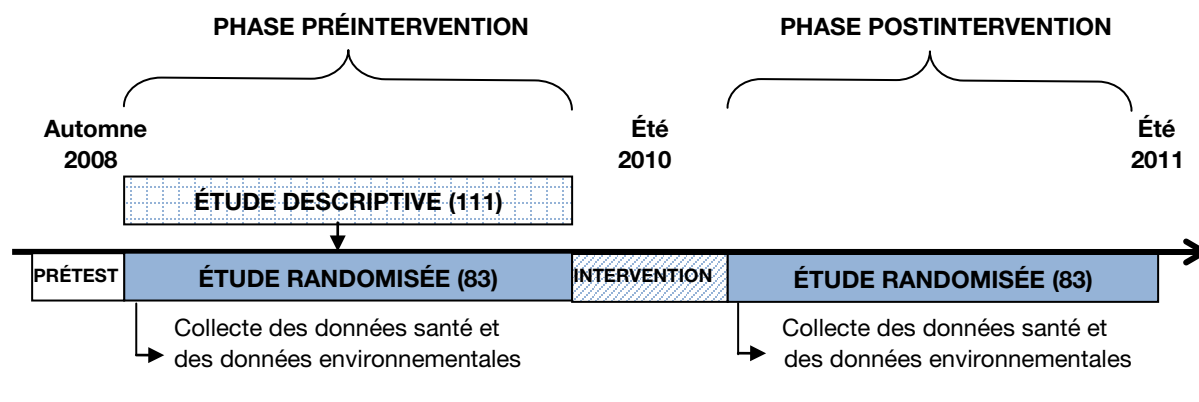
Les participants admissibles à l'intervention, identifiés sur la base du faible taux de ventilation dans la résidence selon des critères de sélection prédéterminés¹, ont été répartis de façon aléatoire en deux groupes distincts : le groupe intervention et le groupe contrôle. L'intervention consistait à réaliser l'installation d'un système de ventilation mécanique ou encore l'optimisation du système déjà en place dans les résidences du groupe intervention, et ce, dans le but d'augmenter le taux de ventilation. Cette étape a été enclenchée à la fin de l'été 2010 et s'est terminée à l'automne 2010.

3.1.3 PHASE POSTINTERVENTION (PHASE II)

À la suite de ces travaux, la phase postintervention a débuté à l'automne 2010 chez tous les participants de l'étude randomisée. Elle consistait à réévaluer la santé respiratoire des enfants, le taux de ventilation, et la qualité de l'air à l'intérieur de la résidence, en utilisant les mêmes outils de collecte de données. Cette deuxième phase a pris fin à l'été 2011.

¹ Voir section 3.3.7.3 pour les détails sur les critères de sélection.

Figure 1 Déroulement général du projet IVAIRE



3.2 Population à l'étude

3.2.1 POPULATION CIBLE

Le projet IVAIRE a été réalisé auprès d'une population d'enfants présentant des symptômes respiratoires obstructifs récurrents reliés à l'asthme. La population à l'étude provient de la grande région de Québec (villes de Québec et de Lévis et leurs environs). La population est suivie par les médecins spécialistes de la clinique d'asthme du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ). En se basant sur les résultats d'une étude réalisée par Ducharme *et al.* à la Clinique d'asthme de l'Hôpital de Montréal pour enfants, auprès d'une population d'enfants âgés de 1 à 17 ans (moyenne : 8.0 ans; écart-type : 4.4), il était plausible de retrouver, au CHUQ, les proportions suivantes de cas d'asthme selon la sévérité de la maladie : asthme léger : 67 %, asthme modéré : 29 % et asthme sévère : 4 % (Ducharme *et al.*, 2004).

3.2.2 ÉCHANTILLON

De plus, en se basant sur les résultats de l'étude de Lozano *et al.* (2003), il est estimé à 4,13 jours par période de 14 jours (écart-type : 4,69), le nombre moyen de jours avec symptômes chez les enfants avec asthme léger et modéré. Selon cette hypothèse, un échantillon de 60 enfants par groupe, avec une puissance de 80 % et un seuil alpha de 5 % pour un test unilatéral, permet de détecter une différence moyenne minimale de 2,1 jours (écart-type : 4,69) avec symptôme par période de 14 jours, ce qui équivaut à une diminution d'environ une journée par semaine. Morgan *et al.* (2004) ont mis en évidence une réduction de plus de 50 % du nombre maximal de jours avec symptôme dans une étude randomisée portant sur l'impact de l'éducation et le contrôle environnemental à domicile sur la maîtrise de l'asthme chez les enfants asthmatiques de 5 à 11 ans. Avec cette taille d'échantillon, il a été estimé qu'une réduction minimale de 20 % de la proportion d'enfants avec symptôme pouvait aussi être détectée avec une puissance de 88 %. Une réduction d'au moins 10 % a été observée dans l'étude de Harving *et al.* (1994a).

3.3 Déroulement de l'étude

3.3.1 RECRUTEMENT

Pour recruter les participants, l'INSPQ a mis en œuvre un mécanisme de référence des enfants en collaboration avec les médecins de la clinique d'asthme et du service de pneumologie du CME du CHUQ (Annexe 2). Les patients de 3 à 12 ans déjà suivis pour des symptômes respiratoires, et les

cas récemment diagnostiqués, ont ainsi été référés à la coordonnatrice du projet. Cette dernière devait alors contacter les parents des enfants référés afin de vérifier s'ils répondaient aux critères d'inclusion de l'étude. Le questionnaire d'admissibilité était rempli à ce moment (Annexe 3). Par la suite, la coordonnatrice a rencontré, à leur domicile, chacune des familles admissibles pour les signatures du formulaire de consentement (Annexe 4).

La période de recrutement des participants s'est échelonnée d'octobre 2008 à décembre 2009. Les participants ont été divisés en 3 blocs successifs de 13, 51, et 51 participants selon qu'ils aient été recrutés durant l'automne 2008, l'hiver 2009, ou l'automne 2009, et ce, dans le but d'amorcer le plus rapidement possible les visites environnementales de la première phase.

3.3.2 CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

Le recrutement des familles participantes s'est fait à partir de critères d'inclusion et d'exclusion reliés à la santé de l'enfant et des caractéristiques de la résidence (tableaux 1 et 2).

Tableau 1 Critères d'inclusion

Critères d'inclusion	
Reliés à la santé	Reliés au bâtiment
Enfants âgés de 3 à 12 ans au début de l'étude Asthme probable diagnostiqué par les médecins du Centre mère-enfant. Le diagnostic est basé sur la présence d'un des signes ou symptômes suivants : - Enfants d'âge préscolaire : Épisode de sifflement et dyspnée sévère <i>et/ou</i> sifflement et dyspnée qui persistent après l'âge de 1 an <i>et/ou</i> ≥ 3 épisodes de sifflement <i>et/ou</i> une toux chronique (particulièrement la nuit ou à l'effort) Accompagné(e) d'une amélioration des symptômes suite à la prise d'une médication pour l'asthme - Enfants de 6 ans et plus : Une réversibilité du VEMS d'au moins 12 % suite à l'administration d'un bronchodilatateur <i>et/ou</i> une épreuve de provocation à la métacholine positive. Avoir eu, au cours des 12 derniers mois, pour cause d'asthme : une hospitalisation <i>et/ou</i> une visite à l'urgence ou dans une clinique sans rendez-vous <i>et/ou</i> un traitement par corticostéroïdes oraux.	Demeurer dans la grande région de Québec (villes de Québec et Lévis, et leurs environs) à ≤ 45 minutes de distance en voiture de la ville de Québec Résidence unifamiliale : maison détachée (bungalow, cottage) ou semi-détachée (jumelé, duplex, triplex, quadruplex) Résidence occupée par la famille depuis au moins les 12 derniers mois Taux de ventilation mesuré répondant au critère suivant (étude randomisée) : - Deux résultats de PFT ou de $SF_6 < 0,3$ CAH - Un résultat de PFT ou de $SF_6 < 0,25$ CAH

Tableau 2 Critères d'exclusion

Critères d'exclusion	
Reliés à la santé	Reliés au bâtiment
Asthme très instable ou contexte familial qui, selon l'avis des médecins traitants, ne permettait pas à la famille de participer à l'étude Présence d'une autre maladie pulmonaire significative diagnostiquée (ex. : fibrose kystique, bronchiectasies, dysplasie bronchopulmonaire, pneumopathie d'aspiration) Absence prolongée (> 21 jours) de l'enfant de la résidence pendant les périodes d'observation de l'étude (novembre à mars) Occupation par l'enfant d'une deuxième résidence sur une base régulière (> 8 nuitées par mois).	Contamination environnementale du bâtiment présente au moment de l'évaluation (dégât d'eau, problème majeur de moisissures, condition insalubre, etc.) nécessitant une intervention immédiate au niveau de l'habitation Parents non propriétaires de la résidence Travaux de rénovation majeurs pouvant modifier l'étanchéité de l'enveloppe (ex. : changer plusieurs fenêtres, faire installer ou modifier un système de ventilation, etc.) d'ici 2011 Activités commerciales ou services publics dans la résidence (salon de coiffure, service de garde, etc.) Projet de déménagement dans les 3 années à venir, à partir du début de la phase préintervention

3.3.3 PRÉTEST

Un prétest a été réalisé dans quatre résidences de la région de Québec à l'automne 2008. Cet exercice a permis l'ajustement de certains détails en prévision de la collecte des données relatives à la santé et à l'environnement, qui devait débuter en novembre 2008. Plus spécifiquement, le prétest a permis de peaufiner la stratégie d'échantillonnage en plus de valider la méthodologie des tests à réaliser. Il a également permis de tester les questionnaires « environnementaux » et « santé », c'est-à-dire de vérifier la clarté et l'ordre des questions et des choix de réponse. Il a également permis de s'assurer de la logistique opérationnelle quant à la préparation, à la conservation, et à l'envoi du matériel et des échantillons. Les modifications découlant de ce prétest ont grandement contribué à optimiser le déroulement de la collecte des données, en plus d'assurer la production de données de qualité.

3.3.4 COLLECTE DES DONNÉES SANTÉ

Administration des questionnaires santé

Un questionnaire standardisé sur la fréquence des symptômes respiratoires et allergiques de l'enfant (*International Survey on Asthma and Allergy in Children* — ISAAC) a été administré lors de la rencontre de la coordonnatrice de projet avec les parents (Annexe 5). Ce questionnaire a été complété une deuxième fois à la fin de la phase postintervention. La coordonnatrice a également remis aux parents un questionnaire sur les antécédents personnels et familiaux de l'enfant, qu'ils devaient remplir et retourner par la poste dans une enveloppe préaffranchie (Annexe 6). Si le questionnaire n'avait pas été retourné après un délai de deux semaines, la coordonnatrice effectuait un appel téléphonique de rappel.

Lors de la rencontre, la coordonnatrice indiquait aux parents comment compléter deux outils de collecte de données, soit le Journal quotidien des symptômes (Annexe 7) et le Quiz sur l'asthme (Annexe 8). Le journal quotidien a été complété par les parents à chaque deux semaines dans le

mois, de novembre à mars, et ceci, à chacune des deux grandes phases de l'étude. Le Quiz sur l'asthme était complété par le parent une seule fois par mois, à la suite du journal quotidien des symptômes, de novembre à mars, également à chaque phase de l'étude.

Enseignement de la méthode d'utilisation du débitmètre de pointe

Lorsque l'enfant participant était présent lors la rencontre, la coordonnatrice lui enseignait comment utiliser le débitmètre de pointe. Dans les cas où l'enfant était absent, une infirmière clinicienne engagée aux fins du projet se rendait auprès des familles participantes les soirs de semaine afin d'enseigner aux enfants la méthode d'utilisation du débitmètre de pointe.

Cueillette des résultats des tests cliniques au CHUQ

Une démarche de collecte des résultats des tests cliniques (test d'allergie, spirométrie) des enfants participants a été mise sur pied avec les médecins de la clinique d'asthme. La coordonnatrice devait d'abord se rendre au service d'archives du CHUQ afin de recueillir les résultats des tests déjà disponibles au dossier médical des participants. Ensuite, selon les résultats présents ou non au dossier, elle s'assurait que les demandes nécessaires avaient été complétées par les médecins.

3.3.5 COLLECTE DES DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Formation des équipes

Deux équipes en hygiène du milieu ont été mises sur pied afin de réaliser le volet environnemental. Chaque équipe était constituée d'un technicien à temps plein et d'un aide-technicien pour la période automne-hiver. Un aide-technicien a aussi été engagé pour la préparation des équipements et du matériel nécessaires aux échantillonnages, et pour effectuer les visites de retour après les sept jours d'échantillonnage.

Les techniciens ont suivi une formation spécifique sur les méthodes d'échantillonnage au bureau du CNRC à Ottawa. L'ensemble du personnel terrain a par la suite complété l'apprentissage des méthodes dans les bureaux de l'INSPQ à Québec. La formation donnée par le personnel du CNRC a couvert tout ce qui a trait aux procédures associées aux mesures environnementales, alors que la formation donnée à l'INSPQ portait sur les aspects touchant l'approche auprès des participants, la confidentialité des données, l'inspection environnementale de la résidence, l'administration des questionnaires, la gestion du matériel, et le contrôle de qualité des diverses procédures.

Visites au domicile

La coordonnatrice de recherche était responsable de la prise de rendez-vous pour les visites à domicile. La première phase du projet comportait 3 visites d'échantillonnage effectuées au domicile de chacun des 115 participants. Ces visites ont eu lieu l'été, l'automne et l'hiver. Leur durée moyenne était de 6 heures l'automne et l'hiver, et de 3 heures l'été. Les techniciens ont ainsi effectué un total de 343 visites environnementales durant la première phase de l'étude. La deuxième phase du projet comportait aussi 3 visites d'échantillonnage chez les participants, et les techniciens en ont effectué un total de 244.

Compte tenu de l'objectif de comparer la fréquence des symptômes respiratoires et la qualité de l'air à une période de l'année durant laquelle les problèmes sont potentiellement plus nombreux, la collecte des données, tant pour le volet santé que pour le volet environnemental, s'est déroulée principalement au cours de la période de chauffe, en automne-hiver, période pendant laquelle le taux de ventilation naturelle des habitations est le plus faible.

Périodes d'échantillonnage

L'échantillonnage des résidences lors de la phase préintervention s'étant échelonné sur une période de deux ans, les participants à l'étude n'ont pas eu leurs trois visites d'échantillonnage aux mêmes saisons. Cependant, chaque participant a eu droit à un suivi de deux ans pour l'ensemble de l'étude. Le tableau 3 présente les périodes d'échantillonnage pour chaque phase de l'étude.

Tableau 3 Période d'échantillonnage dans l'habitation des familles participantes

Phase préintervention				Phase postintervention	
Recrutement				Recrutement	
Participants recrutés à l'automne 2008	Participants recrutés à l'hiver 2009	Participants recrutés à l'été 2009	Participants recrutés à l'automne 2009	Participants recrutés à l'automne 2008	Participants recrutés de l'hiver à l'automne 2009
Périodes d'échantillonnage				Périodes d'échantillonnage	
Automne 2008 Hiver 2009 Été 2009	Hiver 2009 Été 2009 Automne 2009	Été 2009 Automne 2009 Hiver 2010	Automne 2009 Hiver 2010 Été 2010	Automne 2009 Hiver 2010 Été 2010	Été 2010 Automne 2010 Hiver 2011

3.3.6 RANDOMISATION

La sélection des 83 participants de la deuxième phase a été effectuée en 2009 et 2010, suite à la première année complétée de collecte des données. Sur la base des 3 vagues de recrutement, la randomisation des participants a été effectuée en utilisant les codes d'identification anonymes. La randomisation a été exécutée par une statisticienne à l'aide du logiciel SAS, et ce, de façon indépendante des chercheurs, des parents, et du personnel soignant.

Pour des raisons de faisabilité, l'attribution des participants à l'un des deux groupes (intervention et contrôle) n'a pu se faire à l'insu des familles. Par contre, seule la coordonnatrice de recherche connaissait le groupe auquel appartenait chacun des participants, les chercheurs n'ayant pas accès à cette information. La saisie des données a été réalisée de façon indépendante de la personne s'occupant d'analyser les données. Le traitement et l'analyse des données ont été effectués en utilisant les codes d'identification anonymes des participants.

3.3.7 DESCRIPTION DE L'INTERVENTION

Au début de la phase I, tous les participants ont reçu, à titre de rappel, les conseils généraux sur l'environnement adoptés par le Réseau Québécois de l'Asthme et de la Maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC), appelé RQAM², un centre d'enseignement aux asthmatiques associé au RQAM étant déjà en place au CME du CHUQ.

Un groupe de travail sur la ventilation résidentielle, piloté par un ingénieur/chercheur senior à la SCHL, a été mis sur pied. Les enjeux et les interventions entourant le volet intervention ont été discutés dans ce groupe.

² http://www.rqam.ca/pros/asthmeproj_pro.php.

Détermination du seuil

Le seuil d'intervention (taux maximal de CAH pour décréter un participant éligible à l'intervention) a été fixé par le groupe de travail à 0,30 CAH, ce qui, dans les faits, correspond au taux minimal recommandé dans les dernières versions du standard de l'American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), et du Code national du bâtiment du Canada. Une fois ce seuil établi, il a fallu identifier un taux permettant une augmentation du CAH suffisamment élevée pour accroître la probabilité d'observer un changement au niveau des contaminants de l'air et des symptômes chez les enfants à l'étude. Cependant, afin de ne pas entraîner un assèchement d'air excessif à l'intérieur des domiciles durant la saison froide, le groupe de travail a considéré que 0,5 CAH³ correspondait au taux maximal à ne pas dépasser après intervention. Ainsi, ce taux ne se verrait jamais dépassé si l'on ajoutait une moyenne de 0,15 CAH à des taux de moins de 0,30 CAH retenus par le groupe. Comme la gamme de CAH des maisons sélectionnées se situait en moyenne entre 0,20 et 0,30, le taux après intervention devrait donc se situer, dans le cas où l'intervention s'avérerait un succès, entre 0,35 et 0,45.

Objectif de l'intervention

L'objectif de l'intervention était d'augmenter le taux de ventilation des résidences du groupe intervention de 0,15 CAH en moyenne, en effectuant soit l'optimisation du système de ventilation mécanique déjà en place, soit l'installation d'un système complet. Les améliorations apportées au système de ventilation étaient basées sur les recommandations contenues dans le CNB de 1995.

Détermination des résidences admissibles

Les résultats utilisés pour la sélection des résidences étaient ceux obtenus lors des visites préintervention, de l'automne 2008 à l'hiver 2010 (soit un total potentiel maximal de 7 mesures de CAH par habitation réalisées à l'aide des tests de PFT et de SF₆). Aucune moyenne n'était effectuée, de sorte que chaque donnée était considérée de façon individuelle.

Comme les résultats pouvaient s'avérer très variables d'une méthode (PFT ou SF₆) et/ou d'une saison à l'autre, les participants sélectionnés pour la randomisation devaient répondre à l'un des deux critères suivants se rapportant au taux de CAH :

- avoir au moins un résultat en dessous de 0,25 CAH;
- ou
- avoir au moins deux résultats en dessous de 0,30 CAH.

Une fois sélectionnés, les participants éligibles (appelés, à partir de ce moment, groupe intervention) devaient donc faire l'objet d'une intervention au niveau de la ventilation de leur résidence.

Ainsi, sur les 111 participants ayant complété la phase I, 83 étaient admissibles à la phase intervention, et la totalité d'entre eux ont accepté d'y participer. La randomisation (répartition en 2 groupes au hasard visant à réduire ou à éliminer l'interférence de variables autres que celles qui sont étudiées) a réparti aléatoirement les participants de la façon suivante : 43 participants dans le groupe intervention et 40 dans le groupe contrôle. Les participants éligibles à l'intervention ont signé un formulaire de consentement spécifique à cette deuxième phase (Annexe 9).

³ Bien qu'un CAH de 0,5 puisse être considéré comme étant élevé en hiver au Canada, il correspond tout de même au taux optimal recommandé dans plusieurs pays d'Europe.

Évaluation des travaux à effectuer

Les travaux reliés à l'intervention ont été confiés à une firme spécialisée en ventilation de la région de Québec. Avant d'entreprendre les travaux, une procédure d'intervention impliquant le CNRC, l'INSPQ et la firme en ventilation a été mise sur pied. Un technicien de l'équipe de recherche a été formé et mandaté pour la réalisation de ce volet.

Dans chacune des résidences du groupe intervention, il y a eu deux visites préparatoires à la journée des travaux d'intervention. La première visite préparatoire avait pour but de faire l'évaluation complète de la ventilation. Dans le cas où un système de ventilation était déjà en place, le technicien procédait à l'inspection complète de l'installation existante incluant la mesure des débits d'air, la description des installations présentes et l'identification, s'il y avait lieu, des lacunes au niveau des équipements et de leur utilisation par les propriétaires.

Les différentes informations recueillies étaient saisies dans la « Fiche d'évaluation technique de la ventilation » (Annexe 10). Cette fiche d'évaluation est divisée en deux sections :

La première section, intitulée *Caractéristiques du système de ventilation*, était destinée à recueillir des informations sur les spécifications de l'appareil, son installation et son inspection le cas échéant, ainsi que les paramètres de contrôle et les habitudes d'utilisation des occupants. L'inspection de l'installation visait à vérifier si le système en place permettait une efficacité de ventilation optimale, en considérant par exemple les pertes de débits éventuelles (longs conduits, nombreux coudes, etc.). La localisation des prises et sorties d'air extérieur était aussi vérifiée afin d'évaluer les risques d'obstruction ou de contamination potentielle due à un emplacement inadéquat (ex. dans un garage attenant). Une brève discussion avec les occupants permettait de caractériser leurs habitudes d'utilisation de l'appareil (moments d'utilisation ou de non-utilisation, raisons de la non-utilisation [ex. : bruit, inconfort, économie d'énergie, etc.]).

La seconde section de la fiche impliquait la lecture des débits d'air afin de mesurer l'apport d'air neuf réel que procure le système en place. Ces mesures étaient principalement effectuées à l'aide de deux appareils, soit une hotte à flux laminaire (*flow hood*) ou encore un débitmètre à tube. Lorsque les conditions le favorisaient, la méthode du *flow hood* était privilégiée puisqu'elle permettait d'obtenir des résultats de mesure de débits d'une bonne précision.

Cette première visite a donc permis d'évaluer les possibilités ainsi que les contraintes éventuelles pour en arriver à une installation optimale dans chacune des résidences. La durée de cette visite, effectuée par le technicien de l'équipe de recherche, était d'environ une demi-journée.

Une fois la « Fiche d'évaluation technique de la ventilation » complétée, l'étape suivante consistait à statuer sur les modifications à apporter au système de ventilation de chaque résidence. Le technicien a ainsi préparé une prescription détaillée des travaux à effectuer pour chacune des résidences afin d'atteindre l'objectif visé au niveau de la ventilation. Cette information a été colligée dans la « Fiche prescription technique reliée à la ventilation » (Annexe 11).

Chaque intervention a ainsi été déterminée au cas par cas, tout en respectant les deux types d'intervention : l'optimisation du système de ventilation mécanique déjà en place ou l'installation d'un système complet de ventilation.

Lorsque l'intervention était de type « optimisation » du système de ventilation déjà en place, les recommandations émises dans les prescriptions étaient diverses, les principales étant :

- ajustements de l'utilisation que font les occupants de leur appareil, en installant par exemple une minuterie qui valide le temps d'utilisation ou en optant pour une ventilation en continu pour la durée de la période d'observation;
- modifications des conduits de ventilation dans les cas où une perte significative de débit à travers l'installation était observée (nombre élevé de coudes, longs conduits flexibles insuffisamment tendus, etc.);
- remplacement de l'appareil dans les cas, par exemple, où il était défectueux, où il n'était pas assez performant pour le volume de l'habitation, ou encore où il s'agissait d'un échangeur d'air à boîte de mélange (sans récupération de chaleur).

Dans les cas où il n'y avait pas de système en place, la firme spécialisée devait procéder à une installation complète d'un système de ventilation. Les participants concernés se voyaient remettre une description des modalités entourant l'installation selon les règles de l'art d'un nouveau système de ventilation ainsi que des standards et exigences en matière de ventilation résidentielle.

Par ailleurs, une attention particulière a été apportée pour chaque résidence sur le choix de l'appareil, c'est-à-dire un VRC ou encore un ventilateur récupérateur d'énergie (VRE), et ce, dans un souci de maintenir un taux d'humidité adéquat.

Le responsable du groupe de travail en ventilation ainsi que le technicien ont révisé chacune des prescriptions d'intervention avant que celles-ci ne soient transmises à la firme de ventilation. La seconde visite préparatoire, effectuée par un membre de la firme en ventilation et le technicien de recherche, a donc permis de valider la faisabilité des travaux à effectuer dans chaque résidence.

Travaux d'intervention

Il était prévu initialement que l'intervention soit effectuée dans les 43 résidences au cours de l'été 2010 afin de ne pas interférer avec la collecte environnementale de l'automne. Au final, seules 6 résidences ont eu leur intervention durant l'été 2010. Les travaux des 37 autres résidences du groupe intervention ont eu lieu durant l'automne 2010, ce délai ayant été causé par certaines contraintes administratives, et par un manque de disponibilité de la firme en ventilation. Malgré ce délai, le temps de latence moyen entre la journée des travaux d'intervention (nouveaux taux de ventilation) et le début de la collecte environnementale et de la collecte des données du journal des symptômes a été de 7 semaines.

Les travaux de correction ou d'installation ont varié de quelques heures à une journée selon l'ampleur des travaux à effectuer. Une attention particulière a été portée à ne pas générer de poussière lors des travaux. La remise en état des lieux (réparation du placoplâtre, peinture, etc.) était également comprise dans le processus d'intervention.

Suivi de l'intervention

Une fois l'intervention complétée, un suivi de l'opération était effectué par le technicien dans le but de s'assurer du bon déroulement des travaux et de la remise en état adéquat des lieux. De plus, les débits d'air étaient mesurés en postintervention afin de vérifier l'atteinte des objectifs de ventilation. Dans certains cas, des dépassements ont été observés, puis corrigés en ajustant principalement le mode d'utilisation de l'appareil.

En outre, le technicien de recherche a également effectué une séance d'information auprès des propriétaires-occupants sur l'utilisation appropriée de leur système de ventilation. Il les a informés sur les caractéristiques du système de ventilation, son fonctionnement, son entretien, et l'utilisation du contrôle (commande murale).

3.4 Variables mesurées

3.4.1 DONNÉES SANTÉ

Des renseignements ont été colligés concernant les variables suivantes :

- variables indépendantes : caractéristiques/antécédents personnels et familiaux, atopie;
- variables dépendantes : symptômes respiratoires, médicaments pour l'asthme, maîtrise de l'asthme, fonction respiratoire.

Caractéristiques/antécédents personnels et familiaux

L'âge, le sexe, le niveau socioéconomique et les antécédents personnels et familiaux d'atopie (asthme, eczéma, rhinite allergique) influencent le risque de symptômes respiratoires récurrents. La fréquentation régulière de la garderie et de l'école peut dans certains cas avoir un impact sur le risque de symptômes respiratoires et allergiques. Le tableau 4 identifie les principaux thèmes abordés dans ces deux questionnaires.

Tableau 4 Principaux thèmes des questionnaires santé

Symptômes respiratoires et allergiques (ISAAC)	Antécédents personnels et familiaux
Sifflements dans la poitrine	Données générales sur la famille
Toux nocturne	Fréquentation école et garderie
Rhinite allergique	État de santé de l'enfant
Consultation à l'urgence	Médicaments consommés par l'enfant
Hospitalisation	Santé des parents biologiques
	Renseignements sociodémographiques

Atopie

L'atopie est habituellement recherchée chez les enfants d'âge préscolaire souffrant de symptômes respiratoires obstructifs récurrents. L'atopie est caractérisée par la susceptibilité génétique de développer des anticorps Ig E dirigés contre des allergènes environnementaux. La sensibilité aux allergènes a été évaluée à l'aide du test cutané d'allergie (*prick test*) chez les enfants assez âgés (Portnoy *et al.*, 2006; Paggiaro *et al.*, 1986).

Test cutané d'allergie (*prick test*)

Le *prick test* est la technique la plus utilisée pour étudier l'atopie dans la population. Ce test percutané mesure l'hypersensibilité immédiate. Fiable et reproductible, il permet d'obtenir des résultats sensibles et spécifiques (Bernstein et Storms, 1995). Il s'agit d'introduire sous la peau des extraits purifiés d'allergènes. Si le sujet est sensibilisé, une papule et un érythème apparaissent dans les 15 à 20 minutes suivant le début du test. La réponse varie avec l'âge. Un test positif n'est pas un diagnostic d'allergie, mais permet de confirmer le diagnostic clinique et de déterminer le ou les allergènes responsables des symptômes (Hébert et Paradis, 1997). Le test est considéré positif si

l'on observe une induration de 3 mm et plus pour l'un des 8 principales sources d'allergènes : chat, chien, acariens (*der p1*, *der f1*), poussière de maison, herbe à poux, graminées, bouleaux, et moisissures. Le test a été réalisé 1 fois au cours de l'étude.

Symptômes respiratoires

La fréquence des symptômes respiratoires reliés à l'asthme (sifflement ou *wheezing*, toux, gêne respiratoire, perturbation du sommeil et des activités) et à la rhinite allergique (éternuement, congestion, rhume des foins) a été étudiée comme une variable dépendante principale à l'aide du *Journal quotidien des symptômes*. Le monitoring quotidien de la fréquence des principaux symptômes reliés à l'asthme et à l'allergie pendant une période d'une à plusieurs semaines consécutives permet d'évaluer la sévérité de la maladie (Santanello, 2001). Les mesures répétées permettent d'évaluer l'évolution du problème. Dans le projet IVAIRE, le journal quotidien des symptômes a permis de mesurer de façon répétée l'incidence des symptômes sur une période de 14 jours. Un indice de sévérité des symptômes a été calculé. L'indice est calculé pour chaque jour du journal des symptômes. Il représente la somme des valeurs (0 = absent, 1 = léger, 2 = modéré, 3 = sévère) attribuées à chacun des 6 symptômes pour la journée. La valeur minimale est 0, et la valeur maximale est 18. La moyenne de la période est la somme des indices quotidiens divisée par 14.

De plus, le *questionnaire standardisé ISAAC* a permis de mesurer la prévalence des symptômes respiratoires et allergiques (rhinite) dans ce groupe d'enfants, dans les phases préintervention et postintervention (Jenkins *et al.*, 1996; Lévesque *et al.*, 2004).

Médicaments pour l'asthme

Dans un premier temps, la consommation de médicaments d'urgence pour l'asthme (ex. : Ventolin, Bricanyl, etc.) incluant le nombre total de prises par jour a été documentée à l'aide du journal quotidien de symptômes. Dans un deuxième temps, la documentation de la consommation d'antibiotiques et de médicaments pour l'asthme a été effectuée auprès des pharmacies consultées par chaque participant (Annexe 12).

Maîtrise de l'asthme

L'impact de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans les habitations sur le degré de maîtrise ou de contrôle de l'asthme a été évalué à l'aide du questionnaire standardisé *Quiz sur l'asthme* pour les jeunes qui porte sur la sévérité des symptômes au cours des sept derniers jours et la restriction des activités normales au cours des 30 derniers jours. Ce quiz a déjà été validé auprès de 300 enfants en regard de l'évaluation par un spécialiste (questionnaire, examen, TFP) (Ducharme *et al.*, 2004). Un score de 2 ou plus complémentaire aux résultats des tests de fonction respiratoire suggère une difficulté à contrôler l'asthme.

Fonction respiratoire

Les tests standardisés suivants ont été utilisés lors de l'évaluation médicale et les résultats ont été interprétés selon les guides de pratiques internationaux :

- Le Volume Expiratoire Maximal par seconde (VEMS) (*Forced Expiratory Volume in 1 second* ou FEV1) :
 - Le VEMS est le volume d'air expiré en 1 seconde au cours d'une expiration maximale suivant une inspiration maximale. Il constitue un bon marqueur de l'évolution de la fonction respiratoire (Fuhlbrigge *et al.*, 2006). Le VEMS peut être fait à partir de 4 ans.

- Épreuve de provocation à la méthacholine :
 - Ce test de provocation mesure le degré de réactivité (ou d'excitabilité) des bronches lors de l'inhalation de méthacholine. On fait respirer des doses croissantes de méthacholine qui amènent une contraction progressive des muscles des bronches provoquant une chute de 20 % du VEMS. Plus la dose nécessaire pour produire le serrement des bronches est petite, plus les bronches sont « réactives ». Le test de provocation à la méthacholine peut être fait à partir de 6 ou 7 ans selon les enfants. Le test est considéré comme positif si le VEMS du sujet diminue de plus de 20 % de sa valeur initiale. La CP20 représente la concentration de méthacholine à laquelle on obtient une chute de 20 % du VEMS.
- Débit expiratoire de pointe (DEP), ou *Peak Expiratory Flow* (PEF) :
 - Le DEP est mesuré à l'aide d'un débitmètre de pointe et il représente le débit le plus rapide auquel l'air circule dans les voies respiratoires pendant une expiration forcée. Le DEP est exprimé en litre par minute. La variabilité du DEP fournit un index raisonnable de stabilité et de sévérité de l'asthme. La variabilité devrait être calculée à partir d'au moins deux valeurs (matin et soirée). Le DEP peut être fait à partir de cinq ans.

3.4.2 DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Des renseignements ont été colligés concernant les variables suivantes :

- variables indépendantes : caractéristiques des habitations, niveau de ventilation, étanchéité du bâtiment, paramètres de l'air extérieur;
- variables dépendantes : paramètres physiques, chimiques et biologiques de l'air intérieur.

Caractéristiques de l'habitation

Les principales caractéristiques liées à l'habitation ont été évaluées à l'aide du questionnaire « Environnement intérieur » (Annexe 13). Les thèmes du questionnaire sont présentés au tableau 5. Les techniciens devaient également procéder à une inspection visuelle de l'extérieur et de l'intérieur de chaque résidence lors de la première visite d'échantillonnage. Les paramètres pouvant interférer avec le renouvellement de l'air intérieur ont été identifiés et saisis par un technicien (Annexe 14). Les éléments suivants ont été documentés :

- Type de bâtiment : résidence unifamiliale, détachée, semi-détachée, jumelée, duplex, triplex, en rangée, condo, etc.
- Système de chauffage : le type d'énergie utilisé (électrique, à l'huile, au bois, mixte, au gaz naturel, ou autres) ainsi que le mode de distribution de la chaleur (eau chaude, convection, radiant, air pulsé, etc.).
- Système de ventilation : échangeur d'air statique, échangeur d'air avec ou sans récupération de la chaleur, ou autres.

Les techniciens ont procédé aux mesures environnementales dans la résidence selon la méthodologie déterminée dans le protocole d'échantillonnage (Annexe 15). Un court questionnaire environnemental a été administré aux participants à la fin de chacune des périodes de sept jours d'échantillonnage (Annexe 16).

Tableau 5 Principaux thèmes du questionnaire sur l'environnement intérieur des résidences

Environnement intérieur
Description de l'environnement extérieur
Caractéristiques de la résidence
Caractéristiques du système de chauffage
Caractéristiques des systèmes de ventilation
Caractéristiques liées à l'humidité
Renseignements généraux relatifs à la QAI

Niveau de ventilation

La ventilation consiste à renouveler l'air intérieur en introduisant l'air frais et en évacuant l'air vicié par des moyens mécaniques et naturels. On exprime la quantité d'air frais introduit en changement d'air par heure (CAH). L'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur est nécessaire pour renouveler l'oxygène consommé par les occupants et pour éliminer les polluants produits par la respiration, les activités domestiques et les émissions provenant des matériaux de construction, du mobilier, des produits domestiques et des activités de rénovation. Les effets sur la santé d'une mauvaise ventilation des résidences sont notamment reliés à l'accumulation de contaminants de l'air et à des taux d'humidité relative inadéquats. L'état de santé, l'âge et la durée d'exposition des occupants sont également des facteurs qui influenceront les effets sur la santé. Les effets sur la santé les plus fréquents sont l'irritation des voies respiratoires et la toux, en particulier chez les enfants et les personnes plus sensibles, les asthmatiques par exemple. Au Canada, il n'existe pas de norme pour la ventilation résidentielle. Néanmoins, le Code national du bâtiment recommande que la totalité de l'air intérieur d'une résidence soit renouvelée au minimum toutes les trois à quatre heures, ce qui équivaut à un taux de renouvellement d'air par heure d'environ 0,3. Le taux sera mesuré à l'aide de deux méthodes, utilisant des gaz inertes : le perfluorocarbone (PFT) et l'hexafluorure de soufre (SF₆) (Annexe 13).

Test de ventilation au perfluorocarbone (PFT)

La méthode d'évaluation du taux de renouvellement de l'air par utilisation du gaz traceur perfluorocarbone (PFT : passive perfluorocarbon tracer) a été mise au point par le Brookhaven National Laboratory (BNL) (Dietz, 2000; Dietz *et al.*, 1982). Cette méthode consiste en l'utilisation de sources traceuses passives de perfluorocarbone ainsi que des capteurs passifs localisés aux endroits stratégiques de la résidence. Après une exposition d'une période donnée, ces capteurs sont analysés au laboratoire de BNL. Les concentrations mesurées, conjuguées au nombre de sources émettrices utilisées, le temps d'utilisation, ainsi que le volume d'air de la résidence, permettent de préciser le taux de renouvellement d'air de la résidence (taux de changement d'air à l'heure).

Dans le cadre de la présente étude, trois sources émettrices ont été localisées pour une période de sept jours dans les résidences, en considérant la faisabilité d'en installer une par étage, et en excluant la chambre de l'enfant et la salle de bain comme zone émettrice. Les capteurs passifs ont été pour leur part localisés dans la chambre de l'enfant ainsi que dans la salle familiale. Ce test a été réalisé à chacune des saisons, soit à l'automne, l'hiver et l'été.

Test de ventilation à l'hexafluorure de soufre (SF₆)

Le test de ventilation par utilisation du SF₆, consiste à injecter dans l'air de la résidence une concentration déterminée de ce gaz et d'en suivre la diminution graduelle en fonction du temps. Cette diminution de la concentration sur une période donnée permet de déterminer le taux d'échange d'air de la résidence.

Dans la présente étude, la concentration de SF₆ de l'échantillonnage visée initialement était de 700 ppb. Le gaz traceur a été dispersé dans chacune des pièces (à l'exception de la chambre de l'enfant) à l'aide de seringues contenant la quantité de gaz nécessaire à la concentration désirée dans l'air de la résidence (déterminée en fonction du volume de la résidence). Des ventilateurs portables ont été installés pour une période de 30 minutes aux endroits stratégiques dans la résidence, et ce, pour favoriser la dispersion adéquate du gaz traceur dans l'ensemble de la résidence. Une fois cette dispersion complétée, les concentrations de SF₆ ont été suivies en continu dans la chambre de l'enfant pendant une période de 4 heures, à l'aide d'un appareil de surveillance de gaz Bruel & Kjaer type 1302, et suivant la méthode E 741-00 de l'ASTM (ASTM, 2006). Afin de réduire les visites durant les périodes d'automne et d'hiver, la durée du test avec le SF₆ a été réduite à 4 heures au lieu des 6 heures initialement prévues.

Étanchéité du bâtiment

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment est un élément important à considérer, notamment lorsque l'on veut évaluer les besoins en matière de ventilation. Le degré d'étanchéité à l'air se mesure à l'aide d'un test d'infiltrométrie. Celui-ci permet de déterminer la quantité d'air qui entre dans la maison par les orifices des murs et des plafonds. L'étanchéité du bâtiment, mesurée par le taux d'infiltration naturelle, varie d'une habitation à l'autre et dépend de plusieurs facteurs, dont la présence d'orifices au niveau de l'enveloppe, laquelle est influencée par les techniques de construction et d'isolation. Au Québec, il n'existe pas de norme sur l'étanchéité à l'air des bâtiments, mais le programme Novoclimat, qui fait office de référence au Québec, recommande un taux d'infiltration d'air inférieur à 2,5 CAH à 50 Pascals (PA) de dépressurisation⁴.

Test d'infiltrométrie

Le taux d'infiltration d'air (étanchéité) a été mesuré à l'aide du système de mesure Minneapolis Blower Door™ (voir annexe 15 pour plus de détails) (ASTM, 2003a). Ce test est régulièrement utilisé, notamment dans le cadre de programmes gouvernementaux d'efficacité énergétique. Durant l'étude, le test d'étanchéité a été réalisé une fois durant l'automne ou l'hiver ainsi qu'à l'été.

Paramètres physiques de l'air intérieur

Mesure du débit d'air du système de ventilation

Le mode d'utilisation d'un système de ventilation influence le taux de renouvellement de l'air dans une habitation ou dans une pièce donnée, faisant ainsi varier les concentrations des contaminants de l'air intérieur. La mesure du débit d'air du registre de la chambre de l'enfant demeure donc importante dans l'estimation de la distribution de l'air dans cette pièce. Ces mesures ont été réalisées aux saisons d'automne et d'hiver uniquement, dans les résidences possédant des systèmes de chauffage ou de climatisation à air pulsé, ou des systèmes de ventilation avec présence de registre dans la chambre de l'enfant. Les débits d'air de chaque registre de planchers, de murs et de plafonds (lorsque facilement accessibles), ont été mesurés à l'aide d'un appareil développé par le CNRC (*Active flow hood*) (Walker *et al.*, 2001).

⁴ http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/novoclimat/OP_exigences_techniques_uni_familial.pdf.

Température (air, surfaces) et humidité relative (air)

La température a un impact sur l'humidité de l'air et le potentiel de condensation à l'intérieur de l'habitation. L'humidité relative est tributaire des habitudes d'utilisation des systèmes de ventilation et de conditionnement de l'air. La température et l'humidité, conjuguées au débit d'air, ont une influence importante sur le confort des occupants. Ainsi, une humidité relative entre 20 et 60 % et des températures entre 20 et 25 °C sont jugées confortables. Santé Canada (1989) précise que la plage d'exposition acceptable à court terme de la vapeur d'eau dans l'air intérieur des maisons se situe entre 30 et 55 % d'humidité relative durant la période d'hiver.

La température de l'air et de surfaces où la température est la plus basse, de même que l'humidité relative, sont mesurées à l'aide d'un enregistreur en continu (Onset HOBO U12-013) pendant une période de sept jours durant l'échantillonnage d'automne, d'hiver et d'été. Elles ont été mesurées dans la chambre de l'enfant, la salle de jeux ou la salle familiale, ou au sous-sol si ce dernier était habité.

Particules en suspension

Les particules en suspension désignent une grande variété de particules de diamètre suffisamment petit pour être transportées par l'air et être ainsi inhalées. À l'intérieur des maisons, elles peuvent se présenter comme un mélange de poussières, de produits de combustion, de gouttelettes d'eau ainsi que d'une variété de produits chimiques. Les $PM_{2,5}$ sont des particules de 2,5 μm ou moins de diamètres. Plus les particules sont petites, plus elles sont nocives, car elles peuvent pénétrer plus profondément dans les poumons. L'exposition à ces particules fines peut irriter les yeux, le nez et la gorge, causer de la toux, des difficultés respiratoires, une réduction de la fonction respiratoire, et entraîner une utilisation accrue de médicaments contre l'asthme. Les personnes souffrant de troubles cardiaques ou respiratoires, tout comme les enfants et les personnes plus âgées, sont les plus sensibles aux effets néfastes de ces particules. Jusqu'à récemment, la recommandation de Santé Canada (1989) au $PM_{2,5}$ pour l'air intérieur était de $\leq 40 \mu g/m^3$ pour une exposition de longue durée (24 heures), et $\leq 100 \mu g/m^3$ pour une exposition courte durée (1 heure). En 2012, Santé Canada a revu sa directive. L'organisme ne recommande plus de valeur limite maximale d'exposition, mais suggère de conserver les concentrations intérieures inférieures à celles à l'extérieur de l'habitation. Les concentrations de particules dans l'air, incluant les particules fines et ultrafines, ont été mesurées dans la chambre de l'enfant sur une période de 3 heures, à l'aide de compteurs Grimm 1.108 (pour les particules entre 0,3 et 20 μm), et TSI P-Trak (pour les particules entre 0,02 et 1 μm) durant l'échantillonnage d'automne et d'hiver.

Paramètres chimiques de l'air intérieur

Plusieurs cofacteurs associés à une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires ont été mesurés dans l'environnement intérieur :

Dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ exhalé par les occupants d'une habitation peut s'accumuler dans l'air intérieur, en particulier lorsque le taux de renouvellement de l'air est insuffisant. Aux concentrations habituellement retrouvées dans l'air intérieur, le CO₂ ne constitue pas une menace pour la santé des occupants, mais peut servir d'indicateur de ventilation à l'intérieur. Santé Canada (1989), recommande sur une base sanitaire une plage d'exposition acceptable à long terme pour le CO₂ inférieure à 3 500 ppm dans l'air intérieur. Cette directive est toutefois en révision au moment où s'écrit ce rapport. L'ASHRAE considère qu'en moyenne la concentration ne devrait pas dépasser de plus de 700 ppm la concentration de CO₂ à l'extérieur, habituellement située entre 300 et 500 ppm. La « valeur guide » proposée par l'ASHRAE est donc de 1 000 ppm.

La mesure du CO₂ a été faite sur une période de sept jours à l'aide d'une sonde Vaisala GMW21, connectée à un enregistreur en continu (Onset HOBO U12-013), et ce, durant les échantillonnages d'automne, d'hiver et d'été. Les mesures ont été réalisées dans la chambre à coucher de l'enfant, la salle de jeux ou salle familiale, ou au sous-sol si habité.

Formaldéhyde/aldéhydes

Le formaldéhyde est un gaz incolore, irritant, à l'odeur forte et âcre. De nombreuses sources potentielles de formaldéhyde sont présentes à l'intérieur des résidences : matériaux agglomérés, colles, peintures, fumées de combustion. C'est un irritant qui peut causer, à des concentrations élevées, une sensation de brûlure aux yeux, au nez ou à la gorge. L'exposition à long terme au formaldéhyde à des concentrations plus faibles peut être reliée à des symptômes respiratoires et à une sensibilité allergique, en particulier chez les enfants. La recommandation de Santé Canada (2006) pour l'air intérieur est de 50 µg/m³ pour une période d'exposition de 8 heures et de 123 µg/m³ pour une exposition de 1 heure. La mesure du formaldéhyde a été effectuée à l'aide de dosimètres passifs (Waters Sep-Pak®Exposure) pendant 7 jours durant les échantillonnages d'automne, d'hiver et d'été. Le dosimètre était localisé dans la chambre de l'enfant. Il a ensuite été analysé pour le formaldéhyde en suivant la méthode D 5197-02 de l'ASTM (ASTM, 2003b).

Dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant généré principalement par les processus de combustion. Il peut irriter les poumons et provoquer de l'hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques. Il peut également diminuer la résistance des voies respiratoires aux infections. Pour l'air intérieur, la recommandation de Santé Canada (1989) pour une période d'exposition de huit heures est de 100 µg/m³ et de 480 µg/m³ pour une exposition de courte durée. La concentration de NO₂ peut être élevée à l'intérieur des habitations en présence de certaines sources, par exemple de cuisinières au gaz, ou encore lorsque la concentration est élevée à l'extérieur dû au trafic routier. Le NO₂ a été mesuré dans la chambre à coucher de l'enfant ainsi que dans le salon ou la salle familiale à l'aide de dosimètres passifs Ogawa & Company (Ogawa, 2011) pendant 7 jours durant les périodes d'automne, d'hiver et d'été.

Ozone (O₃)

L'ozone est un gaz et le principal constituant du « smog ». Dans quelques rares circonstances, la concentration d'ozone dans les résidences peut être élevée due à la présence de source interne : présence d'ozonateur ou d'appareil de purification d'air mal utilisé. L'ozone est un irritant pouvant provoquer divers symptômes comme de la toux, des maux de tête, des douleurs à la poitrine, de l'essoufflement ainsi qu'une irritation des yeux, du nez et de la gorge. Ces symptômes peuvent être observés aussi bien chez les personnes ayant des problèmes respiratoires tels que l'asthme, que chez des personnes en santé. L'ozone a été mesuré à l'aide d'un dosimètre passif Ogawa & Company (Ogawa, 2011) pendant 7 jours durant les échantillonnages d'automne, d'hiver et d'été. Les dosimètres ont été localisés dans la chambre à coucher de l'enfant ainsi que dans le salon ou la salle familiale.

Composés organiques volatils (COV)

Les composés organiques volatils (COV) comprennent plusieurs dizaines de substances chimiques émises par les matériaux ou produits présents ou utilisés dans une habitation : fumée de tabac, colles, peintures, solvants, etc. L'exposition aux COV, même à de faibles concentrations, peut provoquer de l'irritation aux yeux, au nez et à la gorge, causer des maux de tête et des étourdissements. Ils peuvent également être responsables de fatigue, de faiblesse, et d'irritation de la peau. Des associations sont également rapportées entre les concentrations en COV et les

symptômes respiratoires. À noter que Santé Canada n'a pas émis de directive pour les COV totaux. La recommandation de Santé Canada (2011) pour le toluène, un des COV souvent présent dans l'air intérieur, est de 2,3 mg/m³ pour une exposition de 24 heures (long terme), et de 15 mg/m³ pour une exposition de 8 heures (court terme). Les COV ont été mesurés à l'aide d'échantillonneurs passifs sur une période de 7 jours durant les périodes d'automne, d'hiver et d'été. L'échantillonnage a été réalisé dans la chambre de l'enfant.

En début de projet, trois méthodes d'échantillonnage des composés organiques volatils ont été testées, soit deux méthodes passives et une active. Après discussion avec les membres de l'équipe de recherche, il a été convenu de ne conserver que la méthode passive. Les échantillonneurs de Perkin Elmer avec un sorbant Tenax TA 60/80 ont été utilisés, et ont été analysés avec un chromatographe à phase gazeuse équipé d'un spectromètre de masse.

Composés organiques semi-volatils (COSV)

Les composés organiques semi-volatils (COSV) sont des composés organiques dont le point d'ébullition se situe entre (240 à 260 °C) et (380 à 400 °C). Ils sont entre autres utilisés dans l'industrie des plastifiants et du caoutchouc. Ils comprennent plusieurs substances qui peuvent être émises dans l'air et présentes dans les poussières des habitations. Diverses études rapportent des liens entre les COSV (tels que les phtalates) et les allergies, la fonction pulmonaire, ou encore l'asthme chez l'enfant. Il n'y a pas de recommandation canadienne pour les concentrations en COSV dans l'air intérieur. La mesure des COSV a été effectuée sur les prélèvements de poussière de sols collectés sur un filtre Whatman GF/F, 70 mm, pendant 8 minutes sur une superficie de 2 m² à l'aide d'un aspirateur et un échantillonneur à grand débit RIDGID WD 4050, et ce, durant les périodes d'automne et d'hiver. L'échantillonnage a été réalisé sur le plancher de la chambre de l'enfant pendant les périodes d'automne et d'hiver. Les échantillons de COSV ont été extraits et analysés avec un chromatographe à phase gazeuse équipé d'un spectromètre de masse.

Fumée de tabac environnementale (FTE)

La fumée de tabac environnementale (FTE) est responsable de plusieurs problèmes de santé tels que des problèmes cardiaques, le cancer du poumon, et des problèmes respiratoires (MPOC, emphysème, etc.). Elle cause également des infections respiratoires, des otites, de la toux et de l'irritation de la gorge. Elle est également associée à l'induction et l'exacerbation de l'asthme chez l'enfant. Les résidus de la fumée de tabac peuvent persister longtemps dans l'environnement intérieur. La nicotine et le 3—éthénylpyridine sont les principaux marqueurs environnementaux.

Les échantillons de FTE ont été prélevés dans la poussière à l'aide d'un aspirateur selon le protocole décrit pour les COSV. Ils ont ensuite été extraits et analysés avec un chromatographe à phase gazeuse équipé d'un spectromètre de masse.

Paramètres biologiques de l'air intérieur

Spores de moisissures (air)

De la moisissure peut se former et croître sur les matériaux de construction humides. Comme elle peut proliférer derrière les matériaux, elle n'est pas toujours visible; elle se manifeste parfois par une odeur de moisi. Pour se reproduire, la moisissure libère dans l'air des spores suffisamment petites pour être inhalées. Les moisissures peuvent causer une respiration sifflante, un larmolement des yeux, de la toux, de l'essoufflement, des étourdissements et une aggravation des symptômes d'asthme. Il n'y a pas de valeur guide pour interpréter les concentrations de moisissures dans les maisons. Dans l'habitation, l'échantillonnage de spores de moisissures dans l'air a été effectué sur des plaquettes de gélose DG-18 et MEA (Fisher Scientific, Ottawa, On.) par des méthodes de

prélèvements par impaction (à l'aide d'une pompe pendant 10 minutes avec un impacteur Staplex modèle MAS-2), et par sédimentation sur plaques de Pétri (durant 3 heures). Les prélèvements ont été effectués dans la chambre à coucher de l'enfant, la salle familiale ou la salle de jeux, et au sous-sol, lorsqu'habité, pour la méthode par impaction, et uniquement dans la chambre de l'enfant avec la méthode par sédimentation durant la période d'automne et d'hiver.

Un des principaux changements apportés au protocole d'échantillonnage a été l'abandon de la mesure des moisissures avec les échantillonneurs de type PS 30 (Umweltanalytik Holbach, GmbH). Compte tenu des premiers résultats qui se sont avérés négatifs quant à la détection et à l'identification des espèces de moisissures contenues sur les plaquettes, et compte tenu des coûts élevés y étant associés, l'équipe de recherche a pris la décision de cesser cet échantillonnage spécifique.

L'analyse des spores de moisissures dans la poussière, indicateur de la présence de moisissure, a également été abandonnée en raison des résultats négatifs observés en début d'étude.

Ergostérol et bêta-1,3 — D-glucan (poussière)

L'ergostérol est un composé organique retrouvé dans la membrane des cellules fongiques. Le bêta - 1,3— D-glucan est un polymère du glucose présent dans la paroi cellulaire de la plupart des champignons. La mesure de l'ergostérol et du glucan dans la poussière est un indicateur de la biomasse fongique. L'interprétation de ces mesures est encore au stade expérimental. Il n'y a donc pas de valeur guide pour interpréter les concentrations d'ergostérol et de bêta - 1,3— D-glucan dans les maisons. Les prélèvements de poussière ont été effectués à l'aide d'un aspirateur (voir protocole des COSV) pendant quatre minutes, sur une superficie de 1 m² par paramètre, durant l'échantillonnage d'automne et d'hiver. Les échantillons ont ensuite été analysés par l'essai GlucateLL® (Cape Cod Associates) avec un lecteur d'absorbance ELx808 (Biotek).

Endotoxines dans la poussière

Les endotoxines sont des lipopolysaccharides présents dans la membrane cellulaire des bactéries gram-négatives. L'exposition à de fortes concentrations d'endotoxines peut provoquer une réponse inflammatoire. Il n'y a pas de valeur guide pour interpréter les concentrations d'endotoxines dans les maisons. Les prélèvements de poussière ont été faits à l'aide d'un aspirateur conçu à cet effet pendant quatre minutes, sur une superficie de 1 m², durant les échantillonnages d'automne, d'hiver et d'été (voir le protocole COSV). Les échantillons ont ensuite été analysés par l'essai Limulus Amebocyte Lysate (Charles River Laboratories International) avec un lecteur d'absorbance ELx808 (Biotek).

Allergènes d'acariens, de chat et de chien dans la poussière

Les acariens sont de minuscules organismes invisibles à l'œil nu. Ils se retrouvent dans toutes les maisons, en particulier dans la poussière. Ils se nourrissent de particules de peau humaines et se développent dans des milieux humides (humidité relative supérieure à 55 %). Deux espèces d'acariens de poussière sont régulièrement rencontrées dans les maisons canadiennes : *Dermatophagoides pteronyssinus* (Der p1) et *Dermatophagoides farinae* (Der f1). Chez les personnes sensibles, ils peuvent causer une respiration sifflante, un larmolement des yeux, de la toux, de l'essoufflement, des étourdissements et une aggravation des symptômes de l'asthme. Au Canada, il n'existe pas de valeur guide pour interpréter les concentrations d'allergènes d'acariens dans la poussière. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un aspirateur (Philips Topomatic T518) équipé d'un collecteur de poussière Dustream™ (Indoor Biotechnologies) sur le plancher (4 minutes), et sur le matelas du lit (5, 6 minutes) de la chambre de l'enfant, et ce, durant les périodes

d'échantillonnage d'automne, d'hiver et d'été. Les échantillons de poussière ont ensuite été analysés par l'essai ELISA de Aerotech Laboratories.

3.5 Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'effet clinique principal de l'intervention sur la santé reliée à la fréquence quotidienne des symptômes, il a été estimé qu'un échantillon de 60 enfants par groupe, pour un total de 120 enfants, était nécessaire pour détecter une réduction de 2.1 jours avec symptôme sur une période de 14 jours avec une puissance $\geq 80\%$ ($\alpha = 0.05$; test unilatéral). Cette estimation était basée sur le postulat que 15 % des participants seraient perdus de vue lors du suivi. Pour ce qui est de l'effet clinique secondaire relié à la prévalence des symptômes sur 12 mois, il a été estimé qu'un échantillon de 120 enfants permettrait de détecter, avec une puissance de 88 %, une diminution de 20 % de la prévalence des enfants avec au moins un épisode de sifflement au cours de l'année.

Pour être inclus dans l'analyse, tous les participants devaient avoir complété le questionnaire ISAAC et les mesures environnementales de la résidence au cours des 2 années d'observation. Les participants devaient aussi avoir complété 4 périodes de 14 jours du journal quotidien des symptômes et 4 questionnaires du Quiz sur l'asthme durant les saisons automne/hiver au cours de chacune des deux années. Un participant du groupe contrôle n'a pu être inclus dans l'analyse puisqu'il a abandonné l'étude au début de l'année 2. Il n'a donc pas pu être inclus dans une « analyse en intention de traiter » à cause de l'absence totale de données sur les effets cliniques étudiés (Moher *et al.*, 2010).

Une analyse descriptive des caractéristiques personnelles et de l'habitation des participants a été effectuée au départ pour les groupes intervention et contrôle. L'intervention sur la ventilation a été complétée dans toutes les résidences des participants du groupe intervention. Une transformation logarithmique des données dont la distribution n'obéissait pas à la loi normale (paramètres de ventilation, $PM_{2.5}$, contaminants chimiques et biologiques) a été effectuée. Les auteurs ont procédé à des analyses univariées et multivariées pour étudier les relations entre les caractéristiques des habitations et les variables environnementales, de même qu'entre les caractéristiques personnelles et les variables reliées à la santé. Des tests de Student et de chi carré ont été utilisés respectivement pour comparer les moyennes (ou moyennes géométriques), et les proportions des variables environnementales et des variables santé et les variables confondantes potentielles. Des modèles linéaires ont été utilisés pour les analyses multivariées. Les variables confondantes potentielles suivantes ont été identifiées : année de construction, garage attenant, poêle à bois, âge, genre, niveau d'éducation des parents et antécédent d'eczéma. Des modèles linéaires mixtes avec valeurs répétées ont été utilisés pour évaluer les changements de l'année 1 à l'année 2 des valeurs des variables environnementales et de santé dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle, ajustés pour les variables confondantes. En ce qui concerne les variables environnementales transformées, le ratio des moyennes de l'année 2 par rapport à l'année 1 a été utilisé pour mesurer le changement dans chaque groupe. Le ratio du groupe intervention a ensuite été divisé par celui du groupe contrôle pour évaluer l'effet de groupe. Pour ce qui est des variables normales, la différence des moyennes (année 2 – année 1) a servi à évaluer le changement dans chaque groupe. La différence du changement entre les deux groupes a ensuite été calculée pour évaluer le changement dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle. Les résultats de l'intervention sur le taux de ventilation et l'humidité relative sont ajustés pour l'année de construction et la présence d'un poêle à bois, ceux sur les concentrations de contaminants de l'air intérieur pour la présence d'un garage attenant. Les résultats de l'intervention sur les variables santé sont ajustés pour l'âge, le sexe, le niveau d'éducation des parents et l'eczéma.

La méthode d'analyse développée par Morgan *et al.* (2004) dans une étude randomisée sur une intervention à domicile visant la réduction des problèmes d'asthme chez les enfants en milieu défavorisé, a été utilisée dans une analyse post-hoc pour étudier la relation entre les données environnementales et la santé. Ainsi, sur la base de cette méthode, des modèles linéaires mixtes avec mesures répétées ont été utilisés pour évaluer si la réduction de la concentration de certains contaminants dans l'air, tel que le formaldéhyde, était associée avec une diminution des problèmes respiratoires dans le groupe intervention. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SAS (version 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

3.6 Considérations éthiques

3.6.1 APPROBATIONS DES COMITÉS D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE

Le projet IVAIRE a été approuvé par les Comités d'éthique de la recherche du CHUQ, du CNRC et de Santé Canada. Une attention particulière a été apportée aux recommandations du Committee on Ethical Issues in Housing-related Health Hazard Research Involving Children, Youth, and Families (National Research Council – IOM, 2005). Le recrutement des participants a été effectué sans discrimination auprès de tous les enfants et familles admissibles par l'intermédiaire de l'équipe du Centre mère-enfant du CHUQ. Les parents ont été informés de façon adéquate sur le projet au moyen d'un dépliant d'information et ont signé un formulaire de consentement. Les enfants en mesure de lire ont signé un formulaire d'assentiment (Annexe 17). L'étude a été réalisée en étroite collaboration avec les divers intervenants concernés : pédiatres, pneumologues, allergologues, infirmières, inhalothérapeutes et responsables du centre d'enseignement sur l'asthme.

Le projet de recherche ne comportait pas de risques potentiels pour la santé des participants. Le suivi médical des enfants a été effectué par les médecins traitants habituels à l'aide d'examens et de tests standardisés couramment utilisés. De façon à minimiser les appréhensions chez les enfants, le test cutané d'allergie a été effectué à une seule occasion au cours de l'étude. Les prélèvements effectués dans l'habitation ne représentaient aucun risque pour la santé. L'équipe de recherche a pris tous les moyens pour que le déroulement occasionne le minimum de dérangement et de nuisance pour les occupants. Pour effectuer les mesures de ventilation, l'équipe de recherche a eu recours à des tests standardisés qui impliquent l'utilisation de deux gaz traceurs, le PFT et le SF₆. L'utilisation de ces gaz traceurs n'a aucun impact connu sur le système respiratoire. Cette technique a été utilisée avec succès dans plusieurs études réalisées par Santé Canada avec divers partenaires. Bien que ce soit des gaz à effet de serre, la quantité utilisée était infime et par conséquent aucun impact notable sur l'environnement n'était appréhendé. Enfin, au cours de l'étude, l'équipe de recherche a divulgué aux parents les conseils appropriés pour contrôler les problèmes qui avaient été détectés dans l'habitation. L'installation des systèmes de ventilation dans les habitations du groupe intervention a été effectuée par des experts du domaine selon les règles de l'art en s'assurant de réduire au minimum les nuisances.

3.6.2 CONFIDENTIALITÉ ET SÉCURITÉ DES RENSEIGNEMENTS PERSONNELS

La gestion administrative du suivi de chaque enfant et de chaque habitation a été effectuée grâce à une banque de données informatisée mise en place dans le cadre de l'étude. Une fiche d'identification a été complétée par la coordonnatrice de recherche qui a attribué un numéro d'anonymat (code d'identification) à chacun des participants.

La fiche d'identification contient les coordonnées de l'enfant et des deux parents, la date de naissance et le numéro d'assurance-maladie de l'enfant. Le poids et la taille de l'enfant ont aussi été colligés.

La saisie des données des différents questionnaires et des différents tests a été effectuée sous la supervision immédiate de la coordonnatrice de recherche. Un fichier unique a été créé pour chacun des participants tout en assurant l'anonymat.

La gestion de la banque de données a été faite de façon à assurer la confidentialité des dossiers personnels des participants autant en ce qui concerne les données sur l'habitation, les données sur la santé que celles contenues au dossier-patient du pharmacien. Les dossiers des participants sont conservés dans un classeur sous clé. Les résultats de l'étude, publiés et non publiés, seront dépersonnalisés.

3.6.3 COMPENSATIONS ACCORDÉES AUX PARTICIPANTS

La participation au projet a nécessité la disponibilité des familles pour répondre aux questionnaires et accueillir les interviewers et techniciens. L'évaluation exhaustive de l'état de situation de la ventilation et de la qualité de l'air intérieur du domicile constitue une compensation appréciable pour l'ensemble des participants. L'installation d'un système de ventilation ou l'optimisation d'un système existant sans frais représente un avantage économique supplémentaire pour les participants du groupe intervention. Toutefois, ce dernier avantage a comporté certains désagréments et nuisances reliés à l'intervention. Une certaine compensation financière a été accordée aux participants : un appareil mesurant le degré d'humidité relative des maisons (hygromètre) a été remis à tous les participants à la fin de la phase préintervention, et un montant de 200 \$ a été remis aux participants du groupe contrôle.

3.6.4 INFORMATIONS TRANSMISES AUX PARTICIPANTS

Conseils du RQAM

L'étude impliquait les avantages suivants pour les enfants : suivi médical systématique, suivi de l'évolution des symptômes respiratoires, identification et mesures des facteurs environnementaux dans l'habitation. Un rappel des conseils du RQAM de base véhiculés par le CEA du CHUQ concernant les mesures de prévention environnementales a été acheminé à chacun des participants à la fin de la période d'échantillonnage de la saison froide de l'étude descriptive.

Rapports individuels aux participants

Les familles participantes ont été informées des résultats des tests cliniques et des mesures environnementales qui les concernaient et des conseils préventifs adaptés leur étaient prodigués. Un rapport individuel a été envoyé à chacun des participants (annexe 18). Ce rapport développé et adapté au présent projet en collaboration avec Santé Canada comprend deux parties. La première résume les résultats des contaminants de l'air et des paramètres de ventilation effectués dans la résidence dans le cadre du projet de recherche IVAIRE. Elle contient des recommandations au niveau de la ventilation en lien avec les observations des techniciens durant la collecte. La deuxième partie du rapport contient des fiches d'information accompagnées de conseils appropriés pour aider les occupants à contrôler chacun des paramètres mesurés. Ces conseils sont basés sur les lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur publiées par Santé Canada. L'étude a permis aux parents d'obtenir une information objective sur l'état de la qualité de l'air et de la ventilation de leur habitation.

Résumé des conclusions de l'étude

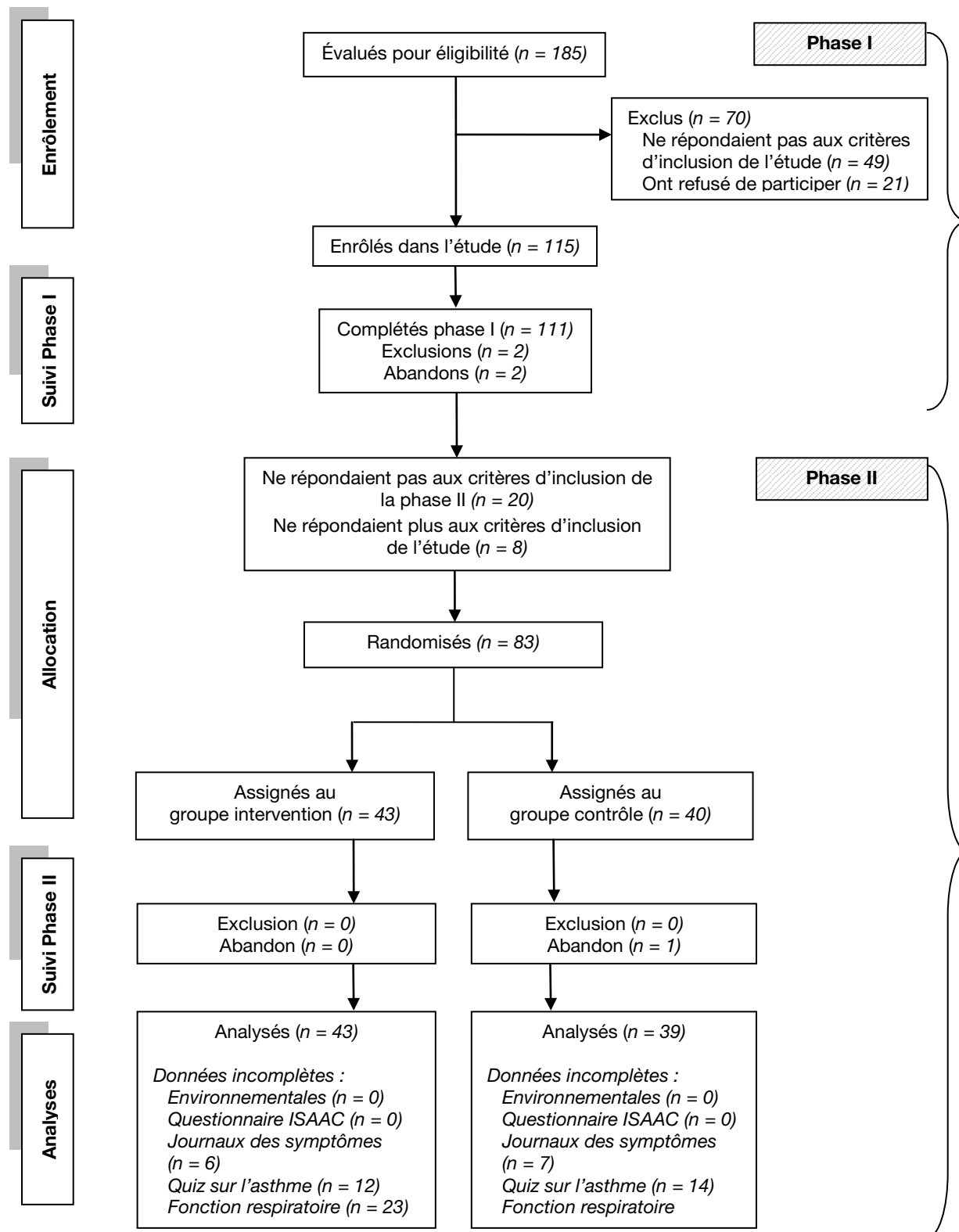
À la fin du projet, un résumé des conclusions de l'étude a été acheminé à chacun des participants afin de les informer en primeur des résultats de l'étude.

4 Résultats

4.1 Cheminement des participants dans l'étude

Les médecins de la clinique d'asthme ont évalué l'admissibilité à l'étude de 185 enfants entre le mois d'octobre 2008 et février 2010 (Figure 2). De ce nombre, 49 ne répondaient pas aux critères d'inclusion de l'étude et 21 ont refusé d'y participer. Un total de 115 enfants ont donc été enrôlés dans la phase 1 de l'étude. Durant cette première phase, 2 participants ont dû mettre un terme à leur participation pour des raisons de déménagement et de rénovations majeures tandis que 2 autres participants ont abandonné le projet. Ceci a donc porté à 111 le nombre de participants qui ont complété la phase 1.

Figure 2 Cheminement des participants dans l'étude



Le choix des résidences admissibles à la phase 2 a été effectué suite aux visites environnementales de la première phase. Sur un total de 111 résidences, 20 d'entre elles ne répondaient pas aux critères de la phase 2 et 8 ne répondaient plus aux critères de l'étude. Quatre-vingt-trois résidences ont donc été randomisées dans le groupe intervention (43) et dans le groupe témoin (40). Durant cette deuxième phase, un seul participant du groupe témoin a abandonné le projet. Un total de 82 participants a donc complété l'étude randomisée.

4.2 Résultats de l'étude descriptive (phase préintervention – phase I)

4.2.1 VOLET ENVIRONNEMENTAL

Environnement intérieur

Caractéristiques de l'habitation

Les caractéristiques des habitations des participants à l'étude sont présentées au tableau 6. Ainsi, on observe une assez grande uniformité des types d'habitations avec 94 habitations de type bungalow (84 %). Un peu plus de 60 % sont des résidences ayant été construites après 1980, dont la moitié de celles-ci après 2000, alors que 16 % sont antérieures à 1960. Les principaux matériaux de revêtement extérieur sont le vinyle (41 %) et la brique (24 %). L'aluminium et le bardage de type Cannexel suivent avec chacun 12 % des résidences. La majorité des résidences (86,5 %) ont un volume total supérieur à 350 m³ d'air et un peu plus du tiers (68,2 %) ont un taux d'infiltration égal ou supérieur à 3 CAH₅₀.

Le nombre total de pièces dans les résidences se situe majoritairement (77 %) entre 7 et 10 pièces et compte soit 2 (62 %) ou 3 (25 %) chambres à coucher. Il y a présence d'une salle de bain au soubassement dans 44 % des résidences. Trente-cinq pour cent (35 %) des participants ont signalé la présence de tapis dans l'une ou l'autre des pièces de la résidence. Enfin, près d'une résidence sur trois possède un garage attenant à l'habitation.

Tableau 6 Caractéristiques des habitations de la population à l'étude (n = 111)

Caractéristiques des habitations		n (%)	
Type de résidence			
Bungalow		93 (83,8)	
Cottage		11 (9,9)	
Autres		7 (6,3)	
Année de construction de la résidence			
≤ 1959		18 (16,2)	
1960-1979		23 (20,7)	
1980-1999		34 (30,6)	
≥ 2000		36 (32,4)	
Type principal de matériaux de revêtement extérieur			
Vinyle		46 (41,4)	
Brique		27 (24,3)	
Aluminium		13 (11,7)	
Cannexel		13 (11,7)	
Autres		12 (10,9)	
Volume de la maison (m³)			
< 350		15 (13,5)	
≥ 350		96 (86,5)	
Infiltrométrie (CAH ₅₀) ^a			
< 3		35 (31,8)	
≥ 3		75 (68,2)	
Nombre total de pièces de la résidence			
5-6		11 (9,9)	
7-8		34 (30,6)	
9-10		52 (46,8)	
11-13		14 (12,6)	
Nombre de chambres à coucher			
2		7 (6,3)	
3		69 (62,2)	
4		28 (25,2)	
5		7 (6,30)	
Localisation de salles de bain ou salle d'eau selon l'étage		Salle de bain	Salle d'eau
Sous-sol		49 (44,1)	13 (11,7)
Rez-de-chaussée		72 (64,9)	33 (29,7)
2 ^e étage		50 (45,0)	2 (1,8)
Présence de tapis dans la résidence		39 (35,1)	
Présence d'un garage attenant		33 (29,7)	

^a 1 non-répondant.

Caractéristiques du système de chauffage

Les modes de chauffage utilisés dans les résidences sont présentés au tableau 7. Le système électrique constitue le principal type de chauffage en saison froide pour 76 % des résidences, suivi du chauffage au bois avec 11 % et du chauffage à l'huile (5,4 %). Le principal mode de distribution de la chaleur est la plinthe électrique (67 %) et l'air pulsé (22 %). Cinquante-deux pour cent (52 %) des participants ont indiqué utiliser un système de chauffage d'appoint tel que le poêle à bois ou à combustion lente, les plinthes électriques, appareils portatifs électriques, etc. Il y a présence d'un poêle à bois chez 48 % des participants dont 19 % parmi ceux-ci indiquent utiliser dix cordes de bois et plus au cours d'une année.

Tableau 7 **Caractéristiques du système de chauffage (n = 111)**

Caractéristiques du système de chauffage	n (%)
Type de chauffage principal	
Système électrique	84 (75,7)
Chauffage au bois	12 (10,8)
Chauffage à l'huile	6 (5,4)
Système mixte (électrique/huile)	4 (3,6)
Autres	5 (4,5)
Distribution de la chaleur du système de chauffage principal	
Plinthes électriques	74 (66,7)
Air pulsé	24 (21,6)
Calorifères à eau chaude	3 (2,7)
Plafond radiant	1 (0,9)
Autres	9 (8,1)
Utilisation d'un chauffage d'appoint	58 (52,3)
Présence d'un poêle à bois	53 (47,8)
Nombre de cordes de bois utilisées par année ^a	
Moins de 1 corde	11 (21,2)
Entre 1 et 4 cordes	19 (36,5)
Entre 5 et 9 cordes	12 (23,1)
≥ 10 cordes	10 (19,2)

^a Pour cette variable n = 53.

Habitudes de vie des participants

Plusieurs données sur les habitudes de vie des participants pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air résidentiel ont été colligées au cours de l'étude. Au tableau 8, il est précisé que pour la majorité des familles, on dénombre habituellement quatre occupants et plus dans la résidence (81 %). La présence d'animaux est observée chez près du tiers des participants (29 %), le chien ou le chat étant le principal animal de compagnie. Au niveau de la consommation de tabac, seulement 4 % des participants ont identifié la présence de fumeur dans la résidence. Concernant les méthodes de protection contre les allergènes d'acariens, 43 % des familles rapportent en utiliser, dont principalement la housse antiacariens. Quant à la pratique de passe-temps ou hobby pouvant

entraîner des odeurs, de la fumée ou des poussières, 23 % des occupants ont identifié pratiquer une telle activité à leur résidence.

Tableau 8 Habitudes de vie des participants (n = 111)

Habitudes de vie des participants	n (%)
Nombre d'occupants dans la résidence	
2	1 (0,9)
3	20 (18,0)
4	62 (55,9)
5	17 (15,3)
6	11 (9,9)
Présence d'animaux domestiques	32 (28,8)
Chat ou chien	27 (24,3)
Chat ou chien seulement	21 (18,9)
Autres animaux de compagnie ^a	5(4,5)
Chat ou chien et autres animaux de compagnies	6 (5,4)
Aucun animal domestique	79 (71,2)
Présence de fumeur dans la résidence	4 (3,6)
Mesures contre les acariens (n = 48)	48 (43,2)
Housse antiacariens	18 (37,5)
Taie d'oreiller antiacariens	4 (8,3)
Housse et taie d'oreiller antiacariens	25 (52,1)
Utilisation d'acaricide	1 (2,1)
Bricolage à l'intérieur (n = 25)	25 (22,5)
Menuiserie	8 (32,0)
Rénovation	7 (28,0)
Bricolage	4 (16,0)
Peinture	3 (12,0)
Autres	3 (12,0)

^a Lapin, oiseau, reptile, etc.

Équipement de ventilation

Sur les deux tiers (66 %) des participants à l'étude qui possèdent un système de ventilation mécanique, 40 % ont un ventilateur récupérateur de chaleur (VRC), et 26 % ont un échangeur d'air (tableau 9). Sur l'ensemble des systèmes répertoriés, 36 % sont pourvus de conduits distribuant l'air aux pièces, dont 37 % distribuent l'air dans la chambre de l'enfant. En ce qui concerne les systèmes d'extraction d'air, la quasi-totalité des maisons possède une hotte de cuisine, lesquelles sont presque toujours pourvues d'une sortie extérieure (96 %). L'humidité intérieure semble constituer une source de préoccupation chez les participants, puisque 32 % possèdent un humidificateur, et 59 % un déshumidificateur. La ventilation d'extraction dans la salle de bain est présente dans 86 % des maisons, et un peu plus de la moitié (55 %) d'entre elles en sont pourvues dans l'ensemble des salles de bain.

Tableau 9 Équipement de ventilation (n = 111)

Équipement de ventilation	n (%)
Présence d'un système de ventilation	
Présence	73 (65,8)
Absence	38 (34,2)
Type de système présent	
Ventilateur récupérateur de chaleur	44 (39,6)
Échangeur d'air	29 (26,1)
Distribution d'air dans toutes les pièces ^a	26 (35,6)
Présence d'une bouche d'insufflation dans chambre de l'enfant ^a	27 (37)
Présence d'une hotte de cuisinière	110 (99,1)
Avec sortie extérieure	106 (96,4)
Présence d'un climatiseur ^b	38 (36,9)
Présence d'un humidificateur portatif	35 (31,5)
Présence d'un déshumidificateur	65 (58,6)
Présence d'un purificateur d'air	7 (6,3)
Présence d'un ventilateur d'extraction dans la salle de bain	95 (85,6)
Aucun ventilateur	16 (14,4)
Dans le tiers des salles de bain	3 (2,7)
Dans la moitié des salles de bain	27 (24,3)
Dans les deux tiers des salles de bain	4 (3,6)
Dans toutes les salles de bain	61 (55)

^a Pour ces variables, n = 73.

^b 8 non-répondants.

Habitudes de ventilation

Si la présence d'un système de ventilation constitue le premier aspect à considérer, les habitudes de ventilation constituent une information précieuse pour évaluer la capacité de ventilation réelle de la résidence. Ainsi, dans le tableau 10, parmi ceux qui possèdent un système de ventilation, près de la moitié (49 %) l'utilisent en mode continu tandis que 41 % l'utilisent en mode intermittent et que 10 % ne peuvent l'évaluer. Le nombre d'heures pendant lequel l'appareil fonctionne en recirculation s'avère passablement variable d'une résidence à l'autre, bien que le quart (26 %) des participants disent ne jamais faire fonctionner leur appareil de cette façon et que 11 % d'entre eux disent le faire 24 heures par jour. Notons que 45 % des participants ne savent pas sous quel mode leur appareil fonctionne. Il en va de même pour l'échange d'air avec l'extérieur, alors que ces mêmes proportions se situent à 10 % pour les participants qui ne l'utilisent jamais, 22 % pour ceux qui disent le faire fonctionner en continu et 43 % pour ceux qui ne connaissent pas le nombre d'heures durant lesquelles leur appareil fonctionne en échange d'air avec l'extérieur. Chez les participants, la hotte de cuisinière est généralement en fonction une fois ou plus par jour (73 %) pour une durée de fonctionnement variant principalement de 10 à 30 minutes par utilisation. Les ventilateurs de chambres de bain sont quant à eux actionnés dans près de la moitié (48 %) des résidences de une à trois fois par jour, mais le sont moins d'une fois par jour dans 21 % d'entre elles.

La fréquence d'ouverture des fenêtres nous renseigne sur l'apport potentiel en ventilation naturelle. Durant l'automne, celles-ci sont souvent ouvertes dans presque trois quarts (73 %) des résidences à l'étude, cette fréquence étant encore plus élevée dans la chambre de l'enfant (84 %). À l'opposé et tel qu'attendue, elles sont rarement ou qu'à l'occasion ouvertes en hiver dans la presque totalité des maisons (99 %), incluant dans la chambre de l'enfant (98 %). Enfin, la majorité des participants (80 %) rapportent que la porte de la chambre de l'enfant demeure ouverte la plupart du temps la nuit.

Tableau 10 Habitudes de ventilation (n = 111)

Habitudes de ventilation	n (%)
Mode de fonctionnement du système de ventilation mécanique^a	
En continu	36 (49,3)
En intermittence	30 (41,1)
Nombre d'heures en recirculation^a	
0	19 (26)
> 0 et < 12	5 (6,9)
≥ 12 et < 24	8 (11,0)
24	8 (11,0)
Ne sait pas	33 (45,2)
Nombre d'heures en échange^a	
0	7 (9,6)
> 0 et < 12	14 (19,2)
≥ 12 et < 24	5 (6,9)
24	16 (21,9)
Ne sait pas	31 (42,5)
Fréquence d'utilisation de la hotte^b	
3 fois et moins/semaine	13 (11,7)
Entre 4 et 6 fois/semaine	16 (14,4)
1 fois et plus/jour	81 (73)
Durée d'utilisation de la hotte^c	
≤ 10 minutes/utilisation	22 (20,6)
> 10 et ≤ 15 minutes/utilisation	20 (18,7)
> 15 et ≤ 20 minutes/utilisation	21 (19,6)
> 20 — ≤ 25 minutes/utilisation	4 (3,7)
> 25 — ≤ 30 minutes/utilisation	27 (25,2)
> 30 minutes/utilisation	13 (12,1)
Fréquence d'utilisation des ventilateurs de chambre de bain	
Moins d'une fois par jour	23 (20,7)
1 à 3 fois par jour	53 (47,8)
4 fois et plus par jour	16 (14,4)
Durée d'utilisation des ventilateurs de chambre de bain	
≤ 10 minutes/utilisation	29 (26,9)
> 10 et ≤ 15 minutes/utilisation	20 (18,5)
> 15 et ≤ 20 minutes/utilisation	21 (19,4)
> 20 — ≤ 25 minutes/utilisation	2 (1,9)
> 25 — ≤ 30 minutes/utilisation	14 (13)
> 30 minutes/utilisation	20 (18,5)

^a Pour ces variables, n = 73.

^b 1 non-répondant.

^c 3 non-répondants.

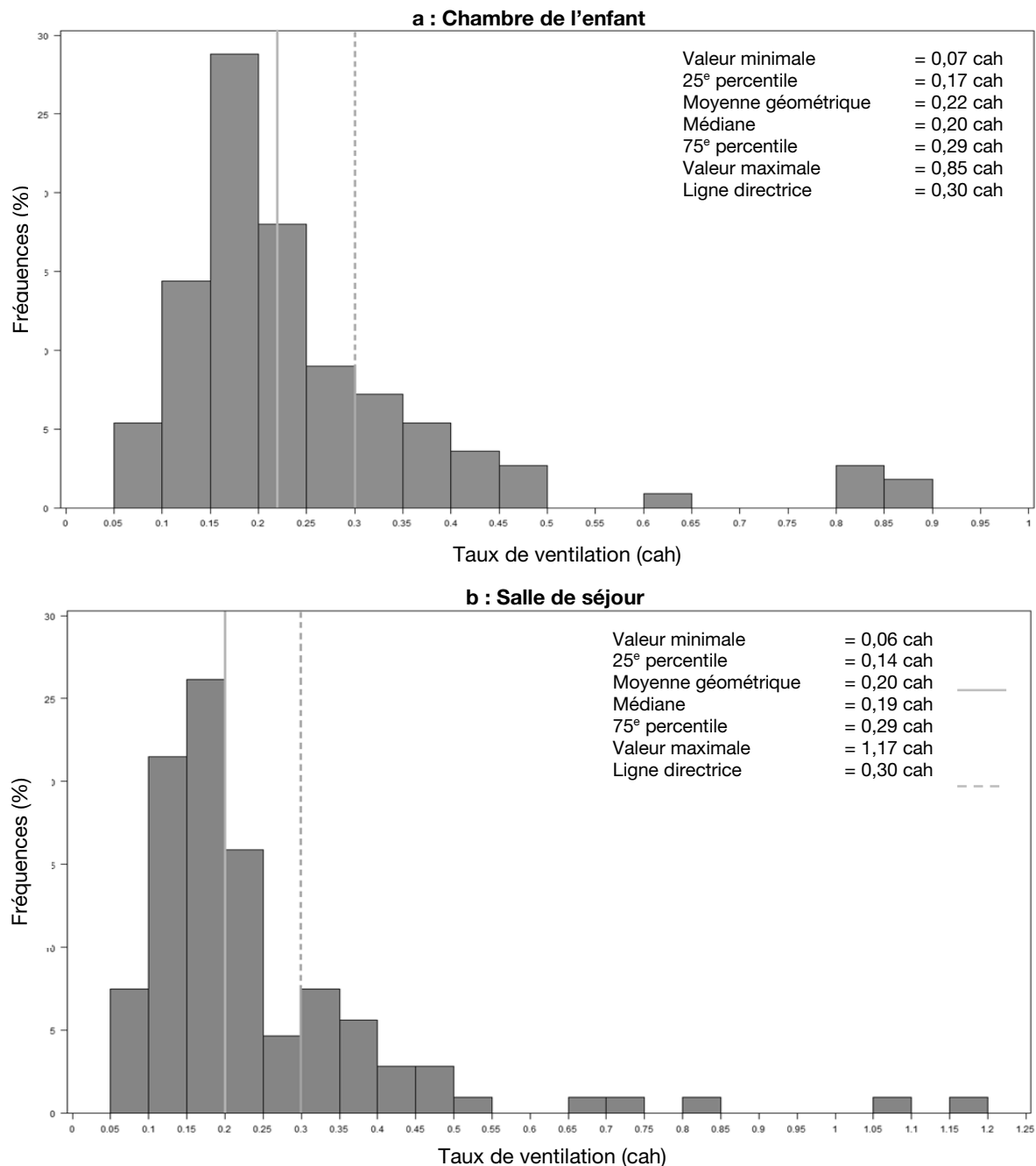
Tableau 10 Habitudes de ventilation (suite)

Habitudes de ventilation	n (%)
Fréquence d'ouverture fenêtres l'automne (sauf chambre de l'enfant)	
Jamais, rarement, à l'occasion	81 (73)
Souvent, très souvent	30 (27)
Fréquence d'ouverture fenêtres l'hiver (sauf chambre de l'enfant)	
Jamais, rarement, à l'occasion	110 (99)
Souvent, très souvent	1 (1)
Fréquence d'ouverture fenêtres de la chambre d'enfant à l'automne	
Jamais, rarement, à l'occasion	93 (83,8)
Souvent, très souvent	18 (16,2)
Fréquence d'ouverture fenêtres de la chambre d'enfant l'hiver	
Jamais, rarement, à l'occasion	109 (98,2)
Souvent, très souvent	2 (1,8)
Fréquence d'ouverture porte de la chambre d'enfant la nuit	
Jamais, rarement, à l'occasion	22 (19,8)
Souvent, très souvent	89 (80,2)

Paramètres physiques

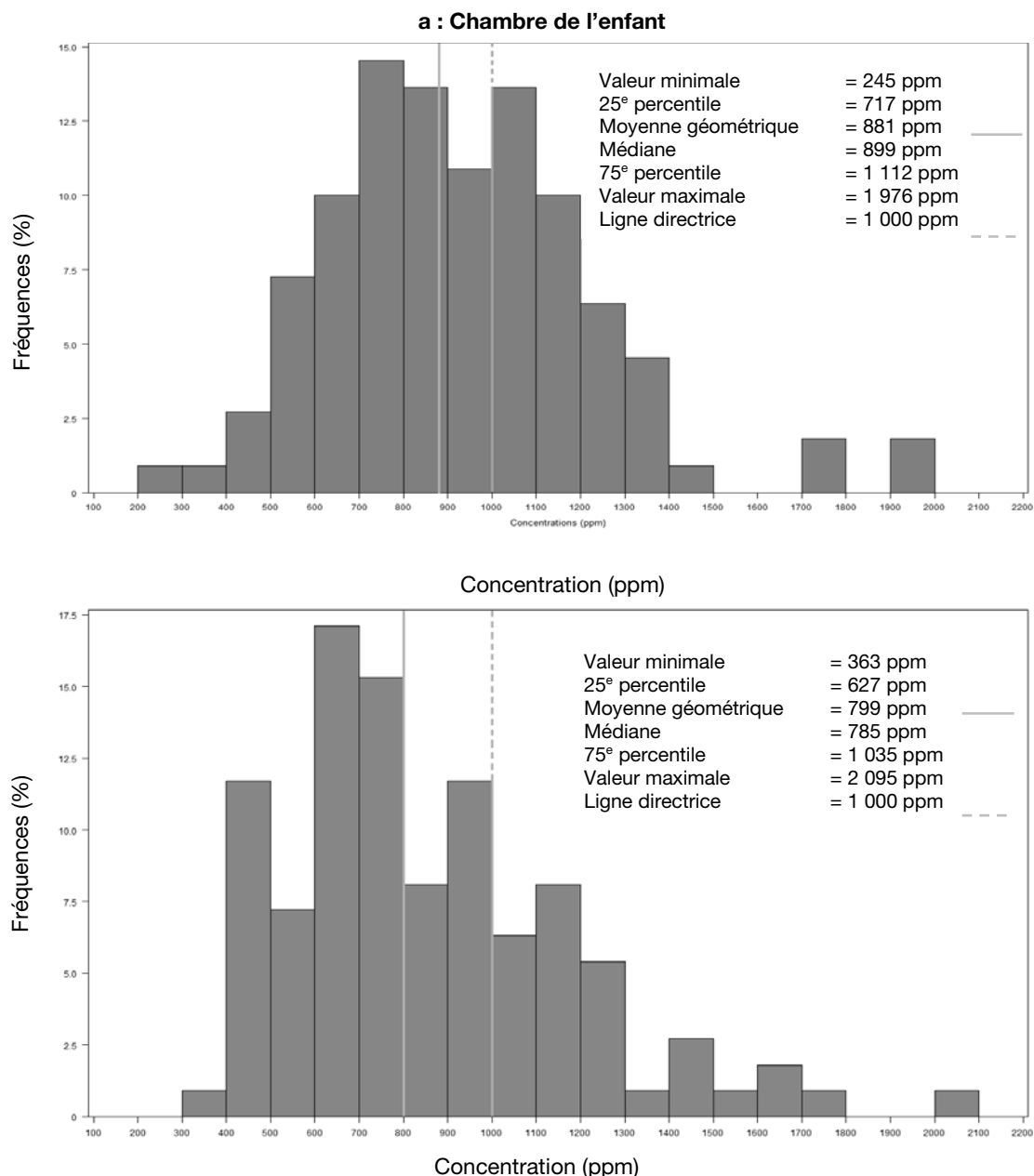
La figure 3 présente les taux de ventilation mesurés à l'aide du PFT dans la chambre de l'enfant et ceux mesurés dans la salle de séjour lors de la première année d'observation. On constate tout d'abord que les taux sont similaires d'un schéma à l'autre, avec une moyenne géométrique de 0,22 CAH pour la chambre de l'enfant et 0,20 CAH pour le séjour. On observe également que les trois quarts des taux mesurés dans la chambre (75,7 %) et dans le séjour (76,6 %) se situent sous la ligne directrice de ventilation de 0,30 CAH.

Figure 3 Taux de ventilation mesurés à l'aide du PFT dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b)



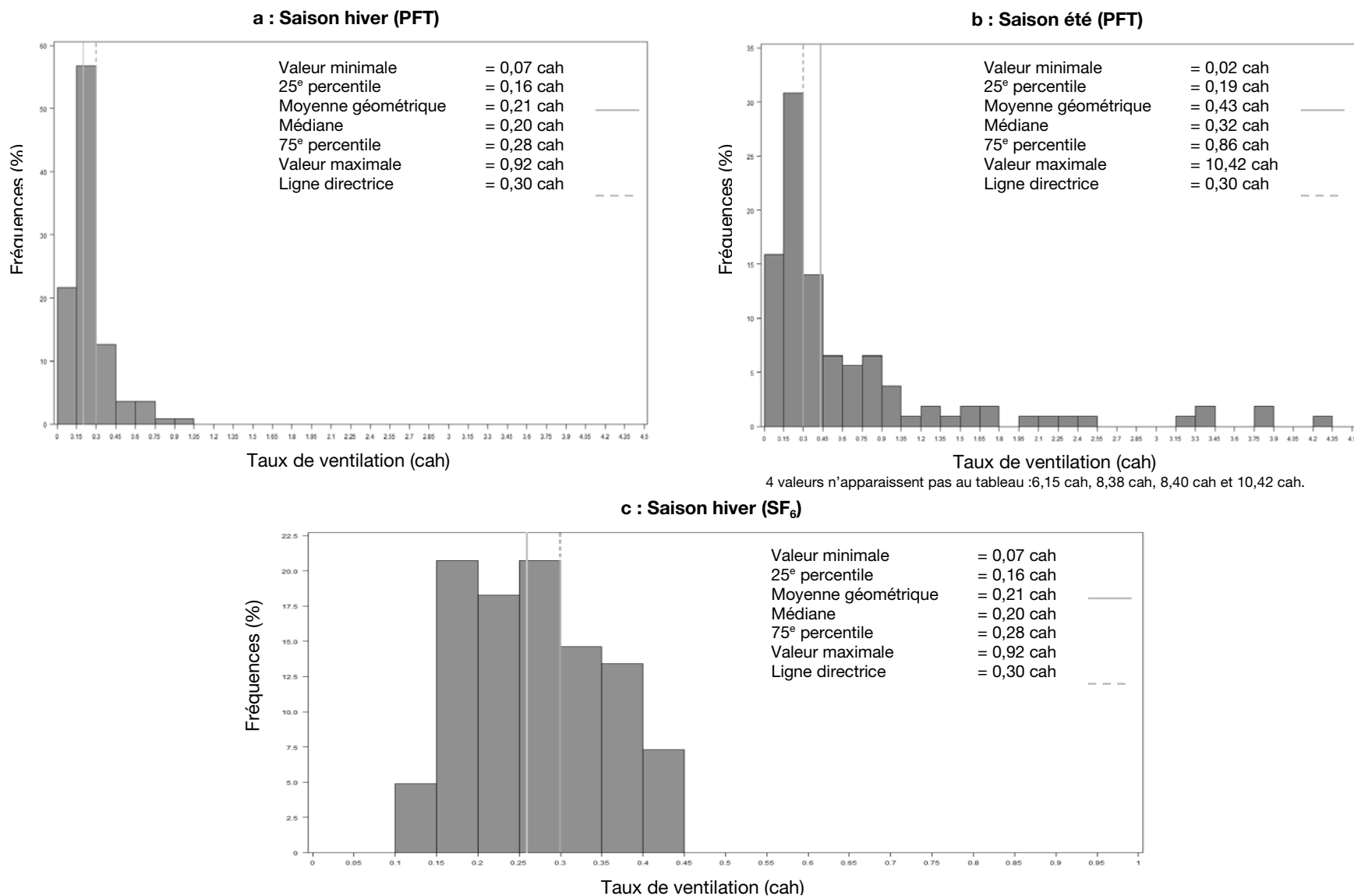
La figure 4 présente les concentrations de CO₂ mesurées dans la chambre de l'enfant et dans la salle de séjour lors de la première année d'observation. On observe que les concentrations médiane et moyenne sont plus élevées dans la chambre de l'enfant que dans la salle de séjour (881 ppm et 899 ppm pour la chambre en comparaison à 785 ppm et 799 ppm pour le séjour). Par contre, la valeur maximale est observée dans la salle de séjour (2 095 ppm). D'autre part, plus du quart des 111 résidences à l'étude (27,9 %) dépassent la valeur de référence de 1 000 ppm pour la salle de séjour, alors que c'est plus du tiers des résidences (38,7 %) pour la chambre de l'enfant.

Figure 4 Concentrations de CO₂ mesurées dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b)



La figure 5 présente les taux de ventilation mesurés en hiver et en été avec la méthode du PFT et en hiver avec la méthode du SF₆.

Figure 5 Taux de ventilation mesurés à l'aide du PFT en hiver (a) et en été (b) et à l'aide du SF6 en hiver (c)

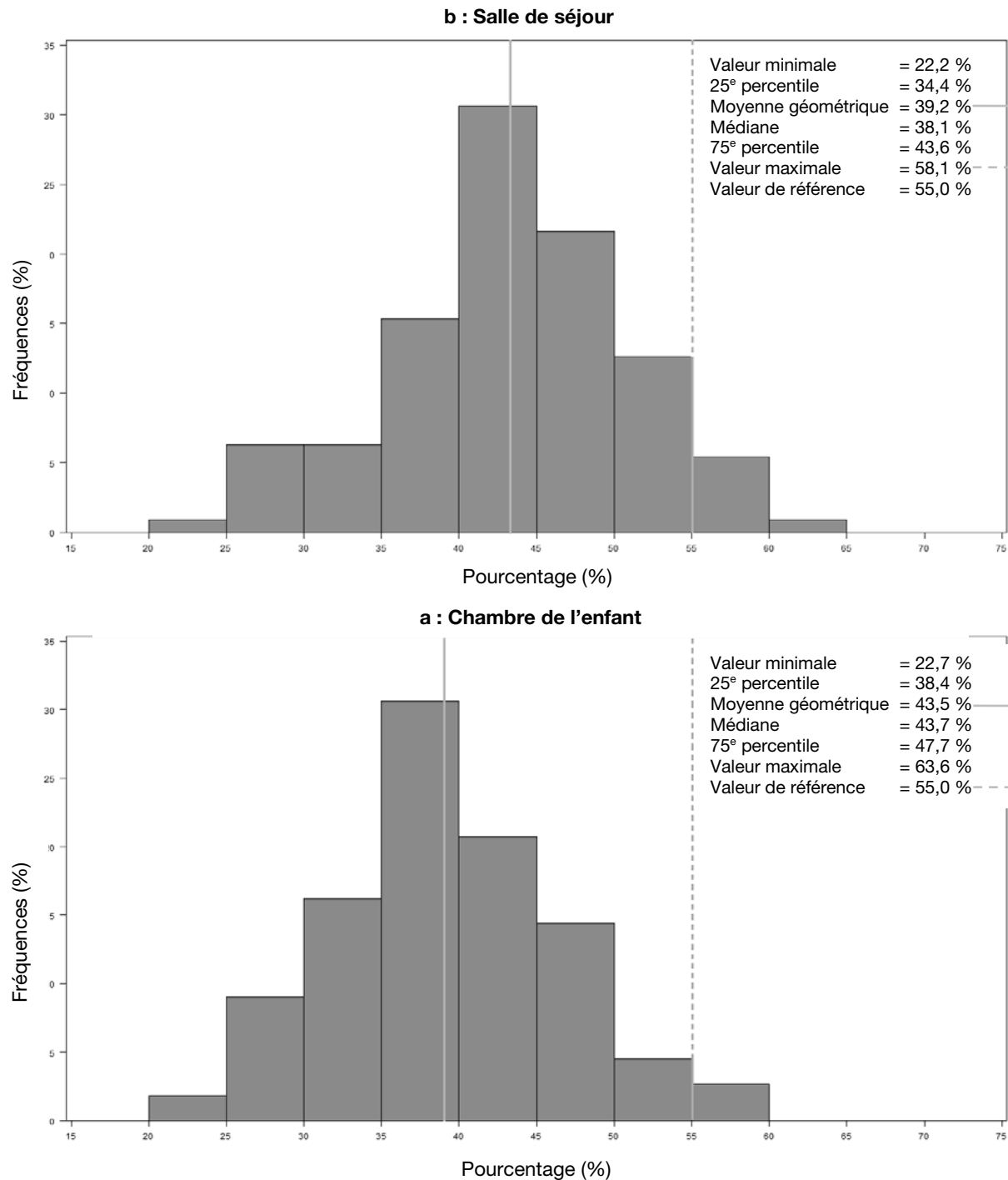


En comparant les taux de ventilation mesurés avec la méthode du PFT, on constate tout d'abord que les taux mesurés durant l'été sont significativement plus élevés que ceux mesurés durant l'hiver. En effet, le taux de ventilation moyen est deux fois plus élevé durant l'été en comparaison à l'hiver (0,43 CAH vs 0,21 CAH). De plus, pour la saison d'été on observe une valeur maximale de 10,42 CAH alors qu'elle est de 0,92 CAH pour la saison d'hiver. Malgré ces résultats, 45,1 % des maisons ont un taux se situant sous le taux de ventilation recommandé de 0,30 CAH durant l'été alors que cette proportion atteint 78,4 % pour l'hiver.

La distribution des taux de ventilation mesurés par la méthode du SF₆ est passablement différente de la distribution de ceux mesurés par la méthode du PFT. En effet, avec la méthode du SF₆, les valeurs tendent à être concentrées autour de la moyenne alors qu'on observe moins de valeurs extrêmes. Par contre, le pourcentage de résidences ayant un taux sous la norme de ventilation est comparable, avec 73,9 % pour le SF₆ et 78,4 % pour le PFT.

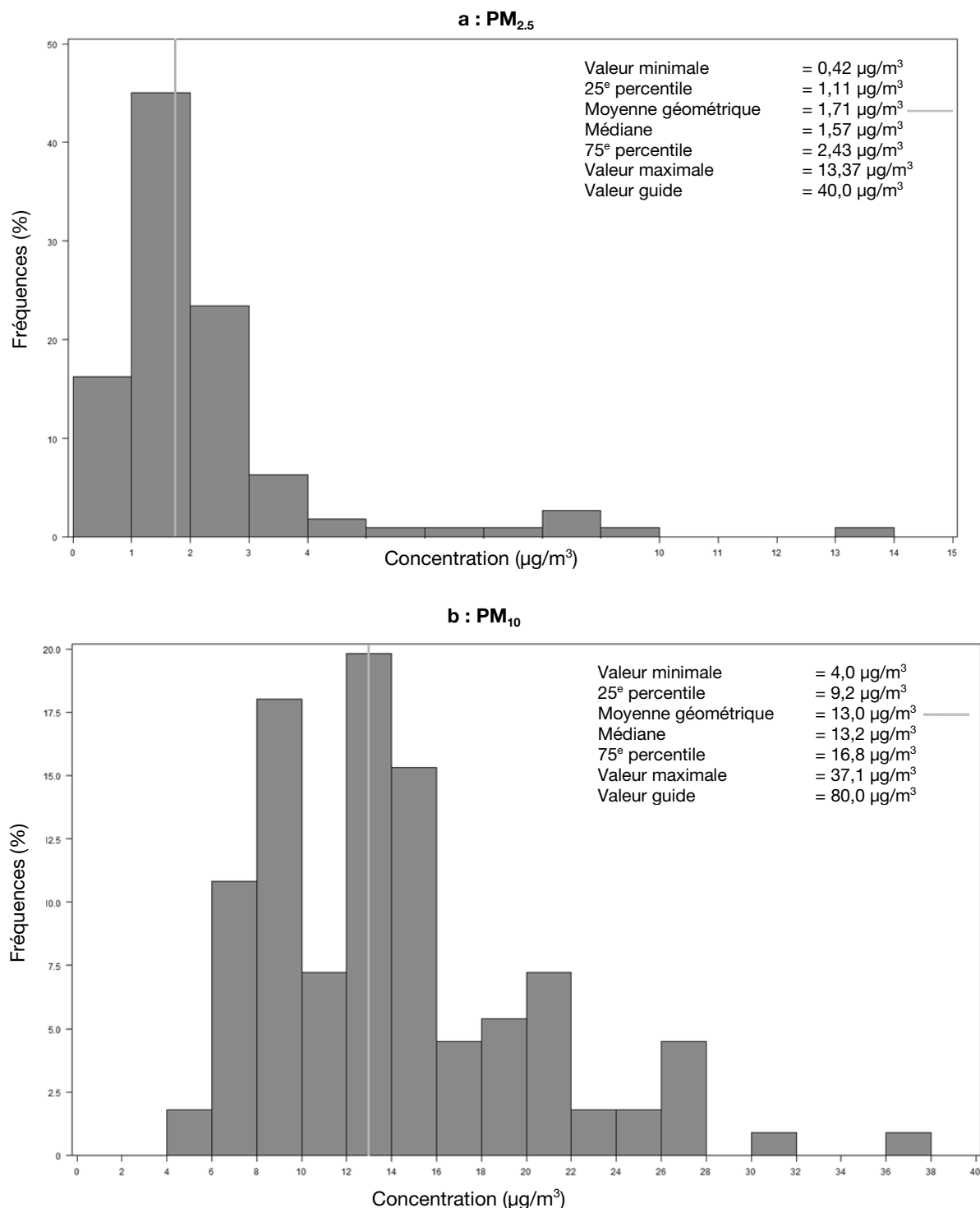
La figure 6 présente les taux d'humidité relative mesurés dans la chambre de l'enfant et dans la salle de séjour lors de la première année d'observation. L'humidité relative varie de 22,7 % à 63,6 % dans la chambre de l'enfant avec une moyenne de 43,5 %. Dans la salle de séjour, elle varie de 22,2 % à 58,1 % avec une moyenne géométrique sensiblement plus faible à 39,2 %. D'autre part, la presque totalité des résidences respecte la limite supérieure de référence de 55 % dans la chambre de l'enfant (93,7 %) et dans la salle de séjour (97,3 %).

Figure 6 Taux d'humidité relative mesurés dans la chambre de l'enfant (a) et dans la salle de séjour (b)



Les concentrations de $PM_{2,5}$ et de PM_{10} sont présentées à la figure 7. On observe que la concentration moyenne des PM_{10} est supérieure à celle des $PM_{2,5}$ (respectivement 13,0 et 1,71 $\mu g/m^3$). Par contre, toutes les données des $PM_{2,5}$ respectent la valeur guide de 40 $\mu g/m^3$. Même chose du côté des données des PM_{10} qui sont toutes en deçà de la valeur de référence de 80 $\mu g/m^3$.

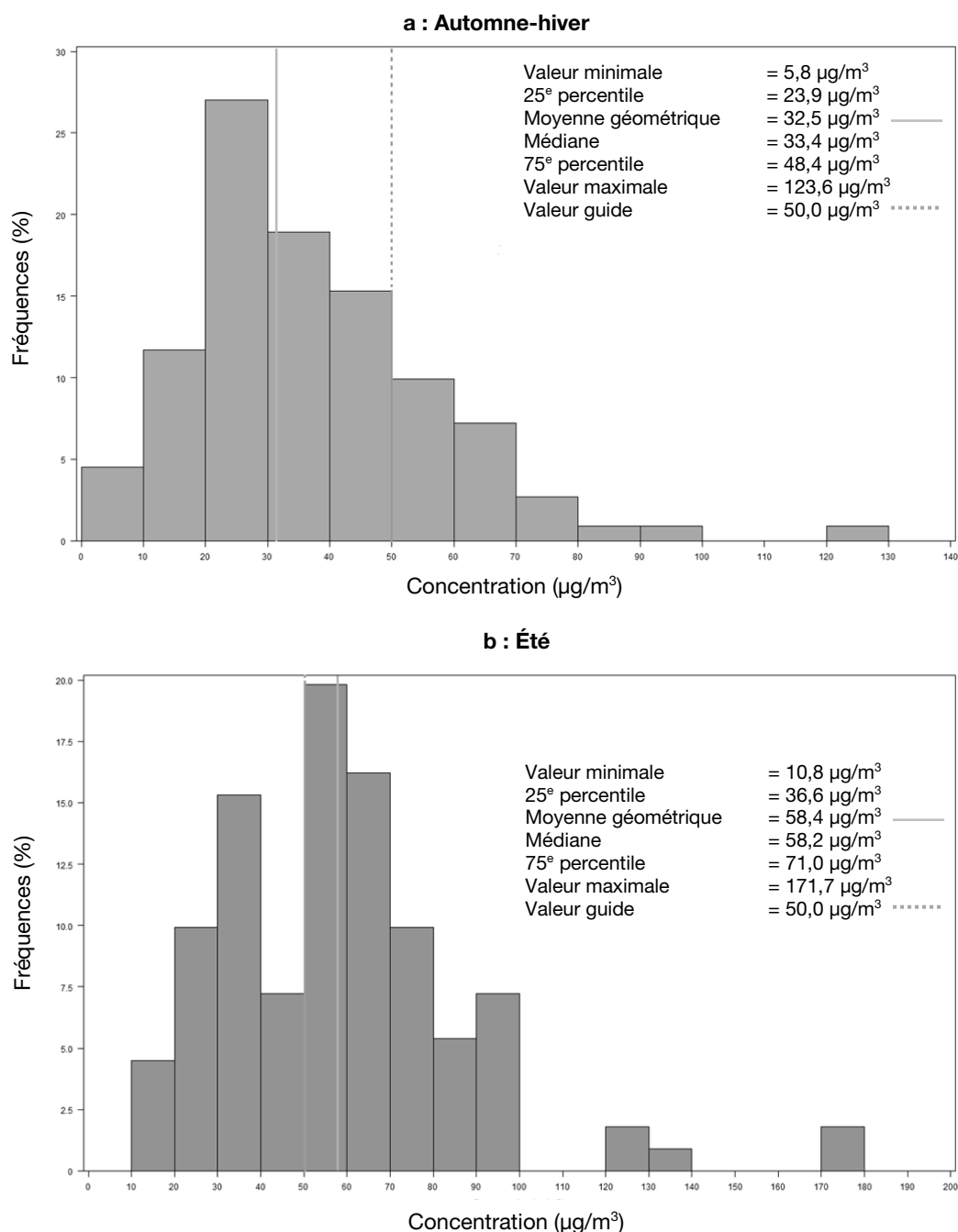
Figure 7 Concentrations de $PM_{2,5}$ (a) et de PM_{10} (b) dans la chambre de l'enfant



Paramètres chimiques

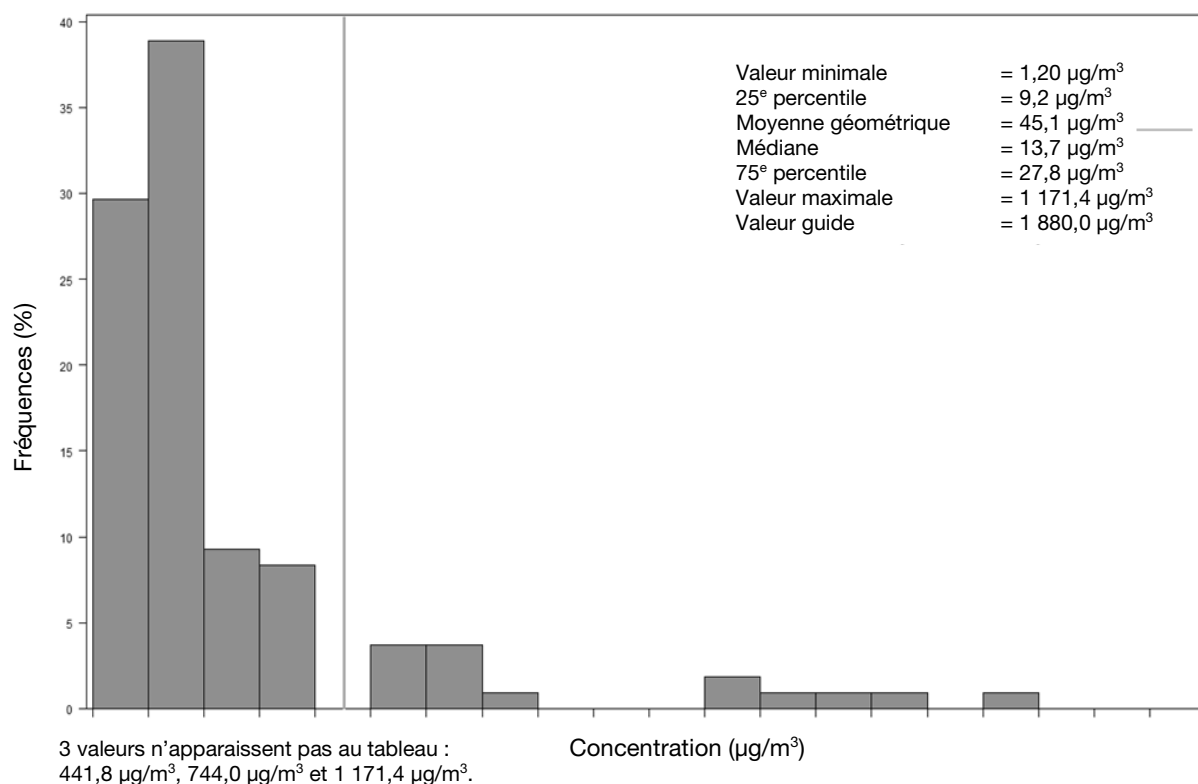
La figure 8 présente les concentrations de formaldéhyde mesurées durant les saisons automne-hiver en comparaison avec celles mesurées durant la saison d'été. On observe d'abord des concentrations plus élevées en été qu'en automne-hiver, avec des moyennes de 58,4 et de 32,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement. De plus, près du quart des 111 résidences à l'étude (22,5 %) dépassent la valeur guide de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la saison froide, alors que ce pourcentage augmente à 63,1 % pour la saison d'été (Santé Canada, 2006).

Figure 8 Concentrations de formaldéhyde mesurées durant les saisons automne-hiver (a) et durant la saison d'été (b)



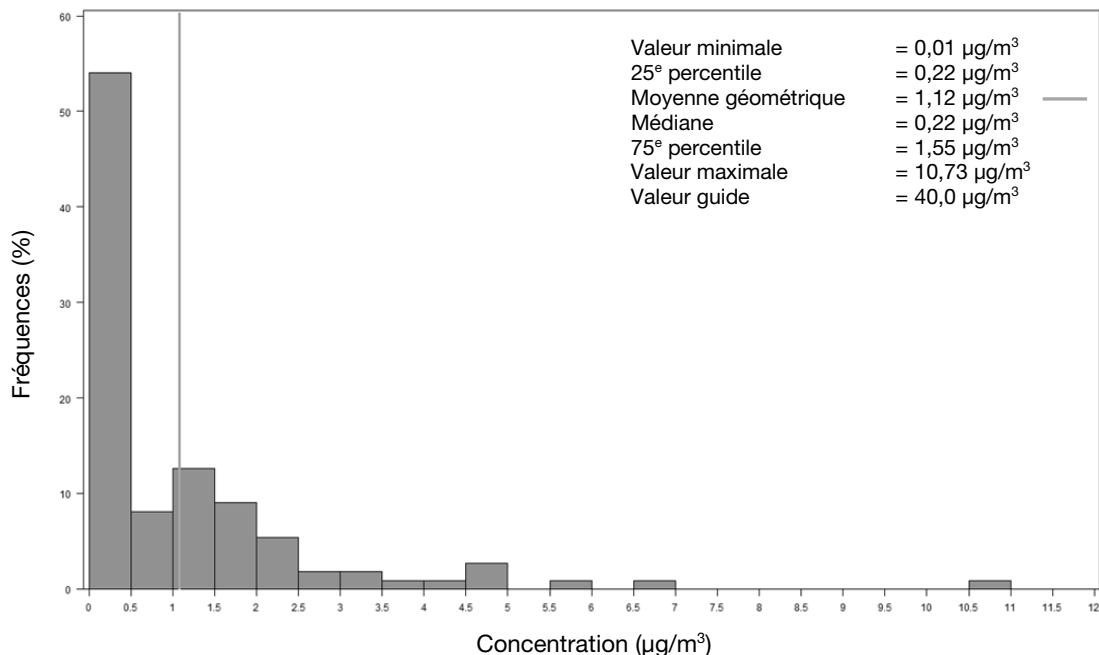
Les concentrations de toluène mesurées durant l'année 1 (Figure 9) sont relativement faibles (moyenne géométrique de $45,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et médiane de $13,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). On observe cependant des concentrations plus élevées pour une dizaine de résidences. Par contre, toutes les résidences respectent la valeur guide de Santé Canada de $1\,880 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 9 Concentrations de toluène mesurées durant l'année 1



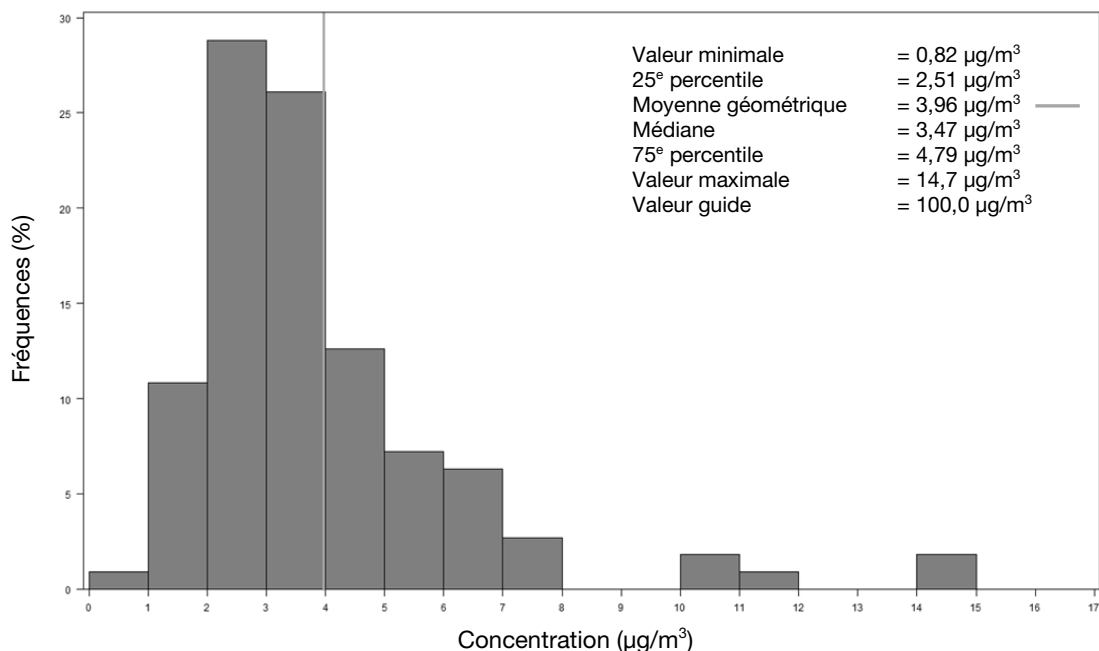
À la figure 10, on observe que les concentrations d'ozone mesurées dans la chambre de l'enfant sont peu élevées, avec une moyenne géométrique de $1,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une valeur maximale de $10,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De plus, toutes les résidences respectent la valeur guide de Santé Canada de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 10 Concentrations d'ozone mesurées dans la chambre de l'enfant



La figure 11 présente les concentrations de dioxyde d'azote. On constate que les données de la totalité des résidences sont bien en deçà de la valeur guide de Santé Canada de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En effet, les concentrations varient de $0,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $14,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une moyenne géométrique de $3,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 11 Concentrations de dioxyde d'azote



Paramètres biologiques

La figure 12 présente les distributions des concentrations d'allergènes d'acariens *Der p1* et *Der f1* mesurées au niveau du matelas de la chambre de l'enfant. Les concentrations médianes des deux allergènes sont de 0,015 µg/g (limite de détection). Les valeurs maximales sont respectivement de 8,258 µg/g et de 89,5 µg/g. Les pourcentages de résidences qui dépassent la valeur de sensibilisation de 2 µg/g (valeur de référence 1) et la valeur de déclenchement des symptômes de 10 µg/g (valeur de référence 2) sont respectivement de 15,5 % et 3,6 % pour l'allergène *Der f1*. Très peu de résidences dépassent la valeur de sensibilisation pour l'allergène *Der p1*.

La figure 13 présente les distributions des concentrations d'allergènes de chat et de chien au niveau du matelas. Les concentrations médianes des deux allergènes sont de 0,015 µg/g. Les valeurs maximales sont de 104,5 µg/g et 22,66 µg/g respectivement. Les pourcentages de résidences qui dépassent les valeurs de sensibilisation et de déclenchement des symptômes des allergènes de chat sont de 15,5 % et 3,6 % respectivement. La valeur de sensibilisation des allergènes de chien est dépassée dans 9,1 % des résidences.

Figure 12 Concentrations d'allergènes d'acariens Der p 1 (a) et Der f 1 (b) mesurées dans le matelas

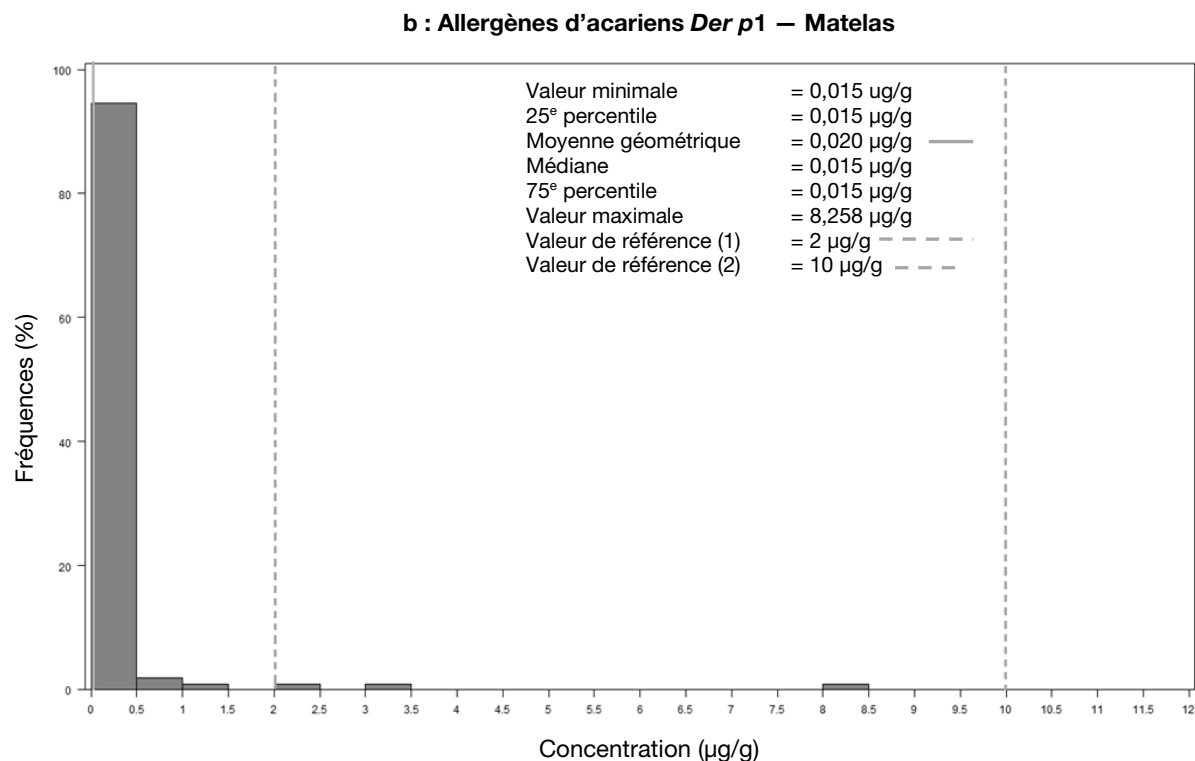
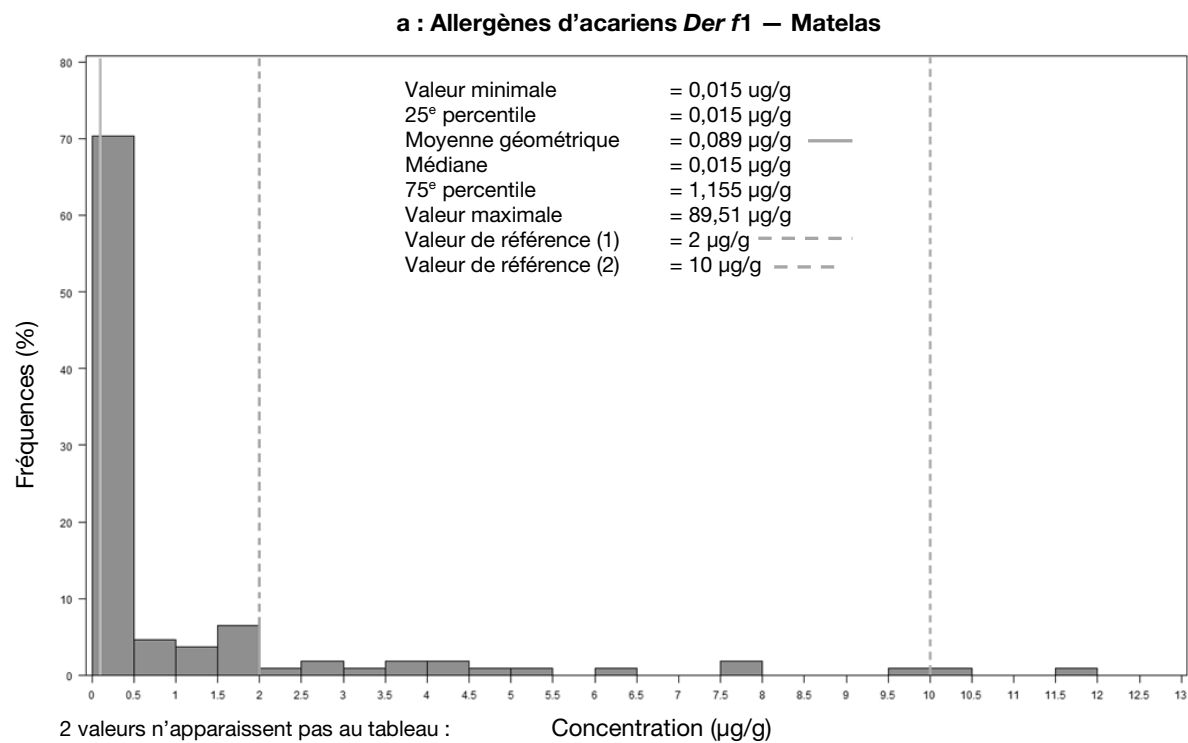
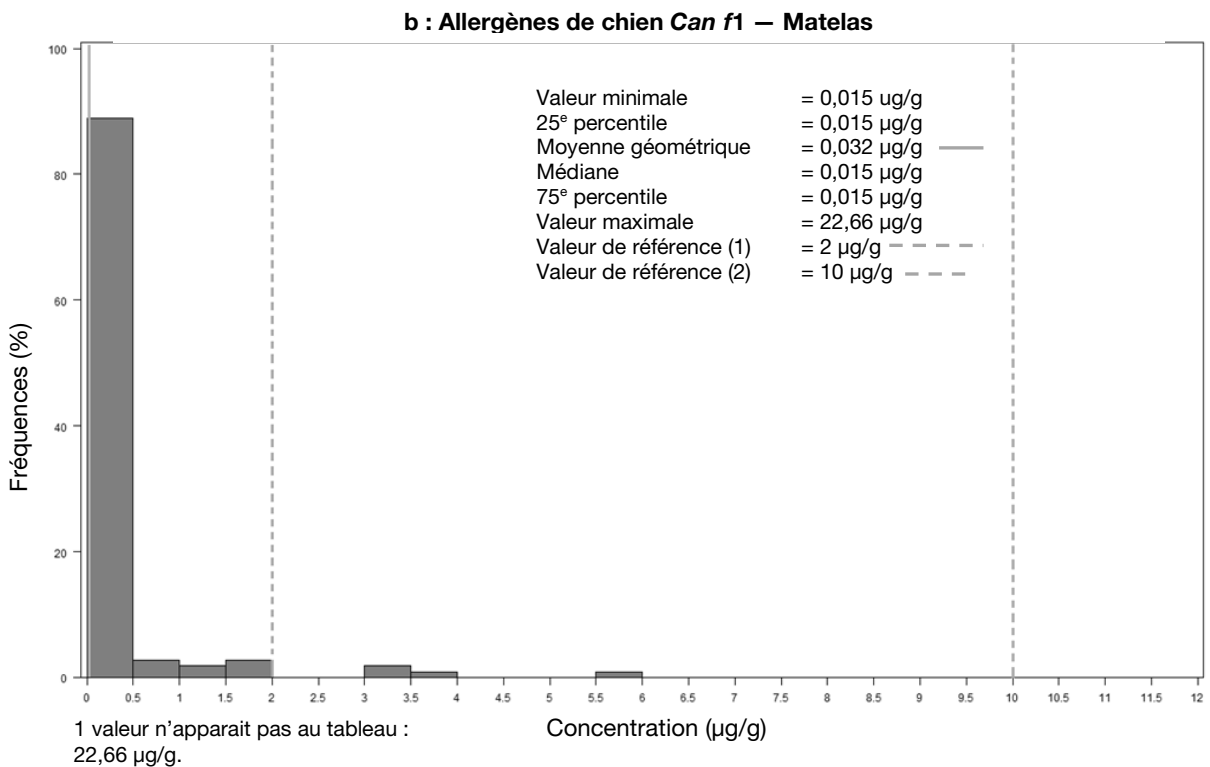
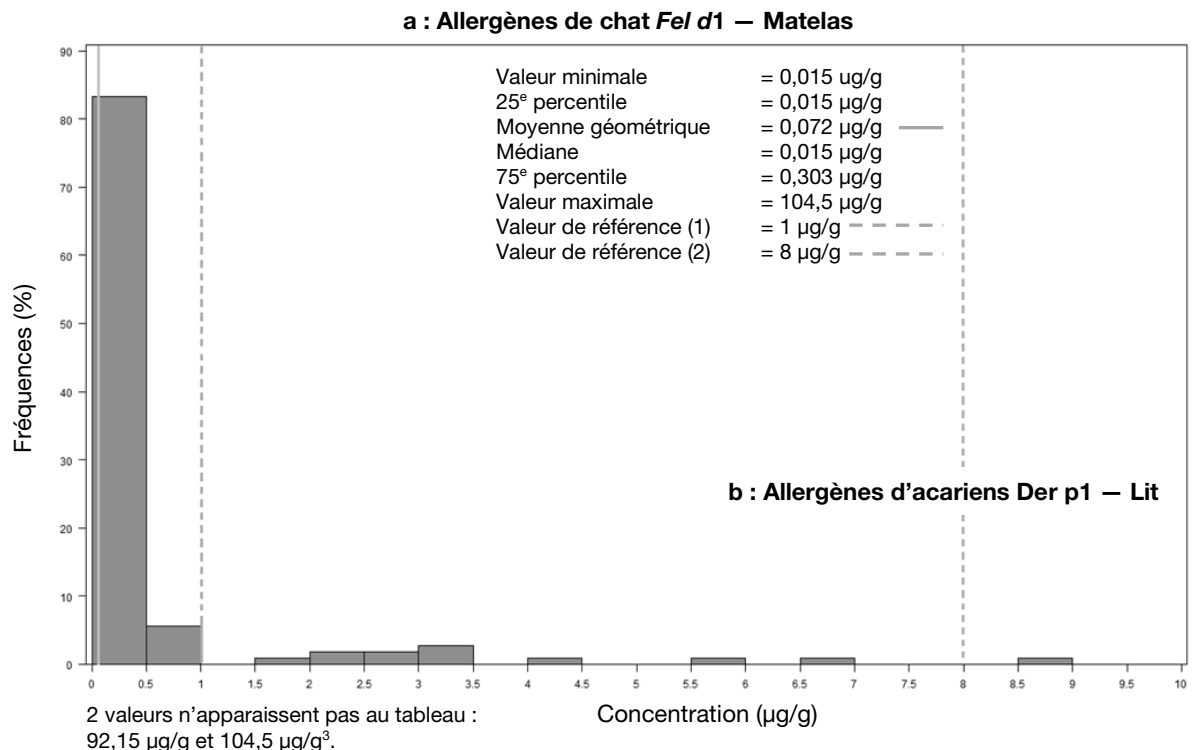
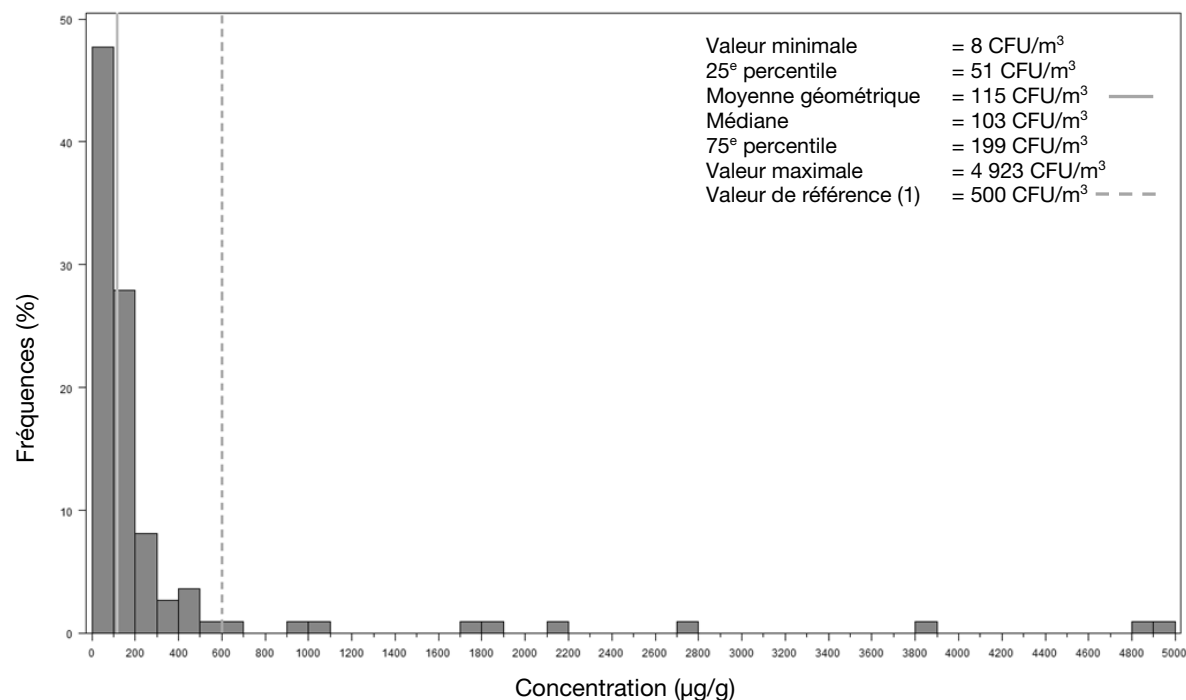


Figure 13 Concentrations d'allergènes de chat *Fel d1* (a) et de chien *Can f1* (b) mesurées dans le matelas



La figure 13 présente la distribution des concentrations de spores dans l'air. La concentration médiane est de 103 CFU/m³; la valeur maximale est de 4 923 CFU/m³. Pour les spores de moisissures dans l'air, la valeur de référence de 500 CFU/m³ suggérée par le ministère de la Santé de la Finlande est utilisée à titre indicatif.

Figure 14 Concentrations de spores mesurées dans l'air



4.2.2 VOLET SANTÉ

Caractéristiques sociodémographiques

Les caractéristiques de la population à l'étude sont présentées dans le tableau 11. Soixante-cinq pour cent (65 %) des enfants sont de sexe masculin et l'âge moyen était de 6,0 ans lors de leur entrée dans l'étude. Quatre-vingt-trois pour cent (83 %) ont au moins un frère ou une sœur de moins de 12 ans. Plus de la moitié des enfants fréquentent l'école (56 %) et 83 % d'entre eux fréquentent une garderie à temps plein ou à temps partiel. Concernant le niveau de scolarité, près de la moitié des parents des participants (49 %) ont obtenu un diplôme d'études collégiales ou universitaires. Le revenu du ménage a été calculé sur la base du revenu total du ménage dans l'année précédant le recrutement en fonction du nombre de personnes vivant dans le ménage. On observe que 82 % des familles participantes ont un niveau de revenu moyen supérieur à supérieur.

Tableau 11 Caractéristiques sociodémographiques de la population à l'entrée dans l'étude (n = 111)

Caractéristiques sociodémographiques	n (%)
Genre (% de garçons)	72 (65)
Âge moyen ^a (années)	6,0 (2,5)
Fratric	
1	20 (18)
2	69 (64)
≥ 3	21 (19)
Moyenne ^a (n par famille)	2.1 (0.8)
Fréquentation garderie ^b	91 (83)
Fréquentation école ^b	61 (56)
Scolarité des deux parents ^c	
Collégial ou Universitaire	52 (49)
Niveau de revenu du ménage ^b	
Moyen supérieur/Supérieur	90 (82)

^a Moyenne (écart-type).

^b 1 non-répondant.

^c 5 non-répondants.

Antécédents familiaux et médicaux

Le tableau 12 présente les données sur les antécédents familiaux et médicaux des participants. Concernant les antécédents d'atopie, 74 % des enfants à l'étude ont au moins un parent ayant déjà présenté des symptômes d'asthme, d'eczéma ou de rhinite allergique. Si l'on considère uniquement l'asthme, près de 50 % des enfants participants ont au moins un parent asthmatique tandis que 8 % des enfants ont 2 parents ayant des antécédents d'asthme. Sur un total de 110 enfants, 34 % n'ont aucun problème de santé chronique autre que leurs symptômes d'asthme. Plus du tiers des enfants (35 %) ont reçu un diagnostic d'eczéma ou de dermatite atopique, un tiers (33 %) souffre d'allergie autre que la rhinite allergique tandis que 15 % des enfants à l'étude souffrent d'allergie alimentaire. Notons que 5 % des enfants présentent un problème respiratoire mineur autre que leurs symptômes d'asthme. Ces problèmes mineurs sont surtout reliés à des infections chroniques des voies respiratoires.

Tableau 12 Antécédents familiaux et médicaux de la population à l'entrée dans l'étude (n = 111)

Antécédents personnels et familiaux	n (%)
Antécédents familiaux d'atopie ^a	
Aucun parent	27 (26)
1 parent	42 (41)
2 parents	34 (33)
Asthme chez au moins un des deux parents	46 (45)
Asthme chez les deux parents	8 (8)
Antécédents médicaux de l'enfant ^b	
Aucun	37 (34)
Eczéma ou dermatite atopique	38 (35)
Autre allergie (excluant rhinite allergique)	36 (33)
Allergie alimentaire	17 (15)
Problèmes respiratoires autres que l'asthme	6 (5)
Autres maladies	4 (14)

^a 8 non-répondants.

^b 1 non-répondant.

Statut d'atopie (*prick test*)

Le tableau 13 présente les résultats concernant le statut d'atopie chez les 88 participants qui ont eu un test cutané d'allergie. On constate que près de la moitié des enfants (49 %) ont eu un test positif à au moins 1 des 8 allergènes principaux. Plus du tiers des enfants (37 %) ont réagi à l'allergène de chat, 32 % à l'allergène d'acariens *Der p1*, 25 % aux graminées, 24 % à la poussière de maison, 23 % au bouleau, 21 % à l'allergène de chien, 16 % à l'herbe à poux, et 13 % aux moisissures.

Chez les enfants atopiques, l'indice moyen d'atopie (n+/8) était de 3,4. La prévalence d'atopie était la même chez les garçons (48 %) et chez les filles (50 %). Elle était de 25 % chez les moins de 5 ans et de 65 % chez les ≥ 5 ans et plus. Chez les 43 enfants atopiques, 91 % étaient sensibilisés aux allergènes de l'environnement intérieur, 65 % aux allergènes de l'environnement extérieur, et 56 % aux 2 types d'allergènes. Plus des 2/3 des enfants (71 %) souffraient également de rhinite, en particulier les enfants atopiques (81 %).

Tableau 13 Statut d'atopie de la population à l'entrée dans l'étude (n = 88)

Types d'allergènes	n (%)
Test cutané d'allergie positif ^a	
À au moins un des 8 principaux allergènes ci-dessous	43 (48,9)
Chat	19 (37,3)
Acariens (<i>Der p1</i>)	28 (31,8)
Graminées	21 (24,7)
Poussière de maison	21 (23,9)
Bouleau	18 (23,4)
Chien	18 (20,9)
Herbes à poux	13 (15,9)
Moisissures	10 (13,2)

^a Certains allergènes ont des données manquantes, alors n < 88.

Symptômes respiratoires

Comme l'indique le tableau 14, la prévalence des symptômes respiratoires et allergiques des participants au cours des douze mois précédant l'entrée à l'étude est importante. Durant cette période, plus des trois quarts des enfants (77 %) ont eu au moins un épisode de sifflement dans la poitrine. Notons que 8 % d'entre eux ont eu 12 épisodes et plus. Les épisodes de sifflement ont perturbé le sommeil et le discours de 88 % et 33 des enfants respectivement et ont été considérés comme sévères dans la moitié des cas (51 %).

Plus du tiers des participants ont eu un épisode de sifflement suite à un effort physique (35 %). Soixante-trois pour cent (63 %) des enfants ont eu une toux sèche nocturne tandis que 71 % ont eu des symptômes de rhinite allergique. Ces symptômes de rhinite étaient accompagnés de larmoiements des yeux chez 34 % des enfants.

D'autre part, 77 % des enfants participants ont dû se rendre à l'urgence d'un hôpital pour cause d'asthme à au moins une occasion durant l'année précédente alors que 43 % des enfants ont dû être hospitalisés pour ce même type de problème à au moins une occasion durant l'année précédente.

Tableau 14 Prévalence des symptômes respiratoires et allergiques, des visites à l'urgence et des hospitalisations au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111)

Symptômes	n (%)
Épisode de sifflement	85 (76,6)
Fréquence des épisodes	
1-3	47 (55,3)
4-12	31 (36,5)
≥ 12	7 (8,2)
Sommeil perturbé	
Jamais	10 (11,8)
Moins d'une nuit/semaine	46 (54,1)
Une ou plusieurs nuits/semaine	29 (34,1)
Discours perturbé	28 (32,9)
Sifflement sévère ^a	43 (50,6)
Sifflement à l'effort ^b	38 (34,6)
≥ 4 épisodes de sifflement	38 (34,2)
Toux sèche nocturne	70 (63,1)
Symptômes rhinite allergique	79 (71,2)
Larmoiement	38 (34,2)
Visite à l'urgence pour cause d'asthme	85 (76,6)
Hospitalisation pour cause d'asthme	48 (43,2)

^a Épisode de sifflement accompagné de sommeil perturbé (une ou plusieurs nuits/semaine) et/ou de discours perturbé.

^b 1 non-répondant.

Le tableau 15 présente la fréquence quotidienne des symptômes respiratoires. Le nombre moyen de jours avec symptômes par période de 14 jours a été de 5,6 jours tous symptômes confondus. La toux est le symptôme le plus fréquemment observé avec une moyenne de 5 jours par période de 14 jours. Pour les symptômes tels que l'essoufflement, le sommeil perturbé, le sifflement et le tirage, il a été constaté en moyenne moins de 2 jours par période de 14 jours. Si on considère seulement les

symptômes plus spécifiques à l'asthme, on observe une moyenne de 2,6 jours par période de 14 jours. La présence d'un rhume ou d'une grippe a été observée en moyenne près de 4 jours par période de 14 jours. Notons que le score quotidien de sévérité des symptômes est de 1,2.

Tableau 15 Fréquence des symptômes reliés à l'asthme par période de 14 jours⁵

Symptômes	n = 100
Nombre de jours avec symptômes	
Au moins un symptôme ci-dessous	5,6 ± 0,4
Toux	5,0 ± 0,4
Essoufflement	1,5 ± 0,2
Sommeil perturbé	1,3 ± 0,2
Sifflement	0,8 ± 0,2
Tirage	0,5 ± 0,1
Symptômes spécifiques ^a	2,6 ± 0,3
Rhume ou grippe	3,8 ± 0,3
Score quotidien de sévérité des symptômes ^b	1,2 ± 0,1

^a Présence des 4 symptômes suivants : essoufflement, sommeil perturbé, sifflement et tirage.

^b Score moyen ± erreur type.

Médicaments pour l'asthme

Le tableau 16 présente les résultats concernant la prise de médicaments pour asthme. On observe que le nombre moyen de jours avec prise d'un médicament de secours (Ventolin, Salbutamol, Apo-Salvent, Bricanyl, Oxeze et Airomir) est de 2,7 jours par période de 14 jours. Les médicaments de secours sont des agonistes β_2 par inhalation/bronchodilatateurs à début d'action rapide (Conseil du médicament du Québec 2006). Par ailleurs, 65 % des enfants ont pris à au moins une occasion durant la période de 14 jours un corticostéroïde par inhalation tel que Flovent, Alvesco, Pulmicort, Symbicort et QVAR. Pour ce qui est des bronchodilatateurs d'appoint (Advair, Singulair), 60 % des enfants à l'étude en ont pris à au moins une occasion durant la période de 14 jours tandis que 5 % des enfants à l'étude ont pris un corticostéroïde oral. Finalement, durant cette même période, 77 % des enfants ont utilisé au moins une fois un médicament de secours alors que 15 % des enfants ont utilisé au moins huit fois ce type de médicament.

Tableau 16 Fréquence de prise de médicaments pour asthme par période de 14 jours

Médicaments	n = 100
Nombre de jours avec médicaments de secours ^a	2,7 (3,6)
% d'enfants prenant	
≥ 1 dose de corticostéroïdes par inhalation	65,0 ± 0,05
≥ 1 dose de bronchodilatateurs d'appoint	60,0 ± 0,05
≥ 1 dose de corticostéroïdes oraux	5,0 ± 0,02
≥ 1 dose de médicaments de secours	76,6 ± 0,04
≥ 8 doses de médicament de secours	15,0 ± 0,04

^a Moyenne ± erreur type.

⁵ Moyenne ± erreur type.

Maîtrise de l'asthme

Le tableau 17 présente le degré de maîtrise de l'asthme chez les enfants à l'étude durant la phase préintervention. On observe que le nombre moyen de mois avec une maîtrise de l'asthme est de 2,8 mois sur une possibilité de 4 mois. Cela se traduit par 61 % d'enfants avec une maîtrise de l'asthme. Par ailleurs, on observe que seulement 33 % des enfants ont un asthme maîtrisé pendant chacun des 4 mois d'observation, et que 5 % des enfants ont un asthme non maîtrisé pendant les 4 mois. Notons que 43 % des enfants ont dû s'absenter de l'école au moins une fois durant cette période de 4 mois.

Tableau 17 Fréquence de la maîtrise de l'asthme (4 mois)

Maîtrise	n = 80
Nombre de mois avec maîtrise ^a	2,8 ± 0,1
% d'enfants avec maîtrise	49 (61,3)
% d'enfants selon le nombre de mois avec maîtrise	
4 mois	26 (32,5)
3 mois	25 (31,3)
2 mois	21 (26,3)
1 mois	4 (5,0)
0 mois	4 (5,0)
% d'enfants avec ≥ 1 jour d'absence de l'école	34 (42,5)

^a Moyenne ± erreur type.

Fonction respiratoire

Le tableau 18 présente les résultats des tests de fonction respiratoire effectués chez les enfants. Le débit expiratoire de pointe (DEP) a été mesuré chez 60 enfants. On observe une valeur maximale moyenne du DEP de 263 L/min par période de 14 jours alors que la valeur matinale moyenne est de 213 L/min pour la même période. La variabilité diurne moyenne du DEP est de 7,2 % alors que le nombre de jours moyen avec une variabilité supérieure à 15 % est de 7,4 par période de 14 jours. Soixante-dix-neuf enfants (79) dont 17 enfants de moins de 5 ans ont passé une spirométrie. En ce qui a trait au VEMS, on observe un pourcentage moyen de la valeur prédite de 102 %.

Tableau 18 Fonction respiratoire des participants⁶

Tests	n = 60
Débit expiratoire de pointe (DEP)	
Valeur maximale (L/min)	263 ± 12
Valeur matinale (L/min)	213 ± 9
Variabilité moyenne (%)	7,2 ± 0,5
Nombre de jours avec variabilité ≥ 15 %	7,4 ± 0,9
% d'enfants avec ≥ 1 jr/14 jrs avec variabilité ≥ 15 %	65,0 ± 0,06
VEMS, % de la valeur prédite ^a	102 ± 1,1

^a Pour cette variable n = 73.

⁶ Moyenne ± erreur type.

4.2.3 ASSOCIATIONS STATISTIQUES ENTRE LES VARIABLES DE L'ÉTUDE DESCRIPTIVE

Caractéristiques des résidences, ventilation et contaminants

Les tableaux 19 à 22 présentent les associations entre les principales variables liées à l'environnement et l'habitation ainsi que les habitudes de vie des participants. Les variables évaluées ont été sélectionnées selon leur interaction potentielle et leur lien possible avec la santé respiratoire des enfants asthmatiques.

Tableau 19 Relation entre les variables reliées à l'habitation et le taux de ventilation, le taux d'étanchéité et la concentration de CO₂ (n = 111)⁷

	PFT (CAH)	SF ₆ (CAH)	Infiltrométrie (CAH ₅₀)	CO ₂ (ppm)
Caractéristiques des habitations				
Année de construction				
< 1980 (41)	0,22	0,26	4,97 ^a	895,4
≥ 1980 (70)	0,21	0,25	3,04	819,7
Volume				
< 350 m ³ (15)	0,26	0,29	5,61 ^a	861,1
≥ 350 m ³ (96)	0,21	0,25	3,40	844,6
Garage attenant				
Non (78)	0,21	0,26	3,63	876,4
Oui (33)	0,21	0,26	3,65	780,9
Habitudes de vie				
Nombre d'occupants				
< 5 (83)	0,21	0,26	3,6	841,1
≥ 5 (28)	0,21	0,26	3,8	864,1
Indice de promiscuité				
≤ 1 (34)	0,18 ^a	0,25	3,55	867,8
> 1 (77)	0,22	0,26	3,68	837,7
Caractéristiques du système de chauffage				
Présence d'un poêle à bois				
Non (58)	0,19 ^a	0,25	3,63	918,7 ^a
Oui (53)	0,24	0,27	3,64	774,6
Équipements de ventilation				
Présence d'un SVM				
Non (38)	0,20	0,24	4,80 ^a	874,6
Oui (73)	0,22	0,26	3,14	832,8
Type de SVM				
VRC (44)	0,25 ^a	0,29	2,94	793,4
EA (29)	0,18	0,25	3,46	896,3

^a Différence significative (p < 0,05).

⁷ Moyenne géométrique.

Tableau 19 Relation entre les variables reliées à l'habitation et le taux de ventilation, le taux d'étanchéité et la concentration de CO₂ (n = 111) (suite)⁸

	PFT (CAH)	SF ₆ (CAH)	Infiltrométrie (CAH ₅₀)	CO ₂ (ppm)
Distribution de l'air dans toutes les pièces				
Non (47)	0,21	0,25	3,13	880,6 ^a
Oui (26)	0,23	0,30	3,16	752,9
Habitudes de ventilation				
Nombre d'hrs/jour fonctionnement en mode échange				
< 12 heures (21)	0,18 ^a	0,23 ^a	3,14	893,0
≥ 12 heures (21)	0,26	0,29	3,24	788,2
Fréquence d'utilisation de la hotte de cuisinière				
Jamais (29)	0,23	0,25	3,82	814,9
Très souvent – Souvent – À l'occasion (81)	0,21	0,26	3,58	859,6
Fréquence d'utilisation des ventilateurs de SB				
Jamais (23)	0,24	0,27	4,11	792,5
Très souvent – Souvent – À l'occasion (69)	0,21	0,25	3,36	878,7
Fréquence d'ouverture fenêtres sauf CBR automne				
Jamais (81)	0,21	0,25	3,57	835,1
Très souvent – Souvent – À l'occasion (30)	0,22	0,27	3,81	879,3
Fréquence d'ouverture porte nuit CBR				
Jamais, rarement (22)	0,26 ^a	-	3,65	765,7
Toutes les nuits (89)	0,20	-	3,63	868,2
Paramètres physiques				
PFT				
< 0,30 CAH (87)	-	0,25 ^a	3,35 ^a	910,5 ^a
≥ 0,30 CAH (24)	-	0,38	4,95	651,3
SF ₆				
< 0,30 CAH (82)	0,21	-	3,59	860,7
≥ 0,30 CAH (29)	0,22	-	3,78	809,0
Infiltrométrie				
< 3 CAH ₅₀ (35)	0,17 ^a	0,23 ^a	-	934,8 ^a
≥ 3 CAH ₅₀ (75)	0,23	0,27	-	810,9

^a Différence significative (p < 0,05).

⁸ Moyenne géométrique.

Tableau 20 Relation entre les variables reliées à l'habitation et les concentrations de formaldéhyde, de toluène, de dioxyde d'azote et d'ozone (n = 111)⁹

	Formaldéhyde (µg/m ³)	Toluène (µg/m ³)	Dioxyde d'azote (µg/m ³)	Ozone (µg/m ³)
Caractéristiques des habitations				
Année de construction				
< 1980 (41)	32,6	15,1 ^a	3,66	0,55
≥ 1980 (70)	32,4	22,2	3,33	0,50
Garage attenant				
Non (78)	32,8	15,0 ^a	3,47	0,60
Oui (33)	31,8	34,8	3,38	0,37
Habitudes de vie				
Présence fumeurs dans la résidence				
Non (107)	32,4	19,3	3,37 ^a	0,52
Oui (4)	33,2	18,8	6,19	0,43
Bricolage à l'intérieur				
Non (86)	31,1	17,9	3,46	0,49
Oui (25)	37,8	25,0	3,39	0,62
Utilisation de rafraîchisseur d'air				
Non (53)	29,0 ^a	17,6	3,70	0,63
Oui (58)	36,0	20,9	3,23	0,43
Caractéristiques du système de chauffage				
Présence d'un poêle à bois				
Non (58)	-	15,9	3,21	-
Oui (53)	-	17,3	3,73	-
Équipements de ventilation				
Présence d'un SVM				
Non (38)	33,9	18,0	3,21	0,45
Oui (73)	31,8	19,9	3,58	0,56
Type de SVM				
VRC (44)	27,9 ^a	18,2	4,35 ^a	0,58
EA (29)	38,7	22,8	2,95	0,53

^a Différence significative (p < 0,05).

⁹ Moyenne géométrique.

Tableau 20 Relation entre les variables reliées à l'habitation et les concentrations de formaldéhyde, de toluène, de dioxyde d'azote et d'ozone (n = 111) (suite)¹⁰

	Formaldéhyde (µg/m ³)	Toluène (µg/m ³)	Dioxyde d'azote (µg/m ³)	Ozone (µg/m ³)
Habitudes de ventilation				
Nombre d'hrs/jour fonctionnement en mode échange				
< 12 heures (21)	38,0 ^a	18,3	3,77	0,53
≥ 12 heures (21)	24,1	19,2	4,38	0,97
Fréquence d'ouverture fenêtres sauf CBR automatique				
Jamais (81)	34,1	21,5	3,55	0,60
Très souvent – Souvent – À l'occasion (30)	28,5	14,4	3,18	0,36
Modifications de l'environnement intérieur				
Acquisition nouveau tapis				
Non (66)	32,2	20,5	3,50	0,53
Oui (45)	32,9	17,6	3,37	0,51
Acquisition nouveaux meubles				
Non (68)	31,2	20,8	3,42	0,50
Oui (43)	34,7	17,0	3,49	0,56
Travaux peinture à l'intérieur de la résidence				
Non (46)	32,3	20,0	3,62	0,55
Oui (65)	32,6	18,8	3,33	0,50
Paramètres physiques				
PFT				
< 0,30 CAH (87)	38,8 ^a	23,8 ^a	3,37	0,50
≥ 0,30 CAH (24)	17,1	9,0	3,73	0,62
Température moyenne du LR				
< 19 degrés (10)	22,9 ^a	9,7 ^a	3,87	0,61
≥ 19 degrés (87)	34,9	20,5	3,43	0,53
Taux d'humidité moyen du LR				
< 55 % (99)	30,8 ^a	19,7	3,55	0,57 ^a
≥ 55 % (12)	49,7	16,3	2,70	0,23

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁰ Moyenne géométrique.

Tableau 21 Relation entre les variables reliées à l'habitation et les concentrations de PM_{2,5}, de PM₁₀, de COV totaux, de phtalates totaux et de nicotine (n = 111)¹¹

	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	COSV totaux (ng/m ²)	Phtalates totaux (ng/m ²)	Nicotine (ng/m ²)
Caractéristiques des habitations					
Année de construction					
< 1980 (41)	1,59 (1,1)	12,9 (1,1)	9,5 (1,1)	4 242,5 (1,1) ^a	131,7 ^a
≥ 1980 (70)	1,80 (1,1)	13,0 (1,1)	10,7 (1,1)	3 038,4 (1,1)	69,7
Garage attenant					
Non (78)	1,76 (1,1)	13,1 (1,0)	9,8 (1,1)	3 478,0 (1,1)	-
Oui (33)	1,62 (1,1)	12,7 (1,1)	11,3 (1,1)	3 322,9 (1,1)	-
Habitudes de vie					
Présence fumeurs dans la résidence					
Non (107)	1,67 (1,1) ^a	13,0 (1,1)	10,2 (1,1)	3 453,0 (1,1)	81,4 (1,2) ^a
Oui (4)	3,41 (1,5)	12,6 (1,0)	10,7 (1,1)	2 889,1 (1,4)	777,2 (1,9)
Bricolage à l'intérieur					
Non (86)	-	-	9,7 (1,1)	3 335,1 (1,1)	-
Oui (25)	-	-	12,4 (1,1)	3 775,9 (1,2)	-
Utilisation de rafraîchisseur d'air					
Non (53)	-	-	9,6 (1,1)	3 249,3 (1,1)	-
Oui (58)	-	-	10,9 (1,1)	3 601,8 (1,1)	-
Caractéristiques du système de chauffage					
Présence d'un poêle à bois					
Non (58)	1,65 (1,1)	12,8 (1,1)	-	-	-
Oui (53)	1,80 (1,1)	13,1 (1,1)	-	-	-
Nombre de cordes de bois brûlées par année					
< 5 cordes (31)	1,51 (1,1) ^a	12,3 (1,1)	-	-	-
≥ 5 cordes (22)	2,34 (1,2)	14,7 (1,1)	-	-	-

^a Différence significative (p < 0,05).

¹¹ Moyenne géométrique (erreur type).

Tableau 21 Relation entre les variables reliées à l'habitation et les concentrations de PM_{2,5}, de PM₁₀, de COV totaux, de phtalates totaux et de nicotine (n = 111) (suite)¹²

	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	COSV totaux (ng/m ²)	Phtalates totaux (ng/m ²)	Nicotine (ng/m ²)
Équipements de ventilation					
Présence d'un SVM					
Non (38)	1,74 (1,1)	13,7 (1,1)	10,5	3 701,9 (1,1)	127,7 (1,3)
Oui (73)	1,70 (1,1)	12,6 (1,0)	10,1	3 295,5 (1,1)	74,6 (1,2)
Type de SVM					
VRC (44)	1,74 (1,1)	12,3 (1,1)	9,0 (1,1) ^a	3 608,3 (1,1)	72,2 (1,3)
EA (29)	1,66 (1,1)	13,1 (1,1)	12,1 (1,1)	2 858,1 (1,2)	78,4 (1,4)
Habitudes de ventilation					
Nombre d'hrs/jour fonctionnement mode échange					
< 12 heures (21)	1,74 (1,1)	12,5 (1,1)	10,9 (1,1)	3 296,1 (1,3)	90,4 (1,5)
≥ 12 heures (21)	2,00 (1,2)	13,4 (1,1)	8,3 (1,1)	2 970,8 (1,2)	52,4 (1,4)
Modifications de l'environnement intérieur					
Acquisition nouveau tapis					
Non	-	-	10,9 (1,1)	3 702,6 (1,1)	-
Oui	-	-	9,4 (1,1)	3 059,8 (1,1)	-
Acquisition nouveaux meubles					
Non	-	-	10,3	3 403,6 (1,1)	-
Oui	-	-	10,2	3 474,8 (1,1)	-
Travaux peinture à l'intérieur de la résidence					
Non	-	-	10,5 (1,1)	3 036,6 (1,1)	-
Oui	-	-	10,1 (1,1)	3 733,1 (1,1)	-

^a Différence significative (p < 0,05).

¹² Moyenne géométrique (erreur type).

Tableau 21 Relation entre les variables reliées à l'habitation et les concentrations de $PM_{2,5}$, de PM_{10} , de COV totaux, de phtalates totaux et de nicotine (n = 111) (suite)¹³

	$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	COSV totaux (ng/m ²)	Phtalates totaux (ng/m ²)	Nicotine (ng/m ²)
Paramètres physiques					
PFT					
< 0,30 CAH (87)	1,73 (1,1)	13,5 (1,0) ^a	12,1 (1,1) ^a	3 413,2 (1,1)	79,8 (1,2)
≥ 0,30 CAH (24)	1,69 (1,1)	11,2 (1,1)	5,6 (1,1)	3 493,3 (1,2)	144,0 (1,4)
Température moyenne du LR					
< 19 degrés (10)	-	-	6,7 (1,1) ^a	3 033,9 (1,3)	-
≥ 19 degrés (87)	-	-	10,8 (1,1)	3 323,6 (1,1)	-
Taux d'humidité moyen du LR					
< 55 % (99)	-	-	10,1 (1,1)	3 485,3 (1,1)	-
≥ 55 % (12)	-	-	11,8 (1,1)	3 016,6 (1,3)	-

^a Différence significative (p < 0,05).

¹³ Moyenne géométrique (erreur type).

Tableau 22 Relation entre les variables reliées à l'habitation et l'humidité relative, les concentrations de spores de moisissures et d'allergènes d'acariens *Der f1* et *Der p1* (n = 111)¹⁴

	Humidité relative (%)	Moississures (CFU/m ³)	Allergènes <i>Der f1</i> (µg/g)	Allergènes <i>Der p1</i> (µg/g)
Caractéristiques des habitations				
Année de construction				
< 1980 (41)	41,7 (1,2) ^a	129,0 (1,2)	0,10 (1,5)	0,025 (1,3)
≥ 1980 (70)	38,0 (0,8)	107,5 (1,2)	0,08 (1,3)	0,017 (1,1)
Habitudes de vie				
Nombre d'occupants				
< 5 (83)	39,4 (0,8)	90,6 (1,1) ^a	0,06 (1,3) ^a	0,017 (1,1)
≥ 5 (28)	38,7 (1,3)	233,1 (1,4)	0,30 (1,7)	0,032 (1,4)
Indice de promiscuité				
≤ 1 (34)	40,8 (1,2)	93,5 (1,2)	0,06 (1,5)	0,019 (1,2)
> 1 (77)	38,5 (0,8)	126,0 (1,2)	0,10 (1,3)	0,020 (1,1)
Présence animaux domestiques à l'intérieur				
Non (83)	-	-	0,08 (1,3)	0,018 (1,1)
Oui (27)	-	-	0,12 (1,7)	0,025 (1,3)
Mesures contre les acariens				
Non (62)	-	-	0,08 (1,4)	0,019 (1,1)
Oui (48)	-	-	0,10 (1,5)	0,020 (1,2)
Caractéristiques du système de chauffage				
Présence d'un poêle à bois			-	-
Non (58)	45,4 (0,9) ^a		-	-
Oui (53)	41,3 (1,1)			
Nombre de cordes de bois brûlées par année				
< 5 cordes (31)	41,8 (1,7)		-	-
≥ 5 cordes (22)	41,1 (1,3)		-	-
Équipements de ventilation				
Présence d'un SVM				
Non (38)	42,3 (1,2) ^a	149,1 (1,2)	0,08 (1,5)	0,023 (1,3)
Oui (73)	37,6 (0,7)	100,4 (1,2)	0,09 (1,4)	0,018 (1,1)
Type de SVM				
VRC (44)	35,8 (0,9) ^a	106,5 (1,2)	0,09 (1,5)	0,016 (1,1)
EA (29)	40,4 (1,2)	91,9 (1,3)	0,09 (1,6)	0,020 (1,2)

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁴ Moyenne géométrique (erreur type).

Tableau 22 Relation entre les variables reliées à l'habitation et l'humidité relative, les concentrations de spores de moisissures et d'allergènes d'acariens *Der f1* et *Der p1* (n = 111) (suite)¹⁵

	Humidité relative (%)	Moisissures (CFU/m ³)	Allergènes <i>Der f1</i> (µg/g)	Allergènes <i>Der p1</i> (µg/g)
Équipements de traitement de l'air				
Présence d'un humidificateur				
Non (76)	38,6 (0,8)	111,5 (1,2)	0,10 (1,3)	0,021 (1,2)
Oui (35)	40,5 (1,2)	123,0 (1,2)	0,07 (1,5)	0,017 (1,2)
Présence d'un déshumidificateur				
Non (46)	39,8 (1,1)	104,5 (1,2)	0,10 (1,5)	0,021 (1,2)
Oui (65)	38,8 (0,9)	123,0 (1,2)	0,08 (1,3)	0,019 (1,1)
Habitudes de ventilation				
Nombre d'hrs/jour fonctionnement mode échange				
< 12 heures (21)	39,6 (1,6) ^a	86,7 (1,3)	0,11 (1,7)	-
≥ 12 heures (21)	35,2 (1,2)	107,1 (1,4)	0,06 (1,7)	-
Fréquence d'utilisation de la hotte de cuisinière				
< 6 fois/semaine (29)	40,0 (1,5)	-	-	-
≥ 1 fois/jour (81)	39,0 (0,8)	-	-	-
Fréquence d'utilisation des ventilateurs de SB				
< 1 fois/jour (23)	38,6 (1,6)	103,3 (1,2)	-	-
≥ 1 fois/jour (69)	39,3 (0,8)	101,8 (1,1)	-	-
Fréquence d'ouverture fenêtres sauf CBR automne				
Jamais (81)	39,5 (0,7)	106,9 (1,2)	0,09 (1,3)	-
Très souvent – Souvent – À l'occasion (30)	38,5 (1,5)	140,0 (1,3)	0,09 (1,5)	-

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁵ Moyenne géométrique (erreur type).

Tableau 22 Relation entre les variables reliées à l'habitation et l'humidité relative, les concentrations de spores de moisissures et d'allergènes d'acariens *Der f1* et *Der p1* (n = 111) (suite)¹⁶

	Humidité relative (%)	Moisissures (CFU/m ³)	Allergènes <i>Der f1</i> (µg/g)	Allergènes <i>Der p1</i> (µg/g)
Paramètres physiques				
PFT				
< 0,30 CAH (87)	40,6 (0,7) ^a	109,5 (1,1)	0,10 (1,3)	0,019 (1,1)
≥ 0,30 CAH (24)	34,2 (1,3)	137,1 (1,4)	0,06 (1,7)	0,023 (1,4)
SF ₆				
< 0,30 CAH (82)	39,7 (0,8)	116,9 (1,2)	0,10 (1,3)	-
≥ 0,30 CAH (29)	37,9 (1,3)	109,6 (1,2)	0,06 (1,5)	-
Infiltrométrie				
< 3 CAH50 (35)	39,2 (1,3)	89,2 (1,2)	0,12 (1,6)	0,023 (1,3)
≥ 3 CAH50 (75)	39,2 (0,8)	128,9 (1,2)	0,08 (1,3)	0,018 (1,1)
Température moyenne du LR				
< 19 degrés (10)	41,9 (2,4)	95,9 (1,3)	0,10 (2,3)	-
≥ 19 degrés (87)	38,9 (0,7)	118,9 (1,1)	0,08 (1,3)	-
Taux d'humidité moyen du LR				
< 55 % (99)	-	114,0 (1,1)	0,08 (1,3)	0,019 (1,1)
≥ 55 % (12)	-	123,3 (1,2)	0,25 (2,1)	0,022 (1,5)
Facteurs influençant le taux d'humidité				
Cordes de bois entreposées dans la maison				
Non (94)	39,0 (0,7)	112,7 (1,1)	-	-
Oui (17)	40,6 (2,0)	128,3 (1,3)	-	-
Présence d'un aquarium				
Non (77)	38,6 (0,8)	107,3 (1,2)	-	-
Oui (34)	40,7 (1,4)	134,4 (1,2)	-	-
Séchage de vêtements à l'intérieur				
Non (48)	38,4 (1,1)	122,8 (1,2)	-	-
Oui (63)	39,8 (0,9)	109,3 (1,2)	-	-
Contaminants				
Formaldéhyde				
< 50 µg/m ³ (86)	41,6 (0,8) ^a	-	-	-
≥ 50 µg/m ³ (25)	49,8 (1,4)	-	-	-

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁶ Moyenne géométrique (erreur type).

Aucune différence significative n'a été observée entre l'année de construction des résidences (< 1980 et ≥ 1980) et le taux de changement d'air à l'heure mesuré par les tests de PFT et de SF_6 . Par contre, les résidences plus anciennes (< 1980) ont un taux d'infiltrométrie significativement plus élevé que les résidences plus récentes. Toujours selon l'année de construction des résidences, aucune différence significative n'est observée pour les principaux paramètres chimiques, à l'exception du toluène, des phtalates totaux et de la nicotine. Pour ces deux derniers paramètres, les concentrations observées sont plus élevées dans les maisons moins récentes. Au niveau de l'humidité relative, le taux moyen est plus élevé dans les maisons moins récentes. À noter qu'aucune différence significative n'a été observée entre l'année de construction et la concentration de moisissures mesurée dans les résidences.

Il est intéressant de noter qu'aucune différence significative n'est observée entre le taux d'échange d'air à l'heure et la présence ou non d'un système de ventilation mécanique (SVM). Néanmoins, le taux d'infiltrométrie est significativement plus élevé dans les résidences dépourvues de tel système. D'autre part, lorsque l'on compare spécifiquement le type d'appareil utilisé, soit de type échangeur d'air (EA) ou de ventilateur récupérateur de chaleur (VRC), les VRC ont un taux d'échange d'air, mesuré par les PFT, significativement plus élevé que les EA. De plus, si on compare le nombre d'heures d'utilisation du SVM (< 12 hres VS ≥ 12 hres), on constate que les taux d'échange d'air mesurés par les tests de PFT et de SF_6 sont significativement plus élevés lorsque le nombre d'heures est égal ou supérieur à 12. Lorsque les concentrations en polluants ou paramètres physiques sont considérées, aucune différence significative n'est observée quant au fait de posséder ou non un SVM, à l'exception du taux d'humidité relative moyen qui est plus élevé en absence d'un tel équipement. En contrepartie, des concentrations significativement plus élevées de formaldéhyde et de COSV totaux sont constatées en présence d'un EA comparativement au VRC, alors que pour le NO_2 , les niveaux sont significativement plus faibles.

Le taux d'échange d'air à l'heure mesuré par PFT est positivement associé au taux mesuré par le test de SF_6 et au degré d'infiltrométrie. D'autre part, on observe une concentration significativement plus faible de CO_2 lorsque le taux d'échange d'air est plus élevé. Du côté de l'infiltrométrie, on remarque des niveaux de PFT et de SF_6 plus élevés, et une concentration en CO_2 plus faible lorsque l'infiltrométrie est ≥ 3 CAH₅₀. Aucune association n'est observée lorsque l'on considère le taux de CAH mesuré par le SF_6 . La concentration moyenne de plusieurs paramètres chimiques et physiques (formaldéhyde, toluène, PM_{10} , COV totaux et humidité relative) s'avère significativement moins élevée lorsqu'associée à un taux de PFT $\geq 0,3$ CAH.

Le nombre d'occupants dans la résidence est significativement associé à la concentration de moisissures et d'allergènes *Der f1* mesurée sur le matelas de l'enfant, les concentrations étant plus élevées lorsqu'il y a cinq occupants et plus dans l'habitation. Par ailleurs, il est intéressant de souligner que les mesures prises par les participants pour contrer les acariens ne sont pas statistiquement associées aux concentrations d'allergènes *Der f1* et *Der p1* mesurées sur le matelas de l'enfant. La présence d'un poêle à bois dans la résidence est positivement associée à un taux de ventilation plus élevé mesuré par les PFT, mais demeure non significative pour la mesure du SF_6 . Les concentrations moyennes en CO_2 sont significativement moins élevées en présence d'un poêle à bois, de même que le taux d'humidité relative, qui est significativement plus faible en présence d'un poêle à bois. Aucune différence significative n'est cependant observée pour les autres paramètres évalués en lien avec la présence ou l'absence d'un poêle à bois (ex. : NO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$). L'impact associé au nombre de cordes de bois brûlées par année dans la résidence a également été considéré quant à son influence possible sur des paramètres d'intérêt. Ainsi, on observe une concentration significativement plus élevée des $PM_{2,5}$ lorsque le nombre de cordes de bois brûlées est de cinq et plus.

La présence ou non d'un garage attenant à la résidence semble avoir peu d'influence sur les paramètres évalués. Néanmoins, une concentration significativement supérieure de toluène a été observée dans la chambre de l'enfant en présence d'un garage attenant.

Les informations recueillies concernant la présence de nouveaux matériaux et de travaux réalisés dans la résidence durant l'année d'échantillonnage (ex. : tapis, meubles, peinture, rénovation) ne sont pas significativement associées à la mesure des principaux contaminants. Par contre, on observe une association significative liée à la présence de fumeurs dans la résidence et les concentrations mesurées de nicotine, de dioxyde d'azote et de $PM_{2,5}$.

Enfin, la concentration de formaldéhyde mesurée dans les résidences est significativement plus élevée en présence de plusieurs paramètres dont un taux d'échange d'air mesuré par PFT $< 0,3$ CAH, l'utilisation de rafraîchisseur d'air, la présence d'un EA plutôt qu'un VRC, un fonctionnement du SVM en mode échange < 12 heures par jour, une température moyenne du salon ≥ 19 °C et un taux d'humidité moyen du salon ≥ 55 %.

Facteurs personnels et santé respiratoire

Les associations statistiques entre les caractéristiques et les antécédents personnels des participants et les indicateurs de santé respiratoire ont été évalués afin d'identifier les variables d'ajustement pertinentes à inclure dans les modèles d'analyses multivariées (tableaux 23 à 26).

Tableau 23 Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et les principaux symptômes par période de 14 jours (n = 100)¹⁷

	Nombre de jours				
	Au moins un symptôme d'asthme	Toux	Rhume/ grippe	Sommeil perturbé	Médicaments de secours
Caractéristiques sociodémographiques					
Âge					
< 5 ans	6,7 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,5 ± 0,4 ^a	1,8 ± 0,4 ^a	2,3 ± 0,5
≥ 5 ans	5,9 ± 0,5	4,6 ± 0,5	3,3 ± 0,4	0,9 ± 0,1	2,9 ± 0,5
Sexe					
M	5,8 ± 0,4	4,8 ± 0,4	3,3 ± 0,3 ^a	1,2 ± 0,2	2,3 ± 0,4
F	7,0 ± 0,6	5,5 ± 0,6	4,7 ± 0,6	1,4 ± 0,3	3,3 ± 0,7
Scolarité des deux parents					
< Collégial ou Universitaire	6,0 ± 0,5	4,7 ± 0,5	3,5 ± 0,4	0,9 ± 0,2 ^a	3,3 ± 0,6
≥ Collégial ou Universitaire	6,7 ± 0,5	5,5 ± 0,6	4,1 ± 0,4	1,7 ± 0,3	2,0 ± 0,4
Niveau de revenu du ménage					
< moyen supérieur	5,4 ± 1,0	4,5 ± 0,9	3,8 ± 0,9	0,7 ± 0,2 ^a	3,8 ± 1,2
≥ moyen supérieur	6,1 ± 0,4	4,9 ± 0,4	3,6 ± 0,3	1,3 ± 0,2	2,3 ± 0,4
Antécédents personnels et familiaux					
Atopie parentale					
Aucune	6,3 ± 0,8	5,1 ± 0,7	3,9 ± 0,6	1,0 ± 0,2	3,2 ± 0,8
Au moins un parent atopique	6,2 ± 0,4	5,0 ± 0,4	3,7 ± 0,3	1,3 ± 0,2	2,5 ± 0,4
Atopie par test cutané					
Test négatif	6,6 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,3 ± 0,4 ^a	1,5 ± 0,3 ^a	2,6 ± 0,5
Test positif	5,6 ± 0,6	4,2 ± 0,5	2,9 ± 0,4	0,8 ± 0,2	2,8 ± 0,6
Eczéma					
Non	5,6 ± 0,4 ^a	4,4 ± 0,4 ^a	3,3 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,1	2,5 ± 0,4
Oui	7,6 ± 0,7	6,3 ± 0,7	4,8 ± 0,6	1,7 ± 0,5	3,1 ± 0,7

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁷ Moyenne ± erreur type.

Tableau 24 Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et les principaux symptômes respiratoires et allergiques et les visites à l'urgence au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111)

	Pourcentage d'enfants					
	≥ 1 épisode de sifflement	≥ 4 épisodes de sifflement	Sifflement sévère	Toux nocturne	Rhinite allergique	Urgence
Caractéristiques sociodémographiques						
Âge						
< 5 ans	84,8 ± 0,05	34,8 ± 0,07	46,2 ± 0,08	67,4 ± 0,07	60,9 ± 0,07 ^e	84,8 ± 0,05
≥ 5 ans	70,8 ± 0,06	33,9 ± 0,06	54,4 ± 0,07	60,0 ± 0,06	78,5 ± 0,05	70,8 ± 0,06
Sexe						
M	75,0 ± 0,05	36,1 ± 0,06	50,0 ± 0,07	59,7 ± 0,06	69,4 ± 0,05	80,6 ± 0,05
F	79,5 ± 0,07	30,8 ± 0,07	51,6 ± 0,09	69,2 ± 0,07	74,4 ± 0,07	69,2 ± 0,07
Scolarité des deux parents ^b						
< Collégial ou Universitaire	70,4 ± 0,06	31,5 ± 0,06	50,0 ± 0,08	55,6 ± 0,07	70,4 ± 0,06	72,2 ± 0,06
≥ Collégial ou Universitaire	80,8 ± 0,06	34,6 ± 0,07	50,0 ± 0,08	73,1 ± 0,06	73,1 ± 0,06	78,9 ± 0,06
Niveau de revenu du ménage ^a						
< moyen supérieur	82,4 ± 0,10	52,9 ± 0,12 ^e	42,9 ± 0,14	58,8 ± 0,12	64,7 ± 0,12	82,4 ± 0,10
≥ moyen supérieur	74,4 ± 0,05	28,9 ± 0,05	50,8 ± 0,06	63,6 ± 0,05	71,1 ± 0,05	75,6 ± 0,05
Antécédents personnels et familiaux						
Atopie parentale ^c						
Aucune	79,4 ± 0,07	38,2 ± 0,08	51,9 ± 0,10	50,0 ± 0,09	70,6 ± 0,08	64,7 ± 0,08 ^e
Au moins un parent atopique	75,0 ± 0,05	32,9 ± 0,05	49,1 ± 0,07	68,4 ± 0,05	71,1 ± 0,05	81,6 ± 0,04
Atopie par test cutané ^d						
Test négatif	75,0 ± 0,05	33,8 ± 0,06	49,0 ± 0,07	67,7 ± 0,06	64,7 ± 0,06	75,0 ± 0,05
Test positif	79,1 ± 0,06	34,9 ± 0,07	52,9 ± 0,09	55,8 ± 0,08	81,4 ± 0,06	79,1 ± 0,06
Eczéma ^a						
Oui	72,2 ± 0,05	31,9 ± 0,06	44,2 ± 0,07	59,7 ± 0,06	68,1 ± 0,06	73,6 ± 0,05
Non	84,2 ± 0,06	39,5 ± 0,08	59,4 ± 0,09	68,4 ± 0,08	76,3 ± 0,07	81,6 ± 0,06

^a 1 non-répondant.

^b 5 non-répondants.

^c 8 non-répondants.

^d 23 non-répondants.

^e Différence significative (p < 0,05).

Tableau 25 Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et la maîtrise de l'asthme (n = 80)

	Nombre de mois avec maîtrise ^a	% d'enfants avec maîtrise	% d'enfants avec ≥ 1 jour d'absence de l'école
Caractéristiques sociodémographiques			
Âge			
< 5 ans	2,8 ± 0,2	60,0 ± 0,09	33,3 ± 0,09
≥ 5 ans	2,8 ± 0,2	62,0 ± 0,07	48,0 ± 0,07
Sexe			
M	2,9 ± 0,1	61,1 ± 0,07	35,2 ± 0,07
F	2,6 ± 0,3	61,5 ± 0,10	57,7 ± 0,10
Scolarité des deux parents			
< Collégial ou Universitaire	2,7 ± 0,2	59,1 ± 0,08	47,7 ± 0,08
≥ Collégial ou Universitaire	3,0 ± 0,2	64,7 ± 0,08	38,2 ± 0,08
Niveau de revenu du ménage			
< moyen supérieur	2,7 ± 0,3	50,0 ± 0,14	64,3 ± 0,13
≥ moyen supérieur	2,9 ± 0,1	65,6 ± 0,06	39,1 ± 0,06
Antécédents personnels et familiaux			
Atopie parentale			
Aucune	2,9 ± 0,2	69,2 ± 0,09	46,2 ± 0,10
Au moins un parent atopique	2,8 ± 0,2	57,4 ± 0,07	40,7 ± 0,07
Atopie par test cutané			
Test négatif	2,9 ± 0,1	61,7 ± 0,07	46,8 ± 0,07
Test positif	2,7 ± 0,2	60,6 ± 0,09	36,4 ± 0,09
Eczéma			
Non	2,9 ± 0,1	67,9 ± 0,06	37,5 ± 0,07
Oui	2,5 ± 0,2	45,8 ± 0,10	54,2 ± 0,10

^a Moyenne ± erreur type.

Tableau 26 Relation entre les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents personnels et familiaux et la fonction respiratoire (n = 60)

	valeur maximale du DEP (L/min)	Valeur matinale du DEP (L/min)	Nombre de jours avec variabilité $\geq 15\%$ ^a	% d'enfant avec $\geq 1/14$ jrs avec $\geq 15\%$	VEMS, % de la valeur prédite
Caractéristiques sociodémographiques					
Âge					
< 5 ans	-	-	-	-	-
≥ 5 ans	-	-	-	-	-
Sexe					
M	257 $\pm$ 15,5	209 $\pm$ 11,4	7,4 $\pm$ 0,7	68,6 $\pm$ 0,08	103 $\pm$ 10,1
F	272 $\pm$ 18,7	219 $\pm$ 15,5	6,8 $\pm$ 0,7	60,0 $\pm$ 0,10	103 $\pm$ 9,1
Scolarité des deux parents					
< Collégial ou Universitaire	260 $\pm$ 15,5	212 $\pm$ 13,2	7,1 $\pm$ 0,5	73,0 $\pm$ 0,07	100 $\pm$ 1,4 ^b
$\geq$ Collégial ou Universitaire	273 $\pm$ 19,8	215 $\pm$ 12,1	7,5 $\pm$ 1,0	57,1 $\pm$ 0,11	106 $\pm$ 1,7
Niveau de revenu du ménage					
< moyen supérieur	245 $\pm$ 26,9	192 $\pm$ 19,8	8,0 $\pm$ 1,1	72,7 $\pm$ 0,14	99 $\pm$ 2,9
$\geq$ moyen supérieur	269 $\pm$ 14,0	218 $\pm$ 10,8	6,9 $\pm$ 0,5	63,0 $\pm$ 0,07	104 $\pm$ 1,3
Antécédents personnels et familiaux					
Atopie parentale					
Aucune	265 $\pm$ 23,5	216 $\pm$ 19,8	7,8 $\pm$ 0,9	73,7 $\pm$ 0,10	102 $\pm$ 1,8
Au moins un parent atopique	263 $\pm$ 13,7	211 $\pm$ 10,0	6,9 $\pm$ 0,6	61,0 $\pm$ 0,08	103 $\pm$ 1,5
Atopie par test cutané					
Test négatif	263 $\pm$ 15,4	213 $\pm$ 10,9	6,7 $\pm$ 0,7	62,1 $\pm$ 0,09	105 $\pm$ 1,8
Test positif	264 $\pm$ 18,1	213 $\pm$ 14,8	7,6 $\pm$ 0,6	67,7 $\pm$ 0,09	101 $\pm$ 1,3
Eczéma					
Non	257 $\pm$ 13,6	208 $\pm$ 10,4	7,1 $\pm$ 0,5	63,6 $\pm$ 0,07	103 $\pm$ 1,4
Oui	280 $\pm$ 24,1	224 $\pm$ 19,4	7,4 $\pm$ 1,0	68,8 $\pm$ 0,12	101 $\pm$ 1,8

^a Moyenne $\pm$ erreur type.

^b Différence significative (p < 0,05).

La fréquence des symptômes de sommeil perturbé et de rhume/grippe était significativement plus élevée chez les enfants d'un âge < 5 ans. Toutefois, la prévalence de rhinite allergique était plus élevée chez les enfants d'un âge ≥ 5 ans. Les symptômes de rhume/grippe étaient aussi plus fréquents chez les filles.

Les enfants avec une histoire familiale d'atopie n'avaient pas plus de symptômes d'asthme, mais se distinguaient par une fréquence plus élevée de visite à l'urgence au cours de l'année précédente. Comme pour les enfants < 5 ans, les enfants ayant un test cutané d'allergie négatif avaient davantage le sommeil perturbé et de rhume/grippe. Toutefois, les autres symptômes n'étaient pas plus fréquents chez ces derniers que chez les enfants ayant eu un test cutané négatif. Signalons

toutefois que la fréquence des symptômes quotidiens, notamment de la toux et du rhume/grippe, était significativement plus élevée chez les enfants ayant des antécédents d'eczéma.

Facteurs environnementaux et santé respiratoire

À l'aide d'un modèle d'analyses multivariées ajusté pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma, les auteurs ont pu évaluer les relations entre certains paramètres environnementaux des résidences et les indicateurs de santé respiratoire chez les enfants (tableaux 27 à 30).

Tableau 27 Relation entre certains paramètres environnementaux et la fréquence des principaux symptômes sur une période de 14 jours (n = 100)¹⁸

	Nombre de jours				
	Au moins un symptôme d'asthme	Toux	Rhume/grippe	Sommeil perturbé	Médicaments de secours
Présence d'un SVM					
non	6,6 ± 0,7	5,4 ± 0,7	4,0 ± 0,5	0,9 ± 0,3 ^a	2,7 ± 0,7
oui	6,9 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,4 ± 0,4	1,7 ± 0,2	3,0 ± 0,5
Taux de ventilation					
PFT général (CBR+LR) (CAH)					
< 0,30	6,8 ± 0,4	5,5 ± 0,4	4,3 ± 0,3	1,5 ± 0,2	3,0 ± 0,4
≥ 0,30	7,0 ± 0,9	5,7 ± 0,9	4,3 ± 0,7	1,1 ± 0,5	2,3 ± 0,9
SF ₆ (CAH)					
< 0,30	7,0 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,4 ± 0,4	1,4 ± 0,2	2,9 ± 0,5
≥ 0,30	6,2 ± 0,7	5,1 ± 0,7	4,0 ± 0,6	1,6 ± 0,4	2,9 ± 0,8
CO ₂ général (CBR+LR) (ppm)					
< 1 000	6,9 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,2 ± 0,4	1,5 ± 0,2	3,3 ± 0,5
≥ 1 000	6,6 ± 0,7	5,3 ± 0,7	4,4 ± 0,5	1,5 ± 0,3	2,0 ± 0,7
Facteurs physiques					
Taux d'humidité relative-LR (%)					
< 55	6,8 ± 0,4	5,4 ± 0,4	4,2 ± 0,3	1,6 ± 0,2	3,1 ± 0,4
≥ 55	7,1 ± 1,1	6,5 ± 1,0	4,9 ± 0,8	0,8 ± 0,5	1,6 ± 1,1
Facteurs chimiques					
Formaldéhyde-hiver (µg/m ³)					
< 50	6,9 ± 0,5	5,7 ± 0,5	4,4 ± 0,4	1,3 ± 0,2	3,1 ± 0,5
≥ 50	6,5 ± 0,7	4,9 ± 0,7	4,0 ± 0,6	1,9 ± 0,4	2,3 ± 0,8
Formaldéhyde-été (µg/m ³)					
< 50	7,7 ± 0,6	6,5 ± 0,6	4,7 ± 0,5	1,6 ± 0,3	3,8 ± 0,7
≥ 50	6,4 ± 0,5	5,0 ± 0,5	4,1 ± 0,4	1,4 ± 0,2	2,4 ± 0,5
Facteurs biologiques					
Spores de moisissures dans l'air (CFU/m ³)					
< 500	6,7 ± 0,4	5,5 ± 0,4	4,2 ± 0,3	1,4 ± 0,2	2,5 ± 0,4 ^a
≥ 500	7,8 ± 1,2	5,7 ± 1,2	5,3 ± 0,9	2,2 ± 0,6	6,5 ± 1,1

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁸ Moyennes ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 28 Relation entre certains paramètres environnementaux et la fréquence des principaux symptômes respiratoires et allergiques et des visites à l'urgence au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude (n = 111)¹⁹

	Pourcentage d'enfants					
	≥ 1 épisode de sifflement	≥ 4 épisodes de sifflement	Sifflement sévère	Toux nocturne	Rhinite allergique	Urgence
Présence d'un SVM						
Non	75,3 ± 0,08	37,0 ± 0,08	39,9 ± 0,10	69,3 ± 0,08	69,9 ± 0,08	72,6 ± 0,08
Oui	80,8 ± 0,05	31,9 ± 0,06	57,0 ± 0,07	65,4 ± 0,06	71,8 ± 0,06	78,3 ± 0,06
Taux de ventilation						
PFT général (CBR+LR) (CAH)						
< 0,30	76,8 ± 0,05	34,0 ± 0,06	47,8 ± 0,07	70,0 ± 0,06	71,5 ± 0,05	74,1 ± 0,05
≥ 0,30	87,5 ± 0,09	32,1 ± 0,11	64,3 ± 0,13	53,4 ± 0,11	69,5 ± 0,10	85,1 ± 0,10
SF ₆ (CAH)						
< 0,30	79,2 ± 0,05	36,4 ± 0,06	54,9 ± 0,07	66,3 ± 0,06	68,7 ± 0,05	77,3 ± 0,05
≥ 0,30	78,2 ± 0,09	25,0 ± 0,10	40,5 ± 0,12	68,0 ± 0,10	78,8 ± 0,09	73,1 ± 0,09
CO ₂ général (CBR+LR) (ppm)						
< 1 000	81,1 ± 0,05	34,0 ± 0,06	51,5 ± 0,07	59,6 ± 0,06 ^a	73,1 ± 0,06	74,7 ± 0,05
≥ 1 000	74,3 ± 0,08	32,8 ± 0,09	51,2 ± 0,11	82,1 ± 0,09	66,8 ± 0,08	79,8 ± 0,08
Facteurs physiques						
Taux d'humidité relative-LR (%)						
< 55	79,2 ± 0,05	32,2 ± 0,05	54,7 ± 0,06	65,5 ± 0,05	74,5 ± 0,05 ^a	76,6 ± 0,05
≥ 55	76,8 ± 0,13	44,6 ± 0,14	23,3 ± 0,18	76,0 ± 0,14	44,3 ± 0,13	74,1 ± 0,13
Facteurs chimiques						
Formaldéhyde-hiver (µg/m ³)						
< 50	80,0 ± 0,05	34,7 ± 0,06	50,8 ± 0,07	63,0 ± 0,06	73,1 ± 0,05	74,8 ± 0,05
≥ 50	75,4 ± 0,09	29,9 ± 0,10	53,4 ± 0,13	78,7 ± 0,10	64,7 ± 0,09	81,4 ± 0,09
Formaldéhyde-été (µg/m ³)						
< 50	80,3 ± 0,07	45,1 ± 0,08	59,7 ± 0,10	69,3 ± 0,08	75,9 ± 0,08	73,6 ± 0,07
≥ 50	78,2 ± 0,06	27,5 ± 0,06	46,7 ± 0,07	65,3 ± 0,06	68,6 ± 0,06	77,8 ± 0,06
Facteurs biologiques						
Spoires de moisissures dans l'air (CFU/m ³)						
< 500	77,7 ± 0,05	31,5 ± 0,05	52,2 ± 0,06	66,1 ± 0,05	71,3 ± 0,05	74,5 ± 0,05
≥ 500	91,6 ± 0,14	55,9 ± 0,15	45,0 ± 0,18	72,5 ± 0,15	69,1 ± 0,14	95,7 ± 0,14

^a Différence significative (p < 0,05).

¹⁹ Pourcentages ± erreur type ajustés pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 29 Relation entre certains paramètres environnementaux et la maîtrise de l'asthme (n = 80)²⁰

	Nombre de mois avec maîtrise	% d'enfants avec maîtrise	% d'enfants avec ≥ 1 jour d'absence de l'école
Présence d'un SVM			
Non	2,6 ± 0,2	52,3 ± 0,10	56,9 ± 0,10
Oui	2,7 ± 0,2	59,9 ± 0,08	44,1 ± 0,08
Taux de ventilation			
PFT général (CBR+LR) (CAH)			
< 0,30	2,6 ± 0,2	53,4 ± 0,07	49,6 ± 0,07
≥ 0,30	3,1 ± 0,3	72,4 ± 0,12	43,5 ± 0,13
SF ₆ (CAH)			
< 0,30	2,6 ± 0,2	52,9 ± 0,07	49,1 ± 0,08
≥ 0,30	2,8 ± 0,2	68,0 ± 0,11	46,4 ± 0,11
CO ₂ général (CBR+LR) (ppm)			
< 1 000	2,7 ± 0,2	59,4 ± 0,08	47,6 ± 0,08
≥ 1 000	2,6 ± 0,2	53,8 ± 0,10	49,6 ± 0,10
Facteurs physiques			
Taux d'humidité relative-LR (%)			
< 55	2,7 ± 0,2	59,2 ± 0,07	47,0 ± 0,07
≥ 55	2,8 ± 0,3	47,9 ± 0,15	55,5 ± 0,15
Facteurs chimiques			
Formaldéhyde-hiver (µg/m ³)			
< 50	2,7 ± 0,2	57,6±0,07	47,2±0,08
≥ 50	2,5±0,2	57,1±0,11	51,1±0,11
Formaldéhyde-été (µg/m ³)			
< 50	2,7±0,2	55,5±0,10	49,7±0,10
≥ 50	2,7±0,2	58,5±0,08	47,6±0,08
Facteurs biologiques			
Spores de moisissures dans l'air (CFU/m ³)			
< 500	2,8 ± 0,1	61,2 ± 0,07 ^a	46,6 ± 0,07
≥ 500	2,1 ± 0,4	27,3 ± 0,16	62,1 ± 0,16

^a Différence significative (p < 0,05).

²⁰ Valeurs ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 30 Relation entre certains paramètres environnementaux et la fonction respiratoire²¹ (n = 41)

	valeur maximale du DEP (L/min)	Valeur matinale du DEP (L/min)	nombre de jours avec variabilité $\geq 15\%$	% d'enfant avec $\geq 1/14$ jrs avec $\geq 15\%$	VEMS, % de la valeur prédite
Présence d'un SVM					
Non	206 $\pm$ 33	154 $\pm$ 25	7,9 $\pm$ 1,4	68,6 $\pm$ 0,17	102 $\pm$ 2,1
Oui	219 $\pm$ 26	181 $\pm$ 20	5,9 $\pm$ 1,1	57,2 $\pm$ 0,14	104 $\pm$ 1,6
Taux de ventilation					
PFT général (CBR+LR) (CAH)					
< 0,30	194 $\pm$ 26 ^a	159 $\pm$ 21 ^a	5,6 $\pm$ 1,1	59,5 $\pm$ 0,15	103 $\pm$ 1,4
$\geq 0,30$	253 $\pm$ 29	202 $\pm$ 23	7,5 $\pm$ 1,3	60,1 $\pm$ 0,16	104 $\pm$ 2,5
SF ₆ (CAH)					
< 0,30	222 $\pm$ 28	177 $\pm$ 22	6,7 $\pm$ 1,2	64,1 $\pm$ 0,15	103 $\pm$ 1,5
$\geq 0,30$	207 $\pm$ 30	173 $\pm$ 24	5,6 $\pm$ 1,3	53,0 $\pm$ 0,16	104 $\pm$ 2,3
CO ₂ général (CBR+LR) (ppm)					
< 1 000	231 $\pm$ 27	189 $\pm$ 21	6,3 $\pm$ 1,2	59,7 $\pm$ 0,15	103 $\pm$ 1,5
$\geq 1 000$	193 $\pm$ 30	153 $\pm$ 23	6,3 $\pm$ 1,3	59,7 $\pm$ 0,16	104 $\pm$ 2,3
Facteurs physiques					
Taux d'humidité relative-LR (%)					
< 55	216 $\pm$ 26	176 $\pm$ 20	6,2 $\pm$ 1,1	59,0 $\pm$ 0,13	103 $\pm$ 1,4
≥ 55	233 $\pm$ 49	156 $\pm$ 38	9,6 $\pm$ 2,0	76,4 $\pm$ 0,26	102 $\pm$ 3,9
Facteurs chimiques					
Formaldéhyde-hiver ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
< 50	224 $\pm$ 25 ^a	181 $\pm$ 20	6,2 $\pm$ 1,1	60,9 $\pm$ 0,14	103 $\pm$ 1,4
≥ 50	166 $\pm$ 35	140 $\pm$ 27	6,8 $\pm$ 1,5	52,2 $\pm$ 0,19	104 $\pm$ 2,6
Formaldéhyde-été ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
< 50	232 $\pm$ 31	182 $\pm$ 24	7,2 $\pm$ 1,3	73,3 $\pm$ 0,16	104 $\pm$ 2,1
≥ 50	210 $\pm$ 26	173 $\pm$ 21	6,0 $\pm$ 1,1	54,5 $\pm$ 0,14	103 $\pm$ 1,5
Facteurs biologiques					
Spoires de moisissures dans l'air (CFU/m ³)					
< 500	216 $\pm$ 26	176 $\pm$ 20	6,1 $\pm$ 1,0 ^a	57,8 $\pm$ 0,13	104 $\pm$ 1,3 ^a
≥ 500	227 $\pm$ 42	164 $\pm$ 33	10,1 $\pm$ 1,7	91,0 $\pm$ 0,22	94 $\pm$ 3,4

^a Différence significative ($p < 0,05$).

²¹ Valeurs $\pm$ erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

En ce qui concerne la ventilation des résidences, la présence d'un système de ventilation mécanique est associée uniquement avec une fréquence plus élevée de sommeil perturbé chez les enfants. Il n'y a pas de différence de fréquence des symptômes chez les enfants étudiés selon qu'ils demeurent dans une résidence avec un taux de ventilation $< 0,3$ CAH ou $\geq 0,3$ CAH. La prévalence de toux nocturne est cependant plus élevée chez les enfants demeurant dans des résidences où la concentration de CO_2 est $\geq 1\,000$ ppm. La valeur maximale et la valeur matinale du DEP (L/min) étaient significativement plus élevées chez les enfants demeurant dans des résidences avec un taux de ventilation $\geq 0,30$ CAH.

En ce qui concerne l'humidité relative (HR), la prévalence de rhinite allergique était plus élevée chez les enfants demeurant dans des résidences avec un pourcentage d'HR $< 55\%$. En ce qui concerne le formaldéhyde, aucune différence significative n'a été observée au niveau des symptômes, sauf une valeur maximale significativement plus faible chez les enfants vivant dans des résidences avec une concentration $\geq 50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant l'automne-hiver. Pour ce qui est des spores de moisissures dans l'air, les résultats des analyses exploratoires réalisées indiquent que le groupe d'enfants vivant dans des résidences présentant des concentrations $\geq 500\text{ CFU}/\text{m}^3$ prenaient davantage de médicaments de secours, avaient un asthme moins fréquemment maîtrisé, et avaient un VEMS plus faible que le groupe de ceux vivant dans des résidences avec une concentration $< 500\text{ CFU}/\text{m}^3$ ²².

4.3 Résultats de l'étude randomisée (phase postintervention - phase II)

4.3.1 CARACTÉRISTIQUES DE BASE SELON LE GROUPE D'ALLOCATION

Volet environnemental

Les principales caractéristiques des habitations ainsi que les habitudes de vie des participants ont été comparées entre les groupes intervention et témoin afin de s'assurer de leur comparabilité (voir tableaux 31 et 32). Bien que les deux groupes soient comparables dans leur ensemble, on observe une différence significative entre eux pour : l'année de construction des résidences, pour laquelle le groupe témoin présente un pourcentage plus élevé de résidences anciennes; la fréquence des travaux de rénovation, qui est plus élevée chez le groupe intervention et enfin, la présence d'un humidificateur portatif, plus fréquente chez le groupe témoin.

²² « Une publication émise par Santé Canada en 1995, intitulée Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles de bureaux, offrait des conseils sur l'interprétation des tests de l'air dans les grands immeubles de bureaux. Ces données servent à guider les investigations dans les immeubles à bureaux où l'on pense déceler de la moisissure sans qu'elle ait été détectée par une inspection visuelle. Elles ne représentent pas un [niveau sécuritaire] de moisissure, ne s'appliquent pas aux maisons, et ne constituent en aucun cas une ligne directrice ou une recommandation de Santé Canada. » (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-sem/air/in/poll/mould-moisissure/fact-info-fra.php>). Ainsi, dans ce guide, l'auteur proposait notamment une concentration supérieure à $500\text{ CFU}/\text{m}^3$ comme seuil d'action pour l'investigation et le contrôle des problèmes de moisissures. Puisque Santé Canada ne recommande aucune valeur-guide pour les moisissures, **le lecteur doit comprendre que le seuil de $500\text{ CFU}/\text{m}^3$ n'est utilisé dans le présent document qu'à titre indicatif seulement.**

Tableau 31 Caractéristiques des habitations, du système de chauffage et habitudes de vie des 83 participants de l'étude randomisée

	Groupe intervention (n = 43) n (%)	Groupe témoin (n = 40) n (%)
Caractéristiques des habitations		
Année de construction de la résidence ^a		
≤ 1959	5 (11,6)	4 (10,0)
1960-1979	5 (11,6)	14 (35,0)
1980-1999	17 (39,6)	12 (30,0)
≥ 2000	16 (37,2)	10 (25,0)
Volume de la maison en m ³		
< 350	7 (16,3)	4 (10,0)
≥ 350	36 (83,7)	36 (90,0)
Infiltrométrie (CAH ₅₀)		
< 3	17 (16,3)	10 (25,0)
≥ 3	26 (60,7)	30 (75,0)
Présence de tapis dans la résidence	17 (39,5)	22 (55,0)
Présence d'un garage attenant	16 (37,2)	10 (25,0)
Caractéristiques du système de chauffage		
Type de chauffage principal		
Système électrique	36 (83,7)	27 (67,5)
Chauffage au bois	4 (9,3)	4 (10,0)
Chauffage à l'huile	1 (2,3)	4 (10,0)
Système mixte (électrique/huile)	1 (2,3)	2 (5,0)
Autres	1 (2,3)	3 (7,5)
Distribution de la chaleur du système de chauffage principal		
Plinthes électriques	32 (74,4)	23 (57,5)
Air pulsé	6 (14,0)	13 (32,5)
Calorifères à eau chaude	1 (2,3)	1 (2,5)
Plafond radiant	1 (2,3)	0
Autres	3 (7,0)	3 (7,5)
Utilisation d'un chauffage d'appoint	20 (46,5)	22 (55,0)
Présence d'un poêle à bois	16 (37,2)	20 (50,0)
Nombre de cordes de bois utilisées par année		
Moins de 1 corde	4 (9,3)	5 (12,5)
Entre 1 et 4 cordes	6 (14,0)	8 (20,0)
Entre 5 et 9 cordes	5 (11,6)	3 (7,5)
≥ 10 cordes	2 (4,7)	4 (10,0)
Non applicable	26 (60,5)	20 (50,0)

^a Différence significative avec le groupe témoin (p < 0,05).

^b Lapin, oiseau, reptile, etc.

Tableau 31 **Caractéristiques des habitations, du système de chauffage et habitudes de vie des 83 participants de l'étude randomisée (suite)**

	Groupe intervention (n = 43) n (%)	Groupe témoin (n = 40) n (%)
<i>Habitudes de vie des participants</i>		
Nombre d'occupants dans la résidence		
< 5	34 (79,1)	30 (75,0)
≥ 5	9 (20,9)	10 (25,0)
Présence d'animaux domestiques		
Chat	4 (9,3)	4 (10,0)
Chien	6 (14,0)	6 (15,0)
Autres animaux de compagnie ^b	1 (2,3)	2 (5,0)
Aucun	33 (76,7)	29 (72,5)
Présence de fumeur dans la résidence	1 (2,3)	2 (5,0)
Mesures contre les acariens		
Housse antiacariens	9 (20,9)	5 (12,5)
Taie d'oreiller antiacariens	1 (2,3)	3 (7,5)
Housse et taie d'oreiller antiacariens	7 (16,3)	12 (30,0)
Utilisation d'acaricide	1 (2,3)	0
Aucune	25 (58,1)	20 (50,0)
Bricolage à l'intérieur ^a		
Aucun	29 (67,4)	35 (87,5)
Menuiserie	3 (7,0)	4 (10,0)
Rénovation	5 (11,6)	0
Bricolage	4 (9,3)	0
Peinture	1 (2,3)	0
Autres	1 (2,3)	1 (2,5)

^a Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

^b Lapin, oiseau, reptile, etc.

Tableau 32 Équipement et habitudes de ventilation des 83 participants de l'étude randomisée

	Groupe intervention (n = 43) n (%)	Groupe Témoin (n = 40) n (%)
Équipement de ventilation		
Présence d'un système de ventilation		
Présence	32 (74,4)	24 (60,0)
Absence	11 (25,6)	16 (40,0)
Type de système présent ^b		
Ventilateur récupérateur de chaleur	13 (40,6)	14 (58,3)
Échangeur d'air	19 (59,4)	10 (41,7)
Distribution d'air dans toutes les pièces ^b	10 (31,3)	7 (29,2)
Présence d'une bouche dans la chambre de l'enfant ^b	12 (37,5)	6 (25,0)
Présence d'un climatiseur	21 (48,8)	9 (22,5)
Présence d'un humidificateur portatif ^a	8 (18,6)	16 (40,0)
Présence d'un déshumidificateur	25 (58,1)	23 (57,5)
Présence d'un purificateur d'air	3 (7,0)	3 (7,5)
Présence d'un ventilateur d'extraction dans la salle de bain		
Aucun ventilateur	5 (11,6)	7 (17,5)
Dans le tiers des salles de bain	1 (2,3)	1 (2,5)
Dans la moitié des salles de bain	12 (27,9)	10 (25,0)
Dans les deux tiers des salles de bain	1 (2,3)	1 (2,5)
Dans toutes les salles de bain	24 (55,8)	21 (52,5)
Habitudes de ventilation		
Mode de fonctionnement du système de ventilation mécanique ^b		
En continu	14 (43,7)	13 (54,2)
En intermittence	16 (50,0)	8 (33,3)
NSP	2 (6,3)	3 (12,5)
Fréquence d'utilisation de la hotte ^c		
3 fois et moins/semaine	4 (9,3)	5 (12,5)
Entre 4 et 6 fois/semaine	5 (11,6)	7 (17,5)
1 fois et plus/jour	34 (79,1)	27 (67,5)

^a Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

^b Pour ces variables : n = 32 pour le groupe intervention et n = 24 pour le groupe témoin.

^c 1 non-répondant groupe témoin.

Tableau 32 Équipement et habitudes de ventilation des 83 participants de l'étude randomisée (suite)

	Groupe intervention (n = 43) n (%)	Groupe Témoin (n = 40) n (%)
<i>Habitudes de ventilation</i>		
Fréquence d'utilisation des ventilateurs de chambre de bain		
Jamais/rarement/moins d'une fois par jour	8 (18,6)	7 (17,5)
1 à 3 fois par jour	22 (51,1)	21 (52,5)
4 fois et plus par jour	6 (14,0)	5 (12,5)
NSP	5 (11,6)	0
Pas de ventilateur de salle de bain	2 (4,7)	7 (17,5)
Fréquence ouverture fenêtres automne (sauf chambre enfant)		
Jamais, rarement, à l'occasion	31 (72,1)	29 (72,5)
Souvent, très souvent	12 (27,9)	11 (27,5)
Fréquence ouverture fenêtres chambre enfant automne		
Jamais, rarement, à l'occasion	36 (83,7)	32 (80,0)
Souvent, très souvent	7 (16,3)	8 (20,0)
Fréquence ouverture porte chambre d'enfant la nuit		
Jamais, rarement, à l'occasion	9 (20,9)	6 (15,0)
Souvent, très souvent	34 (79,1)	34 (85,0)

^a Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

^b Pour ces variables : n = 32 pour le groupe intervention et n = 24 pour le groupe témoin.

^c 1 non-répondant groupe témoin.

Les tableaux 33 et 34 présentent les paramètres de ventilation, les facteurs physiques, les contaminants chimiques et biologiques selon le groupe d'allocation de la randomisation. On constate qu'il n'y a aucune différence significative entre les deux groupes, excepté pour le toluène et l' α -pinène, dont la valeur est plus élevée dans le groupe intervention.

Tableau 33 Paramètres de ventilation et facteurs physiques des 83 résidences de l'étude randomisée²³

	Groupe Intervention (n = 43)	Groupe Témoin (n = 40)
Taux de ventilation		
PFT général (CBR + LR) (CAH)	0,17 (1,06)	0,18 (1,06)
PFT-CBR	0,17 (1,06)	0,19 (1,06)
PFT-LR ^a	0,16 (1,07)	0,17 (1,08)
PFT-été	0,33 (1,22)	0,41 (1,19)
CO ₂ général (CBR + LR) (ppm)	896 (1,05)	915 (1,05)
CO ₂ -CBR ^b	954 (1,05)	925 (1,06)
CO ₂ -LR	833 (1,06)	891 (1,06)
SF ₆ ^b	0,27 (1,05)	0,25 (1,06)
Facteurs physiques		
PM _{2,5} (µg/m ³)	1,75 (1,11)	1,6 (1,11)
PM ₁₀ (µg/m ³)	13,7 (1,07)	12,7 (1,07)
Taux d'humidité relative-CBR (%)	44,2 ± 1,0	45,4 ± 1,2
Taux d'humidité relative-LR (%)	39,1 ± 1,1	41,6 ± 1,2

^a 2 non-répondants (1 intervention, 1 témoin).

^b 1 non-répondant (1 intervention).

²³ Moyenne géométrique (erreur type) .

Tableau 34 Contaminants environnementaux des 83 résidences de l'étude randomisée²⁴

	Groupe Intervention (n = 43)	Groupe Témoin (n = 40)
Contaminants chimiques		
Formaldéhyde-hiver ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37,4 (1,08)	36,5 (1,08)
% de maison avec HCHO-hiver $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	30,2 $\pm$ 0,07	25,0 $\pm$ 0,07
Formaldéhyde-été ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	56,5 (1,08)	58,3 (1,06)
% de maison avec HCHO-été $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	69,8 $\pm$ 0,07	72,5 $\pm$ 0,07
Toluène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28,6 (1,21)	16,5 (1,14)
Dioxyde d'azote	3,40 (1,06)	3,3 (1,08)
Ozone	0,47 (1,18)	0,46 (1,24)
Éthylbenzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,8 (1,24)	2,8 (1,29)
Styrène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,49 (1,37)	0,41 (1,32)
Limonène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45,8 (1,11)	38,0 (1,12)
α pinène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,7 (1,15)	10,4 (1,12)
Nicotine (ng/m^2) ^a	96,3 (1,29)	63,2 (1,24)
Bis-2-éthylhexylphthalate (ng/m^2) ^b	1 406,6 (1,13)	1 655,4 (1,11)
Phtalates totaux (ng/m^2) ^b	3 170,3 (1,15)	3 345,9 (1,15)
Contaminants biologiques		
Spores de moisissures dans l'air (CFU/m^3) ^a	101 (1,20)	88,7 (1,16)
Allergènes d'acariens <i>Der f1</i> ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,06 (1,40)	0,15 (1,51)
% de maison avec <i>Der f1</i> > 2 $\mu\text{g}/\text{g}$	19,0 $\pm$ 0,06	30,0 $\pm$ 0,07
% de maison avec <i>Der f1</i> > 10 $\mu\text{g}/\text{g}$	2,4 $\pm$ 0,02	2,5 $\pm$ 0,03
Allergènes d'acariens <i>Der p1</i> ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,02 (1,12)	0,02 (1,20)
Allergènes de chat <i>Fel d1</i> ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,07 (1,41)	0,06 (1,36)
% de maison avec <i>Fel d1</i> > 1 $\mu\text{g}/\text{g}$	16,7 $\pm$ 0,06	12,5 $\pm$ 0,05
% de maison avec <i>Fel d1</i> > 8 $\mu\text{g}/\text{g}$	4,8 $\pm$ 0,03	2,5 $\pm$ 0,03
Allergènes de chien <i>Can f1</i> ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,03 (1,30)	0,03 (1,29)
% de maison avec <i>Can f1</i> > 2 $\mu\text{g}/\text{g}$	7,1 $\pm$ 0,04	7,5 $\pm$ 0,04

^a 24 non-répondants (11 intervention, 13 témoin).

^b 1 non-répondant (1 témoin).

²⁴ Moyenne géométrique (erreur -type).

Volet santé

Le tableau 35 compare les caractéristiques sociodémographiques, les antécédents familiaux et médicaux et le statut d'atopie entre les groupes intervention et témoin. Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes pour la majorité des variables sauf pour les antécédents d'eczéma et d'allergie alimentaire, pour lesquels on observe une prévalence plus faible chez les enfants du groupe intervention.

Tableau 35 Caractéristiques sociodémographiques, antécédents familiaux et médicaux et statut d'atopie des 83 participants de l'étude randomisée

	Groupe Intervention (n = 43)	Groupe Témoin (n = 40)
	n (%)	n (%)
Caractéristiques sociodémographiques		
Genre (% de garçons)	28 (65)	27 (68)
Âge moyen (années) ^a	5,5 (2,0)	6,5 (2,9)
Fratrie		
1	9 (21)	5 (13)
2	29 (67)	25 (63)
≥ 3	5 (12)	10 (25)
Moyenne (n par famille)	2,0 (0,7)	2,2 (0,8)
Fréquentation garderie	35 (81)	33 (83)
Fréquentation école	21 (49)	23 (58)
Scolarité des deux parents ^b		
Collégial ou Universitaire	18 (44)	22 (56)
Niveau de revenu du ménage ^c		
Moyen supérieur/Supérieur	38 (90)	32 (84)
Antécédents familiaux et médicaux		
Antécédents familiaux d'atopie ^d		
Aucun parent	12 (29)	9 (23)
1 parent	14 (33)	17 (44)
2 parents	16 (37)	13 (33)
Asthme chez au moins un des deux parents ^b	19 (46)	18 (46)
Asthme chez les deux parents ^b	5 (12)	2 (5)
Antécédents médicaux de l'enfant		
Aucun	19 (44)	11 (28)
Eczéma ou dermatite atopique	9 (21) ^e	18 (45)
Autre allergie (excluant rhinite allergique)	13 (30)	13 (33)
Allergie alimentaire	4 (9) ^e	11 (28)
Problèmes respiratoires autres que l'asthme	2 (5)	3 (8)
Autres maladies	2 (5)	0 (0)

^a Moyenne (écart-type).

^b 3 non-répondants (2 intervention, 1 témoin).

^c 3 non-répondants (1 intervention, 2 témoin).

^d 2 non-répondants (1 intervention, 1 témoin).

^e Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

^f n = 36 et n = 29. Cependant, certains allergènes ont des données manquantes alors n < 36 et n < 29.

Tableau 35 Caractéristiques sociodémographiques, antécédents familiaux et médicaux et statut d'atopie des 83 participants de l'étude randomisée (suite)

	Groupe Intervention (n = 43)	Groupe Témoin (n = 40)
Test cutané d'allergie positif^a		
À au moins un des huit principaux ci-dessous	16 (44,4)	15 (51,7)
Poussière de maison	9 (39,1)	5 (35,7)
Chat	10 (27,8)	10 (34,5)
Chien	9 (25,7)	6 (21,4)
Bouleau	7 (21,9)	6 (23,1)
Graminée	7 (20,6)	8 (27,6)
Acariens (Der p1)	7 (19,4)	7 (24,1)
Moisissures	4 (13,3)	1 (3,9)
Herbes à poux	4 (12,5)	1 (3,7)

^a Moyenne (écart-type).

^b 3 non-répondants (2 intervention, 1 témoin).

^c 3 non-répondants (1 intervention, 2 témoin).

^d 2 non-répondants (1 intervention, 1 témoin).

^e Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

^f n = 36 et n = 29. Cependant, certains allergènes ont des données manquantes alors n < 36 et n < 29.

Le tableau 36 compare les symptômes respiratoires et allergiques, les visites à l'urgence et les hospitalisations entre les groupes intervention et témoin, alors que le tableau 37, quant à lui, compare la santé respiratoire entre ces mêmes groupes. Dans l'ensemble, les deux groupes sont comparables. Par contre, on observe une différence significative pour la valeur maximale et la valeur matinale du débit expiratoire de pointe, pour lesquelles le groupe intervention semble avoir de plus faibles valeurs que le groupe témoin.

Tableau 36 Symptômes respiratoires et allergiques, visites à l'urgence et hospitalisations des 83 participants de l'étude randomisée au cours des 12 mois précédant l'entrée dans l'étude

	Groupe Intervention (n = 43)	Groupe Témoin (n = 40)
	n (%)	n (%)
Épisode de sifflement	31 (72,1)	31 (77,5)
Fréquence des épisodes		
1-3	17 (54,8)	19 (61,3)
4-12	12 (38,7)	9 (29,0)
≥ 12	2 (6,5)	3 (9,7)
Sommeil perturbé		
Jamais	5 (16,1)	3 (9,7)
Moins d'une nuit/semaine	19 (61,3)	16 (51,6)
Une ou plusieurs nuits/semaine	7 (22,6)	12 (38,7)
Discours perturbé	7 (22,6)	12 (38,7)
Sifflement sévère ^a	11 (35,5)	18 (58,1)
Sifflement à l'effort ^b	13 (31,0)	13 (32,5)
≥ 4 épisodes de sifflement	14 (32,6)	12 (30,0)
Toux sèche nocturne	28 (65,1)	25 (62,5)
Symptômes de rhinite allergique	29 (67,4)	31 (77,5)
Larmolement	13 (30,2)	16 (40,0)
Visite à l'urgence pour cause d'asthme	32 (74,4)	30 (75,0)
Hospitalisation pour cause d'asthme	21 (48,8)	15 (37,5)

^a Épisode de sifflement accompagné de sommeil perturbé (une ou plusieurs nuits/semaine) et/ou de discours perturbé.

^b 3 non-répondants (1 intervention, 2 témoin).

Tableau 37 Santé respiratoire des 83 participants de l'étude randomisée par période de 14 jours²⁵

	Groupe Intervention (n = 40)	Groupe Témoin (n = 40)
Symptômes		
Nombre de jours avec symptômes		
Au moins un symptôme ci-dessous	5,7 ± 0,5	5,6 ± 0,6
Toux	5,1 ± 0,5	5,1 ± 0,6
Essoufflement	1,7 ± 0,4	1,3 ± 0,4
Sommeil perturbé	1,4 ± 0,3	1,1 ± 0,2
Sifflement	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,3
Tirage	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,1
Symptômes spécifiques	2,7 ± 0,5	2,3 ± 0,4
Rhume ou grippe	4,2 ± 0,5	3,4 ± 0,4
Score quotidien de sévérité des symptômes	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,1
Médicaments pour asthme		
% d'enfants prenant		
≥ 1 dose de corticostéroïdes par inhalation	62,5 ± 0,08	65,0 ± 0,08
≥ 1 dose de bronchodilatateurs d'appoint	62,5 ± 0,08	60,0 ± 0,08
≥ 1 dose de corticostéroïdes oraux	2,5 ± 0,03	7,5 ± 0,04
≥ 1 dose de médicaments de secours	82,5 ± 0,06	75,0 ± 0,07
≥ 8 doses de médicament de secours	25,0 ± 0,07	10,0 ± 0,05
Nombre de jours avec médicaments de secours	3,1 ± 0,6	2,4 ± 0,5
Maîtrise de l'asthme^a		
Nombre de mois avec maîtrise	2,8 ± 0,2	2,8 ± 0,2
% d'enfants avec maîtrise	21 (63,6)	17 (54,8)
% d'enfants selon le nombre de mois avec maîtrise		
4 mois	11 (33,3)	10 (32,3)
3 mois	10 (30,3)	9 (29,0)
2 mois	9 (27,3)	8 (25,8)
1 mois	1 (3,0)	3 (9,7)
0 mois	2 (6,1)	1 (3,2)
% d'enfants avec ≥ 1 jour d'absence de l'école	12 (36,4)	14 (45,2)

^a 16 non-répondants (7 intervention, 9 témoin).

^b 33 non-répondants (18 intervention, 15 témoin).

^c 30 non-répondants (16 intervention, 14 témoin).

^d Différence significative avec le groupe témoin (p < 0,05).

²⁵ Moyenne ± erreur type.

Tableau 37 Santé respiratoire des 83 participants de l'étude randomisée par période de 14 jours²⁶ (suite)

	Groupe Intervention (n = 40)	Groupe Témoin (n = 40)
Fonction respiratoire		
Débit expiratoire de pointe (DEP) ^b		
Valeur maximale (L/min)	220 ± 11,8 ^d	286 ± 17,5
Valeur matinale (L/min)	183 ± 10,2 ^d	228 ± 13,4
Variabilité moyenne (%)	5,1 ± 0,8	8,5 ± 1,7
Nombre de jours avec variabilité ≥ 15 %	6,3 ± 0,4	7,1 ± 0,8
% d'enfants avec ≥ 1 jr/14 jrs avec variabilité ≥ 15 %	63,6 ± 0,1	64,0 ± 0,1
VEMS, % de la valeur prédite ^c	102 ± 1,7	104 ± 2,2

^a 16 non-répondants (7 intervention, 9 témoin).

^b 33 non-répondants (18 intervention, 15 témoin).

^c 30 non-répondants (16 intervention, 14 témoin).

^d Différence significative avec le groupe témoin ($p < 0,05$).

4.3.2 IMPACTS DE L'INTERVENTION

Volet environnemental

Paramètres physiques

Les auteurs de cette présente étude ont évalué la différence des changements de concentration au niveau des paramètres physiques, chimiques et biologiques survenus dans les deux groupes suite à l'intervention effectuée sur la ventilation.

Le tableau 38 présente les résultats de l'analyse des changements sur les paramètres de ventilation. Tout d'abord, une augmentation significative du taux de ventilation a été observée dans les résidences du groupe intervention en comparaison avec le groupe témoin, que le taux soit mesuré par le PFT ($p < 0,0001$) ou le SF₆ ($p = 0,0004$) ou bien estimé par la concentration de CO₂ ($p < 0,0001$). En effet, durant l'automne-hiver, le taux mesuré par le PFT a doublé dans la chambre de l'enfant des résidences du groupe intervention, passant de 0,17 CAH à 0,36 CAH. Le taux de ventilation global (PFT) de la résidence a aussi doublé durant l'automne-hiver et durant l'été, passant de 17 CAH à 0,34 CAH et de 0,32 CAH à 0,64 CAH respectivement. Pour ce qui est du CO₂, on observe, suite à l'intervention, une diminution significative des concentrations mesurées dans la chambre de l'enfant et dans le séjour pour les résidences du groupe intervention, alors que dans les résidences du groupe témoin, les concentrations de CO₂ ont augmenté significativement.

De plus, durant l'automne-hiver, une diminution significative du taux d'humidité relative d'environ 4 % a été constatée dans la chambre de l'enfant et la salle de séjour, les taux d'humidité moyens ayant diminué respectivement à 40,5 % et 34,8 %, alors que chez le groupe témoin les taux moyens ont légèrement augmenté (voir tableau 39). Soulignons qu'il n'y pas eu de changement significatif des concentrations de PM_{2,5} entre les deux groupes suite à l'intervention ($p = 0,74$). On observe cependant une diminution significative des concentrations de PM_{2,5} et de PM₁₀ chez le groupe intervention entre les deux années d'observation.

²⁶ Moyenne ± erreur type.

Tableau 38 Effets de l'intervention sur les paramètres de ventilation

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^b	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Taux de ventilation^a								
PFT global (CAH)	0,17 (1,06)	0,34 (1,06)	0,17 ^c	0,18 (1,06)	0,21 (1,06)	0,03 ^c	0,14	< 0,0001
PFT-CBR (CAH)	0,17 (1,06)	0,36 (1,06)	0,19 ^c	0,19 (1,06)	0,21 (1,06)	0,02 ^c	0,17	< 0,0001
PFT-LR (CAH)	0,17 (1,07)	0,32 (1,07)	0,15 ^c	0,17 (1,07)	0,20 (1,07)	0,03 ^c	0,12	0,0003
PFT-été-global (CAH)	0,32 (1,18)	0,64 (1,18)	0,32 ^c	0,42 (1,18)	0,48 (1,19)	0,06	0,26	0,0004
CO ₂ global (ppm)	907 (1,05)	768 (1,05)	-139 ^c	932 (1,05)	1088 (1,05)	133 ^c	-272	< 0,0001
CO ₂ -CBR (ppm)	970 (1,05)	792 (1,05)	-178 ^c	926 (1,05)	1081 (1,05)	155 ^c	-333	< 0,0001
CO ₂ -LR (ppm)	840 (1,05)	742 (1,05)	-98 ^c	904 (1,05)	1023 (1,05)	119 ^c	-217	0,0003
SF ₆ (CAH)	0,27 (1,05)	0,43 (1,05)	0,16 ^c	0,25 (1,05)	0,30 (1,05)	0,05 ^c	0,11	0,0004

^a Moyennes géométriques (erreur type) ajustées pour l'année de construction des résidences et la présence d'un poêle à bois.

^b Changement absolu = année 2 - année 1.

^c Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

Tableau 39 Effets de l'intervention sur les facteurs physiques de l'air intérieur

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^c	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Facteurs physiques								
Taux d'humidité relative-CBR (%) ^a	44,4 ± 1,2	40,5 ± 1,2	-3,9 ^d	45,7 ± 1,21	48,3 ± 1,21	2,6 ^d	-6,5	0,0002
Taux d'humidité relative-LR (%) ^a	39,2 ± 1,1	34,8 ± 1,1	-4,4 ^d	41,8 ± 1,1	43,4 ± 1,1	1,6	-6,0	0,0002
Température-CBR (°C)	18,0 ± 0,3	16,8 ± 0,3	-1,1	17,2 ± 0,3	17,3 ± 0,3	+0,1	-1,3	0,0004
Température-LR (°C)	21,0 ± 0,3	21,2 ± 0,3	+0,2	20,7 ± 0,3	21,0 ± 0,3	0,3	-0,1	0,77
PM _{2,5} (µg/m ³) ^b	1,7 (1,1)	1,4 (1,1)	-0,3 ^d	1,6 (1,1)	1,3 (1,1)	-0,3	0	0,74
PM ₁₀ (µg/m ³) ^b	13,5 (1,1)	8,3 (1,1)	-5,2 ^d	12,3 (1,1)	8,3 (1,1)	-4,0 ^d	-1,2	0,41

^a Moyennes ± erreur type ajustées pour l'année de construction des résidences et la présence d'un poêle à bois.

^b Moyennes géométriques (erreur type) ajustées pour la présence d'un garage attenant.

^c Changement absolu = année 2 - année 1.

^d Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

Paramètres chimiques

Les tableaux 40 et 41 présentent les résultats de l'analyse des changements sur les paramètres chimiques. Une diminution significative du tiers environ de la concentration moyenne de formaldéhyde durant l'automne-hiver, dans les résidences du groupe intervention, a été observée par rapport au groupe témoin, passant de 37,2 µg/m³ à 24,1 µg/m³. Par ailleurs, alors que 30 % des résidences du groupe intervention dépassaient la valeur guide du formaldéhyde de 50 µg/m³ sur 8 heures durant l'automne-hiver au cours de la première année d'observation, la totalité d'entre elles respectaient cette valeur guide suite à l'intervention. Notons que durant l'été, la concentration moyenne de formaldéhyde et le pourcentage de résidences dépassant la valeur guide n'ont pas diminué de façon significative dans le groupe intervention quand on le compare au groupe témoin ($p = 0,23$ et $p = 0,13$ respectivement). Par contre, on observe une diminution significative de ces valeurs dans le groupe intervention entre les 2 années d'observation.

Tableau 40 Effets de l'intervention sur les principaux contaminants environnementaux

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^c	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Contaminants chimiques								
HCHO-hiver ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^a	37,2 (1,07)	24,1 (1,07)	-13,1 ^e	36,5 (1,08)	35,4 (1,08)	-1,1	-12,0	< ,0001
% de maison avec HCHO-hiver $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^b	30,2 $\pm$ 0,06	0	-30,2 ^e	25,5 $\pm$ 0,06	22,9 $\pm$ 0,06	-2,6	-27,6	0,004
HCHO-été ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^a	56,5 (1,07)	47,1 (1,07)	-9,4 ^e	58,4 (1,08)	55,0 (1,08)	-3,4	-6,0	0,23
% de maison avec HCHO-été $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^b	71,6 $\pm$ 0,07	41,3 $\pm$ 0,07	-30,3 ^e	75,6 $\pm$ 0,08	62,7 $\pm$ 0,08	-12,9	-17,4	0,13
Toluène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^a	28,7 (1,18) ^d	7,8 (1,18)	-20,9 ^e	16,9 (1,20)	11,5 (1,20)	-5,4	-15,5	< ,0001
Dioxyde d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^a	3,40 (1,07)	4,99 (1,07)	1,59 ^e	3,25 (1,08)	3,63 (1,08)	0,38	1,21	0,002
Ozone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^a	0,44 (1,18)	0,31 (1,18)	-0,13	0,42 (1,19)	0,29 (1,19)	-0,13	0	0,95

^a Moyennes géométriques (erreur type) ajustées pour la présence d'un garage attenant.

^b Moyennes $\pm$ erreur type ajustées pour la présence d'un garage attenant.

^c Changement absolu = année 2 - année 1.

^d Différence significative avec le groupe témoin à l'année 1 ($p < 0,05$).

^e Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 ($p < 0,05$).

Tableau 41 Effets de l'intervention sur les contaminants environnementaux secondaires²⁷

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^b	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Contaminants chimiques								
Éthylbenzène (µg/m ³)	5,2 (1,3)	2,6 (1,3)	-2,6 ^b	3,1 (1,3)	2,1 (1,3)	-1,0	-1,6	0,36
Styrène (µg/m ³)	0,49 (1,4)	0,03 (1,4)	-0,46 ^b	0,40 (1,4)	0,16 (1,4)	-0,24 ^b	-0,22	0,001
Limonène (µg/m ³)	44,3 (1,1)	14,7 (1,1)	-29,6 ^b	35,5 (1,1)	28,1 (1,1)	-7,4	-22,2	< 0,0001
αpinène (µg/m ³)	15,5 (1,1) ^c	4,9 (1,1)	-10,6 ^b	10,0 (1,2)	8,0 (1,2)	-2,0	-8,6	< 0,0001
Nicotine (ng/m ²)	90,1 (1,2)	260,5 (1,2)	170,4 ^b	60,9 (1,3)	199,4 (1,3)	138,5 ^b	31,9	0,71
Bis -2-éthylhexylphthalate (ng/m ²)	1 415,2 (1,1)	2019,1 (1,1)	603,9 ^b	1698,0 (1,1)	1723,5 (1,1)	25,5	578,4	0,03
Phtalates totaux (ng/m ²)	3 144,5 (1,1)	3146,7 (1,1)	2,2	3320,6 (1,1)	2779,7 (1,1)	-540,9	543,1	0,32

^a Changement absolu = année 2 - année 1.

^b Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

^c Différence significative avec le groupe témoin à l'année 1 (p < 0,05).

²⁷ Moyennes géométriques (erreur type) ajustées pour la présence d'un garage attenant.

Par ailleurs, si on compare les deux groupes, on observe une diminution significative des concentrations de toluène ($p < 0,0001$), styrène ($p = 0,001$), limonène ($p < 0,0001$) et α -pinène ($p < 0,0001$), de même qu'une augmentation significative des concentrations de dioxyde d'azote ($p = 0,002$) et de 2-éthylhexylphthalate ($p = 0,03$) dans les résidences du groupe intervention.

Paramètres biologiques

Le tableau 42 présente les résultats de l'analyse de l'impact de l'intervention sur les paramètres biologiques. À cet effet, une diminution significative d'environ 40 % de la concentration moyenne de spores de moisissures (CFU/m³) a été observée dans les résidences du groupe intervention en comparaison avec celles du groupe témoin. Par ailleurs, suite à l'intervention, aucun changement significatif des concentrations (ng/g) d'allergènes d'acariens, de chat et de chien et ce, ni dans la poussière du matelas de l'enfant ni dans celle du plancher n'a été trouvé.

Tableau 42 Effets de l'intervention sur les moisissures et les allergènes

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^c	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Contaminants biologiques								
Spores de moisissures dans l'air (CFU/m ³)	101,3 ± 57	57,3 ± 57	-44 ^d	89,8 ± 60	91,0 ± 60	1,2	-45,2	0,03
Allergènes sur le matelas de l'enfant^a								
Allergènes d'acariens <i>Der f1</i> (µg/g)	0,05 (1,5)	0,06 (1,5)	0,01	0,17 (1,5)	0,21 (1,5)	0,04	-0,03	0,67
% de maison avec <i>Der f1</i> > 2 µg/g	18,9 ± 0,07	18,9 ± 0,07	0	30,8 ± 0,07	38,5 ± 0,07	7,7	-7,7	0,46
% de maison avec <i>Der f1</i> > 10 µg/g	2,3 ± 0,04	7,1 ± 0,04	4,8	2,6 ± 0,04	15,4 ± 0,04	12,8 ^d	-8,0	0,21
Allergènes d'acariens <i>Der p1</i> (µg/g)	0,02 (1,2)	0,01 (1,2)	-0,01	0,02 (1,2)	0,02 (1,2)	0	-0,01	0,16
Allergènes de chat <i>Fe d1</i> (µg/g)	0,07 (1,4)	0,06 (1,4)	-0,01	0,07 (1,4)	0,06 (1,4)	-0,01	0	0,89
% de maison avec <i>Fe d1</i> > 1 µg/g	16,5 ± 0,06	16,3 ± 0,06	-0,2	12,8 ± 0,08	17,1 ± 0,06	4,3	-4,5	0,62
% de maison avec <i>Fel d</i> > 8 µg/g	4,7 ± 0,03	4,7 ± 0,03	0	2,6 ± 0,03	0	-2,6	2,6	0,56
Allergènes de chien <i>Can f1</i> (µg/g)	0,03 (1,3)	0,04 (1,3)	0,01	0,03 (1,3)	0,03 (1,3)	0	0,01	0,59
% de maison avec <i>Can f1</i> > 2 µg/g	7,0 ± 0,04	11,6 ± 0,04	4,6	7,7 ± 0,04	5,1 ± 0,04	-2,6	7,2	0,28
Allergènes sur le plancher de la chambre de l'enfant^b								
Allergènes d'acariens <i>Der f1</i> (µg/g)	0,03 (1,4)	0,04 (1,5)	0,01	0,03 (1,4)	0,07 (1,6)	0,04	-0,03	0,52
Allergènes d'acariens <i>Der p1</i> (µg/g)	-	-	-	-	-	-	-	-
Allergènes de chat <i>Fel d1</i> (µg/g)	0,05 (1,4)	0,05 (1,5)	0	0,03 (1,4)	0,12 (1,6)	0,09 ^d	-0,09	0,05

^a 1 non-répondant (poussière insuffisante) intervention.

^b 50 non-répondants (poussière insuffisante) (24 intervention, 26 témoin).

^c Changement absolu = année 2 - année 1.

^d Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

Volet santé

L'impact de l'intervention effectuée sur la ventilation des résidences sur les indicateurs de santé respiratoire des enfants du groupe intervention en comparaison avec ceux du groupe témoin au cours de la deuxième année d'observation a été évalué.

Le tableau 43 présente les résultats de l'analyse de l'impact de l'intervention sur les symptômes quotidiens d'asthme. Le nombre moyen de jours avec symptômes par période de 14 jours pendant la période automne-hiver est passé de $5,9 \pm 0,8$ à $4,4 \pm 0,8$ dans le groupe intervention, en comparaison avec $5,0 \pm 0,9$ à $4,1 \pm 0,9$ dans le groupe témoin. Cette différence de changement entre les 2 groupes n'est toutefois pas significative ($p = 0,44$).

Le tableau 44 présente les résultats de l'impact de l'intervention sur la prévalence annuelle des symptômes d'asthme, de rhinites allergiques, de visites à l'urgence et d'hospitalisations. Une diminution significative de 22.1 % de la prévalence de sifflement respiratoire (≥ 1 épisode) au cours des 12 mois suivants a été observée chez les enfants du groupe intervention, par rapport à ceux du groupe témoin ($p = 0,03$). La prévalence de sifflements fréquents (≥ 4 épisodes) a aussi diminué de façon significative de 19.9 % dans le groupe intervention, en comparaison avec le groupe témoin ($p = 0,04$). Les auteurs n'ont pas observé de diminution significative de la prévalence de sommeil perturbé, sifflement sévère, toux sèche nocturne, visite à l'urgence et hospitalisation chez les enfants du groupe intervention, par rapport au groupe témoin.

Par ailleurs, suite à l'intervention, aucune différence significative n'a été notée entre les deux groupes en ce qui concerne la prise de médicaments pour l'asthme, la maîtrise de l'asthme, la fonction respiratoire, et l'utilisation des services de santé (tableaux 45 à 47). Chez les enfants du groupe intervention, entre les deux années d'observation, une tendance non significative à une diminution de la prise de 8 doses ou plus de médicaments de secours a été observée par rapport au groupe témoin.

Tableau 43 Effets de l'intervention sur la fréquence des symptômes liés à l'asthme par période de 14 jours

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^c	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Nombre de jours avec symptômes								
Au moins un symptôme ci-dessous	5,9 ± 0,8(5,0)	4,4 ± 0,8(4,5)	-1,5 ^e	5,0 ± 0,9(5,9)	4,1 ± 0,9(5,4)	-0,9	-0,6	0,44
Toux	5,3 ± 0,8	4,6 ± 0,8	-0,7	4,9 ± 0,9	3,5 ± 0,9	-1,4	0,7	0,51
Essoufflement	2,2 ± 0,5 ^d	2,0 ± 0,5	-0,2	1,0 ± 0,4	1,1 ± 0,4	0,1	-0,3	0,70
Sommeil perturbé	1,7 ± 0,4	1,9 ± 0,4	0,2	1,2 ± 0,5	1,0 ± 0,5	-0,2	0,4	0,53
Sifflement	1,0 ± 0,4	0,9 ± 0,4	-0,1	0,7 ± 0,5	0,7 ± 0,5	0	-0,1	0,95
Tirage	0,8 ± 0,4	1,0 ± 0,4	0,2	0,2 ± 0,4	0,2 ± 0,4	0	0,2	0,63
Symptômes spécifiques ^b	3,5 ± 0,5 ^d	2,5 ± 0,5	-1,0 ^e	2,1 ± 0,5	1,9 ± 0,5	-0,2	-0,8	0,16
Rhume ou grippe	4,8 ± 0,6	4,4 ± 0,6	-0,4	3,9 ± 0,7	3,0 ± 0,7	-0,9	0,5	0,67

^a Moyennes ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

^b Présence des 4 symptômes suivants : essoufflement, sommeil perturbé, sifflement, tirage.

^c Changement absolu = année 2 - année 1.

^d Différence significative avec le groupe témoin à l'année 1 (p < 0,05).

^e Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

Tableau 44 Effets de l'intervention sur le pourcentage d'enfants avec symptômes respiratoires et allergiques, visites à l'urgence et hospitalisations au cours des 12 mois précédents²⁸

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^b	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Enfants avec épisode de sifflement (≥ 1 épisode)	77,4 $\pm$ 0,10	42,5 $\pm$ 0,10	-34,9 ^d	83,6 $\pm$ 0,10	70,8 $\pm$ 0,10	-12,8	-22,1	0,03
Sommeil perturbé	87,7 $\pm$ 0,10	52,6 $\pm$ 0,13	-35,1 ^d	96,1 $\pm$ 0,10	70,4 $\pm$ 0,11	-25,7 ^d	-9,4	0,54
Discours perturbé	32,3 $\pm$ 0,09	7,2 $\pm$ 0,12	-21,0	49,0 $\pm$ 0,10	13,1 $\pm$ 0,10	-35,9 ^d	-14,9	0,20
Sifflement sévère ^a	42,1 $\pm$ 0,09	31,2 $\pm$ 0,10	-34,9 ^d	61,3 $\pm$ 0,10	2,6 $\pm$ 0,10	-58,7 ^d	-23,8	0,13
Sifflement à l'effort	41,1 $\pm$ 0,10	11,3 $\pm$ 0,12	-9,9	41,4 $\pm$ 0,10	26,0 $\pm$ 0,10	-15,4	-5,5	0,61
Sifflement fréquent (≥ 4 épisodes)	35,2 $\pm$ 0,09	5,0 $\pm$ 0,09	-30,2 ^d	33,8 $\pm$ 0,09	23,5 $\pm$ 0,09	-10,3	-19,9	0,04
Toux sèche nocturne	62,1 $\pm$ 0,11	38,8 $\pm$ 0,11	-23,3 ^d	56,2 $\pm$ 0,11	48,6 $\pm$ 0,11	-7,6	-15,6	0,26
Symptômes de rhinite allergique	74,2 $\pm$ 0,10	78,8 $\pm$ 0,10	4,6	79,4 $\pm$ 0,10	84,6 $\pm$ 0,10	5,2	-0,6	0,97
Larmolement	41,8 $\pm$ 0,10	46,5 $\pm$ 0,10	4,7	50,0 $\pm$ 0,11	65,4 $\pm$ 0,11	15,4	-10,7	0,41
Enfants avec visite à l'urgence	73,6 $\pm$ 0,09	24,8 $\pm$ 0,09	-48,8 ^d	76,0 $\pm$ 0,09	24,7 $\pm$ 0,09	-51,3 ^d	2,5	0,86
Enfants avec hospitalisation	52,8 $\pm$ 0,08	8,6 $\pm$ 0,08	-44,2 ^d	43,9 $\pm$ 0,08	8,0 $\pm$ 0,08	-35,9 ^d	-8,3	0,47

^a Épisode de sifflement accompagné de sommeil perturbé (une ou plusieurs nuits/semaine) et/ou de discours perturbé.

^b Changement absolu = année 2 - année 1.

^c Différence significative avec le groupe témoin à l'année 1 ($p < 0,05$).

^d Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 ($p < 0,05$).

²⁸ Pourcentages $\pm$ erreur type ajustés pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 45 Effets de l'intervention sur la fréquence de la prise de médicaments pour asthme par période de 14 jours²⁹

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^b	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
% d'enfants prenant								
≥ 1 dose de corticostéroïdes par inhalation	60,1 ± 0,11	76,3 ± 0,11	16,2	54,4 ± 0,12	63,8 ± 0,12	9,4	6,8	0,56
≥ 1 dose de bronchodilatateurs d'appoint	69,8 ± 0,12	64,4 ± 0,12	-5,4	74,5 ± 0,13	71,3 ± 0,13	-3,2	-2,2	0,84
≥ 1 dose de corticostéroïdes oraux	1,2 ± 0,04	1,2 ± 0,04	0	5,3 ± 0,05	5,3 ± 0,05	0	0	1,0
≥ 1 dose de médicaments de secours	73,6 ± 0,10	68,2 ± 0,10	-5,4	73,1 ± 0,11	66,8 ± 0,11	-6,3	0,9	0,94
≥ 8 doses de médicament de secours	32,6 ± 0,07 ^c	13,6 ± 0,07	-20,1 ^d	12,6 ± 0,08	12,6 ± 0,08	0	-20,1	0,09
Nombre de jours avec médicaments de secours ^a	3,3 ± 0,8	2,2 ± 0,8	-1,1 ^d	1,8 ± 0,9	1,8 ± 0,9	0	-1,1	0,16

^a Moyennes ± erreur type.

^b Changement absolu = année 2 - année 1.

^c Différence significative avec le groupe témoin à l'année 1 (p < 0,05).

^d Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

²⁹ Valeurs ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 46 Effets de l'intervention sur la fréquence de la maîtrise de l'asthme³⁰

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^b	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Nombre de mois avec maîtrise ^a	2,4 ± 0,3	2,6 ± 0,3	0,2	2,4 ± 0,4	2,7 ± 0,4	0,3	-0,1	0,94
% d'enfants avec maîtrise	37,1 ± 0,16	43,5 ± 0,16	6,4	33,6 ± 0,17	53,6 ± 0,17	20,0	-13,6	0,36
% d'enfants avec 4 mois de maîtrise	28,1 ± 0,16	37,8 ± 0,16	9,7	22,0 ± 0,18	26,0 ± 0,18	4,0	5,7	0,71
% d'enfants avec ≥ 1 jour d'absence de l'école	45,0 ± 0,17	48,2 ± 0,17	3,2	44,6 ± 0,19	40,6 ± 0,19	-4,0	7,2	0,62

^a Moyennes ± erreur type.

^b Changement absolu = année 2 - année 1.

³⁰ Valeurs ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

Tableau 47 Effets de l'intervention sur la fonction respiratoire

	Groupe Intervention (n = 43)			Groupe Témoin (n = 39)			Comparaison intergroupe	
	Année 1	Année 2	Changement ^c	Année 1	Année 2	Changement	Différence des changements	Valeur - p
Débit expiratoire de pointe (DEP)								
Valeur maximale (L/min)	187 ± 32,9	232 ± 32,9	45 ^d	214 ± 35,5	247 ± 35,5	33 ^d	12,2	0,51
Valeur matinale (L/min)	158 ± 24,9	184 ± 26,9	26 ^d	192 ± 24,9	215 ± 26,9	23 ^d	3,3	0,79
Variabilité moyenne (%)	5,6 ± 1,3	5,9 ± 1,3	0,3	5,3 ± 1,4	4,4 ± 1,4	-0,9	1,2	0,24
Nombre de jours avec variabilité ≥ 15 %	3,0 ± 3,0	5,5 ± 3,0	2,5	5,3 ± 3,2	5,0 ± 3,2	-0,3	2,8	0,22
% d'enfants avec ≥ 1 jr/14 jrs avec variabilité ≥ 15 % ^b	54,9 ± 0,18	54,9 ± 0,18	0	44,4 ± 0,19	30,1 ± 0,19	-14,3	14,3	0,46

^a Moyennes ± erreur type ajustées pour l'âge, le sexe, la scolarité des parents et l'eczéma.

^b Pourcentage ± erreur type.

^c Changement absolu = année 2 - année 1.

^d Différence significative intragroupe entre l'année 1 et l'année 2 (p < 0,05).

4.3.3 RÉDUCTION DE LA CONCENTRATION DE FORMALDÉHYDE DANS L'AIR INTÉRIEUR ET CHANGEMENTS OBSERVÉS AU NIVEAU DE LA MORBIDITÉ RESPIRATOIRE

Le tableau 48 présente les impacts estimés d'une réduction de 50 % de la concentration du formaldéhyde dans l'air intérieur des résidences sur la morbidité respiratoire chez les enfants du groupe intervention. On observe tout d'abord une relation significative entre la réduction de la concentration de formaldéhyde et l'amélioration du sifflement, avec une diminution de 14,8 % des enfants présentant ce symptôme. On observe également une relation significative avec la prévalence de la toux nocturne ainsi que la prévalence des visites à l'urgence, avec des diminutions de l'ordre de 20,4 % et 16,0 % respectivement. Aucune relation significative entre la réduction du formaldéhyde et les changements dans la morbidité respiratoire n'a été observée dans le groupe témoin.

Tableau 48 Relation entre la réduction de 50 % de la concentration de formaldéhyde et le changement de la prévalence annuelle de symptômes d'asthme et d'utilisation des services de santé parmi les enfants du groupe intervention³¹

Variable	Changement ^a	Valeur - p
≥ 1 épisode de sifflement dans l'année	-14.8 (-28.6; -0.9)	0,04
Sommeil perturbé	-15.7 (-36.0; 4.6)	0,13
Sifflement sévère ^b	1.5 (-20.0; 23.1)	0,89
≥ 4 épisodes de sifflement dans l'année	-7.2 (-19.6; 5.3)	0,25
Sifflement à l'effort dans l'année	-9.1 (-22.4; 4.1)	0,17
Toux sèche nocturne	-20.4 (-35.7; -5.0)	0,01
Symptômes de rhinite allergique	11.0 (-2.3; 24.3)	0,10
≥ 1 visite à l'urgence dans l'année	-16.0 (-30.5; -1.5)	0,03
≥ 1 hospitalisation dans l'année	-7.9 (-20.6; 4.8)	0.22

^a Pourcentages (I,C, 95 %) de diminution ou d'augmentation par rapport à l'année de base.

^b Épisode de sifflement accompagné de sommeil perturbé (une ou plusieurs nuits/semaine) et/ou de discours perturbé.

³¹ Ajustée pour l'âge et l'eczéma.

5 Discussion

5.1 Principaux faits saillants de l'étude descriptive

Pour les besoins de l'étude IVAIRE, la clinique d'asthme du Centre mère-enfant du CHUQ s'est avérée un partenaire incontournable. La collaboration avec cette clinique a d'abord permis de faciliter le recrutement d'enfants asthmatiques présentant des symptômes objectivés. Par ailleurs, cette clinique offre un service spécialisé accueillant les enfants atteints d'un asthme difficile à maîtriser qui sont référés pour la plupart par des médecins omnipraticiens. L'évolution de leurs symptômes fait par conséquent l'objet d'un suivi étroit. Ce suivi, jumelé au degré de sévérité de la maladie, augmentait ainsi les probabilités d'observer des changements suite à l'optimisation de la ventilation du domicile des enfants.

Les résultats font ressortir que la fréquence des symptômes respiratoires quotidiens, des visites à l'urgence, et des hospitalisations pour asthme chez les enfants recrutés pour la première phase de l'étude IVAIRE, s'est avérée plus élevée que dans la population d'enfants asthmatiques du même âge suivis dans 42 cliniques médicales de première ligne, de la ville de Chicago, et des états du Massachusetts et de Washington aux États-Unis (Lozano *et al.*, 2003). Bien que les critères de sélection du projet IVAIRE aient visé les cas d'asthme classés de modérés à sévères, les enfants recrutés avaient un asthme moins sévère que ceux de clientèles vivant en milieu défavorisé comme celle de l'étude d'intervention multifactorielle Inner City Asthma Study (ICAS) (Morgan *et al.*, 2004). Cette dernière étude visait à évaluer l'efficacité d'une intervention multifactorielle incluant l'éducation de la population, et le contrôle de la FTE et des allergènes sur l'asthme chez les enfants asthmatiques avec atopie. Dans cette étude, le nombre de jours avec symptômes, lorsque comparé aux résultats du projet IVAIRE, était légèrement supérieur, bien que la fréquence du sifflement (*wheezing*) ait été significativement plus élevée. Signalons qu'en général, la fréquence du symptôme « sifflement », terme utilisé dans l'étude IVAIRE, est toujours plus élevée en milieu anglophone, ce qui pourrait être attribuable à une meilleure compréhension par les anglophones du terme équivalent anglais « wheezing » (The ISAAC Steering Committee, 1998). Dans l'étude de Morgan *et al.*, le volume expiratoire maximum par seconde (VEMS) moyen représentait 88 % de la valeur prédite (valeur de référence) en comparaison avec 100 % dans le projet IVAIRE; de plus, 50 % des enfants avaient eu une visite à l'urgence dans les 2 mois précédant leur enrôlement dans l'étude. La proportion de 48 % d'enfants atopiques présente dans l'étude IVAIRE est comparable à celle observée chez les patients du même âge ayant déjà été investigués pour allergie au CHUQ (Boulet *et al.*, 1997). Elle correspond également à la prévalence d'atopie observée dans le cadre de l'étude de cohorte ISAAC pour la classe d'enfants ayant un asthme classé modéré à sévère (Weinmayr *et al.*, 2013).

En ce qui concerne les paramètres environnementaux liés aux maisons des enfants initialement recrutés dans le cadre du projet IVAIRE ($n = 111$), le taux d'étanchéité à l'air moyen se situait à 3,8 CAH₅₀, ce qui correspond à une étanchéité dite modérée. En guise de comparaison, le programme Novoclimat, axé sur l'efficacité énergétique, exige un taux d'étanchéité à l'air inférieur à 2,5 CAH₅₀ de dépressurisation (Novoclimat, 2011), tandis que ce taux pouvait atteindre 6 CAH₅₀ dans les maisons construites entre 1970 et 1980. L'âge moyen des résidences du projet IVAIRE était de 27 ans, ce qui situe leur année de construction autour de 1985. Une proportion plutôt élevée (66 %) des résidences du projet était dotée d'un système de ventilation mécanique (SVM), ce qui s'avère beaucoup plus élevé que ce qui a été observé dans d'autres études, notamment dans celle réalisée en 2005 dans la ville de Québec, de même que dans une étude réalisée par le California Air Resources Board (CARB) lors desquelles seulement 30 % des résidences en étaient dotées (Gilbert *et al.*, 2006; Offermann, 2009). Mentionnons toutefois que dans l'étude de Gilbert *et al.*, les résidences étaient plus âgées, avec une moyenne d'âge de 39 ans. Comme cette dernière étude ne

ciblait pas spécifiquement des maisons d'enfants asthmatiques, cette différence de proportion de SVM pourrait être en partie attribuable à une plus grande préoccupation lors de l'étude IVAIRE des parents d'enfants asthmatiques pour une saine qualité de l'air intérieur, mais également au fait que les résidences étaient plus récentes. Soulignons toutefois que les résidences étudiées par le CARB étaient très récentes, avec une moyenne de 3,5 ans.

Malgré la proportion élevée de SVM, le taux de ventilation moyen mesuré durant la saison de chauffe s'est avéré faible, avec une moyenne de 0,21 CAH, soit bien en deçà de la valeur de référence de 0,30 prescrite par le Code National du Bâtiment (CNB, 2010). Tel que rapporté par Concannon (2002), ce résultat pourrait s'expliquer par une compréhension et une utilisation inadéquate du système en place, parfois causées par des particularités techniques perçues trop complexes, ou par un certain nombre de désagréments (bruit incommode, courant d'air dérangeant, consommation énergétique jugée trop élevée) (Concannon, 2002). Au cours de l'étude IVAIRE, il a été observé chez les participants, des déficiences et des non-conformités sur plusieurs installations de ventilation mécanique. Cette situation, couplée aux habitudes de ventilation souvent inadéquates, pourrait expliquer la forte proportion de résidences démontrant des taux de ventilation plutôt faibles, et ce, malgré la présence d'un système de ventilation. Une évaluation réalisée en 2006 par l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec dans 40 maisons situées à Montréal, Québec, Sherbrooke, et Gatineau, a fait ressortir que l'installation des systèmes de ventilation présentait des déficiences dans près de 60 % des cas et que malgré ce constat, 85 % des occupants se disaient satisfaits de leur système (Protégez-Vous, 2006). Cette forte proportion d'installations inadéquates pourrait être en partie attribuable à l'absence de processus de certification pour les entrepreneurs installateurs de SVM au Québec.

Par ailleurs, aux fins de comparaisons, les taux de ventilation mesurés dans les principales études à travers le monde ont été rapportés au tableau 49.

Tableau 49 Taux de ventilation mesurés dans les principales études réalisées en Amérique du Nord et en Europe

Auteurs et année de publication	Pays (région)	Nombre d'habitations (type)	Saison(s) de la mesure	CAH (moyenne)	Indicateur (durée échantillonnage)
Lajoie <i>et al.</i> , 2015	Canada (Québec)	111 (maisons avec enfants asthmatiques)	Automne-hiver	0,21	PFT (7 jrs)
Héroux <i>et al.</i> , 2010	Canada (Régina)	106 (maisons)	Hiver	0,39	PFT (5 jrs)
Wheeler <i>et al.</i> , 2011 Stocco <i>et al.</i> , 2008	Canada (Windsor)	32 l'hiver et 42 l'été (maisons)	Hiver Été	0,32 0,19	PFT (5 jrs)
Kovesi <i>et al.</i> , 2006	Canada (Nunavut)	20 (maisons avec enfant < 2 ans)	Hiver	< 0,35	CO ₂ (1 jr)
Weichenthal <i>et al.</i> , 2007	Canada (Pembroke et Montréal)	36 (maisons)	Hiver	0,46	CO ₂
Gilbert <i>et al.</i> , 2006	Canada (Québec)	96 (maisons)	Hiver	0,20	PFT (7 jrs)
Yamamoto <i>et al.</i> , 2010	États-Unis (Elisabeth, N.J., Houston, Texas et Los Angeles, Cal.)	509 maisons (E : 163; H : 164; LA : 182)	Toutes les saisons	Total (médiane) : 0,71 Villes (moyennes) : Elisabeth : 0,88; Houston : 0,47) LA : 0,87	PFT (2 jrs)
Offermann, 2009	États-Unis (Californie)	108 (maisons)	Été, automne et hiver	0,26 (médiane)	PFT (1 jr)
Clausen <i>et al.</i> , 2012 Bekö <i>et al.</i> , 2010	Danemark (Odense)	500 : (200 maisons avec enfants atopiques; 300 contrôles)	Printemps	0,46	CO ₂ (2-3 jrs)
Bornehag <i>et al.</i> , 2005	Suède	390 (maisons avec enfant)	Automne-hiver	0,36 (maisons unifamiliales)	PFT (7 jrs)
Emenius <i>et al.</i> , 2004	Suède	540 (maisons avec enfant)		0,68 69 % > 0,5 CAH	PFT (14 jrs)
Oie <i>et al.</i> , 1999 Oie <i>et al.</i> , 1998	Norvège (Oslo)	344 (maisons)	Automne-hiver-printemps	63 % > 0,5 CAH	PFT (14 jrs)

Globalement, on peut observer que les taux d'échange d'air rapportés par ces études sont généralement plus élevés que la moyenne observée dans le projet IVAIRE. Soulignons que les méthodes utilisées pour mesurer le taux de CAH (gaz traceur, CO₂) peuvent expliquer en partie les différences observées dans des maisons aux caractéristiques structurales similaires.

Il est à noter qu'aucune différence significative entre les taux de ventilation des maisons dotées de SVM (0,22 CAH) et celles en étant dépourvues (0,20 CAH) n'a été observée dans la cadre de l'étude IVAIRE. Ce constat plutôt inattendu pourrait s'expliquer par différents facteurs, tels que la conception, l'installation et/ou l'utilisation inadéquate du SVM. Lors de l'intervention sur la ventilation réalisée dans le cadre de l'étude IVAIRE, différentes mesures ont été prises pour corriger les lacunes identifiées dans les résidences du groupe intervention.

Globalement, la qualité de l'air intérieur des résidences évaluées s'est avérée adéquate, si l'on considère les faibles concentrations de contaminants mesurées. En effet, les concentrations de la plupart des contaminants respectaient les valeurs guides ou les valeurs de références recommandées par les organismes reconnus. En ce qui a trait aux contaminants biologiques, les concentrations d'allergènes d'acariens *Der p1* (0,02 µg/g; méd : 0,01 µg/g) et *Der f1* (moy : 0,08 µg/g; méd : 0,01 µg/g) mesurées dans la poussière sur les matelas se sont avérées inférieures aux concentrations retrouvées en automne/hiver dans des études réalisées à Vancouver (*Der p1* : moy : 0,81 µg/g; *Der f1* : moy : 0,82 µg/g), à Winnipeg (*Der p1* : moy 0,26 µg/g; *Der f1* : moy 0,62 µg/g) et à Ottawa (*Der p1* : méd. : 0,15 µg/g; *Der f1* : méd. : 1,9 µg/g) (Chan-Yeung *et al.*, 1995; Miller *et al.*, 2007). Les concentrations médianes de *Der p1* et *Der f1* observées dans les logements français étaient de 1,6 µg/g (1,2-2,1) et de 2,2 µg/g (1,3-3,7) respectivement (Kirchner *et al.*, 2007). La proportion de résidences avec une concentration de *Der f1* > 2 µg/m³ était de 25,5 % dans IVAIRE en comparaison avec 50 % dans les logements français. Il est à noter que les maisons du projet IVAIRE se caractérisaient par une présence très peu importante de poussières visibles, un taux d'humidité adéquat et la présence de housse sur le matelas de l'enfant dans 39 % des résidences, caractéristiques très probablement attribuables à la sensibilisation des parents de la population à l'étude à l'égard des impacts potentiels des allergènes de poussières sur la santé de leur enfant.

En ce qui concerne les moisissures visibles sur une surface ≥ 1 p² (0,09 m²), leur prévalence dans les maisons était de 6,3 %. La surface moyenne de moisissures dans une étude portant sur un échantillon de 357 résidences à l'Île-du-Prince-Édouard, à la fin des années 90, était de 1 012 cm² (Dales *et al.*, 2010). Selon Bornehag *et al.* (2001), la prévalence de moisissures et d'humidité excessive varie beaucoup d'une étude à l'autre, se situant entre 4 % et 75 % (Bornehag *et al.*, 2001). En France, on a observé des moisissures visibles dans 37 % des logements dont 4 % atteignaient 1 m² et plus (Kirchner *et al.*, 2007). Dans le cadre du projet IVAIRE, aucune résidence n'avait de moisissures visibles sur une surface supérieure à 1 m². Dans le cadre d'une étude cas-témoin sur l'asthme et les moisissures, chez 382 enfants en Suède, la prévalence de taches d'humidité visibles (*visible dampness*) se situait entre 2,1 % et de 24,5 %, tandis qu'elles étaient entre 8,2 % et 48,9 % pour l'odeur de moisi, selon qu'elles étaient respectivement rapportées par un parent ou un inspecteur en environnement (Holme *et al.*, 2010). Dans l'étude IVAIRE, la prévalence d'odeur de moisi rapportée par un technicien est de 9,0 % et celle d'humidité de 30,6 %.

Dans l'étude de Holme *et al.*, la concentration moyenne de spores dans l'air intérieur (cultivées sur le milieu DG-18) était de 90,9 CFU/m³ dans la chambre de l'enfant en comparaison avec 64,0 CFU/m³ (également cultivées sur le milieu DG-18) dans les maisons du projet IVAIRE, durant la phase préintervention. À noter que cette étude n'incluait que les genres *Aspergillus*, *Cladosporium* et *Penicillium*. À des fins de comparaison, le ministère de la Santé et des Affaires sociales de la Finlande, dans le cadre d'un guide technique sur la qualité de l'air intérieur, a proposé un seuil d'action de 500 CFU/m³ en hiver pour l'investigation et la gestion de problèmes de moisissures dans les résidences en milieu urbain (Ministry of Social Affairs and Health of Finland, 2003). Les concentrations mesurées dans l'étude IVAIRE se sont avérées relativement faibles, ce qui semble dénoter l'absence de problème spécifique de moisissures dans les résidences des participants.

En général, durant la phase préintervention, les concentrations de moisissures étaient presque deux fois plus élevées dans la salle de jeux que dans la chambre de l'enfant et le salon. Puisque les salles de jeux étaient souvent situées au sous-sol, ces résultats pourraient être attribuables à une humidité relative souvent plus élevée dans cette partie de la résidence. Durant cette période, il a été observé une corrélation négative entre le taux de ventilation (CAH) et la concentration de moisissures, mais une corrélation positive avec l'HR. À la suite de l'intervention, une réduction significative de 45 % à 39 % de l'HR a été constatée selon l'endroit de la mesure.

Concernant les métabolites des moisissures, tels les bêta-glucanes et les endotoxines, ceux-ci ont été principalement mesurés dans la poussière sur le plancher de la chambre de l'enfant. Les très faibles quantités de poussière recueillies n'ont pas permis de compléter les analyses. De plus, comme il s'agit essentiellement de mesures effectuées sur une base expérimentale, les résultats seraient difficilement interprétables.

Dans le cadre du projet IVAIRE, les taux moyens d'humidité relative des résidences étaient respectivement de 39,2 % et de 43,5 % dans le salon et la chambre de l'enfant durant la période d'automne/hiver. Le taux d'humidité mesuré dans un échantillon de résidences de la ville de Québec en 2006 était de 31,0 % (Gilbert *et al.*, 2006), tandis qu'elle était de 24,4 % dans l'étude de Weichenthal *et al.* (2007), pour des maisons chauffées à l'électricité (plinthés). Les taux d'humidité mesurés en Californie (moy. : 42,2 %) et en France (méd. chambre : 48,7 %; méd. salon : 49,4 %) étaient, quant à eux, plus élevés. La différence de climat, la période de l'année, le type de chauffage, le taux de ventilation et les habitudes des occupants sont autant de facteurs susceptibles d'influencer l'humidité relative intérieure. Quoi qu'il en soit, les taux d'humidité relative mesurés dans l'étude IVAIRE peuvent être qualifiés d'optimaux si l'on se réfère à la recommandation de Santé Canada de maintenir ce taux entre 30 % et 55 % en période de chauffe (Santé Canada, 1989).

Concernant les PM_{2,5}, la concentration moyenne mesurée dans l'étude IVAIRE (1,71 µg/m³; méd. 1,57 µg/m³) s'est avérée inférieure à celle observée dans les résidences d'Ottawa (méd. : 6,7 µg/m³) (Miller *et al.*, 2007). Toutefois, des différences importantes existent au niveau des méthodes de mesure utilisées. Les concentrations mesurées dans des milieux urbains aux États-Unis (moy. : 11,9 µg/m³) et en France (méd. : 19,1 µg/m³) se sont avérées plus élevées (Offermann *et al.*, 2009; Breyse *et al.*, 2005; Kirchner *et al.*, 2007). Ces différences de concentrations observées pourraient être attribuables à l'apport extérieur en particules fines généralement plus important en milieu fortement urbanisé.

La concentration moyenne de formaldéhyde mesurée dans l'air des résidences du projet IVAIRE durant l'automne-hiver (32,5 µg/m³) était comparable à la concentration moyenne observée dans une étude antérieure réalisée sur un échantillon de 96 résidences de la ville de Québec (29,5 µg/m³) (Gilbert *et al.*, 2006) ainsi qu'à la concentration observée dans une autre étude réalisée à l'Île-du-Prince-Édouard (33,2 µg/m³) (Gilbert *et al.*, 2005). Elle s'avère cependant plus faible que les concentrations observées dans des maisons neuves à Boston (42 µg/m³) et en Californie (36 µg/m³) (Dannemiller *et al.*, 2012; Offermann *et al.*, 2009). Le dégazage des matériaux neufs, qui peut représenter un apport substantiel de formaldéhyde lors de la première année suivant la construction, pourrait expliquer cette variation. Par contre, la concentration médiane (33,4 µg/m³) de formaldéhyde mesurée durant l'automne/hiver, dans le cadre du projet IVAIRE, était significativement plus élevée que la concentration médiane observée dans les logements en France (19,6 µg/m³) (Kirchner *et al.*, 2007). L'âge du bâtiment et le type de matériaux présents peuvent expliquer en partie cette différence. Soulignons enfin que la concentration moyenne de formaldéhyde mesurée durant l'été (51,6 µg/m³) était considérablement plus élevée qu'en hiver, et ce, malgré les taux de ventilation plus élevés en été. La présence de formaldéhyde plus élevée en été qu'en hiver a aussi été observée dans

d'autres études (Janrstroem *et al.*, 2006; Dingle et Franklin, 2002). Cette différence est probablement due au fait que les concentrations de formaldéhyde sont corrélées positivement avec l'augmentation de la température, ce qui favorise l'émission des COV provenant des matériaux en été, ainsi qu'avec l'humidité relative, qui favorise les réactions chimiques dans les colles (Salthammer *et al.*, 2010). Il est intéressant de noter que les taux de CAH généralement plus élevés en été ne sont pas suffisants pour contrer l'effet saisonnier sur les concentrations de formaldéhyde.

5.2 Principaux faits saillants de l'étude randomisée

Dans le cadre de l'étude randomisée, les auteurs ont démontré que l'intervention sur la ventilation dans les maisons du groupe intervention, qui consistait à optimiser le système de ventilation en place ou à procéder à l'installation d'un VRC ou d'un VRE, a permis, tel que souhaité, d'augmenter de façon significative le taux de ventilation par rapport au groupe témoin. Celui-ci a atteint un taux moyen de 0,34 CAH dans les maisons du groupe intervention durant l'automne-hiver, et jusqu'à 0,64 CAH au cours de l'été suivant, cette dernière augmentation étant sans doute explicable par une ventilation naturelle (ouverture de portes et/ou fenêtres) plus importante durant cette période. Il est à noter que le taux de ventilation a aussi légèrement augmenté au cours des deux mêmes périodes dans les maisons du groupe témoin, ce qui pourrait être dû à un biais de participation. En effet, les participants, nouvellement sensibilisés par l'information reçue en cours de projet, pourraient avoir eu tendance par la suite à améliorer leurs habitudes de ventilation.

Le choix d'un VRC ou d'un VRE effectué sur la base du niveau d'humidité relative moyen préexistant dans la maison a vraisemblablement permis de conserver un taux d'humidité optimal dans la chambre de l'enfant ($40,5 \% \pm 1,2$) et la salle de séjour ($34,8 \% \pm 1,1$) durant l'automne-hiver au cours de l'année 2. Il s'agit là d'une observation intéressante, susceptible de guider dorénavant le choix du type de système à mettre en place sur la base de l'humidité relative moyenne d'une résidence. En période de chauffe, le VRE peut empêcher l'assèchement excessif de l'air intérieur en récupérant une partie de l'humidité de cet air pour la transférer à l'air extérieur sec entrant (Ouazia *et al.*, 2007; Magee *et al.*, 2012).

La concentration moyenne de formaldéhyde, durant l'automne/hiver, a diminué environ du tiers dans les maisons du groupe intervention, lesquelles étaient ventilées au taux moyen de 0,34 CAH, tel que précisé plus haut. Cette observation va dans le sens des simulations réalisées par Sherman et Hodgson (2004), et Gilbert *et al.* (2008), qui estimaient respectivement qu'il est nécessaire de générer des taux minimaux de 0,28 CAH et de 0,26 CAH pour rencontrer la directive de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde de Santé Canada dans une maison nord-américaine type et en particulier au Québec. Il a aussi été démontré que même si le tiers des maisons du groupe intervention présentaient des concentrations de formaldéhyde dépassant la valeur guide de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avant intervention, une augmentation moyenne de 0,15 CAH du taux de ventilation moyen initial (0,17 CAH) prévenait tout dépassement de cette valeur guide dans la totalité des résidences au cours de la saison de l'automne/hiver suivant. Par contre, 47 % des maisons dépassaient la directive de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant l'été, et ce, même si le taux de ventilation moyen dépassait 0,50 CAH. Rappelons qu'il est démontré que les taux de formaldéhyde augmentent sensiblement durant la saison estivale (Rumchev *et al.*, 2002; Salthammer *et al.*, 2010). Les caractéristiques et le mobilier des résidences, la température, le taux d'humidité et les habitudes de ventilation sont autant de facteurs pouvant expliquer ce phénomène.

De plus, les auteurs ont montré que l'augmentation du taux de ventilation provoquée par l'intervention dans les résidences du groupe intervention réduisait de façon significative les concentrations de certains COV (toluène, styrène, limonène, pinène) retrouvés à de très faibles

concentrations dans l'air, ce qui témoigne de l'influence de la ventilation sur les COV en général. Dans l'optique où les organismes décisionnels s'intéressent de plus en plus au contrôle des COV de l'air intérieur, la ventilation mécanique installée et utilisée de façon adéquate pourrait constituer une avenue intéressante à préconiser.

Tel que cela avait déjà été rapporté par Gilbert *et al.* (2006), une augmentation des concentrations de NO₂ dans l'air des maisons du groupe intervention a aussi été notée. Puisqu'aucune habitation de l'étude ne contenait de source significative de NO₂ (ex. : cuisinière au gaz), on peut supposer que l'augmentation de NO₂, à l'intérieur, est attribuable à la pénétration de ce contaminant en provenance de l'extérieur, dont le trafic automobile en constitue une source importante. Toutefois, cette hypothèse ne peut être confirmée, car aucune mesure de ce contaminant à l'extérieur de la résidence n'a été effectuée.

Par ailleurs, une augmentation significative des concentrations de bis -2-éthylhexylphtalate dans les résidences du groupe intervention a été constatée, augmentation possiblement explicable par la remise en suspension par la ventilation de poussières provenant de matériaux en place (ex. : recouvrement de planchers de polychlorure de vinyle - PVC) (Hsu *et al.*, 2011; Carlstedt *et al.*, 2012).

Il est à souligner que les concentrations d'allergènes d'acariens n'ont pas diminué de façon significative suite à l'intervention sur la ventilation, et ce, même si le taux d'humidité relative a diminué dans la chambre de l'enfant. Ceci pourrait être relié au fait qu'une diminution d'humidité relative (HR) d'environ 4 % n'ait pas été suffisante pour avoir un impact significatif sur les allergènes, d'autant plus que les taux d'HR de la phase préintervention étaient inférieurs à 45 % (Wright *et al.*, 2009). Soulignons en effet que le taux d'HR critique au-dessous duquel les acariens se déshydratent et meurent est plus élevé, soit de 73 %, à 25 °C pour *Der p1* (Crowther *et al.*, 2000). De plus, les faibles concentrations d'allergènes retrouvées lors de la première phase pourraient aussi expliquer l'absence de différences significatives suite à l'intervention. Une étude réalisée aux États-Unis a montré une réduction des allergènes d'acariens associée à la ventilation mécanique, le système mis en place permettant toutefois la climatisation (Van Strien *et al.*, 2004). En ce qui concerne les allergènes de chat et de chien, il y a une augmentation significative des concentrations de ces derniers sur le plancher, dans le groupe témoin, qui pourrait être attribuable à une augmentation de la possession de ces animaux de compagnie, laquelle est passée de 15,4 % à 25,6 % au cours de l'année 2.

En ce qui concerne la santé respiratoire des enfants, les auteurs ont noté une diminution de la morbidité respiratoire dans les 2 groupes au cours de l'année 2, diminution qui pourrait être attribuable à la prise en charge des enfants par le personnel soignant de la clinique d'asthme, et le phénomène de régression vers la moyenne lorsqu'on recrute des patients dont l'asthme est mal maîtrisé. Bien que la diminution des symptômes quotidiens d'asthme entre l'année 1 et l'année 2 au cours des mois d'automne/hiver suivant l'intervention ait été significative à l'intérieur du groupe intervention, il n'y avait pas de différence significative avec la diminution observée chez les enfants du groupe témoin. Dans cette étude, le temps de latence moyen entre le début de l'exposition des participants aux nouveaux taux de ventilation, et le début de la collecte des données du journal des symptômes a été de 7 semaines. Morgan *et al.*, en 2004, ont déjà observé une diminution des symptômes respiratoires après seulement 8 semaines chez des enfants asthmatiques avec atopie à la suite d'une réduction significative de l'exposition aux allergènes communs. Une diminution du sifflement a aussi été observée après 8 semaines chez des jeunes enfants inuits à risque de bronchiolite après augmentation de la ventilation résidentielle (Kovesi *et al.*, 2009). Dans l'étude de Morgan *et al.*, le mécanisme d'action est vraisemblablement de type allergique, étant dans ce cas associé à la réduction importante des allergènes dans l'environnement. Dans l'étude de Kovesi *et al.*,

réalisée sur une population beaucoup plus jeune (moy. : 26,8 mois), le mécanisme d'action est cette fois probablement relié à la réduction du risque infectieux d'origine virale, jumelé à une réduction immédiate de l'exposition à la fumée de tabac secondaire. Soulignons que le taux d'occupation et le pourcentage de fumeurs dans les maisons de l'étude de Kovesi *et al.* étaient plus élevés et le taux d'humidité relative plus faible. Compte tenu des caractéristiques de la population à l'étude du projet IVAIRE, de l'absence de réduction significative des concentrations des allergènes communs, de même que de l'absence d'exposition à la fumée de tabac, les mécanismes allergiques et infectieux sont peu plausibles. Dans le cas d'une exposition au formaldéhyde, les mécanismes d'action seraient davantage liés à un effet irritatif sur les voies respiratoires, en particulier chez les enfants atopiques (US EPA, 2007).

À la suite de l'intervention, une diminution significative de 20 % de la prévalence du sifflement (≥ 1 épisode) chez les enfants du groupe intervention, en comparaison avec ceux du groupe témoin a été observée sur une période de douze mois, et ce, à l'aide du questionnaire ISAAC. Les valeurs guides à long terme recommandées par les différents organismes de santé pour le formaldéhyde dans l'air intérieur varient beaucoup : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ANSES, 2012), $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2010) and $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Santé Canada, 2006). La réduction de l'exposition des enfants du groupe intervention au formaldéhyde semble une explication plausible. Il est reconnu que la fréquence d'asthme est plus élevée chez l'enfant suite à une exposition chronique à une concentration de formaldéhyde supérieure ou égale à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'air intérieur (Rumchev *et al.*, 2002; Krzyzanowski *et al.*, 1990). La fréquence des symptômes, notamment le sifflement respiratoire, représente un critère diagnostic important. Les auteurs d'une méta-analyse récente estiment que le risque chez l'enfant de présenter de l'asthme diagnostiqué par un médecin, pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de formaldéhyde, est de 3 % avec un modèle statistique à effets fixes, ou de 17 % avec un modèle à effets aléatoires (McGwin *et al.*, 2010). Dans le cadre de la présente étude, il a été estimé, à l'aide d'un modèle statistique, qu'une réduction de 50 % de la concentration de formaldéhyde dans l'air des maisons entraînerait une diminution significative de la proportion d'enfants présentant un sifflement respiratoire (ou *wheezing*) et de la toux nocturne dans le groupe intervention. Aucune relation significative entre la réduction du formaldéhyde et la diminution de la fréquence de ces symptômes n'a été trouvée dans le groupe témoin. Notons que Venn *et al.* ont déjà rapporté une fréquence plus élevée de symptômes nocturnes chez les enfants asthmatiques qui étaient exposés à une concentration plus élevée de formaldéhyde (Venn *et al.*, 2003). Le sifflement respiratoire représente un bruit respiratoire objectif qui peut être déclenché par de multiples facteurs environnementaux, incluant les contaminants chimiques (Brand *et al.*, 2008). Aucune association significative n'a été observée entre la réduction des concentrations de toluène, de styrène, de α -pinène et de limonène, et la fréquence des symptômes respiratoires. Ces contaminants ont été mesurés à des concentrations très faibles et bien en deçà des valeurs de référence. Il est très peu plausible que l'exposition à ces derniers contaminants ait un effet clinique significatif sur la morbidité respiratoire. Les auteurs ont donc considéré que le formaldéhyde constituait le contaminant prioritaire dans le cadre de cette présente étude. Le formaldéhyde est d'ailleurs identifié comme le contaminant chimique de l'air intérieur le plus important en lien avec les problèmes respiratoires et allergiques chez l'enfant (Mendell, 2007). Une diminution de la valeur guide actuelle de formaldéhyde dans l'air intérieur est proposée actuellement en France (ANSES, 2011).

5.3 Points forts et limites de l'étude

IVAIRE est un projet de recherche qui s'est déroulé sur le terrain dans des conditions réelles et auprès d'une population de familles d'enfants asthmatiques; une clientèle plus sensible et considérée comme prioritaire en santé publique. Compte tenu des caractéristiques de l'échantillon, les résultats obtenus dans l'étude IVAIRE ne peuvent être extrapolés directement à la population générale ou aux

populations d'enfants asthmatiques dans des milieux défavorisés et vivant dans des habitations très différentes des maisons unifamiliales. Selon les auteurs, hormis l'étude de Kovesi *et al.*, en 2009, réalisée chez les enfants inuits, le projet IVAIRE constitue la première étude randomisée portant sur l'efficacité de la ventilation mécanique dans les habitations d'enfants asthmatiques en Amérique du Nord. Il s'agit d'une étude multidisciplinaire impliquant plusieurs organismes intéressés par le domaine de l'habitation et plusieurs chercheurs en santé publique, en épidémiologie et statistiques, en pédiatrie et pneumologie, en chimie, en microbiologie, et en génie. La participation des familles sélectionnées s'est avérée exceptionnelle, et le pourcentage d'abandons a été très faible (2,7 %). L'étude comportait de nombreuses mesures de la ventilation et des contaminants de l'air à l'aide d'équipements spécialisés, effectuées par des techniciens en hygiène ou en bâtiment. L'échantillonnage a été effectué pendant sept jours, durant trois saisons, et ce, pendant deux années consécutives. L'intervention sur la ventilation a été réalisée avec une seule équipe pour assurer une reproductibilité de la méthodologie. La prescription des aspects techniques associés aux correctifs pour améliorer la ventilation a été élaborée par un groupe de travail piloté par un ingénieur senior, et validée en laboratoire par le CNRC à l'aide de simulations effectuées dans une maison expérimentale.

En ce qui concerne la mesure des effets sur la santé, en plus de répondre aux différents questionnaires, les participants ont complété un journal quotidien des symptômes avec débit de pointe quotidien 14 jours par mois, de même qu'un quiz standardisé pendant 5 mois consécutifs en automne/hiver, sur une période globale de 2 ans. Le questionnaire standardisé ISAAC a été utilisé annuellement pour suivre la prévalence des symptômes d'asthme, notamment du sifflement respiratoire (*current wheeze*), dans la cohorte d'enfants (Lau *et al.*, 2005). Un test cutané d'allergie et une spirométrie ont été complétés chez 88 et 73 participants, respectivement. Le protocole contenait la plupart des instruments de mesure principaux (*core outcomes*) et optionnels (*supplemental outcomes*) recommandés par le Consortium de recherche clinique sur l'asthme dans le cadre du *Asthma Outcomes Workshop*, tenu au National Institute of Health en mars 2010 (Busse *et al.*, 2012).

La principale limite de l'étude IVAIRE est la faible taille de l'échantillon qui réduit la puissance de l'étude pour l'analyse des effets sur la santé, en particulier le nombre de jours avec symptômes par période de 14 jours, qui était la variable principale du projet. Malheureusement, compte tenu de diverses contraintes, le nombre de 120 participants prévus initialement pour l'étude randomisée n'a pu être atteint. De plus, le pourcentage de données manquantes au niveau du journal quotidien a été de 11,7 %. En rétrospective, le calcul de la taille de l'échantillon a été sans doute trop optimiste. Pour ce calcul, si un test statistique bilatéral est utilisé plutôt qu'un test unilatéral, c'est-à-dire qui inclut aussi la possibilité que l'intervention sur la ventilation puisse augmenter la fréquence des symptômes et non pas seulement la diminuer, la différence minimale détectable avec cette taille d'échantillon est de 2.4 jours avec symptôme par période de 14 jours plutôt que 2.1 jours. Une telle diminution a été observée dans l'étude de Morgan *et al.* (2004). Toutefois, cette dernière étude comprenait une intervention multifactorielle sur l'environnement et l'éducation de la population à domicile. Ce type d'intervention pour la prévention de l'asthme est aujourd'hui reconnu comme plus efficace qu'une intervention unifactorielle limitée à la seule amélioration de la ventilation comme dans l'étude IVAIRE (Crocker *et al.*, 2011). La mesure d'un changement significatif de la morbidité respiratoire dans le groupe intervention a aussi été rendue plus difficile à cause de la diminution des symptômes observée durant la même période dans le groupe témoin. Cette amélioration de la morbidité respiratoire chez les enfants du groupe témoin est vraisemblablement reliée à une meilleure maîtrise de l'asthme découlant du plan de traitement institué par la clinique d'asthme du CHUQ. Soulignons qu'aucune différence significative entre les 2 groupes n'a été observée en ce qui concerne le traitement médicamenteux. Une telle diminution a aussi été observée dans l'étude de Morgan *et al.*, et attribuée potentiellement à la plus grande attention suscitée chez les participants par les visites

effectuées durant l'étude (effet Hawthorne). Une diminution significative de 20 % de la prévalence des épisodes de sifflement au cours de l'année a été observée dans le groupe intervention en comparaison avec le groupe contrôle. Puisque ce résultat n'est pas ajusté pour tenir compte des comparaisons multiples et qu'il s'agit d'une variable secondaire, le fait que cette diminution ne soit pas significative au seuil de 5 % ne peut donc être exclu. Soulignons que le sujet des comparaisons multiples est l'objet d'un débat au niveau de la communauté scientifique en épidémiologie (Rothman, 2014). Par contre, le fait que la diminution significative du *wheezing* et la tendance à la diminution de l'usage de médicaments de secours observées dans le groupe intervention, sont reliées au même phénomène clinique, suggère qu'il s'agit là d'un effet réel de l'intervention. La taille de l'échantillon a été cependant suffisante pour mettre en évidence des impacts très significatifs de l'intervention sur le taux de ventilation, l'humidité relative, le formaldéhyde et les autres contaminants. Une limite inhérente à cette étude est liée au choix qui a été fait de limiter l'augmentation du taux de ventilation à 0,15 CAH, principalement pour des raisons d'éthique afin de réduire le risque d'assèchement excessif dans les résidences. Une plus forte augmentation de la ventilation aurait pu augmenter la probabilité d'observer un impact significatif sur la fréquence des symptômes.

L'étude n'a pas été réalisée à double, mais à simple insu. L'équipe de recherche a pris plusieurs précautions pour éviter de susciter, chez les participants, des changements de comportements au niveau de leurs habitudes de ventilation avant la fin de l'étude, plus particulièrement chez le groupe témoin. Par exemple, lors des visites d'échantillonnage, les techniciens avaient comme consigne de ne pas donner d'information aux participants concernant la ventilation. Deux (2) professionnels ont procédé à l'aveugle à la double saisie des données reliées à l'environnement et à la santé. En ce qui concerne les symptômes quotidiens, une diminution de leur fréquence a été observée dans les deux groupes, bien que cette diminution ne soit pas significative entre les deux groupes. La diminution observée peut être reliée en partie au traitement médical instauré au CHUQ, à l'amélioration « naturelle » des symptômes associée au vieillissement de 1 an de la cohorte, à la régression vers la moyenne, de même qu'au fait de participer à l'étude. Toutefois, ces effets sont non différentiels et contrôlés par la randomisation. Reste la possibilité d'un effet placebo qui aurait pu affecter de façon non différentielle le groupe intervention. Pour des raisons de faisabilité, l'étude ne comportait aucune mesure de l'effet placebo, par l'ajout d'un système de ventilation factice (*sham exposure*) dans les résidences du groupe témoin. Ce type d'intervention avait été réalisé par Kovesi *et al.* dans leur étude au Nunavut (Kovesi *et al.*, 2009). Toutefois, l'effet placebo, s'il existe dans cette étude, serait vraisemblablement faible. En effet, selon la Collaboration Cochrane, les interventions placebo, incluant celles réalisées dans des études sur l'asthme, ont en général des effets cliniques faibles, lesquels sont surtout présents lorsqu'ils sont rapportés par le patient lui-même, tels que, par exemple, des symptômes subjectifs de perception de la douleur et de la nausée (Hrobjartsson et Gotzsche, 2010). Dans l'étude IVAIRE, les épisodes de sifflement respiratoire constituaient des symptômes audibles rapportés par les parents de l'enfant à l'aide du questionnaire standardisé ISAAC sur 12 mois (Brand *et al.*, 2008).

5.4 Retombées pratiques des résultats et implications pour la recherche

Retombées pratiques

Les résultats de l'étude IVAIRE ont des implications pratiques dans divers domaines. Leur diffusion auprès des familles d'enfants asthmatiques, des responsables et du personnel de la clinique d'asthme du CHUQ, de même que des intervenants du domaine de la santé publique et du milieu de l'habitation en général, peut aider à renforcer les mesures de prévention reliées à la ventilation et à la qualité de l'air intérieur dans les maisons existantes. En effet, selon les auteurs, les bénéfices d'une bonne ventilation des résidences sont rarement discutés par les spécialistes de l'asthme, du moins au Canada, et peu d'information est transmise aux patients et aux familles à ce sujet. Les résultats les plus importants du projet IVAIRE sont les suivants :

- La qualité de l'air intérieur s'est avérée en général adéquate, et la présence d'un SVM a été observée dans les deux tiers des résidences qui ont été évaluées.
- Une amélioration relativement importante de la morbidité respiratoire a été observée chez l'ensemble des enfants suite à leur prise en charge par la clinique d'asthme du CHUQ.
- Le taux de ventilation moyen mesuré dans les résidences s'est avéré faible par rapport au taux de 0,30 CAH prescrit par le Code national du bâtiment, même dans les résidences pourvues d'un SVM.
- De fréquents dépassements de la valeur guide de 50 µg/m³ sur 8 heures de formaldéhyde recommandée par Santé Canada, pour prévenir les problèmes respiratoires chez les enfants, ont été observés durant les saisons d'automne/hiver et d'été.

Par ailleurs, des solutions concrètes et efficaces peuvent être envisagées pour résoudre les principaux problèmes identifiés :

- La ou les causes(s) du faible taux de ventilation (lacunes au niveau de l'utilisation, de l'installation, de l'entretien des SVM) dans une résidence peu(ven)t être identifié(es) au moyen d'une simple évaluation technique de l'installation en place par du personnel bien formé.
- S'il y a lieu, des travaux d'optimisation ou d'installation d'un VRC ou VRE peuvent être réalisés par une firme spécialisée en ventilation, le tout pour un montant raisonnable (entre 2 500 \$ et 5 000 \$ en 2010).
- Suite à l'intervention, dès l'automne/hiver suivant, une augmentation du taux de ventilation rencontrant le taux prescrit de 0,30 CAH a été observée.
- Une diminution significative des concentrations de plusieurs contaminants de l'air a été observée, dont celle du formaldéhyde, qui, dans tous les cas, a respecté dès la saison d'automne/hiver suivante la valeur guide de 50 µg/m³ sur 8 heures.
- Une diminution de 22 % de la proportion d'enfants ayant présenté un épisode et plus de sifflement ou de *wheezing* a été observée au cours de l'année suivante dans les résidences où l'on avait procédé à une amélioration de la ventilation ($p = 0,03$).
- Grâce à l'utilisation sélective d'un VRC ou d'un VRE, un taux d'humidité relative moyen situé à l'intérieur de la plage de 30 % à 50 % recommandée par Santé Canada pendant la saison automne-hiver, a pu être maintenu dans les résidences à l'étude. De plus, aucune diminution significative de la température intérieure ambiante n'a été observée.
- L'augmentation de la ventilation peut aussi favoriser un accroissement de l'introduction de contaminants en provenance de l'extérieur, tels que le dioxyde d'azote (NO₂). Dans des circonstances particulières, en milieu fortement pollué, par exemple, l'instauration de mesures de prévention spécifique, tel que l'ajout de filtres, pourrait être envisagée.

Formaldéhyde

L'amélioration de la ventilation a permis de réduire de façon significative les concentrations de formaldéhyde durant la saison automne/hiver, sans toutefois prévenir de nombreux épisodes de dépassement de la valeur seuil de 50 µg/m³ tels qu'observés durant l'été. Des recherches supplémentaires sur la contribution relative des facteurs concernés durant l'été, tels que l'humidité, la chaleur, les paramètres de ventilation, et les sources contributives devraient être entreprises afin d'identifier les mesures d'atténuation à envisager pour éviter ces dépassements. De plus, comme les concentrations de formaldéhyde diminuent avec l'augmentation du taux de ventilation, il serait envisageable de viser d'augmenter davantage le taux de ventilation tout en maintenant un taux d'humidité relative adéquat. À cet égard, le VRE pourrait être un appareil à privilégier, puisqu'il contribue à diminuer l'excès d'humidité relative en été ainsi qu'à diminuer l'assèchement de l'air en hiver.

Dioxyde d'azote (NO₂)

Le NO₂, susceptible de s'introduire à l'intérieur par une augmentation de la ventilation, est un contaminant qui peut avoir des effets délétères sur le système respiratoire à des concentrations relativement faibles. La valeur guide recommandée par Santé Canada pour le NO₂ est de 100 µg/m³; en France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) recommande une concentration de 20 µg/m³ à titre de valeur guide dans l'air intérieur (ANSES, 2013). Dans le cadre de l'étude IVAIRE, au cours de l'année 2, la concentration moyenne de NO₂ mesurée dans les résidences du groupe intervention était de 4,9 µg/m³, et la concentration maximale de 16,3 µg/m³. Dans certains milieux urbains, où la pollution causée par le trafic routier est très importante et où les résidences sont très proches des voies de circulation, il importerait de prendre en considération l'intrusion potentielle de NO₂ et autres contaminants à l'intérieur des habitations. Certaines mesures palliatives pourraient être envisagées, comme par exemple, l'utilisation d'une unité de filtration au charbon actif pouvant absorber les gaz.

Uniformisation des mesures

Cette étude a permis de mettre en lumière le besoin de méthodes d'échantillonnage uniformisées pour les projets traitant de ventilation intérieure et de santé respiratoire. En effet, la diversité des méthodes utilisées à ce jour rend difficile la comparaison des résultats des différentes études réalisées sur le sujet. En effet, elles sont peu nombreuses à avoir mesuré le taux de ventilation sur le terrain à l'aide de gaz traceurs. De plus, le type de gaz traceurs utilisé diffère d'une étude à l'autre. La durée, la période et la fréquence des mesures ne sont pas toujours clairement présentées. Dans un certain nombre de projets, le taux de ventilation a été estimé à partir des concentrations de CO₂, selon une approche qui ne fait pas l'objet d'un consensus scientifique à l'heure actuelle. Aussi, les taux de ventilation estimés à partir des concentrations de CO₂ s'avèrent, pour la plupart, supérieurs aux taux mesurés à l'aide des gaz traceurs, entraînant donc une surestimation potentielle des taux réels.

Pour la mesure des effets sur la santé respiratoire, le Consortium sur la recherche clinique de Bethesda a confirmé, en 2012, que l'évaluation des symptômes représentait la principale mesure des effets d'une intervention sur l'asthme chez l'enfant. Les participants du groupe de travail ont recommandé de parfaire la validation du journal quotidien des symptômes, en particulier le journal électronique, à l'aide de questionnaires rétrospectifs standardisés.

Conclusion

Les concentrations moyennes des contaminants de l'air à l'intérieur des 111 résidences respectaient en général les valeurs recommandées par Santé Canada. Les deux-tiers de celles-ci étaient pourvues d'un système de ventilation mécanique. Toutefois, il a été remarqué que dans une proportion élevée des résidences à l'étude, incluant celles pourvues d'un système de ventilation mécanique, le taux de ventilation était faible, c'est-à-dire en deçà du taux de 0,30 changement d'air à l'heure prescrit par le code national du bâtiment du Canada. De plus, près de 30 % des résidences présentaient des concentrations moyennes de formaldéhyde dans l'air intérieur, dépassant pendant la saison automne-hiver la valeur guide de 50 µg/m³ sur 8 heures recommandée par Santé Canada. Cette valeur guide vise notamment à prévenir les symptômes respiratoires chez les enfants.

Par ailleurs, l'étude randomisée a démontré qu'une intervention ciblée sur l'amélioration de la ventilation mécanique dans les résidences présentant un taux de ventilation faible a permis de corriger efficacement les lacunes identifiées. Ce type d'intervention comprend l'installation d'un nouveau ventilateur récupérateur de chaleur ou d'un ventilateur récupérateur d'énergie, ou encore l'optimisation du système de ventilation déjà en place, suivie d'une séance d'information des propriétaires sur l'utilisation et l'entretien des équipements. Une telle intervention a permis d'augmenter de façon significative le taux de ventilation dans les résidences du groupe intervention en comparaison avec le groupe contrôle, et d'atteindre le taux de 0,30 changement d'air à l'heure recommandé. L'amélioration de la ventilation a également permis de diminuer de façon significative les concentrations moyennes de plusieurs composés organiques volatils, notamment le formaldéhyde, et des spores de moisissures à l'intérieur de ces résidences. En particulier, en ce qui concerne le formaldéhyde, l'étude a montré que l'amélioration de la ventilation dans les résidences a prévenu tout dépassement de la valeur guide de 50 µg/m³ sur 8 heures pendant la saison automne/hiver.

En ce qui concerne la santé respiratoire des enfants, l'étude n'a pas montré d'effet significatif de l'amélioration de la ventilation dans les résidences du groupe intervention sur le nombre de jours avec symptôme d'asthme par période de 14 jours, la variable principale, au cours de l'automne/hiver en comparaison avec le groupe témoin. Toutefois, l'étude a montré une diminution significative de 22 % de la proportion d'enfants ayant présenté un épisode ou plus de sifflement respiratoire et de 20 % de la proportion ayant eu 4 épisodes ou plus de sifflement respiratoire, au cours des 12 mois suivant l'intervention, dans le groupe intervention en comparaison avec le groupe témoin. Étant donné que les résultats ne sont pas ajustés pour les comparaisons multiples, la possibilité qu'il s'agisse d'une trouvaille fortuite ne peut être écartée. Cependant, le fait que la diminution du *wheezing* et la tendance à la baisse dans la prise de médicaments de secours chez les enfants du groupe intervention fassent partie du même phénomène clinique, suggère que l'effet de l'intervention sur la santé respiratoire n'est pas lié au hasard. Cette diminution concorde avec les résultats observés au niveau de la qualité de l'air intérieur, en ce qui concerne la réduction significative des concentrations de formaldéhyde à l'intérieur des habitations. En effet, il a été estimé, à l'aide d'un modèle statistique, qu'une réduction de 50 % de la concentration de formaldéhyde dans l'air intérieur des maisons du groupe intervention serait susceptible d'entraîner des diminutions de 14,8 %, 20,4 %, et de 16,0 % des proportions d'enfants avec sifflement ou *wheezing*, toux nocturne et visite à l'urgence, respectivement, au cours des 12 mois suivant l'amélioration de la ventilation.

L'étude IVAIRE a été réalisée par une équipe multidisciplinaire auprès d'une clientèle prioritaire dans des conditions réelles sur le terrain. De nombreux paramètres environnementaux et respiratoires ont été mesurés au cours des deux années d'observation. Les limites de l'étude sont principalement liées à la petite taille de l'échantillon. Une étude de plus grande envergure et avec une puissance

suffisante est souhaitable pour étudier de façon plus adéquate l'effet à court terme de l'amélioration de la ventilation des résidences sur la fréquence quotidienne des symptômes, notamment pendant la période d'automne/hiver, au cours de laquelle les enfants sont davantage exposés à la pollution intérieure. Les résultats de l'étude font clairement ressortir l'importance, pour les occupants, de s'assurer que la ventilation de leur résidence est adéquate. Elle démontre que l'augmentation du taux de ventilation constitue une mesure efficace pour diminuer, durant l'automne/hiver, les concentrations dans l'air intérieur de plusieurs contaminants présentant des propriétés irritantes pour les voies respiratoires, en particulier le formaldéhyde. Cette mesure permet ainsi de réduire l'exposition des occupants à ces contaminants, et semble diminuer le risque d'épisodes de sifflement respiratoire chez les enfants asthmatiques.

Bibliographie

- Aberg N, Sundell J, Eriksson B, Hesselmar B, Aberg B. (1996). Prevalence of allergic diseases in school children in relation to family history, upper respiratory infections, and residential characteristics. *Allergy*. 51: 232-7.
- Angell, W, Grimsrud, DT, Lee, H. (2004). Survey and critical review of scientific literature on indoor air quality, ventilation and building-related health effects in residences. The Radiation and Indoor Environments National Laboratory. *The US Environmental Protection Agency*, 105 p.
- ASHRAE (2013). ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2013 *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality* in Low-Rise Residential Buildings, Atlanta, American Society for Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers.
- ASTM (2003a). ASTM E 779-03, *Standard test method for determining air leakage rate by fan depressurization*, West Conshohocken, American Society for Testing and Materials.
- ASTM (2003b). ASTM Test Method D 5197-03, *Standard test method for determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in air (active sampler methodology)*, West Conshohocken, American Society for Testing and Materials.
- ASTM (2006). ASTM Test Method E 741-00, *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*, West Conshohocken, American Society for Testing and Materials.
- ANSES (2013). *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la proposition de valeur guides de qualité de l'air intérieur pour le dioxyde d'azote*. Saisine no 2011-SA-0021. Paris, 15 février 2013.
- ANSES (2011). *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la proposition de valeur guides de qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène*. Saisine no 2011-SA-0123. Paris, 1^{er} juin 2011.
- ANSES. *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la proposition de valeur guides de qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène*. Saisine no 2011-SA-0123. Paris, 1^{er} juin 2011.
- Aubier M, Neukirch F, Annesi-Maesano I (2005). Epidemiology of asthma and allergies. The prevalence of allergies increases worldwide and asthma has reached his highest-ever prevalence in Europe: why? *Bull Acad Nat Med Paris*; 189 (7): 1419-1434.
- Belanger K, Beckett W, Triche E, Bracken M, Holford T, Ren P, McSharry JE, Gold DR, Platts-Mills TA, Laederer BP (2003). Symptoms of wheeze and persistent cough in the first year of life : associations with indoor allergens, air contaminants, and maternal history of asthma. *Am J Epidemiol*; 158: 195-202.
- Bekö G. et al., (2010). Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Building and Environment*, 45: 2289-95. Accessible au : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310001216>.
- Bernstein IL, Storms WW (1995). Practice parameters for allergy diagnostic testing. Joint task force on practice parameters for the diagnosis and treatment of asthma. The American Academy of Allergy, Asthma and Immunology and the American College of Allergy, Asthma and Immunology. *Ann Allergy Immunol*. 75: 543-625.

- Bornehag CG, Sundell J, Hägerhed-Engman L, Sigsgaard T (2005). Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air*; 15(4); 275-280.
- Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järnolm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. (2001). Dampness in buildings and health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to "dampness" in buildings and health effects (NORDDAMP). *Indoor Air*, 11 : 72-86.
- Boulet LP, Turcotte H, Laprise C, Lavertu C, Bédard PM, Lavoie A, Hébert J. (1997). Comparative degree and type of sensitization to common indoor and outdoor allergens in subjects with allergic rhinitis and/or asthma. *Clinical and Experimental Allergy*; 27: 52-59.
- Brand *et al.* (2008). ERS Task Force. Definition, assessment and treatment of wheezing disorders in preschool children: an evidence-based approach. *European Respiratory Journal*; 32: 1096-1100.
- Braun-Fahrlander C *et al.* (2002). Environmental exposure to endotoxin and its relation to asthma in school-age children. *N Engl J Med*; 347: 869-877.
- Breyse PN *et al.* (2005) Indoor exposures to air pollutants and allergens in the homes of asthmatic children in inner-city Baltimore. *Environmental Research*; 98: 167-176.
- Brunekreef B (2004). The great indoors. Further evidence for the role of indoor pollutants in the development of childhood asthma. (Editorial), *Thorax*; 59: 729-30.
- Burge HA (2002). An update on pollen and fungal spore aerobiology. *J Allergy Clin Immunol*; 110: 544-552.
- Busse WW, Morgan WJ, Taggart V, Togias A (2012). Asthma outcomes workshop: Overview. *Journal Allergy Clinical Immunology*; 129: S1-8.
- Carlstedt F, Jönsson BAG, Bornehag CG (2012). PVC flooring is related to human uptake of phthalates in infants. *Indoor air*, 23: 32-9.
- Chan-Yeung M, Becker A, Lam J, Dimich-Ward H, Ferguson A, Warren P, Simons E, Broders I, Manfreda J (1995). House dust mite allergen levels in two cities in Canada: effects of season, humidity, city and home characteristics. *Clinical and Experimental Allergy*; 25: 240-246.
- Clausen G, Host A, Toftum J, Beko G, Weschler C, Callesen M, Buhl S, Ladegaard MB, Langer S, Andersen B, Sundell J, Bornehag CG, Sigsgaard T (2012). Children's health and its association with indoor environments in Danish homes and daycare center-methods. *Indoor Air*; 22: 467-475.
- Canada Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies (2010). *Code national du bâtiment, 13^e édition*. Conseil national de recherches du Canada.
- Concannon, P (2002). *Residential Ventilation*. Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC). Technical Note; AIVC 57. 70 pp, Code TN 57.
- Crane J, Ellis I, Siebers R, Grimmet D, Lewis S, Fitzharris P (1998). *A pilot study of the effect of mechanical ventilation and heat exchange on house-dust mites and Derp1 in New Zealand homes*. *Allergy*; 53: 755-62.

- Crocker D, Kinyota S, Dumitru G, Ligon B, Herman E, Ferdinands J, Hopkins D, Lawrence B, Sipe T. (2011). Effectiveness of home-based, multi-trigger, multicomponent interventions with an environmental focus for reducing asthma morbidity. Community guide systematic review. *American Review of Preventive Medicine*, 41(2S1) : S5-S32.
- Crowther, D., Horwood, J., Baker, N., Thompson, D., Pretlove, S., Ridley, I., Oreszczyn, T. (2000). *House dust mites and the built environment : A literature review*. Septembre 2000. Accessible au : <http://www.arct.cam.ac.uk/research/mite/review.pdf>.
- Dales R, Raizenne M. (2011). Residential exposure to volatile organic compounds and asthma. *Journal of Asthma*; 41 (3) : 259-70.
- Dales R, Miller D, Ruest K, Guay M, Judek S (2006). Airborne endotoxin is associated with respiratory illness in the first years of life. *Environ Health Perspect*; 114 : 610-614.
- Dales R, Ruest K, Guay M, Marro L, Miller J D (2010). Residential fungal growth and incidence of acute respiratory illness during the first two years of life. *Environmental Research*; 110: 692-698.
- Dannemiller KC, Murphy JS, Dixon SL, Pennell KG, Suuberg EM, Jacobs DE, Sandel M (2013). Formaldehyde concentrations in household air of asthma patients determined using colorimetric tubes. *Indoor Air*; 1-10.
- Davies M, Ucci M, McCarthy M, Oreszczyn T, Ridley I, Mumovic D, Singh J, Pretlove S (2004). A review of evidence linking ventilation rates in dwellings and respiratory health – A focus on house dust mites and mould. *Intern J Ventilation*; 3 (2): 155-68.
- Dietz RN. Report (2000). *Instructions-Brookhaven air infiltration system – Brookhaven National Laboratory*. Upton NY, 11973.
- Dietz RN et al. (1982). Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon technique. *Environ Int*; 8: 419-433.
- Dingle, P. et Franklin, P. (2002), Formaldehyde Levels and the Factors Affecting These Levels in Homes in Perth, Western Australia, *Indoor and Built Environment*, 11, 111-116.
- Ducharme, F.M., Davis, G.M., Noya, F., Rich, H. and Ernst, P. (2004) The asthma quiz for kids: a validated tool to appreciate the level of asthma control in children, *Can. Respir. J.*, 11, 541-546.
- Eder W, Ege MJ, Von Mutius E (2006). The asthma epidemic. *N Engl J Med*; 355: 2226-35.
- Emenius G, Svartengren M, Korsgaard J, Nordvall L, Pershagen G, Wickman M (2004). Building characteristics, indoor air quality and recurrent wheezing in very young children (BAMSE). *Indoor Air*; 14: 34-42.
- European Commission, Joint Research Center (2005). The INDEX Project. *Critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits for the EU*.
- Fletcher AM, Pickering CA, Custovic A, Simpson J, Kennaugh J, Woodcock A (1996). Reduction in humidity as a method of controlling mites and mite allergens: the use of mechanical ventilation in British domestic dwellings. *Clin Exp Allergy*; 26: 1051-6.
- Franklin PJ.(2007). Indoor air quality and respiratory health of children, *Paediatr. Respir. Rev.*, 8, 281-286.

- Fuhlbrigge AL, Weiss ST, Kuntz KM, Paltiel AD (2006). Forced expiratory volume in 1 second improves the classification of severity among children with asthma. *Pediatrics*; 118: e347-355.
- Gilbert NL, Guay M., Gauvin D., Dietz RN, Chan CC, Lévesque B (2008). Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air. *Atmos Environ*; 42: 2424-8.
- Gilbert NL, Gauvin D, Guay M, Héroux ME, Dupuis G, Legris M, Chan CC, Dietz RN, Lévesque B. (2006). Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City, Canada. *Environmental Research*; 102: 1-8.
- Gilbert NL, Guay M, Miller JD, Judek S, Chan CC, Dales R (2005). Levels and determinants of formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein in residential indoor air in Prince Edward Island, Canada. *Environmental Research*; 99: 11-17.
- Harving H, Korsgaard J, Dahl R (1994a). Clinical efficacy of reduction in house-dust mite exposure in specially designed, mechanically ventilated "healthy" homes. *Allergy*; 49: 866-70.
- Harving H, Korsgaard J, Dahl R (1994b). House-dust mite exposure reduction in specially designed, mechanically ventilated "healthy" home. *Allergy*, 49 : 713-8.
- Hébert J, Paradis L (1997). *Allergies et assainissement de l'environnement*. in Boulet, LP. L'asthme: notions de base, éducation, intervention. Les Presses de l'Université Laval.
- Héroux ME, Clarck N, Van Ryswyk K, Mallick R, Gilbert N, Harrison I, Rispler K, Wang D, Anastassopoulos A, Guay M, MacNeill M (2010). Wheeler A. Predictors of indoor air concentrations in smoking and non-smoking residences. *International Journal Environment Research Public Health*; 7: 3080-3099.
- Hesselmar B, Aberg B, Eriksson B, Björkstén B, Aberg N (2005). Buildings characteristics affect the risk of allergy development. *Pediatr Allerg Immunol*; 16 : 126-31.
- Holme J, Hagerhed-Engman L, Mattsson J, Sundell J, Bornehag C G (2010). Culturable mold in indoor air and its association with moisture-related problems and asthma and allergy among Swedish children. *Indoor Air*; 20 : 329-340.
- Hróbjartsson, A. and Gøtzsche, P.C. (2010). Placebo interventions for all clinical conditions, Cochrane Database Syst. Rev., Jan. 20; (1): CD003974. doi : 10.1002/14651858.CD003974.pub3. Review.
- Hsu NY, Lee CC, Wang JY, Li YC, *et al.* (2011). Predicted risk of childhood allergy, asthma, and reported symptoms using measured phthalate exposure in dust and urine. *Indoor Air*; 22: 186-199.
- Hulin M, Simoni G, Viegi G, Annesi-Maesano I (2012) Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments, *Eur. Respir. J.*, 40, 1033-1045.
- Institute of Medicine (IOM), Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air (2000). *Clearing the air: asthma and indoor air exposures*. Division of Health promotion and Disease Prevention. ISBN 0-309-06496-1.
- Jaakkola JJK., Hwang BF, Jaakkola N (2005). Home dampness and molds, parental atopy, and asthma in childhood: a six-year population-based cohort study. *Environ Health Perspect*; 113 : 357-61.

- Jarnstroem, H, Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L (2006). Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland. *Atmospheric Environment*; 40: 7178-7191.
- Jenkins MA, Clarke JR, Carlin JB, Robertson CF, Hopper JL, Dalton MF, Holst DP, Choi K, Gilles GG (1996). Validation of questionnaire and bronchial hyperresponsiveness against respiratory physician assessment in the diagnosis of asthma. *Int J Epidemiol*; 25:609-616.
- Kirchner *et al.* (2007). Observatoire de la qualité de l'air intérieur. *Campagne nationale logements : État de la qualité de l'air dans les logements français*. CSTB. Mai 2007.
- Kovesi T, Creery D, Gilbert NL, Dales R, Fugler D, Thompson B, Randhawa N, Miller JD (2006). Indoor air quality risk factors for severe lower respiratory tract infections in Baffin Region: a pilot study. *Indoor Air*; 16: 266-275.
- Kovesi T, Zaloum C, Stocco C, Fugler D, Dales RE, Ni A, Barrowman N, Gilbert NL, Miller JD (2009). Heat recovery ventilators prevent respiratory disorders in Inuit children. *Indoor Air*; 19: 489-499.
- Krzyzanowski M, Quackenboss JJ, Lebowitz D (1990). Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environmental Research*; 52: 117-125.
- Lajoie P, Aubin D, Gingras V, Daigneault P, Ducharme FM, Gauvin D, Fugler D, Leclerc JM, Won D, Courteau M, Gingras S, Héroux ME, Yang W, Schleibinger H. The IVAIRE Project - A Randomized Controlled Study of the Impact of Ventilation on Indoor Air Quality and the Respiratory Symptoms of Asthmatic Children in Single Family Homes. *Indoor Air* (accepté pour publication 23-12-2014; sous presse; Article publié en ligne: 21 JAN 2015 | DOI : 10.1111/ina.12181).
- Lajoie P, Leclerc JM, Schnebelen M (2006). *La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants*. Institut national de santé publique du Québec, 191 pages, ISBN-13: 978-2-550-47398-5.
- Lau S, Illi S, Platts-Mills TA, Riposo D, Nickel R, Grüber C, Niggemann C, Wahn U, and The Multicentre Allergy Study Group (2005). *Allergy*; 60: 766-773.
- Lévesque B, Rhainds M, Ernst P, Grenier AM, Kosatsky T, Audet N, Lajoie P (2004). Asthma and allergic rhinitis in Quebec children. *Can Resp J*; 11: 343-348.
- Lintner TJ, Brame KA (1993). The effects of season, climate, and air-conditioning on the prevalence of *Dermatophagoides* mite allergens in household dust. *J Allergy Clin Immunol*; 91: 862-7.
- Lozano P, Finkelstein JA, Hecht J, Shulruff R, Weiss KB (2003). Asthma medication use and disease burden in children in a primary care population. *Arch Pediatr Adolesc Med*; 157: 81-88.
- Magee, R., Sultan, Z., Nilsson, G. (2012) : *Évaluation de l'impact sur la QAI des appareils de ventilation équilibrés avec ventilateurs-récupérateurs de chaleur (VRC) et/ou ventilateurs récupérateurs d'énergie (VRE) du secteur résidentiel*.
- McGwin G, Lienert J, Kennedy JI (2010). Formaldehyde exposure and asthma in children: A systematic review. *Environmental Health Perspectives*; 118: 313-317.
- Mendell MJ (1993). Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature. *Indoor Air*; 3: 227-36.

- Mendell MJ, Fisk WJ, Deddens JA, Seavey WG, Smith AH, Smith DF, Hodgson AT, Daisey JA, Gold LR (1996). Elevated symptoms prevalence associated with ventilation type in office buildings. *Epidemiology*; 7: 583-9.
- Mendell MJ (2007). Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. *Indoor Air*; 17: 259-277.
- Miller JD, Dugandzic R, Frescura AM, Salares V (2007). Indoor- and outdoor-derived contaminants in urban and rural homes in Ottawa, Ontario, Canada. *J Air Wate Manag Assoc*; 57: 297-302.
- Miller JD, Salares V (2007). Indoor - and outdoor-derived contaminants in urban and rural homes in Ottawa, Ontario, Canada. *Journal of Air and Waste Management Association*; 57: 297-302.
- Ministry of Social Affairs and Health of Finland (2003). *Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali-ja terveystoimisto. Oppaita 1. [Health Protection Act. Instructions regarding physical, chemical and biological factors in housing. Guidebook No 1]*. Helsinki, Ministry of Social Affairs and Health (in Finnish).
- Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K.F., Montori, V., Gotzsche, P.C., Devereaux, P.J. et al (2010). CONSORT Explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *B. M. J.*, 340, c869.
- Morgan WJ, Crain EF, Gruchalla RS, O'Connor GT, Kattan M, Evans R, Stout J, Malindzak G, Smartt E, Plaut M, Walte M, Vaughn B, Mitchlell H (2004). Results of a homebased environmental intervention among urban children with asthma. *N Engl J Med*; 351: 1068-80.
- National Research Council and Institute of Medicine (2005). *Ethical considerations for research on housing-related health hazards involving children*. The National Academies Press, Washington D.C.
- Niven RM, Fletcher AM, Pickering AC, Custovic A, Sivour JB, Preece AR, Oldham LA, Francis HC (1999). Attempting to control mite allergens with mechanical ventilation and dehumidification in British houses. *J Allergy Clin Immunol*; 103: 756-62.
- Norbäck D, Björnrsson E, Janson C, Widström J., Boman G (1995). Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon monoxide in dwellings. *Occup Environ Med*; 52: 388-95.
- Novoclimat (2011). Accessible au : http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/novoclimat/OP_exigences_techniques_unifamilial.pdf.
- Ogawa and Company USA (2011). Accessible au : <http://www.ogawausa.com/protocols.html>.
- Offermann FJ. (2009). Ventilation and Indoor Air Quality in New Homes. California Air Resources Board and California Energy Commission, PIER Energy-Related *Environmental Research Program*. Collaborative Report.CEC-500-2009-085.
- Oie L, Nafstad P, Botten G, Magnus P, Jaakkola JK (1999). Ventilation in homes and bronchial obstruction in young children. *Epidemiology*; 10: 294-9.
- Oie L, Stymne H, Boman CA, Hellstrand V (1998). The ventilation rate of 344 Oslo residences. *Indoor Air*; 8: 190-196.

- Ouazia, B., Julien, M., Swinton, M.C., Manning, M. (2007). *Assessment of the enthalpy performance of houses using the energy recovery technology*. Institut de recherche en construction. Conseil national de la recherche du Canada. Accessible au : <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc47733/nrcc47733.pdf>.
- Paggiaro, P.L., Bacci, D.L., Amram, O., Talini, D (1986). *Skin reactivity and specific IgE levels in the evaluation of allergic sensitivity to common allergens for epidemiological purposes*. Clin Allergy; 16: 49-55.
- Pearce N, Douwes J., Beasley R (2000). Is allergen exposure the primary cause of asthma? *Thorax*; 55: 424-31.
- Portnoy, J.M., Amado, M (2006). Evidence-based allergy diagnostic tests. *Cur Aller Asthma Rep*; 6: 455-461.
- Protégez-Vous, Octobre 2006. p. 10-14.
- Rothman K (2014). Reviews. Six persistent research misconceptions. *J Gen Intern Med*; 29 : 1060-1064.
- Rumchev K, Spickett J.T., Bulsara M, Phillips M, Stick S (2004). Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax*; 59: 746-51.
- Rumchev, K., Spickett, J.T., Bulsara, M., Philipps, M., Stick, S (2002). Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Eur Respir J*; 20: 1-6.
- Salthammer, T., Mentese, S., and Marutzky, R (2010). *Formaldehyde in the Indoor Environment, Chemical Reviews*; 110(4), 2536-2572.
- Santanello NC (2001). Pediatric assessment: validation of 2 symptoms diaries. *J Allergy Clin Immunol*; 107: S465-S472.
- Santé Canada (1995). *Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles à bureaux*. Ottawa, 93-DHM-166.
- Santé Canada (1989). *Directives d'exposition concernant la qualité de l'air des résidences. Rapport du Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail*. 21 p. + annexes. Accessible au : http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/air/exposure-exposition/exposure-exposition-fra.pdf.
- Santé Canada (2006). Lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur résidentiel. *Formaldéhyde*. Ottawa.
- Santé Canada (2011). Lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur résidentiel. *Toluène*. Ottawa.
- Sherman MH, Hodgson AT (2004). Formaldehyde as a basis for residential ventilation rates. *Indoor Air*; 14 : 2-8.
- Spengler JD, Samet JM, McCarthy JF (2001). *Indoor air quality handbook*. McGraw-Hill.
- Stephen FR, McIntyre DA, Lane A, Raw GJ, Wiech CR, Fredrick J (1997). Ventilation and house air tightness : effect on indoor temperature and humidity in Southampton, UK. *Pro. CISBE A: Building Serv Eng Res Technol*; 18: 141-7.

- Stocco C, MacNeill M, Wang D, Xu X, Guay M, Brook J, Wheeler AJ (2008). Predicting personal exposure of Windsor, Ontario residents to volatile organic compounds using measurement and survey data. *Atmospheric Environment*; 42: 5905-5912.
- Sundell, J. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air* 2004; 14 (Suppl 7): 51-8.
- Sundell J, Levin H, Nazaroff WW, Cain WS, Fisk WJ, Grimsrud DT, Gyntelberg F, Li Y, Persily AK, Pickering AC, Samet JM, Spengler JD, Taylor ST, Weschler CJ (2011). Ventilation and health: a multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*; 21: 191-204.
- The ISAAC (1998). Steering Committee. Worldwide variations in the prevalence of asthma symptoms: the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). *European Respiratory Journal*; 12: 315-335.
- Thorne PS, Kulankova K, Yin m, Cohn R, Arbes SJ, Zeldin DC (2005). Endotoxin exposure is a risk factor for asthma. *Am J Respir Crit Care Med*; 172 : 1371-1377.
- U.S EPA, *Toxicity and exposure assessment for children's health. Formaldehyde TEACH Chemical Summary*. TEAVH Accessible au : <http://www.epa.gov/teach>. Consulté le 20 septembre.
- Van Strien RT, Gehring U, Belanger K, Triche E, Gent J, Bracken MB, Leaderer BP (2004). The influence of air conditioning, humidity, temperature and other household characteristics on mite allergen concentrations in the northeastern United States. *Allergy*; 59: 645.
- Venn AJ, Cooper M, Antoniak M, Laughlin C, Britton J, Lewis SA (2003). Effects of volatile organic compounds, damp, and other environmental exposures in the home on wheezing illness in children. *Thorax*; 58: 955-60.
- Walker, I.S., Wray, C.P., Dickerhoff, D.J. and Sherman, M.H. (2001). *Evaluation of flow hood measurements for residential register flows*. Energy Performance of Buildings Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, California.
- Warner JA, Frederick JM, Bryant TN, Weich C, Raw GJ, Hunter C, Stephen FR, McIntyre D, Warner JO (2000). Mechanical ventilation and high-efficiency vacuum cleaning: a combined strategy of mite and mite allergen reduction in the control of mite-sensitive asthma. *J Allergy Clin Immunol*; 105: 75-82.
- Weichenthal S, Dufresne D, Infante-rivard C, Joseph L (2007). Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems : A cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months. *Journal of exposure science and environmental epidemiology*; 17: 288-297.
- Weinmayr G, Keller F, Kleiner A, Garcia-Marcos S, Battlès-Garrido J, Garcia-Hernandez G, Suarez-Varela M, Strachan D, Nagel G (2013). Asthma phenotypes identified by latent class analysis in the ISAAC phase II study. *Clinical Experimental Allergy*; 43: 223-232.
- Wheeler AJ, Xu X, Kulka R, You H, Wallace L, Mallach G, Van Ryswyk K, MacNeill M, Kearney J, Rasmussen PE, Dabek-Zlotorzynska E, Wang D, Poon R, Williams R, Stocco C, Anastassopoulos A, Miller JD, Dales R, Brook JR (2011). Windsor, Ontario exposure assessment study: design and methods validation of personal, indoor, and outdoor air pollution monitoring. *J Air Waste Manag Assoc.*; 6:324-38.
- World Health Organization (WHO) (2010) WHO guidelines for indoor air quality. Selected pollutants. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

- World Health Organization (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Global update 2005. Summary of risk assessment. WHO Press, Geneva.
- Wickman M, Nordvall SL, Pershagen G, Sundell J, Schwartz B (1991). House-dust mite sensitization in children and residential characteristics in a temperate region. *J Allergy Clin Immunol*; 88: 89-95.
- Woodfine L, Neal RD, Bruce N, Edwards RT, Linck P, Mullock L, Nelhans N, Pasterfield D, Russell D, Russell I (2011). *Enhancing ventilation in homes of children with asthma: pragmatic randomised controlled trial*. *Br J Gen Pract*; 61(592):e724-32.
- Wright GR, Howieson S, McSharry C, McMahon AD, Chaudhuri R, Thompson J, Donnelley I, Brooks RG, Lawson A, Jolly L, McAlpine L, King EM, Chapman MD, Wood S, Thomson NC (2009). Effect of improved home ventilation on asthma control and house dust mite levels. *Allergy*; 64: 1671-1680.
- Yaglou CP, Riley, EC, Coggins, DI (1936). Part 1. Ventilation requirements: heating, piping and air conditioning. *ASHRAE J*; 42 : 65-76.
- Yaglou CP, Witheridge WN (1937). Part 2. Ventilation requirements: heating, piping and air conditioning. *ASHRAE J*; 43: 1-4.
- Yamamoto N, Shendell DG, Winer AM, Shang J (2010). Residential air exchange rates in three major US metropolitan areas: results from Relationship among Indoor, Outdoor and Personal Air Study 1999-2001. *Indoor Air*; 20: 85-90.

