



information



formation



recherche



*coopération
internationale*

LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION : IMPACTS SUR LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC

AVIS

LA VENTILATION DES BÂTIMENTS
D'HABITATION : IMPACTS SUR LA
SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

DIRECTION RISQUES BIOLOGIQUES, ENVIRONNEMENTAUX ET OCCUPATIONNELS

FÉVRIER 2006

AUTEURS

Pierre Lajoie, M.D., FRCPC, Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels,
Institut national de santé publique du Québec

Jean-Marc Leclerc, biol., M. Sc., Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels,
Institut national de santé publique du Québec

Marion Schnebelen, E.N.T.E.S., M. Sc., Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels,
Institut national de santé publique du Québec

SOUS LA COORDINATION DE

Pierre Lajoie, M.D., FRCPC, Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels,
Institut national de santé publique du Québec

REMERCIEMENTS

Rollande Allard, M.D., Direction de santé publique de la Montérégie

Mario Canuel, T.P., Agence de l'efficacité énergétique du Québec

Yvon Cormier, M.D., FRCPC, Université Laval

Pierre Ernst, M.D., FRCPC, Université McGill

Daniel Forest, ing., Comité révision CAN/CSA-F/326 et Venmar Ventilation Inc.

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

Jean-François Gravel, ing., Société d'habitation du Québec

Robert Jacob, M. Sc., Institut national de santé publique du Québec

Norman King, bioch., M. Sc., Direction de santé publique de Montréal

Benoît Légaré, ing., Agence de l'efficacité énergétique du Québec

Michel Légaré, ing., M. Sc., Régie du bâtiment du Québec

Michel Legris, hygiéniste industriel, Direction de la santé publique de la Capitale-Nationale

Benoît Lévesque, M.D., FRCPC, Institut national de santé publique du Québec

David Miller, Ph. D., Carleton University

Bertrand Roy, ing., Société d'habitation du Québec

Gérald Vigeant, B. Sc. Phys., Environnement Canada

La réalisation de ce document a été rendue possible grâce à une contribution financière du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec.

Ce document est disponible en version intégrale sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec : <http://www.inspq.qc.ca>. Reproduction autorisée à des fins non commerciales à la condition d'en mentionner la source.

CONCEPTION GRAPHIQUE

MARIE PIER ROY

DOCUMENT DÉPOSÉ À SANTÉCOM ([HTTP://WWW.SANTECOM.QC.CA](http://www.santecom.qc.ca))

COTE : INSPQ-2006-041

DÉPÔT LÉGAL – 3^E TRIMESTRE 2006

BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DU CANADA

ISBN-13 : 978-2-550-47398-5 (VERSION IMPRIMÉE)

ISBN-10 : 2-550-47398-1 (VERSION IMPRIMÉE)

ISBN-13 : 978-2-550-47399-2 (PDF)

ISBN-10 : 2-550-47399-X (PDF)

AVANT-PROPOS

La loi constitutive de l'Institut national de santé publique du Québec lui donne la mission particulière d'informer le ministre de la Santé et des Services sociaux des impacts sur la santé des politiques publiques. Le présent avis s'inscrit dans le cadre de cette mission et vise à soutenir le ministre dans son rôle de conseiller du gouvernement en matière de politiques favorables à la santé (*Loi sur la santé publique*, article 54).

Les problèmes de santé causés par l'insuffisance ou l'absence de ventilation de l'espace intérieur habité sont souvent évoqués dans le milieu de l'habitation, notamment pour justifier la nécessité de doter les maisons d'un système de ventilation mécanique. Cependant, ces allégations sont rarement étayées par des données fiables, qui établissent une association entre la ventilation et la santé des occupants. Aussi, afin d'être en mesure de se prononcer sur cet aspect, il s'est avéré essentiel d'examiner plus en détail l'impact de la ventilation des bâtiments d'habitation, tant sur la présence de contaminants de l'air intérieur que sur la santé des occupants, à la lumière des connaissances techniques et scientifiques disponibles.

À l'heure actuelle, le Code national du bâtiment du Canada ainsi que les normes ASHRAE contiennent des prescriptions sur la ventilation naturelle et mécanique des bâtiments d'habitation. L'application de la réglementation sur la ventilation des petits bâtiments n'est pas uniforme sur le territoire québécois, les municipalités bénéficiant du pouvoir d'adopter leur propre règlement de construction. Dans son mandat de préciser les mesures applicables en matière de ventilation des habitations qui lui est conféré par la *Loi sur le bâtiment*, la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) vise, d'ici la fin 2006, à instaurer une norme uniforme de base pour tous les nouveaux bâtiments et équipements sur l'ensemble du territoire québécois. Cependant, la RBQ se heurte à une certaine réticence de la part du milieu compte tenu notamment des difficultés d'application que ce type de réglementation risque d'entraîner, qu'elles soient d'ordre technique, juridique ou socio-économique. De son côté, l'industrie de la construction souhaite une harmonisation réglementaire dans ce domaine.

L'uniformisation des exigences en matière de ventilation mécanique au Québec dans les nouvelles habitations est un enjeu faisant actuellement l'objet d'une réflexion à l'échelle provinciale, par de nombreux organismes publics, parapublics et privés intéressés par la question. Dans ce contexte, la conclusion du présent avis scientifique pourrait constituer un élément important dans le processus de réflexion qui mènera aux mesures à adopter à cet égard.

À partir des connaissances scientifiques les plus récentes sur le sujet, le présent avis a pour principal objectif de permettre aux autorités concernées de faire un choix éclairé quant aux mesures à adopter en matière de ventilation des habitations au Québec, sur la base de ses impacts sur la santé respiratoire des occupants. Il a, de façon plus spécifique, pour objectifs :

- de revoir les impacts de la ventilation des bâtiments d'habitation sur les contaminants potentiellement rencontrés dans l'air intérieur ainsi que sur l'exposition des occupants;
- d'évaluer le lien entre ces impacts et les problèmes de santé respiratoire susceptibles d'être associés aux contaminants intérieurs;

- de faire ressortir les principaux aspects techniques susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation des habitations;
- de mettre en relation l'ensemble des données disponibles afin de dégager les avenues les plus appropriées en matière de ventilation des habitations au Québec d'un point de vue de santé publique.

NOTE AU LECTEUR

Dans son ensemble, le présent avis concerne l'« habitation », telle qu'elle est décrite dans le Code national du bâtiment, c'est-à-dire tout bâtiment, ou partie de bâtiment, où des personnes habitent et y dorment, ce qui inclut tout autant les habitations de type unifamilial que les condominiums et les immeubles à logements. La première section décrit succinctement quelques aspects techniques de la ventilation en considérant leur application aux petits bâtiments de type unifamilial ainsi que, lorsqu'il s'avérait possible et approprié de le faire, aux immeubles à logements. Par ailleurs, de par sa portée actuelle, la seconde section, qui traite de la réglementation, ne s'adresse qu'à la nouvelle habitation. La troisième section, qui s'intéresse aux impacts de la ventilation sur l'exposition et la santé des occupants, fait quant à elle état des études réalisées dans les habitations de même que, de façon complémentaire, dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux.

Il est à noter que le présent avis ne fait aucunement référence aux « ventilateurs » portatifs ou de plafond qui sont des appareils conçus pour faire circuler l'air plutôt que pour le renouveler, pas plus qu'aux « purificateurs d'air », qui sont des appareils (portatifs ou fixes) destinés à capter et filtrer les particules aéroportées.

Compte tenu des objectifs du présent avis, nous avons limité notre analyse aux problèmes de santé respiratoire, en particulier à l'asthme, qui sont fréquemment rapportés en santé publique et qui sont relativement bien documentés au niveau scientifique. Pour les mêmes raisons, nous avons restreint notre analyse à trois principaux groupes de contaminants, soit les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils. Dans l'esprit des auteurs, ces choix ne diminuent en rien l'importance que peuvent revêtir les autres problèmes de santé de même que les autres contaminants susceptibles d'être présents dans l'air intérieur.

Le présent avis a pour principal objectif d'examiner les impacts de la ventilation intérieure des bâtiments d'habitation sur la santé respiratoire des occupants et, dans la mesure du possible, d'identifier les mesures à adopter afin de prévenir les impacts négatifs. Il ne vise pas à identifier les moyens techniques disponibles pour parvenir à atteindre ces résultats pas plus qu'à faire état des contraintes économiques que pourrait entraîner l'application des mesures proposées.

RÉSUMÉ

L'air intérieur d'un bâtiment d'habitation peut théoriquement contenir divers types de contaminants auxquels les occupants sont susceptibles d'être exposés. De nombreuses études ont établi des liens entre la présence de contaminants de l'air intérieur et certains problèmes de santé. La réduction de la contamination de l'air intérieur doit idéalement faire l'objet d'une stratégie qui englobe un certain nombre de mesures, le contrôle à la source étant sans aucun doute l'option à envisager en premier lieu. Cependant, cette approche ne peut suffire à elle seule à diminuer l'ensemble des contaminants présents, de sorte qu'il devient nécessaire de se tourner vers des mesures complémentaires, telles que la ventilation des espaces intérieurs.

À l'heure actuelle, l'application de la réglementation sur la ventilation des petits bâtiments d'habitation est très variable sur le territoire québécois, les municipalités bénéficiant du pouvoir d'adopter leur propre règlement de construction. La Régie du bâtiment du Québec (RBQ) désire adopter une norme uniforme de base pour tous les nouveaux bâtiments, en particulier en ce qui concerne l'installation de systèmes de ventilation mécanique. Cependant, la RBQ se heurte à une certaine réticence du milieu compte tenu des difficultés d'ordre technique, juridique ou socioéconomique que risque d'entraîner l'application d'une telle mesure. De plus, les intervenants du milieu municipal et de l'habitation, de même que les consommateurs, sont en général mal informés des enjeux réels que représente la ventilation pour la qualité de l'air intérieur et la santé des occupants.

Le présent avis vise à éclairer les autorités concernées quant aux mesures à adopter en matière de ventilation des habitations au Québec, sur la base de ses impacts sur la santé respiratoire des occupants. Pour ce faire, nous avons révisé les principaux aspects techniques et réglementaires relatifs à la ventilation des bâtiments d'habitation et analysé la littérature scientifique qui porte sur les liens direct et indirect entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants. Par la suite, nous faisons état de notre réflexion sur la qualité de la preuve scientifique, sur l'applicabilité des résultats au Québec, sur l'application et la détermination d'un taux de ventilation minimal et finalement, sur les facteurs susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation.

PRINCIPAUX ASPECTS TECHNIQUES RELATIFS À LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION

La ventilation est le processus par lequel l'air intérieur est renouvelé par admission d'air neuf et par évacuation d'air vicié, à l'aide de moyens naturels ou mécaniques, dans le but d'assurer le confort des occupants. Les besoins en ventilation d'un bâtiment d'habitation donné sont conditionnés par de multiples facteurs, susceptibles de varier d'une habitation à l'autre. Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur, le vent et les appareils qui évacuent ou introduisent de l'air sont autant de facteurs susceptibles d'influer sur la pression d'air d'une habitation, phénomène associé aux déplacements d'air à l'intérieur. Par ailleurs, les améliorations apportées aux méthodes de construction récentes des habitations les ont rendues plus étanches à l'air. De même, un nombre grandissant de maisons existantes a fait l'objet d'améliorations au niveau de l'isolation, d'installation de fenêtres et de portes à haut rendement énergétique, etc. Dans bon nombre de ces maisons, l'infiltration d'air par les portes et les fenêtres, ainsi que par les orifices de l'enveloppe, ne suffisent généralement plus à assurer une ventilation suffisante et uniformément distribuée dans les pièces habitables de la maison. L'apport de la ventilation mécanique devient alors une mesure complémentaire envisageable,

particulièrement en période de chauffe. Il existe trois grands types de ventilation mécanique, soit à simple extraction, à simple alimentation et équilibrée. Dans les immeubles à logement, les installations typiques sont généralement des systèmes d'alimentation en air des corridors jumelés à des ventilateurs d'extraction dans les logements. Le ventilateur récupérateur de chaleur (ou VRC), qui procure une ventilation équilibrée tout en récupérant la chaleur, est le système auquel les experts réfèrent actuellement et qui est souvent recommandé dans les normes. Le bon fonctionnement d'un système de ventilation et par conséquent, son efficacité à distribuer les débits d'air recherchés, sont tributaires de la conception et de la sélection du type de système, de son installation (incluant la localisation et l'équilibrage), de son entretien et de son utilisation.

RÉGLEMENTATION APPLICABLE À LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION

Les taux de ventilation requis pour les bâtiments d'habitation sont prescrits par des normes dont la gestion s'effectue à différentes échelles et de façon variable. Les normes ASHRAE *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* sont les plus connues et font office de code modèle à travers le monde. Dans la plupart des pays, le taux de ventilation requis dans l'habitation se situe entre 0,3 et 0,5 renouvellement d'air à l'heure (rah), ce dernier taux étant entre autres prescrit dans les pays scandinaves. Depuis le début des années 1980, on assiste en Amérique du Nord à une tendance à la baisse des normes de ventilation, due vraisemblablement à des préoccupations d'économie d'énergie. Au Canada, les exigences concernant la ventilation se retrouvent dans le Code national du bâtiment (CNB) aux sections 6 *Chauffage, ventilation et conditionnement d'air* et 9 *Maisons et petits bâtiments*. Le CNB fait office de code de bâtiment modèle n'ayant force de loi que lorsqu'il est adopté par une province, un territoire ou une municipalité. Dans la version 1995 de ce code (version à laquelle se réfère actuellement la réglementation québécoise), le taux de ventilation nécessaire pour une installation individuelle ou autonome est calculé en fonction du nombre et du type de pièces, et équivaut à environ 0,3 rah. Au Québec, c'est au premier chapitre du Code de construction du Québec que se retrouvent ces exigences, chapitre essentiellement constitué du CNB et de certaines modifications destinées à en faciliter l'application et à l'adapter aux besoins spécifiques du Québec. Certains bâtiments, tels les petits bâtiments de type unifamilial, ne sont pour l'instant pas assujettis à ce chapitre du Code de construction du Québec et, de ce fait, sont généralement sous juridiction des municipalités. Cependant, la réglementation adoptée par les municipalités à cet égard est très variable, certaines ayant adopté des versions antérieures des codes, modifiées ou non, d'autres n'ayant même adopté aucun code de construction. Cet état de fait entraîne une diversité réglementaire en matière de ventilation des petits bâtiments d'habitation.

EFFETS DE LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION SUR LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

Les normes de ventilation actuelles ne sont pas basées sur la prévention des problèmes de santé mais plutôt sur la prévention de problèmes d'inconfort relié aux odeurs (bioeffluents). Au cours des 20 dernières années, plusieurs études ont été réalisées à travers le monde, pour évaluer les effets de la ventilation sur la santé. Les principaux problèmes étudiés sont les symptômes respiratoires et d'allergie aigus, dont l'asthme en particulier. Les chercheurs ont étudié, dans certains cas, le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire et, dans d'autres cas, les liens indirects reliés à l'influence de

la ventilation sur trois principaux groupes de contaminants intérieurs, soit les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils (COV), et plus particulièrement le formaldéhyde. Pour mesurer l'association entre la ventilation et la santé respiratoire, les chercheurs ont comparé la fréquence des symptômes en fonction de la présence de ventilation mécanique ou de ventilation naturelle et/ou en fonction du taux de ventilation mesuré en renouvellement d'air à l'heure (rah). Plusieurs études ont été réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux sur le lien entre la ventilation et le syndrome de l'édifice hermétique (SEH), lequel inclut des symptômes reliés à l'irritation des voies respiratoires supérieures. Aussi, afin de prendre en considération toute l'information disponible, nous avons également révisé les connaissances les plus récentes à ce sujet. Nous avons identifié l'ensemble des publications scientifiques en rapport avec la ventilation et la santé respiratoire, en particulier les symptômes d'asthme, répertoriées dans les banques électroniques MEDLINE et EMBASE, en plus du répertoire de la *Library Cochrane* et de divers centres documentaires. Après révision et analyse, nous avons retenu 75 études dans les bâtiments d'habitation publiées au cours des dix dernières années. Nous avons aussi analysé 13 études dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux. En nous basant sur l'approche méthodologique développée par le « Groupe de travail canadien sur les soins de santé préventifs », nous avons classé et analysé les études selon la hiérarchie des études basée sur la force de la preuve: essai randomisé, essai non-randomisé, cohorte, cas-témoins, descriptive, revue et avis d'experts.

Le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire

Le bilan concernant le lien direct entre la ventilation et la santé porte sur 13 études réalisées dans des habitations. La répartition de ces études est la suivante : 3 études d'intervention, 6 études cohorte/cas-témoins, 3 études descriptives et 1 revue. Dix (10) de ces études ont été réalisées en Scandinavie. Douze (12) études ont apporté des résultats concluants, dont 8 ont montré des effets significatifs et 4, l'absence d'effet. Plusieurs études de qualité suggèrent un lien direct entre la ventilation et une amélioration de la santé respiratoire, chez les asthmatiques et dans la population en général. Chez des asthmatiques adultes, Harving *et al* (1994a) ont montré dans une étude quasi-expérimentale que la ventilation mécanique avait un impact positif durable significatif sur le VEMS, le débit de pointe, le niveau d'anticorps, les symptômes et la consommation de médicaments. L'étude d'intervention réalisée par Leech *et al* (2004), au Canada, a montré une amélioration statistiquement significative des symptômes respiratoires reliée à l'installation de la ventilation mécanique dans les maisons R-2000, dans la population en général. L'étude quasi-expérimentale réalisée par Engvall *et al* (2005) chez des adultes en bonne santé, bien qu'elle ait mis en évidence un impact positif du taux de ventilation sur la perception des odeurs et de la qualité de l'air intérieur, n'a pas montré d'effets sur les symptômes respiratoires. Soulignons que les symptômes étaient mesurés à l'aide d'un questionnaire sur le SEH et non pas à l'aide d'un questionnaire respiratoire standardisé. Les études de cohorte/cas-témoins montrent que la présence de ventilation mécanique diminue le risque de symptômes de 8 à 72 % chez les occupants. La présence de la ventilation naturelle est associée dans une étude à un risque de sibilances trois fois plus élevé. Enfin, une étude a montré qu'un taux de ventilation inférieur à 0,5 rah, conjointement à une humidité excessive, était associé à un risque de bronchite près de 10 fois plus élevé chez les occupants. L'étude récente de Bornehag *et al* (2005) a mis en évidence une association statistiquement significative entre le taux de ventilation et des symptômes reliés à l'asthme et à l'allergie chez les enfants.

Les liens indirects entre la ventilation et la santé respiratoire

Association avec les acariens

Notre analyse porte sur 27 études (4 acariens/santé; 23 ventilation/acariens) concernant les associations indirectes ventilation/humidité/acariens / santé respiratoire. Parmi ces études, on retrouve 10 études d'intervention dont 1 randomisée, 2 études de types cohorte/cas-témoins, 8 études descriptives et 7 revues. Sept (7) études ont été réalisées en Scandinavie, 5 en Grande-Bretagne (uniquement des études d'intervention) et 5 en Amérique du Nord. Vingt-deux (22) études sont concluantes. Trois (3) études sont négatives dont 2 études d'intervention. Globalement, ces études, qui ont été l'objet de plusieurs revues, font ressortir une association entre l'exposition aux acariens en milieu domestique et la sensibilisation aux allergènes d'acariens, 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. Signalons par ailleurs que certains chercheurs comme Pearce *et al* (2000), 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. Ces auteurs ne remettent cependant pas en question l'association de l'exposition aux acariens avec une fréquence accrue de symptômes respiratoires chez les enfants et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées.

Plusieurs études d'intervention ont été réalisées afin d'évaluer la capacité de la ventilation mécanique à réduire le niveau d'humidité à l'intérieur, le nombre d'acariens et la concentration d'allergènes dans la poussière de même que, dans certains cas, la fréquence de symptômes respiratoires. Les résultats de plusieurs études réalisées en Scandinavie ont montré un impact positif de la ventilation sur les trois paramètres environnementaux dont l'une d'entre elles incluait une amélioration des symptômes respiratoires. 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. Toutefois, plusieurs d'entre elles indiquent que la ventilation réduit l'humidité à l'intérieur. Quelques-unes montrent aussi une réduction des acariens et des allergènes, dont les études en Amérique du nord portant sur l'air conditionné. 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. Korsgaard (1998b) insiste sur l'importance cruciale de la ventilation des habitations pour contrôler la prolifération des acariens en se basant principalement sur les trois études scandinaves de Munir *et al* (1995), Harving *et al* (1993) et Sundell *et al* (1995). Le chercheur recommande de maintenir l'humidité présente à l'intérieur au-dessous de 7 g/kg ou de 45 % pendant quelques mois de l'hiver. Une formule mathématique permet de déterminer le taux minimal de changement d'air à l'heure selon la région géographique, en tenant compte de l'humidité extérieure durant l'hiver, de la surface du logement et du nombre de personnes dans l'habitation (Korsgaard, 1998a).

Association avec les moisissures

Nous avons analysé 19 études portant sur les associations ventilation/humidité/moisissures/santé respiratoire. Nous n'avons trouvé aucune étude d'intervention. Les études sont regroupées de la façon suivante : 4 études de type cohortes/cas-témoins, 10 études descriptives et 5 revues. Sept (7) études sont non-concluantes. Parmi les 12 autres études, 11 ont montré des effets significatifs, caractérisés

principalement par une association de l'exposition à une fréquence plus élevée de symptômes reliés à l'asthme chez les enfants. Deux nouvelles études de cohorte chez des enfants publiées récemment ont mis en évidence une association statistiquement significative entre l'exposition aux moisissures et un excès de risque de « développer » de l'asthme et de présenter des symptômes respiratoires, particulièrement si les parents sont atopiques. Une étude descriptive réalisée chez des asthmatiques adultes a montré une augmentation des symptômes associée à l'exposition aux moisissures. Pour ce qui est de l'impact de la ventilation sur la concentration de moisissures en milieu intérieur, les seules études publiées sont des études descriptives. Les résultats de ces dernières 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.

Association avec les composés organiques volatils (COV)

Les études portant sur l'association entre l'exposition résidentielle aux COV et la santé respiratoire sont peu nombreuses. Nous avons analysé 16 études réparties de la façon suivante : 4 études d'intervention, 4 études de cohortes/cas-témoins, 4 études descriptives et 4 revues. Cinq (5) des 16 études ne sont pas concluantes. Huit (8) des 11 études restantes ont montré des effets statistiquement significatifs caractérisés par une augmentation de la fréquence des symptômes d'asthme chez les enfants exposés aux COV et des symptômes respiratoires chez les adultes sains. La revue de Dales et Raizenne, publiée en 2004, a répertorié une douzaine d'études auxquelles se sont ajoutées 2 études cas-témoins plus récentes. Alors que les études plus anciennes font appel à une mesure de l'exposition basée principalement sur un questionnaire et l'observation des lieux pour identifier la présence de sources d'émission (papier peint, tapis, etc.), les études de Rumchev *et al* (2004) et de Venn *et al* (2003) font appel à des mesures des concentrations de COV dans l'air. Ces deux études ont montré une association statistiquement significative entre l'exposition aux COV et un excès de symptômes respiratoires.

En ce qui concerne l'influence de la ventilation sur les concentrations de COV à l'intérieur, les travaux de Sherman et Hodgson, en 2004, et d'un Comité de l'*Institute of Medicine*, en 2000, permettent d'estimer à partir de modèles mathématiques l'impact prévisible sur la qualité de l'air et la santé respiratoire. Ces modèles permettent d'estimer l'influence de la ventilation sur les concentrations de certains types de contaminants, qui dépend en grande partie de la taille des particules. Ainsi, le taux de ventilation a peu d'impact sur les concentrations de grosses particules, comme celles associées aux acariens, aux blattes et les spores. Par contre, le changement de taux de ventilation a un impact majeur sur les concentrations des petites particules comme, par exemple, celles retrouvées dans la fumée de tabac et les allergènes de chat. En effet, les concentrations de ces types de contaminants peuvent augmenter de façon très importante si le taux de ventilation est inférieur à 0,25 rah, par exemple. Le taux de ventilation a peu d'influence sur les concentrations de contaminants gazeux, particulièrement s'ils sont moins volatils. En somme, les résultats des études suggèrent que le taux de ventilation influence surtout l'exposition à la fumée de tabac, aux allergènes de chat, aux bioaérosols infectieux et à certains COV.

Études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux

Les résultats des études sur la ventilation obtenus dans des écoles et des édifices à bureaux nous sont apparus pertinents notamment en ce qui a trait aux comparaisons entre la ventilation naturelle et la ventilation mécanique, ainsi qu'aux taux de ventilation. Cependant, à la différence des bâtiments d'habitation, ces milieux sont généralement dotés d'un système plus complexe, combinant le chauffage, la ventilation et le conditionnement de l'air. La comparaison des résultats des études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux avec ceux des études réalisées dans les habitations doit donc être faite avec prudence compte tenu des différences au niveau des composantes de ces systèmes. De plus, les études réalisées dans les milieux de travail ne portent pas de façon spécifique sur les symptômes respiratoires et l'asthme.

Globalement, en ce qui concerne les bâtiments publics et les édifices à bureaux, nous avons répertorié et analysé 13 études portant sur la ventilation et le syndrome de l'édifice hermétique (SEH). Les études sont réparties de façon suivante : 3 études d'intervention, 3 études descriptives et 7 revues. La plupart de ces études ont été réalisées en Scandinavie et en Amérique du Nord. Parmi les 11 études concluantes, 9 ont montré des effets statistiquement significatifs associés à la ventilation mécanique. Dans ces bâtiments, les résultats démontrent que le risque de symptômes reliés au SEH augmente de 3 à 6 fois en présence de ventilation mécanique en comparaison avec la ventilation naturelle. Soulignons toutefois que les études de Mendell *et al* (1996) et Seppänen et Fisk (2004) ont montré que le risque de problèmes respiratoires est sensiblement plus élevé dans les édifices pourvus d'un système combinant le chauffage, la ventilation et le conditionnement de l'air (CVCA), l'hypothèse avancée étant le risque de contamination biologique plus élevé dans ce type de système. Par ailleurs, les résultats des études montrent que l'augmentation du taux de ventilation diminue de façon significative la fréquence de ces symptômes (de 20 % à 40 %) et des absences-maladies (50 %).

Mesures préventives selon la force de la preuve

Nous avons utilisé les critères développés pour les recommandations du « Groupe canadien sur l'examen médical périodique » pour identifier les mesures préventives reliées à la ventilation, les impacts prévus, le degré de preuve concernant ces impacts et les recommandations appropriées selon le poids relatif des études. La classification des niveaux de preuve et des niveaux de recommandations, soit A (*good* ou fort), B (*fair* ou modéré) et C (*weak* ou faible), fournit des assises pour les recommandations applicables à la ventilation des bâtiments d'habitation.

Nous avons identifié deux mesures préventives sur lesquelles peuvent porter les recommandations pour les bâtiments d'habitation : l'installation ou non d'un système de ventilation mécanique et la détermination d'un taux de ventilation minimal. Nous avons aussi identifié les impacts directs et indirects de ces deux mesures, prévus selon la littérature scientifique. Les niveaux de recommandations sont basés sur le type d'études publiées. En ce qui concerne la ventilation mécanique dans les bâtiments d'habitation, la preuve d'un effet bénéfique sur la santé respiratoire, qu'elle soit directe ou indirecte par le biais des acariens, est modérée et permet de supporter une recommandation de catégorie B. En ce qui concerne les moisissures et les COV, la preuve est modérée pour ce qui est du lien entre l'exposition et les problèmes respiratoires chez les occupants. Cependant, le degré de preuve sur le lien entre la ventilation et la diminution de l'exposition à ces contaminants dans les bâtiments d'habitation est faible, ce qui ne permet pas de supporter une recommandation

concernant la ventilation mécanique. En ce qui concerne la détermination d'un taux de ventilation minimal, il existe une preuve directe et indirecte modérée à l'effet qu'un taux de 0,5 rah diminue la fréquence des symptômes respiratoires, ce qui permet de supporter une recommandation de niveau B. Toutefois, les données sont insuffisantes pour exclure l'existence possible d'un seuil à un taux inférieur à 0,5.

DISCUSSION

Qualité des études

Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer, soit directement soit indirectement, les liens entre la ventilation dans les bâtiments d'habitation et la santé respiratoire des occupants, en particulier les symptômes d'asthme chez les enfants. En ce qui concerne les études d'intervention, très peu d'études randomisées sont disponibles. Par contre, sept études d'intervention (soit 2 directes et 5 indirectes) mais bien contrôlées ont mis en évidence un impact bénéfique de la ventilation sur l'humidité et les acariens dans l'habitation et la sensibilisation aux allergènes et les symptômes respiratoires chez les occupants. Plusieurs études de cohorte et de cas-témoins supportent ces évidences scientifiques, dont les plus récentes. Cependant, certaines limites demeurent, en particulier le peu d'études réalisées dans les populations non scandinaves. Bien que certaines études réalisées en Grande-Bretagne, en Australie et en Amérique du nord aient montré une réduction de l'humidité, des acariens et des allergènes, l'extrapolation des résultats à l'extérieur de la Scandinavie doit être effectuée avec prudence. De plus, même si l'association entre l'exposition aux contaminants aéroportés et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires chez les jeunes enfants est en général reconnue, il demeure difficile de statuer sur l'association de cette exposition avec le développement de l'asthme, compte tenu de l'incertitude entourant le diagnostic de cette affection chez les enfants. Dans plusieurs études, en particulier les plus anciennes, la mesure de l'exposition aux moisissures et aux COV repose sur un questionnaire ou des instruments qualitatifs et non pas quantitatifs. La mesure de l'exposition aux acariens est en général beaucoup plus objective : acariens/g, allergènes/g, concentrations d'anticorps dans le sang, *Prick test*. Une limite commune des différentes études sur la ventilation et la santé est l'absence de prise en compte de la variable « entretien » du système, qui pourrait notamment avoir comme impact de sous-estimer l'effet bénéfique potentiel d'une ventilation effectuée dans des conditions optimales. Certains groupes d'experts internationaux sont aussi d'avis qu'il existe une preuve scientifique suggérant un lien entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants. Les recherches futures dans le domaine de la ventilation devraient porter dans la mesure du possible sur des essais randomisés même si de tels essais ne sont pas réalisés couramment dans le domaine de la santé environnementale.

Applicabilité des résultats au Québec

Nous disposons de très peu de données en ce qui concerne les impacts de la ventilation dans les habitations québécoises. Il existe probablement diverses façons d'évaluer l'applicabilité des résultats obtenus par les études réalisées à travers le monde à la situation prévalant au Québec. Toutefois, dans le présent contexte, le climat semble jouer un rôle important sur l'efficacité de la ventilation naturelle ou mécanique en faisant varier (à la hausse comme à la baisse) le niveau d'humidité à l'intérieur ainsi qu'en influençant de façon indirecte l'exposition aux contaminants aéroportés. Les études d'intervention réalisées au Danemark, en Suède et en Norvège ont fait ressortir que la ventilation mécanique avait un impact statistiquement significatif sur la réduction de l'humidité, des acariens, des

allergènes et même des problèmes de santé respiratoire. Certaines études réalisées en Grande-Bretagne, en Australie et en Nouvelle-Zélande ont aussi montré une réduction statistiquement significative de certains paramètres environnementaux dont l'humidité et les acariens, mais sans réduction évidente des problèmes respiratoires. En se basant sur les normales climatiques mensuelles calculées sur 30 ans fournies par Environnement Canada et l'Organisation météorologique mondiale, le climat des villes de Québec et de Montréal, par exemple, s'apparente à celui des villes situées au centre de la Suède. Les hivers y sont particulièrement froids et secs. Compte tenu de cette similitude des conditions climatiques, il est vraisemblable que l'on puisse atteindre au Québec, avec un taux de ventilation comparable, les mêmes réductions d'humidité à l'intérieur des habitations que celles observées en Scandinavie. Cette variation de l'humidité à l'intérieur pourrait également être influencée par les caractéristiques de l'habitation et les comportements des occupants. Cependant, de façon générale, rien n'indique que ces caractéristiques puissent différer de façon notable de celles prévalant au Québec. Dans ce contexte, afin de vérifier les similitudes à cet égard, il apparaît nécessaire d'évaluer ces paramètres par des études appropriées dans les habitations québécoises.

Taux de ventilation minimal

Au cours des vingt dernières années, une tendance à la baisse du taux de ventilation minimal requis a été observée en Amérique du Nord, due vraisemblablement aux préoccupations d'économie d'énergie. De faibles taux de ventilation sont toutefois susceptibles d'entraîner des problèmes de faisabilité technique, notamment parce qu'ils rendent difficiles l'équilibrage du système, ainsi que la distribution de l'air neuf et son mélange avec l'air ambiant. Par ailleurs, les résultats de certaines études épidémiologiques font ressortir divers effets sur la santé respiratoire lorsque le taux de ventilation est inférieur à 0,5 rah. Cependant, le fait que les chercheurs n'aient examiné les impacts possibles qu'en fonction de ce taux ne permet pas d'exclure la possibilité d'obtenir un seuil se situant à un taux différent. Quoi qu'il en soit, plusieurs experts internationaux sont d'avis qu'un taux de ventilation minimal s'approchant de 0,5 rah est indiqué dans les pays au climat froid. Comme nous l'avons constaté, il y a absence de données en ce qui concerne l'impact sur les contaminants aéroportés et la santé respiratoire des taux de ventilation se situant en-deça de 0,5 rah. L'obtention de données québécoises sur cet aspect nous apparaît donc souhaitable.

Facteurs susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation

Les données disponibles nous incitent à croire que, compte tenu du caractère aléatoire et difficilement contrôlable de la ventilation naturelle, il est préférable, pour obtenir des débits d'air acceptables en toute période de l'année, de considérer la ventilation mécanique en combinaison avec la ventilation naturelle. Dans les immeubles à logements, il semble souhaitable d'envisager des installations de ventilation se rapprochant de celles utilisées pour les habitations individuelles, incluant le contrôle individuel des appareils. Comme tout autre type d'installation motorisée, le système de ventilation mécanique est soumis à un certain nombre de contraintes techniques qui doivent être considérées afin d'optimiser son efficacité et d'éviter la survenue de conséquences négatives. Il ne suffit donc pas uniquement de concevoir et de rendre disponible des systèmes de ventilation d'une capacité donnée mais de s'assurer que ces systèmes soient en mesure de fournir un air de qualité. Il faut donc penser, en plus de la conception et de la sélection du système (incluant, au besoin, la filtration), à son installation (incluant la localisation et l'équilibrage de l'appareil), à l'entretien préventif ainsi qu'à son utilisation. Comme le suggèrent les résultats des études effectuées dans les bâtiments publics et les

édifices à bureaux, chacun de ces aspects, lorsque effectué de façon inappropriée, peut avoir des conséquences négatives sur le rendement attendu. Bien qu'ils portent principalement sur le syndrome de l'édifice hermétique, les résultats des études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux militent en faveur du maintien de la ventilation naturelle ainsi que, dans le cas où la ventilation mécanique est présente, d'un taux de ventilation optimal et d'un entretien adéquat du système. Ainsi, sur la base de notre réflexion, il appert que l'adoption de mesures assurant une efficacité optimale pourrait avoir pour effet d'augmenter les impacts positifs observés dans les études épidémiologiques. Ceci va dans le sens d'une sensibilisation accrue du milieu de l'habitation (constructeurs, entrepreneurs, fabricants, etc.) ainsi que du public à l'importance des aspects techniques à considérer pour l'obtention d'une qualité d'air intérieur optimale.

CONCLUSION

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature traitant des effets de la ventilation des bâtiments d'habitation sur la santé respiratoire des occupants, dans le but d'émettre des recommandations de santé publique sur la ventilation des nouvelles habitations. Un modèle conceptuel explicatif pour l'identification et l'analyse des études pertinentes a été développé sur la base de l'histoire naturelle des allergies et des symptômes respiratoires. Nous avons examiné les études sur les liens directs de même que celles sur les liens indirects, associées à trois groupes de contaminants de l'air intérieur, soit les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils (COVs). Soixante-quinze (75) études ont rencontré nos critères d'inclusion. Les études ont été classées selon la qualité de la preuve : études d'intervention randomisées, études d'intervention non randomisées, études de cohorte et cas-témoins, études descriptives et opinions d'experts. Les mesures préventives pertinentes ont été classées par catégorie selon le niveau approprié de la recommandation (forte, modérée et faible).

Les études dans les bâtiments d'habitation qui examinent le lien direct avec la ventilation mécanique font ressortir une tendance à une diminution de la fréquence des symptômes respiratoires et d'allergie chez les enfants. En général, les études sur les acariens soutiennent un lien entre la ventilation mécanique et une diminution à l'intérieur de l'humidité, des acariens et des niveaux d'allergène, de même qu'une diminution de la sensibilisation et des symptômes respiratoires chez les individus sensibilisés et les enfants. La plupart des études indirectes ventilation/acariens/asthme proviennent des pays scandinaves. Les études réalisées dans d'autres pays ont montré une diminution de l'humidité à l'intérieur, des niveaux d'acariens et d'allergènes, mais sans diminution de la fréquence des symptômes respiratoires. Compte tenu de l'impact de l'humidité sur la présence des contaminants biologiques de l'air intérieur, le climat pourrait jouer un rôle important. Globalement, la littérature supporte un lien entre l'exposition aux moisissures et aux COVs, et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires chez les enfants. Cependant, l'impact de la ventilation sur les concentrations intérieures de moisissures et de COVs est très peu documenté. L'installation de la ventilation mécanique et l'application d'un taux de ventilation approprié dans les nouveaux bâtiments d'habitation apparaissent comme des mesures préventives à recommander sur la base d'une preuve modérée. La présente revue suggère aussi un lien avec les effets à la santé se situant entre 0,3 et 0,5 changement d'air à l'heure. Cependant, il subsiste des lacunes importantes quant à la connaissance des impacts de la ventilation sur des symptômes d'asthme dans les pays autres que Scandinaves.

RECOMMANDATIONS

La réalisation du présent avis a permis de dégager un certain nombre de constats et de recommandations. Ces dernières, qui ont été formulées à partir de l'analyse des résultats des études épidémiologiques, des aspects d'ordre technique ainsi que du contexte réglementaire actuel, concernent la pertinence de la ventilation mécanique dans l'habitation québécoise, le taux de ventilation minimal requis, les mesures entourant l'installation de ventilation, la sensibilisation du public et l'acquisition de données québécoises.

Ainsi, le groupe de travail recommande,

En ce qui concerne la pertinence de la ventilation mécanique dans l'habitation québécoise :

1. que des mesures appropriées soient prises pour que les nouveaux bâtiments d'habitation construits au Québec, de même que ceux faisant l'objet de rénovations majeures entraînant une étanchéité accrue de l'enveloppe, soient dotés d'un système de ventilation mécanique installé selon les règles de bonne pratique, complémentaire à la ventilation naturelle, capable d'assurer une ventilation suffisante des espaces habitables, en toute période de l'année;
2. que des mesures appropriées soient prises pour que l'installation de ventilation des nouveaux immeubles à logements permette de ventiler chacune des unités d'habitation à un taux similaire à celui prescrit pour les habitations individuelles, et que les mesures nécessaires soient également prises pour s'assurer de l'entretien adéquat de cette installation.

En ce qui concerne le taux de ventilation minimal requis :

3. que la pertinence et la faisabilité de revoir le taux de ventilation minimal actuellement prescrit soient évaluées d'un point de vue de santé publique. À cette fin, une conférence de consensus regroupant des experts d'organismes de recherche et de réglementation pourrait être organisée.

En ce qui concerne les mesures visant l'efficacité de la ventilation :

4. que soit élaboré un guide de bonnes pratiques portant sur les aspects techniques liés à l'efficacité de la ventilation mécanique (conception, sélection, installation, modes d'opération, entretien, etc.);
5. qu'un programme de formation, basé sur le guide de bonnes pratiques, soit offert aux entrepreneurs spécialisés en ventilation ainsi qu'auprès de toute autre clientèle concernée du milieu de la construction-rénovation;
6. qu'une campagne de sensibilisation et d'information soit réalisée auprès du grand public afin de promouvoir l'importance d'une stratégie intégrée d'assainissement de l'air (contrôle des émissions de contaminants à la source, ventilation adéquate des espaces habitables, ressources ou programmes disponibles, entretien et utilisation adéquats du système de ventilation, etc.) pour l'obtention d'une bonne qualité de l'air intérieur.

En ce qui concerne l'acquisition de données québécoises :

7. qu'une enquête scientifique soit réalisée sur un échantillon représentatif d'habitations québécoises afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur ainsi que la santé respiratoire des occupants en lien avec la ventilation des espaces habitables et les paramètres qui en conditionnent l'efficacité;
8. qu'une étude d'expérimentation à deux volets soit réalisée, visant à :
 - i) comparer les impacts de différentes stratégies de ventilation sur la variation des niveaux de certains contaminants de l'air (humidité, acariens, allergènes, etc.) et de la fréquence des symptômes respiratoires chez les occupants;
 - ii) comparer les impacts de différents taux de renouvellement d'air, en particulier ceux variant entre 0,3 et 0,5 rah, sur la variation des niveaux de certains contaminants de l'air (humidité, acariens, allergènes, etc.) et de la fréquence des symptômes respiratoires chez les occupants.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	XVII
LISTE DES FIGURES.....	XVII
LISTE DES ACRONYMES.....	XIX
GLOSSAIRE.....	XXI
INTRODUCTION.....	1
1 LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION : APERÇU DES PRINCIPAUX ASPECTS TECHNIQUES.....	3
1.1 Généralités.....	3
1.2 Pressions d'air.....	6
1.2.1 Les différentes pressions d'air.....	6
1.2.2 Facteurs influençant la pression d'air.....	6
1.3 Ventilation naturelle.....	9
1.4 Ventilation mécanique.....	11
1.4.1 Les principes de ventilation mécanique existants.....	12
1.4.2 Aperçu des facteurs conditionnant l'efficacité de la ventilation.....	21
1.5 Points saillants.....	23
2 RÉGLEMENTATION APPLICABLE À LA VENTILATION DES HABITATIONS.....	27
2.1 Aperçu des taux de ventilation requis à travers le monde.....	27
2.1.1 Portrait général.....	27
2.1.2 Les normes de l'American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers (ASHRAE).....	27
2.2 Cadre réglementaire actuel en ventilation des habitations au Canada et au Québec.....	31
2.2.1 Code national du bâtiment : principales exigences en ventilation.....	31
2.2.2 Principaux éléments structurant la réglementation actuelle en lien avec la ventilation au Québec.....	34
2.3 Points saillants.....	38
3 LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION ET LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS.....	41
3.1 Introduction.....	41
3.2 Méthodologie.....	42
3.2.1 Le modèle « Ventilation → Contaminants → Santé respiratoire ».....	42
3.2.2 La sélection et la révision des études.....	48
3.3 Le bilan des études.....	50
3.3.1 Lien direct ventilation-santé respiratoire.....	50
3.3.2 Lien indirect.....	52

3.3.3	Aperçu des données issues des études réalisées dans les édifices publics	57
3.4	Mesures préventives à recommander selon le degré de preuve.....	57
3.5	Points saillants.....	65
4	DISCUSSION	69
4.1	Qualité des études.....	69
4.1.1	Études sur le lien direct	69
4.1.2	Études sur les liens indirects	70
4.1.3	Avis de groupes internationaux.....	73
4.1.4	Synthèse	74
4.2	Applicabilité des résultats au Québec.....	75
4.2.1	Synthèse	76
4.3	taux de ventilation minimal	76
4.3.1	Tendances récentes.....	76
4.3.2	Taux suggéré par les études.....	77
4.3.3	Avis d'experts	78
4.3.4	Synthèse	78
4.4	Facteurs susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation.....	79
4.4.1	Synthèse	82
	CONCLUSION	85
	RECOMMANDATIONS	87
	RÉFÉRENCES.....	91
	ANNEXE 1 – ÉTENDUE DES DIAMÈTRES DES PARTICULES AÉROPORTÉES COMMUNÉMENT RENCONTRÉES DANS L'AIR INTÉRIEUR.....	107
	ANNEXE 2 – UNITÉS LES PLUS FRÉQUEMMENT UTILISÉES EN VENTILATION	111
	ANNEXE 3 – RÉSUMÉS DES ÉTUDES SUR LE LIEN DIRECT ET LES LIENS INDIRECTS ENTRE LA VENTILATION ET LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS	115
	ANNEXE 4 – RÉSUMÉS DES ÉTUDES DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS ET LES ÉDIFICES À BUREAUX.....	181

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Influence de certains facteurs sur la tendance des occupants à ouvrir les fenêtres	11
Tableau 2	Effets des principaux systèmes de ventilation mécanique sur les contaminants de l'air.....	20
Tableau 3	Taux de ventilation minimum requis pour les nouvelles habitations selon la norme ASHRAE 62-1999 (maisons de type unifamilial et immeubles à logements)	29
Tableau 4	Taux de ventilation requis selon la norme 62.2	31
Tableau 5	Capacité de ventilation nécessaire par type de pièce (CNB 1995)	33
Tableau 6	Aperçu du contenu des articles de la section 9.32 du Code national du bâtiment	34
Tableau 7	Contenu des codes et dates de mise en vigueur	35
Tableau 8a	Bilan des études portant sur le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire selon la région et le type de bâtiment	51
Tableau 8b	Bilan des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire selon le type de contaminant.....	55
Tableau 9a	Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation	59
Tableau 9b	Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur le taux de ventilation minimal	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Stratégie par étapes pour éliminer ou pour réduire de façon significative la présence de contaminants dans l'air intérieur	4
Figure 2	Caractéristiques de la ventilation par dilution.....	5
Figure 3	« Effet de tirage » créé par la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur	7
Figure 4	Effet du vent sur l'infiltration et l'exfiltration de l'air.....	8
Figure 5	« Effet de tirage » créé par la présence d'une cheminée.....	8
Figure 6	Ventilation à simple extraction	14
Figure 7	Ventilation à simple alimentation	15
Figure 8	Ventilation équilibrée	16
Figure 9	Ventilation équilibrée à récupération de chaleur	17
Figure 10	Ventilateur statique	19
Figure 11	Modèle explicatif de l'association entre la ventilation des bâtiments d'habitation et les problèmes de santé respiratoire	44

LISTE DES ACRONYMES

AIVC :	Air Infiltration and Ventilation Centre
ASHRAE :	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CNB :	Code national du bâtiment
COV :	Composés organiques volatils
CVCA :	Système de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air ; correspond à l'appellation anglaise « <i>Heating, Ventilating, Air-Conditioning system</i> » (HVAC)
HEVC :	<i>High-Efficiency Vacuum Cleaner</i> (traduction libre: Aspirateur doté d'un filtre à haute efficacité)
IOM :	<i>Institute of Medicine</i>
kPa :	Kilopascal
MERV :	<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>
OR :	<i>Odd ratio</i> (en français : rapport de cotes)
Pa :	Pascal
QAI :	Qualité de l'air intérieur
rah :	Renouvellement d'air à l'heure (équivalent de « cah » qui signifie « changement d'air à l'heure »)
RR :	Risque relatif
SEH :	Syndrome de l'édifice hermétique
VEMS :	Volume expiratoire maximum par seconde
VRC :	Ventilateur à récupération de chaleur ou ventilateur récupérateur de chaleur; correspond à l'appellation anglaise « <i>Mechanical Ventilation with Heat Recovery</i> »
VRE :	Ventilateur récupérateur d'énergie

GLOSSAIRE

Bâtiment ¹ (<i>building</i>) :	Toute construction utilisée ou destinée à être utilisée pour abriter ou recevoir des personnes, des animaux ou des choses et munie ou destinée à être munie d'un système de chauffage ou de refroidissement, à l'exception d'un bâtiment agricole destiné à loger des animaux ou des choses.
Cas-témoins ² (étude) :	Étude épidémiologique d'observation de personnes atteintes de la maladie faisant l'objet de l'étude (ou chez qui l'on observe une autre variable résultante mesurable) et un groupe témoin (de comparaison, de référence) approprié de personnes qui ne présentent pas cette maladie ou cette variable résultante.
Cohorte ² (étude de) :	Méthode analytique utilisée en épidémiologie et permettant de choisir des sous-ensembles d'une population définie qui sont, ont été, ou seront dans l'avenir exposés ou non, ou exposés à divers degrés, à un ou plusieurs facteurs supposés influencer sur la probabilité de survenue d'une maladie donnée ou d'un autre résultat.
Crossover design ² (schéma d'expériences croisées) :	Méthode consistant à comparer deux ou plusieurs traitements ou interventions dans laquelle, après avoir terminé un traitement, les sujets ou les patients en reçoivent un autre.
Étude d'intervention ² :	Se dit d'une étude qui consiste à modifier volontairement certains aspects de la situation des sujets à l'étude, par exemple l'introduction d'un régime préventif ou thérapeutique, ou qui est conçue pour vérifier une relation hypothétique.
Étude d'observation ² (syn. étude non expérimentale) :	Étude épidémiologique dans laquelle il n'y a aucune intervention, expérimentale ou autre. Il peut s'agir, par exemple, d'une étude dans laquelle on laisse la nature suivre son cours et où l'on examine les changements de la caractéristique étudiée par rapport aux changements d'autres caractéristiques.
Exfiltration ³ :	Fuite d'air vers l'extérieur, à travers des fissures et des interstices, ou à travers les plafonds, les planchers et les murs d'un local ou d'un bâtiment.
Habitation ¹ (<i>residential occupancy</i>) :	Bâtiment, ou partie de bâtiment, où des personnes peuvent dormir, sans y être hébergées ou internées en vue de recevoir des soins médicaux et sans y être détenues.

¹ tiré du Code national du bâtiment (CNRC, 1995)

² tiré de Last (2004)

³ tiré de ASHRAE (1999)

Immeuble à logements :	Pour les fins du présent document, l'immeuble à logements est un bâtiment d'habitation regroupant plus d'une unité de logement.
Infiltration³ :	Entrée d'air par les fissures et les interstices ou à travers les plafonds, les planchers et les murs d'un local ou d'un bâtiment.
Logement¹ (<i>dwelling unit</i>) :	Suite* servant ou destinée à servir de domicile à une ou plusieurs personnes et qui comporte généralement des installations sanitaires et des installations pour préparer et consommer des repas et pour dormir. <i>Suite¹</i> : local constitué d'une seule pièce ou d'un groupe de pièces complémentaires et occupé par un seul locataire ou propriétaire.
Prick test :	Test consistant à piquer la peau à travers une goutte de ou des produits à tester déposés sur la peau, dans le but de déterminer la cause d'une réaction allergique.
Randomisé² (essai comparatif randomisé) :	Expérience épidémiologique dans laquelle les sujets faisant partie d'une population sont répartis de façon aléatoire dans des groupes, appelés groupe expérimental et groupe témoin, qui feront ou non l'objet d'un acte, d'une manœuvre ou d'une intervention.
Sibilance (<i>wheezing</i>) :	La sibilance est un sifflement respiratoire. Il est le signe d'une gêne respiratoire qui peut être due à un corps étranger ou à une maladie comme l'asthme.
Syndrome de l'édifice hermétique⁴ (<i>sick building syndrome</i>) :	Ensemble de symptômes non spécifiques (sécheresse de la peau, de la gorge et des yeux, congestion nasale, céphalée et léthargie) observés chez un pourcentage relativement élevé de travailleurs dans des milieux non industriels et des bâtiments publics. Ces symptômes diminuent quelques heures après avoir quitté le milieu de travail et ne sont reliés à aucune cause connue.
Ventilation³ :	Processus d'admission et d'évacuation d'air par des moyens mécaniques ou naturels.
Ventilation mécanique :	La ventilation mécanique désigne tout dispositif comportant au moins un équipement motorisé d'évacuation et/ou d'alimentation forcée d'air.

² tiré de Last (2004)

³ tiré de ASHRAE (1999)

⁴ tiré de Burge (2004)

Ventilation naturelle³ : Entrée d'air extérieur à travers des ouvertures spécialement aménagées, comme des fenêtres et des portes, ou à travers des ventilateurs passifs, ou par infiltration.

³ tiré de ASHRAE (1999)

INTRODUCTION

L'environnement intérieur d'un bâtiment d'habitation peut théoriquement contenir divers types de contaminants auxquels les occupants sont susceptibles d'être exposés. De nombreuses études ont établi des liens entre la présence de contaminants intérieurs et certains problèmes de santé. Il existe différentes mesures pour réduire la présence de contaminants dans l'air intérieur, le contrôle à la source¹ étant sans aucun doute celle à envisager en premier lieu. Cependant, cette approche ne peut suffire à elle seule à diminuer l'ensemble des contaminants présents, de sorte qu'il devient nécessaire de se tourner vers des alternatives complémentaires, telle que la ventilation des espaces habitables.

Par le passé, on se fiait aux infiltrations d'air à travers l'enveloppe du bâtiment et à l'ouverture des portes et des fenêtres pour assurer un échange d'air. Lorsque, au début des années 1970, les économies d'énergie sont devenues un sujet de préoccupation, les fuites d'air provenant de l'enveloppe ont été identifiées comme source importante de pertes de chaleur, ce qui a mené à la mise au point de mesures d'étanchéité à l'air et de méthodes de construction adaptées. L'utilisation du chauffage électrique a été encouragée, ce qui a contribué à réduire les entrées d'air et par conséquent, les taux de renouvellement d'air, compte tenu notamment de la disparition graduelle des cheminées qui assuraient une certaine circulation de l'air. De plus, l'étanchéité accrue de l'enveloppe s'est avérée agir comme une barrière en limitant l'introduction de polluants provenant de l'extérieur mais également, en emprisonnant les contaminants déjà présents à l'intérieur. En raison de cette tendance, on a commencé à craindre que les échanges d'air dans les habitations ne soient pas suffisants, dans certains cas, pour préserver la qualité de l'air, augmentant ainsi le risque de problèmes de santé chez les occupants. La ventilation mécanique s'est alors présentée comme une mesure à envisager pour obtenir des débits de ventilation suffisants en tout moment de l'année. La ventilation mécanique a également attiré l'attention par les possibilités qu'elle présentait à récupérer la chaleur de l'air circulé, de façon à optimiser les économies d'énergie.

Au cours des dernières décennies, on a assisté dans la population des pays industrialisés, à une augmentation de la fréquence des problèmes respiratoires tels que l'asthme, en particulier chez les enfants. Différentes hypothèses ont été avancées pour expliquer cette hausse, dont l'exposition aux contaminants intérieurs. C'est pourquoi, au cours de cette période, de nombreuses études ont été réalisées sur l'association entre la pollution intérieure et les problèmes de santé respiratoire.

Le présent avis scientifique tente donc de faire le point sur l'impact de la ventilation des bâtiments d'habitation, sur l'exposition des occupants aux contaminants de l'air intérieur et sur la prévention des problèmes de santé respiratoire susceptibles d'y être associés. Pour ce faire, il résume d'abord les principaux aspects techniques susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation, puis fait succinctement état du contexte réglementaire actuel. Il revoit ensuite les impacts de la ventilation sur les contaminants potentiellement présents dans l'environnement intérieur et dans la mesure des données disponibles, sur l'exposition et la santé respiratoire des occupants. À l'aide des points saillants qui en ressortent, une mise en relation des divers aspects à considérer est ensuite effectuée, afin de dégager les avenues les plus appropriées en matière de ventilation des habitations au Québec d'un point de vue de santé publique.

¹ Dans ce document, nous entendons par contrôle à la source, une action visant la réduction ou l'élimination des contaminants à la source, telle que l'utilisation réduite de matériaux à faible émission ou le non usage de tabac à l'intérieur, par exemple.

1 LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION : APERÇU DES PRINCIPAUX ASPECTS TECHNIQUES

La ventilation des bâtiments d'habitation fait principalement référence à l'échange d'air s'effectuant entre l'extérieur et l'intérieur, bien qu'elle puisse également référer à la distribution de l'air entre les pièces ou encore, à la circulation de l'air à l'intérieur d'une même pièce. Cependant, seul l'échange d'air entre l'extérieur et l'intérieur permet l'introduction d'air frais à l'intérieur, et par conséquent, la dilution des contaminants présents (White, 2003; Liddament, 2000). La ventilation d'un environnement intérieur peut se faire de façon naturelle ou mécanique. La ventilation naturelle fait généralement référence aux déplacements d'air s'effectuant par l'ouverture des portes et des fenêtres ainsi que par les infiltrations et les exfiltrations. Quant à la ventilation mécanique, la plupart des auteurs font état de trois types de système, soit le système à simple extraction, le système à simple alimentation et le système équilibré, c'est-à-dire celui combinant alimentation et extraction. Cependant, d'autres types de système ou d'installation peuvent s'y ajouter, tels le système sans moteur (passif), le système hybride (passif et mécanique) ou encore le système de ventilation couplé à une installation de chauffage à air pulsé.

Cette section présente d'abord quelques généralités concernant la ventilation, puis discute de l'influence de la variation de la pression d'air à l'intérieur des habitations. Les particularités entourant la ventilation naturelle sont ensuite présentées, suivies d'une description succincte des grands principes de ventilation mécanique. La section est complétée par une brève présentation des principaux facteurs conditionnant l'efficacité de la ventilation mécanique.

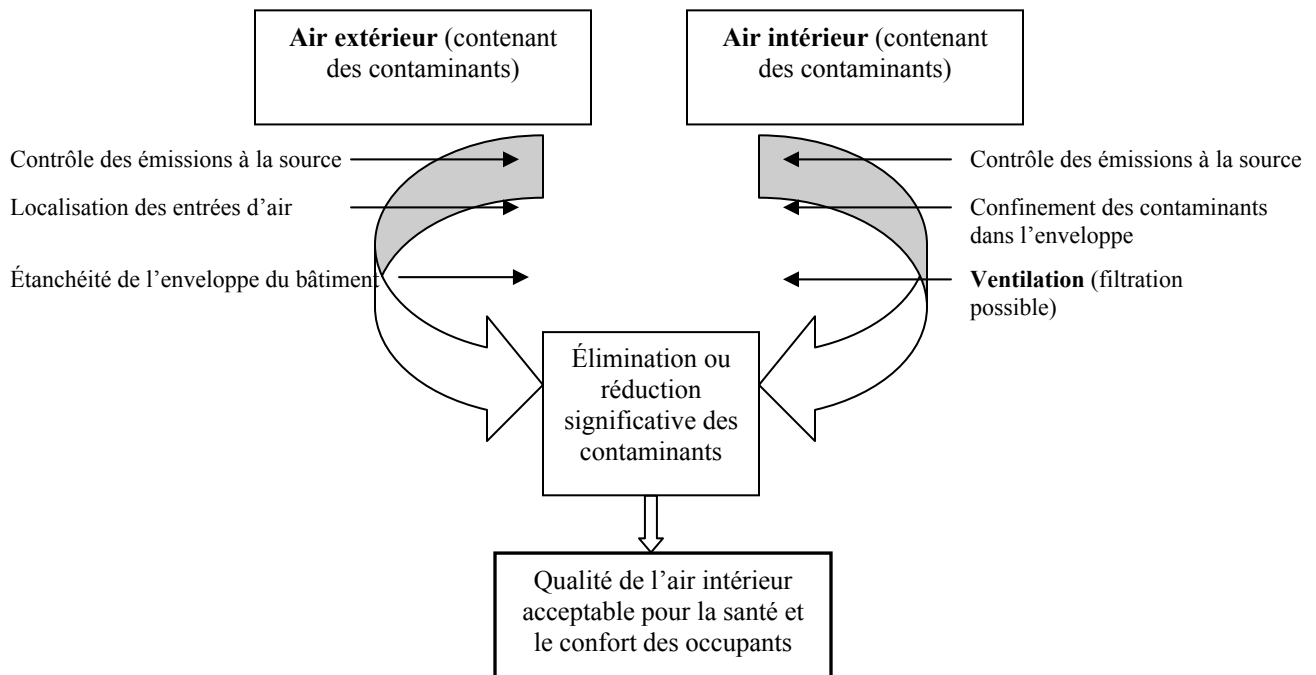
1.1 GÉNÉRALITÉS

La ventilation à l'intérieur d'une habitation s'inscrit dans une série de mesures visant à assurer le confort ainsi qu'une qualité de l'air intérieur convenable aux occupants (Liddament, 2000; ATS Workshop, 1997). Le moyen le plus efficace pour prévenir la présence de contaminants dans l'air intérieur demeure le contrôle des émissions de contaminants à la source (Matson et Sherman, 2004; Concannon, 2002). La réparation des fuites d'eau, le colmatage des fissures, l'emploi de matériaux non toxiques ou à faible émission et l'absence de consommation de tabac à l'intérieur, en constituent quelques exemples. Cette première mesure à adopter comporte toutefois ses limites et ne peut régler à elle seule l'ensemble des problèmes de qualité de l'air potentiellement rencontrés dans l'environnement intérieur. En effet, il arrive que les sources soient difficiles à localiser (ex. infiltrations d'eau derrière un mur) ou à corriger, parce que trop onéreuses, par exemple (ex. isolation insuffisante); dans d'autres cas, elles peuvent avoir été introduites de façon volontaire (ex. installation de tapis ou d'autres matériaux émettant des substances chimiques). Enfin, les occupants et leurs activités sont eux-mêmes une source de pollution intérieure, parfois difficile à contrôler.

De façon préventive ou lorsqu'il n'est pas possible d'éliminer, pour quelque raison que ce soit, les contaminants à la source, il peut être envisagé de réduire l'introduction de contaminants provenant des matériaux dans les zones habitables par le confinement de ces derniers dans l'enveloppe du bâtiment. La mise en place d'un pare-air et d'un pare-vapeur efficace sur toute la périphérie de l'enveloppe ainsi

que le maintien d'une pression positive de l'air intérieur du bâtiment constituent des façons d'y parvenir (Laberge, 2005). Cependant, l'application de cette option dans une habitation existante peut nécessiter un investissement important. De plus, elle peut rarement permettre l'élimination ou la réduction de tous les types de contaminants susceptibles d'être rencontrés dans l'environnement intérieur. Enfin, elle peut entraîner des problèmes de condensation dissimulée, susceptible de favoriser la croissance de moisissures.

La ventilation a, quant à elle, pour objectif de permettre l'introduction d'air frais dans un espace donné afin de diluer ou de déplacer les contaminants présents ou générés par les occupants (VEETECH, 2004; EEREC, 2002; Seppänen *et al.*, 1999). En ce sens, la ventilation peut s'inscrire dans une stratégie globale comme un moyen déterminant pour assurer une qualité de l'air et une zone de confort adéquates pour les occupants (Liddament, 2000; SCHL, 1998; EPA 1995; Reardon *et al.*, 1990). La figure 1 présente une stratégie par étapes identifiant différentes actions possibles visant l'élimination ou la réduction des contaminants présents dans l'air. Bien que ces étapes soient rapportées dans un ordre donné, il peut être envisagé de les entreprendre, selon le cas, de façon indépendante, concomitante ou successive.



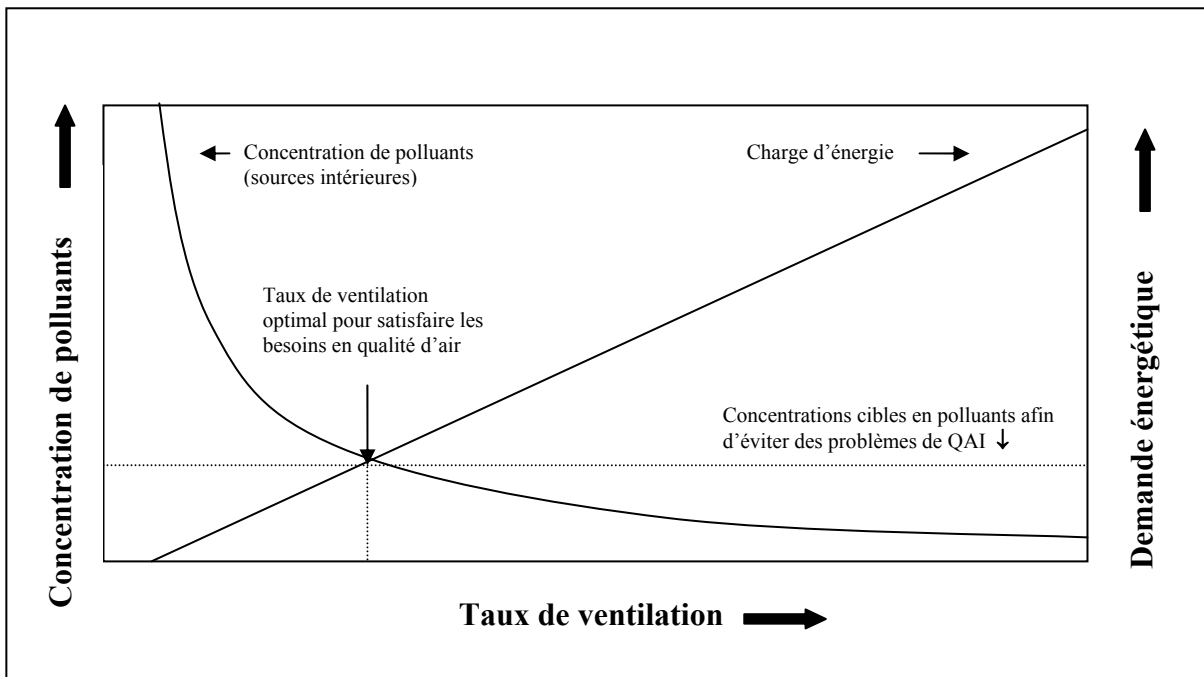
Adaptée de Liddament (2000)

Figure 1 Stratégie par étapes pour éliminer ou pour réduire de façon significative la présence de contaminants dans l'air intérieur

La filtration, qui peut notamment être combinée à la ventilation mécanique, est le procédé par lequel un dispositif débarrasse, à des degrés d'efficacité potentiellement variables, l'air ambiant des particules aéroportées. À l'opposé, l'absence de filtration permet l'admission directe d'air extérieur dans l'habitation, ce qui favorise l'introduction d'une variété de particules respirables dans l'environnement intérieur. Il est à remarquer que certains systèmes de ventilation mécanique (par ex. le ventilateur récupérateur de chaleur) possèdent un ou plusieurs filtres intégrés dont la fonction première est de

protéger le noyau d'échange thermique en empêchant la poussière d'y pénétrer (RNC, 2003c). D'autres filtres peuvent être intégrés au système si l'on désire agir de façon plus spécifique sur les particules de l'air² afin d'améliorer la qualité de l'air entrant à l'intérieur.

Le principe de la **ventilation par dilution** consiste à mélanger l'air neuf provenant de l'extérieur à l'air intérieur vicié, ce qui a pour effet de diluer ou de diminuer la concentration de contaminants à l'intérieur. Ainsi, plus la ventilation augmente, plus la concentration de contaminants diminue, mais plus grande sera la demande énergétique. Théoriquement, il existe donc un taux optimal de ventilation rencontrant les besoins en qualité de l'air intérieur, qui correspond en quelque sorte au point d'intersection entre des concentrations non nocives de contaminants et une charge énergétique jugée acceptable (figure 2).



Adaptée de Liddament (2000)

Figure 2 Caractéristiques de la ventilation par dilution

Dans le cas du principe d'**extraction ou d'évacuation**, il n'y a pas de mélange d'air, l'objectif étant d'éviter le contact des occupants avec un contaminant donné en extrayant à la source les contaminants ou les odeurs générés par un appareil ou les occupants eux-mêmes.

² En ventilation mécanique, on assume que l'air extérieur est de bonne qualité ce qui, dans les faits, ne s'avère pas toujours le cas.

1.2 PRESSIONS D'AIR

La pression d'air dans une habitation, dont l'unité de mesure est le pascal (Pa), est associée aux déplacements d'air survenant à l'intérieur. Aussi, l'utilisation d'un mode ou d'un système de ventilation donné entraînera une pression d'air spécifique à l'intérieur du bâtiment qui pourra également varier selon les conditions présentes. Dans le contexte de la ventilation des bâtiments d'habitation, la pression d'air rencontrée à l'intérieur constitue un facteur important à considérer.

1.2.1 Les différentes pressions d'air

L'évacuation de l'air intérieur (au moyen de ventilateurs d'extraction, par exemple) sans compensation ou introduction d'air simultanée entraîne une situation de *pression négative* (ou de dépressurisation). Une maison est donc dite en pression négative lorsque la pression interne est moins élevée que la pression externe. La différence de pression ainsi engendrée entre l'intérieur et l'extérieur favorise l'infiltration d'air extérieur (MER, s.d.). Une pression négative peut entraîner le refoulement de gaz issus d'appareils fonctionnant aux combustibles fossiles, gaz qui devraient en temps normal être évacués de l'habitation par la cheminée conçue et installée à cet effet. La pression négative peut aussi augmenter le taux d'infiltration de gaz souterrains indésirables, tel le radon, ainsi que l'humidité provenant du sol (RNC, 2003c). Elle peut également favoriser l'introduction à l'intérieur de monoxyde de carbone provenant d'un garage attenant ou souterrain ainsi que de spores et autres particules respirables provenant de l'extérieur.

L'introduction d'air extérieur dans l'habitation au moyen, par exemple, d'une conduite d'air frais reliée au système de chauffage, sans évacuation d'air simultanée, entraînera une situation de *pression positive* (ou de surpression). Cette différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur favorisera l'exfiltration de l'air intérieur (MER, s.d.). Une pression positive peut avoir pour effet de faire pénétrer l'air humide du bâtiment dans les murs et la toiture, où la condensation qui s'y formera pourra causer la détérioration des matériaux de construction (RNC, 2003c); elle peut en revanche empêcher la migration de contaminants vers l'intérieur, notamment ceux issus du dégazage des matériaux.

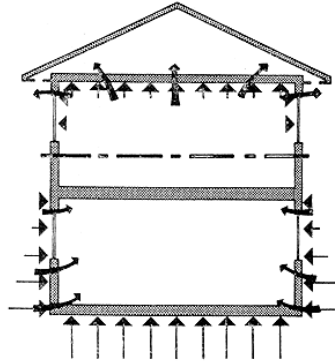
Enfin, l'introduction d'air extérieur compensée par l'évacuation d'une quantité égale d'air intérieur entraînera une situation de *pression équilibrée*. Une telle situation a pour effet de n'accentuer ni les infiltrations, ni les exfiltrations d'air (MER, s.d.).

1.2.2 Facteurs influençant la pression d'air

Les différences de pression dans une habitation peuvent être causées par divers facteurs :

- a) La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, qui cause le phénomène appelé « effet de tirage » (ou encore « effet de cheminée »), est le facteur global le plus important. Ce phénomène se produit à chaque fois que la température extérieure est inférieure à la température intérieure, situation fréquente dans les régions nordiques. D'une part, l'effet de tirage crée, dans la partie supérieure de l'habitation, une pression positive qui pousse l'air intérieur vers l'extérieur

(puisque, l'air chaud, moins dense que l'air froid, a tendance à s'élever vers le haut); d'autre part, elle produit, dans la partie inférieure du bâtiment, une pression négative qui fera entrer de l'air extérieur (figure 3) (MER, s.d.).



Tirée de Handegord (1984)

Figure 3 « Effet de tirage » créé par la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

Par temps froid, en plein cœur de l'hiver, cet effet de tirage peut être important alors qu'il peut être pratiquement nul au printemps ou à l'automne, lorsque la différence de température est faible ou nulle entre l'intérieur et l'extérieur (Haysom et Reardon, 1998a; Consortium Dessau/Siricon, 1996; Handegord, 1984). L'effet de tirage a l'avantage d'engendrer une ventilation naturelle, mais peut également induire des pertes de chaleur considérables (MER, s.d.).

Selon Handegord (1984)³, pour des habitations de grandeur moyenne, les fuites d'air dues à l'effet de tirage varieraient, selon le niveau d'étanchéité de l'enveloppe, d'environ 0,003 à 0,66 renouvellement d'air à l'heure (rah)⁴.

Dans les *immeubles à logements* et particulièrement dans les *tours d'habitation*, il existe un effet de tirage puissant propre aux immeubles en hauteur (SCHL, s.d.). L'importance de ce phénomène est étroitement liée à l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment et des plafonds entre les différents logements. Ainsi, lorsque les plafonds sont peu étanches, l'air chaud vicié peut s'y infiltrer plus facilement et ainsi s'élever d'étage en étage, ce qui a pour effet d'entraîner une contamination plus importante dans les logements situés aux étages supérieurs. De plus, dans ce type d'immeuble, les logements des étages inférieurs peuvent être sur-ventilés tandis que ceux des étages supérieurs peuvent à l'inverse, être sous-ventilés⁵.

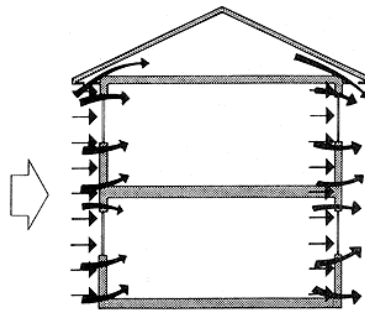
³ À noter que nous n'avons répertorié aucune référence plus récente rapportant ce type d'information.

⁴ Équivalent de « cah » signifiant « changement d'air à l'heure ».

⁵ Mario Canuel, comm. pers., février 2005.

- b) Le vent crée une pression positive à l'extérieur du bâtiment du côté exposé au vent, forçant l'air à s'infiltrer, et une pression négative du côté opposé au vent et au-dessus du toit, expulsant l'air à l'extérieur. En d'autres termes, à une quantité d'air qui entre par infiltration, correspond une même quantité d'air qui sort de la maison par exfiltration, au travers de la façade opposée et/ou du toit (figure 4). L'importance des infiltrations est conditionnée par la vitesse du vent et l'étanchéité de l'enveloppe (Consortium Dessau/Siricon, 1996). On comprend ainsi pourquoi la vitesse variable du vent a pour effet de rendre la ventilation naturelle si aléatoire (MER, s.d.; Consortium Dessau/Siricon, 1996).

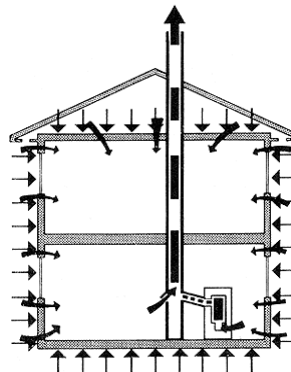
Selon Handegord (1984), le débit d'air causé par ce phénomène varierait, selon le niveau d'étanchéité de l'enveloppe, d'environ 0,01 à 1 rah.



Tirée de Handegord (1984)

Figure 4 Effet du vent sur l'infiltration et l'exfiltration de l'air

- c) Dans les habitations pourvues d'un système de chauffage à combustible, l'effet de tirage créé dans la cheminée, lorsque l'appareil est en marche et après un certain temps d'utilisation, est bien supérieur à celui créé par la maison, étant donné la température beaucoup plus élevée à l'intérieur de la cheminée (Handegord, 1984). Cette dernière aspire l'air et les gaz de combustion, ce qui produit une pression négative à l'intérieur du bâtiment (figure 5).



Tirée de Handegord (1984)

Figure 5 « Effet de tirage » créé par la présence d'une cheminée

Selon Handegord (1984), dans le cas d'une habitation de grandeur moyenne, les fuites d'air dues aux cheminées représenteraient environ 0,03 rah pour un poêle à combustion lente et 1,3 rah pour un foyer. Il devient donc important d'introduire suffisamment d'air frais pour assurer les besoins de la combustion et les besoins d'air dans les autres pièces (Concannon, 2002).

L'introduction d'air frais devrait idéalement se faire au moyen d'un ventilateur intégré à même l'appareil, lorsque ce dernier est à combustion scellée, ou être réalisé au moyen d'un dispositif de compensation assurant l'admission d'un volume d'air neuf, dans le cas d'un appareil qui n'est pas à combustion scellée (AEEQ, 2003). Comme une chambre à combustion scellée isole les gaz de combustion de l'environnement intérieur, ce type de dispositif réduit sensiblement le risque de refoulement dans le cas où la pression à l'intérieur du bâtiment s'avèrerait négative (SCHL, 2000a).

- d) Les appareils qui évacuent de l'air, tels que les ventilateurs extracteurs (hotte de cuisine ou ventilateur de salle de bain), les sècheuses à linge et les aspirateurs centraux dotés d'une sortie d'air extérieure, créent une dépressurisation et des conditions d'infiltration similaires à celles produites par une cheminée en service. En effet, ces appareils, qui évacuent l'air du bâtiment sans en faire entrer de façon simultanée, font diminuer la pression, créant ainsi des conditions propices aux infiltrations et aux refoulements de gaz de combustion (Concannon, 2002; MER, s.d.).

L'ensemble de ces facteurs peuvent se combiner et créer à l'intérieur du bâtiment des conditions de fuites d'air qui sont en perpétuel changement. En général toutefois, on constate que l'air s'infiltré par le bas de la maison et fuit par la partie supérieure. Quelque part entre les deux, il existe un endroit où il se produit très peu de fuites d'air ou d'infiltrations, appelé « plan de pression neutre »⁶ (RNC, s.d.).

1.3 VENTILATION NATURELLE

La ventilation naturelle se fait principalement par l'ouverture des portes et des fenêtres ainsi que, lorsque cela s'applique, par le volet de la cheminée ou les prises d'air volontairement aménagées au travers de l'enveloppe pour introduire de l'air de compensation. Elle correspond également aux échanges d'air se produisant par les fissures et les petits orifices de l'enveloppe du bâtiment, ainsi qu'au pourtour des portes et des fenêtres insuffisamment scellées. Ce phénomène fait intervenir les notions d'*infiltration* (passage de l'air de l'extérieur vers l'intérieur) et d'*exfiltration* d'air (passage de l'air de l'intérieur vers l'extérieur)⁷. Dans une habitation, ces deux mouvements d'air sont le plus souvent provoqués par l'effet de tirage et le vent. Le taux de ventilation naturelle est généralement élevé lorsqu'il fait froid (une différence marquée entre les températures intérieure et extérieure favorisant une plus grande circulation d'air) et qu'il vente beaucoup (voir section précédente) (White, 2003). La ventilation naturelle peut être considérée comme une forme de ventilation passive.

⁶ La notion de plan de pression neutre (ou PPN) aide à comprendre l'effet de l'installation de ventilation sur la répartition de la pression de l'air. Dans un bâtiment sans sortie d'évacuation, ni cheminée, ni installation de ventilation mécanique, le PPN se situe généralement à peu près à mi-hauteur. C'est en quelque sorte la ligne de démarcation entre la partie de l'enveloppe du bâtiment où il y a infiltration d'air et celle où il y a exfiltration d'air. Son emplacement exact dépend de la répartition des fuites d'air dans l'enveloppe du bâtiment (Reardon *et al.*, 1990).

⁷ Une maison sujette à très peu d'infiltrations et d'exfiltrations est dite étanche à l'air.

Particularités de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle est un mode de ventilation simple et qui ne nécessite pas d'installation d'équipement mécanique coûteux. Elle est d'ailleurs encore fréquemment utilisée seule ou en combinaison avec la ventilation mécanique d'extraction, par exemple. La possibilité de recourir à l'ouverture des fenêtres en tout temps permet également à l'occupant de pourvoir rapidement au besoin d'un apport d'air supplémentaire, situation susceptible de survenir lors de travaux nécessitant l'utilisation de produits toxiques volatils, par exemple. D'ailleurs, selon Russell *et al* (2005), les occupants se sentent visiblement plus confortables lorsqu'ils ont le contrôle sur l'ouverture des fenêtres, qui représente pour eux une méthode familière de ventilation.

La ventilation naturelle reste toutefois très aléatoire et difficile à contrôler puisqu'elle est conditionnée par divers facteurs, tels l'étanchéité de l'enveloppe, la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, la vitesse du vent, etc. (SCHL, 2004a; Concannon, 2002; Consortium Dessau/Siricon, 1996). La ventilation naturelle peut, en effet, être très limitée ou insuffisante en l'absence de ces conditions climatiques (d'où un risque d'excès d'humidité) mais pourra aussi devenir excessive durant les périodes les plus critiques de l'utilisation d'un bâtiment, soit en période très froide de l'hiver (d'où un risque d'assèchement excessif de l'air intérieur) (Nguyen, 2003; Consortium Dessau/Siricon, 1996; Turner *et al*, 1995; Stricker Associates Inc., 1994). Les habitations présentant un taux d'infiltration naturelle élevé sont aussi sujettes à des dépenses énergétiques importantes (EEREC, 2002), pouvant même représenter plus de 50 % de la perte thermique d'une habitation unifamiliale de taille moyenne (Consortium Dessau/Siricon, 1996).

Selon Mckone et Sherman (2003), les occupants ont tendance à ouvrir les fenêtres surtout lorsqu'ils perçoivent un problème de qualité d'air intérieur ou de confort. Toutefois, si une odeur désagréable est souvent signe d'un problème de qualité d'air, l'absence d'odeur ne garantit pas nécessairement que l'air est exempt de contaminants (présence d'un gaz inodore, par exemple). Par ailleurs, plusieurs autres facteurs peuvent intervenir dans le choix des occupants à opter ou non pour l'ouverture des fenêtres (Consortium Dessau/Siricon, 1996) dont : la sensation d'inconfort (fluctuation de la température, du taux d'humidité, de courants d'air), la présence de condensation, les mauvaises odeurs, l'introduction de polluants provenant de l'extérieur (ex. pollen, poussières, etc.), le bruit, les insectes, la sécurité, l'économie d'énergie, l'accessibilité ou la difficulté à les manœuvrer, etc. Le tableau 1 présente un certain nombre de tendances liées à l'ouverture des fenêtres.

Tableau 1 Influence de certains facteurs sur la tendance des occupants à ouvrir les fenêtres

FACTEUR	TENDANCE
Densité d'occupation	L'ouverture des fenêtres augmente avec le nombre d'occupants.
Âge des occupants	Le nombre de fenêtres ouvertes et la ventilation en général diminuent avec l'augmentation de l'âge des occupants.
Température extérieure	En hiver, l'ouverture des fenêtres décroît avec la diminution de la température extérieure.
Ensoleillement	Il y a généralement plus de fenêtres ouvertes du côté de l'ensoleillement.
Vitesse des vents	L'ouverture des fenêtres diminue avec l'augmentation de la vitesse des vents.
Période de la semaine	Les fenêtres sont plus fréquemment ouvertes la fin de semaine comparativement au reste de la semaine.
Présence de thermostats	L'augmentation de thermostats pour le chauffage dans une habitation entraîne une diminution de l'ouverture des fenêtres.
Activités résidentielles	L'ouverture des fenêtres est conditionnée par les particularités ou les activités intérieures comme la cuisson, les odeurs, l'humidité, etc.
Tabagisme	Les fenêtres sont ouvertes deux fois plus souvent dans les maisons de fumeurs que dans celles des non fumeurs.
Condensation	L'ouverture des fenêtres augmente en présence de condensation sur les murs et les fenêtres.
Chaleur et odeurs	La chaleur et les odeurs véhiculées par l'effet de cheminée contribuent à l'augmentation de l'ouverture des fenêtres par les occupants des logements situés aux étages supérieurs des bâtiments en hauteur.
Polluants extérieurs	La présence de poussières, de pollens et de bruit urbain entraînent une diminution de l'ouverture des fenêtres.

Adapté de Concannon (2002); Mario Canuel, communication personnelle, mars 2005.

1.4 VENTILATION MÉCANIQUE

Autrefois, les infiltrations naturelles d'air dans le bâtiment étaient à ce point importantes qu'elles permettaient l'introduction d'air frais à l'intérieur en quantité parfois suffisante. Or, une étude réalisée en 1989 sur 200 maisons démontrait déjà qu'une majorité d'habitations construites au Canada selon les techniques courantes étaient trop étanches pour qu'on puisse compter sur les infiltrations d'air à travers l'enveloppe afin d'assurer un taux de renouvellement d'air suffisant, particulièrement en période de chauffe (Haysom et Reardon, 1998a). Par ailleurs, bien qu'elle représente une barrière pour les polluants extérieurs (Liddament, 2000), l'étanchéité accrue des nouveaux bâtiments augmente aussi le confinement des contaminants à l'intérieur (EPA, s.d.; Haysom et Reardon, 1998a; Reardon *et al.*, 1990). Dans ce contexte, la ventilation mécanique représente une méthode à envisager pour assurer les débits de ventilation recherchés à tout moment de l'année. L'étanchéité et l'isolation accrues des habitations ont donc contribué au développement de la ventilation mécanique en milieu résidentiel (EPA, s.d.; MER, s.d.), celle-ci s'avérant être un moyen de contrôler les échanges d'air et, ce faisant, d'améliorer la qualité de l'air et le confort dans les bâtiments sans sacrifier les avantages que procure une enveloppe plus étanche (Reardon *et al.*, 1990).

La ventilation mécanique désigne tout dispositif comportant au moins un équipement motorisé d'évacuation et/ou d'alimentation forcée d'air. Elle a pour rôle de faciliter l'aération des pièces en évacuant l'air vicié et/ou en le renouvelant par de l'air frais provenant de l'extérieur. La ventilation mécanique peut se faire de façon locale (captage à la source), c'est-à-dire en évacuant les polluants lorsqu'ils sont émis et avant qu'ils ne se répandent à l'intérieur, ou de façon plus centrale, afin de diluer les polluants de sources diverses dans l'habitation ou de les déplacer d'un endroit à un autre (EPA, 1995). Enfin, la ventilation mécanique peut se faire de façon continue (échange d'air en continu) et par intermittence (soit par fonctionnement et arrêt de l'appareil à intervalles donnés ou sur une période de temps définie).

La ventilation mécanique est davantage utilisée dans les pays au climat froid (voir section 2.1). Globalement, dans l'habitation unifamiliale existante, la ventilation est encore bien souvent assurée par des ventilateurs d'extraction et par l'ouverture des fenêtres tandis que la tendance est de plus en plus à la ventilation mécanique équilibrée dans les habitations nouvellement construites. Selon Russell *et al* (2005), les stratégies qui incluent la ventilation mécanique permettent d'obtenir un débit de ventilation plus uniforme que celui obtenu uniquement par ventilation naturelle.

1.4.1 Les principes de ventilation mécanique existants

En théorie, les principes de ventilation mécanique existants pourraient s'appliquer tout autant aux habitations unifamiliales qu'aux immeubles à logements⁸. Dans la pratique toutefois, la plupart des immeubles à logements ne disposent pas d'installation de ventilation mécanique destinée à fournir de l'air frais dans chacun des logements. En général, ce sont des systèmes d'alimentation en air des corridors qui sont installés, ceux-ci visant d'abord à réduire le plus possible la migration des odeurs d'un appartement à un autre et à fournir de l'air de compensation, destiné à remplacer l'air extrait par les ventilateurs de salle de bain et de cuisine (SCHL, s.d.).

C'est pourquoi, la présente section décrit les principes de ventilation en considérant d'abord leur application aux petits bâtiments, et plus précisément à l'habitation de type unifamilial. Cependant, aux endroits où il s'avérait possible et approprié de le faire, une description des particularités applicables aux immeubles à logements est apportée.

Les systèmes ou principes de ventilation mécanique disponibles pour les bâtiments d'habitation sont généralement classés en trois grandes catégories (Keefe et Cawley, 1999; Reardon *et al*; 1990; Shaw, 1987), soit :

- a) **Le système (ou installation) à simple extraction** : un ou plusieurs ventilateurs expulsent l'air, l'admission d'air de compensation étant assuré par les infiltrations;
- b) **Le système (ou installation) à simple alimentation** (ou système à simple admission) : un ou plusieurs ventilateurs introduisent l'air neuf à l'intérieur du bâtiment, l'extraction d'air se faisant par les orifices de l'enveloppe du bâtiment;

⁸ En 2001, au Québec, les maisons individuelles représenteraient près de la moitié du parc immobilier (46 %), les logements collectifs dans les petits immeubles venant au second rang (SCHL, 2004c).

- c) **Le système combinant alimentation et extraction** (ou **système équilibré** ou installation équilibrée) : un ventilateur expulse l'air vicié et un autre ou le même ventilateur assure l'alimentation en air neuf;

... auxquels on peut ajouter :

- d) **Le système sans moteur (ou passif)** : un ventilateur disposé sur le toit fonctionne grâce à l'effet du vent ainsi qu'à l'effet de cheminée. Aujourd'hui, ce système n'est cependant utilisé que pour la ventilation du vide sous toit (entretoit ou comble), n'assurant donc pas la ventilation des espaces habitables;

... et, plus récemment :

- e) **Le système hybride** : technologie en développement, ce principe comprend deux systèmes de ventilation autonomes, qui permettent de combiner les forces motrices naturelles et mécaniques.

1.4.1.1 Le système à simple extraction

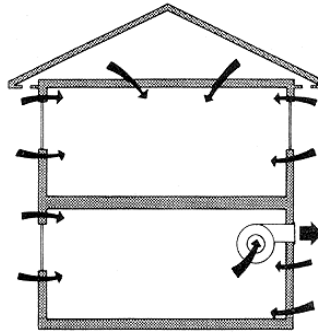
Extraction à la source

Le système d'extraction à la source (ou de captage à la source) demeure un principe de ventilation très utilisé dans les maisons au Canada (SCHL, 2001a; Reardon *et al*, 1990). Le ventilateur extracteur (ou ventilateur d'extraction) est utilisé dans la cuisine et la salle de bain afin d'expulser rapidement l'humidité, les substances volatiles et les particules qui y sont générées (EPA, s.d.; Concannon, 2002; SCHL, 2001b). Pour une efficacité maximale, le ventilateur doit être installé le plus près possible de la source d'émission (SCHL, 2001a). Il s'agit donc ici d'une méthode essentiellement basée sur le captage à la source (aspiration locale) suivi de l'évacuation vers l'extérieur (Handegord, 1984).

Ce système a tendance à créer une dépressurisation (pression négative) à l'intérieur et à relever le plan de pression neutre puisqu'il évacue de l'air du bâtiment sans en faire entrer de façon simultanée (l'introduction d'air se faisant essentiellement de façon naturelle) (VEETECH, 2004; Concannon, 2002; Reardon *et al*, 1990; Shaw, 1987). Pour éviter les problèmes potentiellement causés par cette dépressurisation, il faut faire entrer de l'air de compensation, par l'ouverture de fenêtres ou au moyen de prises (trappes) d'air aménagées à cette fin, par exemple (SCHL, 2004b; Gagnon, 2004; Reardon *et al*, 1990). Autrefois, on pouvait se fier à l'infiltration naturelle à travers l'enveloppe du bâtiment pour l'air de compensation. Toutefois, compte tenu de l'amélioration des méthodes de construction et de l'étanchéité accrue de l'enveloppe, la surface d'infiltration a de beaucoup diminué.

Ce type de ventilation est simple, d'installation peu coûteuse et peut facilement être mis en place. En relevant le plan de pression neutre et en diminuant les exfiltrations, il peut réduire les risques de problèmes d'humidité dans les murs et dans le toit (Reardon *et al*, 1990).

Toutefois, l'entrée d'air étant peu ou pas contrôlée, le fonctionnement du ventilateur d'extraction peut favoriser l'admission des gaz en provenance du sol (infiltration de radon par exemple), l'infiltration d'humidité et d'autres agents contaminants provenant de l'extérieur ou de l'enveloppe du bâtiment (figure 6). Par ailleurs, son fonctionnement peut s'avérer très coûteux en période hivernale s'il est effectué de façon continue.



Tirée de Handegord (1984)

Figure 6 Ventilation à simple extraction

Comme ils sont le plus souvent utilisés de façon ponctuelle ou par intermittence, les petits systèmes individuels d'évacuation des hottes de cuisinière ou des salles de bain ne contribuent que partiellement au renouvellement d'air à l'intérieur des bâtiments (Consortium Dessau/Siricon, 1996; SCHL, 1996b; Reardon *et al.*, 1990). Dans l'étude de Stricker Associates Inc. (1994), portant sur des essais de ventilation et de qualité de l'air dans des maisons chauffées à l'électricité, les ventilateurs d'extraction des salles de bain étaient utilisés en moyenne de 0,5 à 1,5 heure par jour. Quant aux hottes de cuisine, elles étaient utilisées en moyenne de 15 à 45 minutes par jour.

Cependant, de par leur fonction d'extraction à la source, ce type de ventilateur constitue un élément important de la ventilation d'une habitation et un complément au système de ventilation central.

Extraction centrale

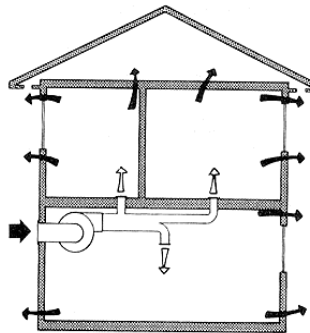
Peu utilisée au Québec dans l'habitation unifamiliale, le système d'extraction central nécessite la mise en place d'un réseau de conduits distinct qui raccorde toutes les bouches d'évacuation à un ventilateur central d'une capacité suffisante pour répondre à tous les besoins de ventilation de l'ensemble du bâtiment (Reardon *et al.*, 1990). Le contrôle de cette installation est automatisé grâce aux commandes centrales et aux indicateurs (humidistat ou détecteur de CO). Autrefois, le système d'extraction central devait être situé loin des aires de repos du bâtiment, ce qui permettait d'éviter les problèmes de bruit fréquemment rapportés par les occupants utilisant ces systèmes. Aujourd'hui, il existe sur le marché des systèmes d'extraction centraux beaucoup plus silencieux. Ce type de ventilation est plus complexe à installer et plus coûteux que les systèmes d'extraction à la source. Tout comme ces derniers, il augmente les risques de refoulement des gaz de combustion et favorise l'infiltration des gaz et de l'humidité se dégageant du sol (Reardon *et al.*, 1990).

Immeuble à logements

Le système central d'extraction d'air semble encore passablement utilisé dans les immeubles à logements. En effet, il était encore rencontré dans près de 50 % d'entre eux au début des années 1990, selon une enquête réalisée par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL, 1991).

1.4.1.2 Le système à simple alimentation

Dans le cas du système à simple alimentation, un ventilateur de soufflage introduit localement de l'air extérieur dans l'habitation, créant une pression positive, ce qui favorise l'exfiltration d'air par les fentes et les ouvertures de l'enveloppe du bâtiment (figure 7) (VEETECH, 2004). Il s'agit donc d'un système de ventilation de mise en surpression, basé sur le principe de dilution (Handegord, 1984).



Tirée de Handegord (1984)

Figure 7 Ventilation à simple alimentation

Ce genre de système peut être utile dans les cas où l'on soupçonne la présence de contaminants dans les murs extérieurs. En effet, le maintien de l'habitation en surpression empêche l'infiltration de contaminants provenant de l'enveloppe dans les espaces habités (Handegord, 1984). Ce système, généralement central, est simple, à faible coût, et favorise une bonne distribution de l'air frais dans tout le bâtiment. De plus, il diminue les risques de refoulement et d'infiltration des gaz se dégageant du sol.

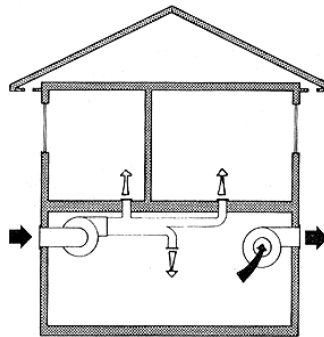
Par contre, il est d'une efficacité très réduite sur le plan énergétique et peut compromettre le confort des occupants en ventilant de façon excessive (courant d'air et réduction excessive du niveau d'humidité) (Reardon *et al*, 1990). De plus, il peut avoir pour effet de forcer l'introduction d'air humide dans les murs extérieurs et ainsi provoquer de la condensation qui, à son tour, pourra entraîner la prolifération de moisissures. Ce genre de situation a pour effet d'accroître la dégradation de l'enveloppe, particulièrement lorsque cette dernière est insuffisamment isolée. Il n'est par conséquent que peu souvent recommandé pour la maison de type unifamilial des régions au climat froid (Shaw, 1987).

Immeubles à logements

Le système central d'air de compensation est encore fréquemment utilisé dans les corridors et espaces communs des immeubles à logements. Une enquête de la SCHL a fait ressortir que 95 % des tours d'habitation étaient munies d'un tel système au début des années 1990 (SCHL, 1991). Le taux de ventilation minimal requis pour un système de ventilation des corridors des immeubles à logement est actuellement de 2 renouvellements d'air à l'heure (ASHRAE, 2003; Tremblay, 2004). Selon la SCHL (2003a), les installations classiques d'alimentation en air des corridors jumelées aux installations d'extraction des cuisines et des salles de bain ne seraient pas en mesure de ventiler adéquatement les logements. Les auteurs recommandent un taux de ventilation de 7,5 l/s par personne dans les immeubles à logements.

1.4.1.3 Le système équilibré

Le principe du système de ventilation équilibré consiste à expulser l'air intérieur vicié vers l'extérieur tout en assurant une alimentation en air neuf de compensation (figure 8) (SCHL, 2004a; Reardon *et al*, 1990). Ce système possède deux ventilateurs : un ventilateur d'extraction qui évacue l'air intérieur (provenant surtout des pièces telles que les salles de bains et les cuisines) vers l'extérieur et un ventilateur d'alimentation qui introduit de l'air frais dans les pièces habitables (salle de séjour, salle à dîner, chambres). À ces ventilateurs s'ajoute évidemment un réseau de conduits de distribution et d'évacuation (Concannon, 2002; Reardon *et al*, 1990; Handegord, 1984).



Tirée de Handegord (1984)

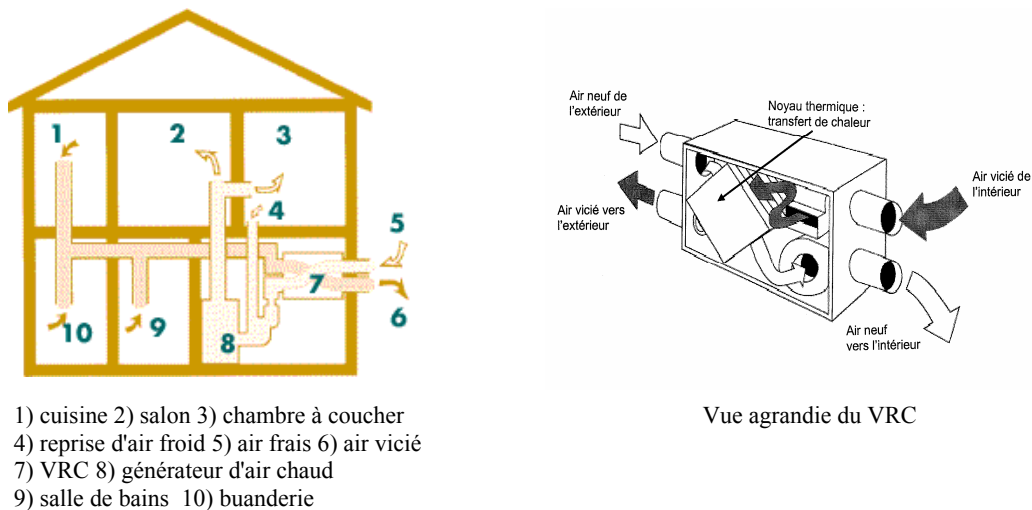
Figure 8 Ventilation équilibrée

L'installation d'un système de ventilation équilibrée est plus coûteuse et compliquée que le système à simple extraction ou à simple alimentation; il nécessite également un entretien périodique (Concannon, 2002). Ce système a toutefois la capacité d'assurer un taux de changement d'air suffisant et de réduire la dépense énergétique lorsqu'une unité récupératrice de chaleur y est intégrée (VEETECH, 2004; Reardon *et al*, 1990). Selon une enquête réalisée en 1997, 19,5 % des maisons québécoises possédaient un échangeur d'air dont 6,7 % étaient dotées d'une unité de récupération de chaleur (RNC, 1997).

Ventilateur à récupération de chaleur (ou ventilateur récupérateur de chaleur)

En plus de permettre une ventilation équilibrée, le ventilateur récupérateur de chaleur ou VRC (figure 9) a pour fonction de récupérer la chaleur de l'air intérieur évacué et de la transférer à l'air froid introduit (Gagnon, 2004; RNC, 2003b; 2003c; Haysom et Reardon, 1998b). En fait, le VRC peut récupérer jusqu'à 70 à 75 % de la chaleur contenue dans l'air vicié pour réchauffer l'air de remplacement (Gagnon, 1994). Il permet également une pré-filtration de l'air d'alimentation (Concannon, 2002).

En théorie, un VRC correctement installé (incluant la mise en place d'un réseau de conduits approprié), utilisé et entretenu, a la capacité d'évacuer les polluants intérieurs de même que le surcroît d'humidité vers l'extérieur tout en distribuant de l'air frais dans toute la maison (RNC, 2003a). Il existe deux façons courantes de distribuer l'air frais dans l'habitation, soit par les conduits spécifiques au système de ventilation (conduits directs), soit par les conduits d'une installation de chauffage à air pulsé (RNC, 2003c). Pour maximiser les résultats recherchés par ce type d'appareil, il est préférable que l'enveloppe du bâtiment soit étanche à l'air (voir section 1.4.2) (Concannon, 2002; CSTB, 1997; Consortium Dessau/Siricon, 1996; Reardon *et al.*, 1990). Le principe de ce système de ventilation autonome est d'équilibrer les débits d'admission et d'évacuation d'air et ce faisant, de n'influencer que très peu la pression d'air existante (Concannon, 2002; SCHL, 2001a; MER, s.d.). Le VRC devrait être ajusté de façon à ventiler l'ensemble de la maison à un taux de ventilation établi en fonction du type et du nombre de pièces, de façon à respecter les exigences du Code national du bâtiment (voir section 2.2.1). Le calibrage adéquat de l'appareil est nécessaire afin d'en tirer un rendement optimal (AEEQ, s.d.a).



Adaptée de RNC (2003c)

Figure 9 Ventilation équilibrée à récupération de chaleur

Pendant la période de chauffe, le VRC récupère la chaleur de l'air évacué et l'utilise pour préchauffer l'air frais provenant de l'extérieur. L'appareil distribue ensuite l'air neuf dans tout le bâtiment. Les deux circuits d'air sont toujours indépendants au sein du VRC, c'est-à-dire que l'air intérieur rejeté n'entre que très peu en contact avec l'air provenant de l'extérieur. La contamination demeure donc

généralement minime. L'air frais provenant de l'extérieur parvient au noyau du VRC, où un ventilateur de circulation distribue l'air à l'intérieur au moyen des conduits. Un ensemble de conduits distincts aspire l'air vicié jusqu'au VRC, où il est soufflé par un ventilateur dans le noyau d'échange thermique (RNC, 2003c; APCHQ, 2002; MER, s.d.).

En dehors de la saison de chauffe, lorsqu'il fait chaud à l'extérieur, le VRC inverse ce processus d'échange thermique, en retirant une partie de la chaleur de l'air qui arrive de l'extérieur pour la transférer à l'air vicié évacué. L'utilisation du VRC durant cette période permet donc de garder l'intérieur plus frais, sans l'inconvénient, par exemple, du bruit susceptible de survenir lorsque les fenêtres sont ouvertes. En récupérant une partie de la chaleur de l'air qui entre, la plupart des VRC réduisent la charge du climatiseur (RNC, 2003c). Toutefois, le VRC ne permettra de maintenir l'intérieur plus frais que si les gains solaires, et incidemment la température intérieure, qui peut s'accroître considérablement lorsque les fenêtres sont gardées fermées durant l'été, ne sont pas trop élevés. Par ailleurs, lors de journées très humides, le système introduira une quantité importante d'humidité à l'intérieur ce qui augmentera la charge du climatiseur. S'il n'y a pas de climatiseur, cette humidité aura tendance à se condenser sur les surfaces froides comme à la base de murs mal isolés, par exemple, devenant ainsi un milieu de croissance potentiel pour les moisissures⁹.

Le VRC peut être couplé à un système de chauffage à air pulsé, qui est de loin le système de chauffage central le plus souvent rencontré dans les maisons canadiennes. Ce système se compose d'un générateur central qui réchauffe l'air et qui le répartit ensuite dans toutes les pièces à l'aide d'un ventilateur. Lorsque le VRC est relié à un système de chauffage à air pulsé, l'apport d'air frais et la distribution sont effectués par le réseau de conduits du système de chauffage. Par contre, l'extraction de l'air vicié ne peut être assurée par le système de chauffage. Le VRC permet l'évacuation de l'air vicié de la cuisine et des salles de bains directement à l'extérieur (APCHQ, 2002).

Ventilateur récupérateur d'énergie (VRE)

Le ventilateur récupérateur d'énergie (VRE) est une variante relativement récente du VRC; il possède la particularité de permettre l'échange de l'humidité aussi bien que de la chaleur par l'intermédiaire d'une roue thermique (Gagnon, 1994), bien qu'il existe également des blocs d'échange munis de minces membranes (imperméables à l'air et perméables à la vapeur d'eau), qui ne nécessitent pas de moteur. Il assure ainsi un meilleur contrôle des taux d'humidité de l'habitation, ce qui peut être un facteur d'importance selon le climat local. Dans les régions où l'hiver est sec, comme au Québec, le VRE peut récupérer une partie de l'humidité qui serait normalement expulsée à l'extérieur par un VRC. De cette façon, il permet de maintenir un taux d'humidité plus confortable à l'intérieur. Pendant la période de climatisation, le VRE peut aider à maintenir l'excès d'humidité à l'extérieur du bâtiment en l'extrayant de l'air frais entrant pour le transférer à l'air évacué. Comme il faut moins d'énergie pour abaisser la température de l'air sec par rapport à l'air humide, le VRE peut diminuer le travail du climatiseur et ainsi contribuer à l'économie d'énergie (RNC, 2003c). Cependant, bien qu'il puisse convenir aux régions froides, ce système a d'abord été conçu pour les climats chauds et humides.

⁹ Benoît Légaré, communication personnelle, août 2005.

1.4.1.4 Le système sans moteur (ou système passif)

La ventilation mécanique sans moteur fonctionne grâce à l'effet du vent et à l'effet de cheminée qui font varier le débit de sortie d'air (figure 10). Il existe deux sortes de ventilateur sans moteur : le ventilateur statique de type « pagode » et le ventilateur rotatif de type « turbine ». Le ventilateur statique est conçu pour créer et accentuer l'effet de cheminée et la diffusion de l'excès d'humidité vers l'extérieur. Le ventilateur rotatif fonctionne selon le même principe; la turbine tourne sur elle-même, créant un phénomène d'aspiration de l'air intérieur (Stricker Associates Inc., 1994). Aujourd'hui, ces deux types de ventilation sans moteur ne sont utilisés que pour ventiler le vide sous toit (entretoit) car, étant principalement dépendants du vent, ils sur-ventilaient ou sous-ventilaient les maisons. Durant l'hiver, ils extrayaient de la maison l'air préalablement chauffé et le remplaçaient par de l'air frais qu'il fallait chauffer à son tour, entraînant ainsi un déficit énergétique important (MER, s.d.).

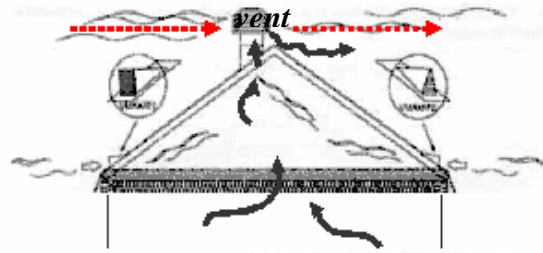


Figure 10 Ventilateur statique

1.4.1.5 Le système hybride (combiné passif et mécanique)

Le système de ventilation hybride comprend deux systèmes de ventilation autonomes. Il peut être décrit comme un système à deux modes qui utilise les différentes caractéristiques des systèmes passifs et mécaniques à différents moments du jour ou de la saison. En règle générale, il profite de la ventilation naturelle lorsqu'elle est disponible et la complète le cas échéant par une ventilation mécanique (CNRC, 2005). Ces systèmes sont basés sur le principe qu'il est inutile de dépenser de l'énergie pour ventiler mécaniquement lorsqu'il est possible de le faire naturellement. La principale différence entre un système de ventilation conventionnel et un système hybride réside dans le fait que ce dernier comprend un système de contrôle « intelligent » qui peut commuter automatiquement entre les modes naturel et mécanique, afin de réduire au minimum la consommation d'énergie (CSTB, s.d.). Le principal désavantage des systèmes hybrides est qu'ils sont particulièrement complexes. Ils nécessitent des coûts supplémentaires en termes de pièces et de personnel formé pour leur installation (Russell *et al*, 2005).

Un résumé des effets des principes de ventilation mécanique sur les contaminants de l'air est présenté au tableau 2.

Tableau 2 Effets des principaux systèmes de ventilation mécanique sur les contaminants de l'air

TYPE D'APPAREIL	CAPTAGE DES CONTAMINANTS À LA SOURCE	CAPTAGE CENTRAL OU DANS CERTAINES PIÈCES	ÉVACUATION DES CONTAMINANTS À L'EXTÉRIEUR	CONFINEMENT DES CONTAMINANTS DANS L'ENVELOPPE	DILUTION DES CONTAMINANTS	INSUFFLATION D'AIR (DANS LES PIÈCES)
Ventilateur extracteur de chambre de bain et de cuisine	√		√		Indirecte par infiltration	
Système simple alimentation				√	√	√ ¹
Système extraction centrale		√	√		Indirecte par infiltration	
Échangeur d'air		√	√		√	√
Ventilateur récupérateur de chaleur (VRC) ^{2,3}	Possible, lorsque les grilles sont localisées près de la source	√	√		√	√
Ventilateur récupérateur d'énergie (VRE) ^{2,3,4}	Possible, lorsque les grilles sont localisées près de la source	√	√		√	√
Système hybride ^{2,3,4}		√	√		√	√

¹ Insufflation d'air généralement centrale.

² À ce système peuvent également être jumelés des modules de filtration et de déshumidification.

³ Ce système permet également la récupération de chaleur.

⁴ Ce système permet également la récupération d'énergie.

1.4.2 Aperçu des facteurs conditionnant l'efficacité de la ventilation

Les besoins en ventilation d'une habitation donnée sont conditionnés par de multiples facteurs qui sont susceptibles de varier d'une maison à l'autre, tels que l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, l'exposition du bâtiment au vent, la fréquence d'utilisation des fenêtres et des portes, la présence d'une cheminée, le nombre d'occupants et leurs habitudes de vie, etc. À ces facteurs peuvent également s'ajouter des problèmes spécifiques, tels que la formation régulière de condensation ou la présence d'un sous-sol humide (Stricker Associates Inc, 1994). Nous présenterons ci-après un aperçu des facteurs qui, selon la littérature consultée, sont les plus susceptibles d'avoir un impact sur l'efficacité de la ventilation. Les principales conditions à respecter pour l'obtention d'une ventilation optimale sont discutées à la section 4.4.

L'**étanchéité** à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment est un élément important à considérer, notamment en ce qui concerne les prescriptions en matière de ventilation mécanique. Le degré d'étanchéité à l'air se mesure à l'aide d'un test d'infiltrométrie, méthode déterminant la quantité d'air s'infiltrant dans un bâtiment lorsque l'enveloppe est soumise à une différence de pression de 50 Pa (qui correspond à la pression de référence) entre l'intérieur et l'extérieur. Celui-ci peut s'effectuer en fermant hermétiquement toutes les ouvertures extérieures et en extrayant l'air de la maison à l'aide d'un ventilateur étalonné qui s'ajuste dans le cadre de la porte extérieure principale. Les données obtenues par l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec dans le cadre de l'application de son programme Novoclimat démontrent que les maisons présentant des taux de renouvellement d'air à l'heure à 50 Pa de 3,67¹⁰ ou moins présentent toutes des rah à pression normale inférieurs aux normes prescrites (voir section 2.1.2) et ce, quel que soit le mois de l'année considéré. Les valeurs les plus basses s'observent en plein été (juin-juillet-août : moyenne : 0,048; étendue : 0,025-0,079 rah), lorsque ce sont les vents qui conditionnent les infiltrations/exfiltrations tandis que les valeurs les plus élevées s'observent en hiver (décembre-janvier-février : moyenne : 0,16 rah; étendue 0,091-0,234), période au cours de laquelle ce sont principalement les écarts de température et donc l'« effet de tirage », combinés à la vitesse des vents, qui conditionnent la ventilation naturelle. Or, en été, les problèmes réels de ventilation des espaces intérieurs sont limités puisqu'il demeure possible d'ouvrir les fenêtres. Par contre, en automne par exemple, la situation devient critique puisque la ventilation par infiltration d'air est insuffisante et que les fenêtres restent presque toujours fermées. Ainsi, le mois d'octobre constitue une période souvent utilisée pour déterminer le taux minimal de ventilation requis et les prescriptions de ventilation mécanique y étant associées. La capacité du système de ventilation est alors évaluée pour obtenir un taux de ventilation d'environ 0,35 rah en considérant autant la ventilation mécanique que la ventilation obtenue par les infiltrations et exfiltrations d'air¹¹. Rappelons qu'un renouvellement d'air insuffisant est susceptible d'entraîner divers problèmes environnementaux (mauvaise qualité de l'air intérieur, taux d'humidité élevé, formation de condensation sur les fenêtres).

Les normes ASHRAE (voir section 2.1.2) assument que l'air extérieur est relativement propre et qu'il est ainsi en mesure d'améliorer la qualité de l'air intérieur en diluant les contaminants intérieurs aéroportés. Toutefois, l'**air extérieur** peut véhiculer à l'intérieur d'une habitation une variété de particules, comme les pollens, les gaz, les spores, etc. La qualité de l'air extérieur, qui peut varier de

¹⁰ Selon Dussault (2005), le rah₅₀ d'une maison neuve type au Québec serait d'environ 3,6.

¹¹ Benoît Légaré, communication personnelle, octobre, 2005.

façon considérable d'un endroit à l'autre ainsi que selon la période de la journée ou de l'année, doit donc être prise en compte pour l'obtention d'une ventilation intérieure adéquate. Il faut considérer, par exemple, que le type et la concentration de contaminants présents dans l'air extérieur en milieu rural peuvent différer passablement de ceux présents en milieu urbain. De même, la présence de sources locales de polluants extérieurs sera déterminante dans le choix de l'emplacement (orientation et hauteur) des entrées d'alimentation en air intérieur (McKone et Sherman, 2003). Dans des situations de contaminations extérieures ponctuelles (ex. concentrations d'ozone excédant les normes), ASHRAE recommandent que les occupants aient la possibilité de réduire l'introduction de contaminants par la réduction du débit de ventilation (Sherman, 2004).

Les besoins en *filtration* peuvent être notamment conditionnés par le secteur d'habitation concerné (présence ou non de polluants de l'air extérieur à des concentrations dépassant les limites acceptables, présence de sources de contamination locale), ainsi que par l'état de santé des occupants (présence de personnes allergiques, asthmatiques, etc.). Il est ainsi possible d'intégrer sur certains appareils de ventilation mécanique des filtres ou une combinaison de filtres de capacité différente afin de réduire de façon importante la présence de particules dans l'air.

La qualité des filtres est classée par l'Union européenne au moyen de la norme « EU » (échelle de 1 à 14), qui catégorise la performance de la filtration selon la moyenne d'efficacité avec laquelle le filtre peut retenir les particules de diverses grosseurs. Typiquement, un filtre EU3 peut être utilisé comme pré-filtre et couplé à un filtre principal EU6 ou EU7. Une telle combinaison fournira une efficacité approximative de 97 % pour les particules de 2,5 µm et entre 44 % (EU6) et 55 % (EU7) pour celles de 0,1 µm (VEETECH, 2005). Dans sa norme 52.2-1999, ASHRAE classe les filtres à particules au moyen de l'échelle MERV (*Minimum Efficiency Reporting Value*), dont les classes varient du moins performant (1) au plus performant (16). De façon générale, les filtres MERV 6 à 8 peuvent réduire de façon substantielle les particules grossières respirables (c'est-à-dire les PM₁₀) ainsi que celles ayant tendance à se déposer sur les surfaces. La norme ASHRAE 62.2-2003 (voir section 2.1.2.4) recommande l'utilisation d'un filtre MERV 6. Les filtres MERV 9 à 12 sont de performance supérieure et peuvent retenir les particules fines respirables (les PM_{2.5}), particules qui, soulignons-le, représentent un risque plus élevé pour la santé respiratoire. Enfin, les filtres MERV 13 à 16, ont la capacité de retirer une proportion importante des particules ultrafines, soit les particules plus petites que 0,1 µm (Sherman et Matson, 2003). L'étendue des diamètres des particules aéroportées communément rencontrées dans l'air intérieur est présentée à l'annexe 1.

Notons toutefois que les filtres à très haute efficacité, qui peuvent théoriquement procurer une amélioration de l'air en retenant les particules ultrafines, sont d'une efficacité généralement réduite dans la plupart des maisons relativement peu étanches puisque l'air s'infiltrant par les orifices de l'enveloppe diminue fortement l'effet de la filtration fine (Sherman et Matson, 2003).

Sélection, installation, utilisation et entretien des systèmes de ventilation mécanique

Le bon fonctionnement d'un système de ventilation dans son ensemble dépendra à la fois de l'appareil en tant que tel et de ses réseaux de conduits. Chacun des éléments doit d'abord être bien sélectionné et bien installé pour fournir le rendement souhaité (Russell *et al.*, 2005; Gagnon, 1994). L'appareil doit également être bien calibré (AEEQ, s.d.a). Les parties 6 et 9 (section 9.32) du Code national du bâtiment comportent des directives spécifiques sur la conception, la construction et la mise en place

des installations de systèmes de ventilation mécanique. Le bon fonctionnement est également tributaire d'un entretien régulier et d'une utilisation adéquate des appareils, conditions essentielles pour assurer une ventilation efficace (Liddament, 2000). Par exemple, un apport d'air neuf non contrôlé et trop élevé, obtenu par un appareil inapproprié ou une utilisation inadéquate, pourrait entraîner des conditions d'inconfort (refroidissement, assèchement excessif de l'air, courants d'air) (APCHQ, 2005; Consortium Dessau/Siricon, 1996).

L'AIVC et l'ASHRAE recommandent l'entretien périodique du système de ventilation mécanique pour le maintien d'une ventilation performante (Nguyen, 2003; Concannon, 2002). L'entretien des composantes du système de ventilation mécanique consiste globalement à nettoyer ou à remplacer les filtres à air, à libérer les prises et les sorties d'air de tout objet les obstruant, à nettoyer le noyau d'échange thermique, à nettoyer le drain et le bac de condensation, à faire l'entretien des ventilateurs, à nettoyer les grilles et à inspecter les conduits. Grâce à un entretien préventif régulier, il sera ainsi possible d'éviter les problèmes indus, d'assurer l'efficacité de l'appareil utilisé et de prolonger sa durée de vie utile (Liddament, 2000; RNC, 2003c). Concannon (2002) recommande de procéder au nettoyage du système chaque année afin de maintenir la performance de la ventilation.

Il faut ajouter que certains systèmes de ventilation mécanique peuvent comporter des particularités techniques relativement complexes ou entraîner un certain nombre de désagréments (bruit incommodant, courants d'air dérangeants, consommation énergétique jugée trop élevée, transmission d'odeurs, accès restreint, etc.) susceptibles d'inciter l'occupant à cesser momentanément, voire même définitivement, l'usage de son système de ventilation (Concannon, 2002).

Il ne suffit donc pas uniquement de concevoir et de rendre disponible des systèmes de ventilation d'une capacité donnée mais de s'assurer que ces systèmes sont en mesure de fournir un air de qualité. Il faut donc penser, en plus de la conception, à la sélection, à l'installation (incluant la localisation et le calibrage de l'appareil), à l'entretien préventif ainsi qu'à l'utilisation des appareils.

1.5 POINTS SAILLANTS

- Les besoins en ventilation d'un bâtiment d'habitation donné sont conditionnés par de multiples facteurs, susceptibles de varier d'une habitation à l'autre.
- La ventilation fait partie d'une série de mesures qui visent à réduire le plus possible la présence de contaminants dans l'air intérieur. Le contrôle des émissions de contaminants à la source demeure la première mesure à appliquer.
- La pression d'air dans une habitation est associée aux déplacements d'air à l'intérieur. Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur, le vent et les appareils qui évacuent ou qui introduisent de l'air sont autant de facteurs susceptibles d'influer sur les différences de pression.
- La ventilation naturelle est une technique de ventilation simple, qui ne nécessite pas d'installation d'équipement mécanique coûteux, et qui est encore largement utilisée dans l'habitation québécoise. Elle demeure toutefois aléatoire et difficile à contrôler puisqu'elle dépend de plusieurs

facteurs (étanchéité de l'enveloppe, différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, vitesse du vent, etc.), y compris ceux influençant l'ouverture des fenêtres par les occupants.

- L'étanchéité et l'isolation accrues des habitations ont contribué au développement de la ventilation mécanique en milieu résidentiel. Dans ce contexte, la ventilation mécanique s'est présentée comme un moyen à envisager pour assurer les débits de ventilation recherchés en toute période de l'année.
- Parmi les trois grands principes de ventilation mécanique, la ventilation à simple extraction (ventilateur de salle de bain et hotte de cuisine) demeure encore celle la plus rencontrée au Canada dans la maison existante. Ce système constitue un élément important de la ventilation des bâtiments d'habitation, puisqu'il permet l'extraction des odeurs et autres particules à la source, contribuant ainsi à l'assainissement de l'air intérieur. Cependant, il n'est utilisé que de façon ponctuelle ou par intermittence, ne contribuant qu'en partie au renouvellement de l'air à l'intérieur des bâtiments. Par ailleurs, comme l'usage de ces ventilateurs a tendance à créer une pression négative à l'intérieur, un risque de refoulement de gaz issus des appareils fonctionnant aux combustibles demeure présent.
- Dans les immeubles à logements, les installations typiques sont principalement des systèmes d'alimentation en air des corridors auxquels s'ajoutent des ventilateurs d'extraction de cuisine et de salle de bain. Ce type d'installation n'apparaît pas suffisant pour ventiler adéquatement les logements, de façon individuelle.
- Le ventilateur récupérateur de chaleur (VRC) est, de l'avis de plusieurs, un système de ventilation approprié au climat québécois et aux nouvelles habitations à étanchéité accrue. La ventilation hybride, qui combine les forces motrices naturelles et mécaniques, est une solution innovatrice émergente qui pourrait également répondre aux besoins en matière de qualité de l'air et de confort thermique.
- La ventilation équilibrée a pour avantage de n'influencer que très peu la pression d'air intérieure, ce qui limite les mouvements d'air aléatoires et indésirables dus principalement aux facteurs climatiques.
- L'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment est un élément important à considérer, notamment en ce qui concerne les prescriptions en matière de ventilation mécanique. Les données disponibles démontrent que les maisons présentant des taux de renouvellement d'air à l'heure (rah) à 50 Pa de 3,67 ou moins présentent toutes des rah à pression normale inférieurs aux normes prescrites et ce, quelque soit le mois de l'année considéré. Le mois d'octobre, qui correspond à une période au cours de laquelle le rah est peu élevé et que les fenêtres demeurent souvent fermées, est souvent utilisé pour déterminer le taux minimal de ventilation requis et les prescriptions de ventilation mécanique y étant associées. La capacité du système de ventilation est alors évaluée pour obtenir un taux de ventilation d'environ 0,35 rah en considérant autant la ventilation mécanique que la ventilation obtenue par infiltration et exfiltration d'air.
- La qualité de l'air extérieur (milieu urbain *versus* milieu rural, source de contamination locale, etc.) constitue un des facteurs qui doit être considéré dans une stratégie globale de ventilation des espaces intérieurs habitables.

- Les besoins en filtration sont reliés au secteur d'habitation concerné ainsi qu'à l'état de santé des occupants. La filtration, réalisée à l'aide d'un filtre à haute efficacité, peut théoriquement éliminer une proportion importante des contaminants contenus dans l'air ambiant.
- Le bon fonctionnement d'un système de ventilation et par conséquent, son efficacité à distribuer les débits d'air recherchés, sont tributaires de la conception et de la sélection du type d'appareil, de son installation (incluant la localisation et le calibrage), de son entretien et de son utilisation.

2 RÉGLEMENTATION APPLICABLE À LA VENTILATION DES HABITATIONS

2.1 APERÇU DES TAUX DE VENTILATION REQUIS À TRAVERS LE MONDE

2.1.1 Portrait général

Les exigences en termes de ventilation des habitations sont généralement basées sur les prescriptions de codes modèles. Selon le pays concerné, le taux de ventilation requis à l'intérieur des habitations peut être établi par un règlement, une norme ou une directive et être basé sur le volume total de la maison, la surface de plancher, le nombre de personnes, le nombre et le type de pièces, etc. Les données recensées permettent de constater que la réglementation relative à la ventilation est passablement diversifiée à travers le monde. Globalement toutefois, le taux de ventilation minimal requis pour l'ensemble de l'habitation se situe entre 0,3 et 1,0 renouvellement d'air à l'heure (rah)¹² (Limb, 1994 dans Concannon, 2002), bien qu'il semble davantage se situer entre 0,3 et 0,5 rah (Yoshino *et al*, 2004). Dans les pays scandinaves (Norvège, Suède, Finlande, Danemark), pays dont le climat s'apparente en quelque sorte à celui du Québec, le taux minimal requis se situe autour de 0,5 rah (Bornehag *et al*, 2005; Engvall *et al*, 2003). Par ailleurs, en plus de la ventilation applicable à l'ensemble de l'habitation, la plupart des pays se sont aussi dotés d'une réglementation spécifiant des taux de ventilation applicables à des pièces données, notamment à la cuisine (variant globalement de 10 l/s, en continu, à 50 l/s, par intermittence) et aux salles de bain et/ou toilettes (de 10 l/s, en continu, à 25 l/s, par intermittence)¹³.

Dans certains pays, comme la Suède, la Finlande, le Danemark et la France, les règlements sur la ventilation ont un caractère obligatoire (Yoshino *et al*, 2004). Les systèmes à ventilation mécanique dominant le marché des nouvelles constructions dans les pays aux climats froids. La ventilation d'extraction est le système le plus utilisé, bien que le Canada et la Suède se tournent de plus en plus vers la ventilation équilibrée. Quelques pays européens au climat modéré semblent emboîter le pas. La ventilation naturelle est encore dominante dans certains pays au climat doux ou modéré tels l'Italie, le Royaume-uni et les États-Unis. Le climat a donc une influence marquée sur le choix d'un mode ou d'un système de ventilation (Concannon, 2002).

2.1.2 Les normes de l'American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers (ASHRAE)

Les normes de l'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) font souvent office de lignes directrices et ce, partout dans le monde; elles servent fréquemment de référence dans les règlements gouvernementaux, devenant à ce titre des normes légales. Au Canada, l'édition actuelle du Code national du bâtiment s'appuie d'ailleurs sur la norme

¹² Les unités les plus fréquemment utilisées en ventilation ainsi qu'un exemple de calcul pour déterminer le besoin en ventilation sont présentés à l'annexe 2.

¹³ Le lecteur doit comprendre que les valeurs peuvent avoir variées depuis la revue effectuée par ces auteurs. Il faut donc considérer les chiffres présentés comme un ordre de grandeur.

ASHRAE 62-1999 spécifiant que « ... les débits auxquels de l'air extérieur doit être fourni aux pièces et aux espaces d'un *bâtiment* par les installations de ventilation ne doivent pas être inférieurs aux débits exigés par la norme ANSI/ASHRAE-62, Ventilation for acceptable indoor air quality.».

2.1.2.1 La norme ASHRAE 62-1999 (Ventilation for acceptable indoor air quality)

La norme ASHRAE 62-1999 a été conçue pour les espaces commercial, institutionnel et résidentiel; elle s'applique ainsi à tous les espaces intérieurs fermés et occupés par des personnes, sauf aux endroits où s'appliquent d'autres prescriptions plus exigeantes en termes de ventilation. Cette norme fournit des taux de ventilation requis en pieds cubes par minute (pcm) par personne (ou en litres par seconde (l/s) par personne) pour certaines pièces en particulier. Dans la plupart des cas, la contamination produite est présumée être proportionnelle au nombre de personnes occupant une pièce donnée. Ainsi, selon cette norme, l'air intérieur d'un logement doit être renouvelé à raison de 0,35 l/s sans être inférieur à 7,5 l/s par personne. Les cuisines et les salles de bain doivent être équipées d'un système de ventilation mécanique d'extraction ou peuvent être ventilées de façon naturelle, lorsqu'elles sont dotées de fenêtres ouvrables. Le ventilateur d'extraction requis dans la cuisine doit avoir une capacité d'au moins 50 l/s et celui de la salle de bain, d'au moins 25 l/s. Dans ces pièces, un ventilateur opérant en continu d'une capacité respective de 12 et 10 l/s est considéré comme une alternative acceptable (tableau 3).

Tableau 3 Taux de ventilation minimum requis pour les nouvelles habitations selon la norme ASHRAE 62-1999 (maisons de type unifamilial et immeubles à logements)^{1,2}

LIEU	TAUX MINIMUM DE VENTILATION	COMMENTAIRES
Salle de séjour et chambres	0,35 rah ³ , mais pas moins de 7,5 l/s (15 pcm) ⁴ par personne ⁵	Pour le calcul du taux de rah, il faut utiliser comme volume celui de toutes les pièces où l'air est conditionné. Dans les habitations ayant une enveloppe étanche, il peut être nécessaire de prévoir une ventilation plus importante pour les appareils à combustibles. La charge en nombre d'occupants est établie à partir du nombre de chambres à coucher : 1 ^{ère} chambre à coucher : 2 personnes; chaque chambre supplémentaire : 1 personne.
Cuisine	50 l/s (100 pcm) de façon intermittente ou 12 l/s (25 pcm) en continu ou fenêtres ouvrables.	On doit prévoir un système de ventilation mécanique par extraction. Les conditions climatiques peuvent influencer le choix de ce système.
Salles de bain et toilettes	25 l/s (50 pcm) de façon intermittente ou 10 l/s (20 pcm) en continu ou fenêtres ouvrables	On doit prévoir un système de ventilation mécanique par extraction.
Garage séparé par unité d'habitation	50 l/s (100 pcm) par voiture	La ventilation naturelle et les infiltrations sont normalement suffisantes.

¹ Ce tableau a été conçu en supposant que l'air extérieur est de qualité acceptable.

² Ce tableau a été établi à partir d'un consensus à l'effet que l'approvisionnement en air extérieur aux taux proposés procure une qualité d'air intérieur acceptable en diluant de façon raisonnable les bioeffluents humains, les matières particulaires, les odeurs et les autres contaminants communs à ces espaces.

³ Ce taux revient à dire qu'il est recommandé qu'à chaque heure, au moins 35 % de l'air intérieur soit renouvelé avec de l'air provenant de l'extérieur ou encore, qu'un changement d'air complet soit effectué aux trois heures.

⁴ 1 l/s = 2,119 pcm (voir aussi annexe 2).

⁵ En d'autres termes, un débit minimal de ventilation de 7,5 litres par seconde est nécessaire pour chaque personne vivant à la maison si l'on veut maintenir un niveau de qualité de l'air intérieur acceptable. Ce taux tient notamment compte de l'équilibre à respecter entre la nécessité de diluer les contaminants, les besoins des occupants et les coûts d'exploitation.

Source : ASHRAE Standard 62-1999

Il est à remarquer que selon cette norme, une qualité d'air acceptable correspond à un air qui ne contient aucun contaminant connu à des concentrations jugées néfastes à la santé par les autorités compétentes et pour lequel la majorité des personnes exposées (80 %) n'expriment aucune insatisfaction. À cet effet, la norme fournit des tableaux détaillés sur les concentrations seuils des contaminants les plus fréquemment rencontrés dans l'air extérieur et intérieur (ASHRAE Standard 62-1999).

2.1.2.2 La norme ASHRAE 62-2001 (*Ventilation for acceptable indoor air quality*)

La norme ASHRAE 62-2001 diffère peu de la norme 62-1999. En fait, elle incorpore un certain nombre d'*addendas* ainsi que des sections traitant de la conception, de la mise en service, de l'utilisation et de l'entretien des systèmes de ventilation. La méthode de calcul et les taux de

ventilation requis sont toutefois demeurés les mêmes (ANSI/ASHRAE Standard 62-2001). Quoiqu'il en soit, cette édition de la norme ASHRAE 62 est celle étant citée en référence dans l'édition 2005 du Code national du bâtiment, qui n'est toutefois pas encore utilisée à titre de code modèle au Québec.

2.1.2.3 La norme ASHRAE 62.1-2004 (*Ventilation for acceptable indoor air quality*)

Au cours de ses travaux de révision des normes, ASHRAE décida de diviser la norme 62 en deux parties, soit une norme destinée aux établissements commerciaux et institutionnels (la norme 62.1) et une norme destinée aux petits bâtiment résidentiels (la norme 62.2) (Trane, 2002).

La norme ASHRAE 62.1-2004 est donc la plus récente édition de la norme 62, à laquelle on a donné la nouvelle désignation de 62.1 afin de la distinguer de la norme 62.2. Cette édition est une combinaison de la norme 62-2001 et pas moins de 17 *addendas* à l'édition 2001, approuvés et publiés. La norme 62.1 diffère de la norme 62-2001 non seulement par le fait qu'elle s'adresse exclusivement aux établissements commerciaux et institutionnels, mais également par le fait que le taux de ventilation minimum requis se calcule en utilisant une formule qui intègre la surface de plancher, l'occupation maximale prévue, le taux d'air neuf requis par personne et le taux d'air neuf requis par unité de surface (ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004). Au moment de la rédaction du présent avis, cette norme n'était toutefois pas utilisée à titre de code modèle pour la réglementation canadienne.

2.1.2.4 La norme ASHRAE 62.2-2003 (*Ventilation and acceptable indoor air quality in low-rise residential buildings*)

La norme 62.2-2003 s'applique aux bâtiments résidentiels de moins de 3 étages ainsi qu'aux maisons unifamiliales, et concerne autant les nouvelles habitations que celles ayant fait ou faisant l'objet de rénovation (Sherman, 2003). En développant cette norme, ASHRAE a reconnu qu'il existait différents types de maisons, de climats et de styles de construction. La norme 62.2 diffère de la norme 62-1999 notamment par le fait qu'elle reconnaît la nécessité de ventiler mécaniquement, même en présence de fenêtres ouvrables. De plus, le taux de ventilation minimum requis se calcule à partir de la surface de plancher (en mètres carrés) et du nombre de chambres à coucher (tableau 4), celui-ci variant par conséquent en fonction de la taille de la maison et son occupation. L'application de cette norme aurait par ailleurs pour effet de réduire sensiblement le taux de ventilation requis pour une habitation moyenne (Angell *et al*, 2004), soit d'environ 30 % le débit actuellement prescrit de 0,35 l/s par la norme ASHRAE 62. Au moment de la rédaction du présent avis, cette norme ne servait toutefois pas de code modèle pour la réglementation canadienne.

Tableau 4 Taux de ventilation requis selon la norme 62.2

SURFACE DE PLANCHER (m ²)	CHAMBRES À COUCHER (l/s)				
	0-1	2-3	4-5	6-7	>7
< 139	14	21	28	35	42
139,1 - 279	21	28	35	42	50
279,1 - 418	28	35	42	50	57
418,1 - 557	35	42	50	57	64
557,1 - 697	42	50	57	64	71
> 697	50	57	64	71	78

Source : ASHRAE Standard 62.2P-2002

2.2 CADRE RÉGLEMENTAIRE ACTUEL EN VENTILATION DES HABITATIONS AU CANADA ET AU QUÉBEC

C'est à la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies (CCCBPI) que revient la tâche d'élaborer et de mettre à jour les codes modèles nationaux de construction du Canada (CNRC, s.d. a). Le Centre canadien des codes de l'Institut de recherche en construction (IRC) joue un rôle essentiel dans le processus de mise à jour des codes en assurant un soutien technique et administratif à la CCCBPI, ainsi qu'à ses comités connexes responsables de l'élaboration des codes nationaux. Le processus actuel de conception des codes comporte une période d'examen public. La participation des provinces et des territoires à chacune des étapes de l'élaboration des codes simplifie le processus et encourage l'élimination des différences entre les codes provinciaux et territoriaux (IRC, 2002). Par la suite, les provinces et les territoires adoptent, avec ou sans modifications, les différents codes et appliquent, au besoin, leurs propres exigences. Plusieurs années peuvent s'écouler entre la publication d'un code modèle et son adoption par une instance gouvernementale (CNRC, s.d. b).

2.2.1 Code national du bâtiment : principales exigences en ventilation

Au Canada, c'est le Code national du bâtiment (CNB) qui fait office de code de bâtiment modèle; il constitue la principale source de réglementation de la sécurité des bâtiments. Le CNB n'a pas force de loi tant et aussi longtemps qu'il n'a pas été adopté par une province, un territoire ou une municipalité (CNRC, s.d. b). En ce qui concerne l'habitation, ce code contient deux sections traitant de la ventilation, soit la partie 6 *Chauffage, ventilation et conditionnement d'air* et la section 9.32 *Ventilation* de la partie 9 *Maisons et petits bâtiments*. Le CNB vise, tel que précisé à l'article 1.1.2.1, la conception, la construction et l'usage des bâtiments neufs ainsi que la transformation, la reconstruction, la démolition, l'enlèvement, le déplacement et l'usage des bâtiments existants (CNRC, 1995). L'édition actuellement en vigueur du CNB est celle de 1995, à laquelle un certain nombre de modifications ont été apportées depuis 1998 (CNRC, s.d. b).

2.2.1.1 Partie 6

La partie 6 du CNB (*Chauffage, ventilation et conditionnement de l'air*) s'applique aux bâtiments d'habitation de plus de 3 étages, d'une aire supérieure à 600 m², incluant les condominiums. Toutefois, les exigences de ventilation qu'elle contient s'appliquent à tous les bâtiments d'habitation, même s'ils sont couverts par la partie 9. Ainsi, toutes les pièces et tous les espaces d'un bâtiment doivent être ventilés conformément à cette section. Bien que la partie 6 n'exige pas de ventiler les logements de façon autonome selon la section 9.32, l'article 6.2.2.1 (*Ventilation exigée*) précise que les installations de ventilation autonomes qui ne desservent qu'un seul logement et qui sont conformes à la sous-section 9.32.3 doivent être considérées conformes au présent article. Rappelons que les débits auxquels l'air extérieur doit être fourni aux pièces et aux espaces ne doivent pas être inférieurs à ceux prescrits par la norme ANSI/ASHRAE 62-1999. Toutefois, contrairement à cette dernière norme, la partie 6 du CNB (article 6.2.2.2) précise que l'apport d'air ne peut pas provenir de l'ouverture des portes et fenêtres.

2.2.1.2 Partie 9

La partie 9 du CNB (*Maisons et petits bâtiments*) s'applique aux bâtiments d'au plus 3 étages, dont l'aire est d'au plus 600 m², ce qui inclut les petits bâtiments résidentiels. À la base, les systèmes de ventilation des bâtiments de cette partie doivent se conformer à la partie 6, **sauf** pour ce qui est des systèmes de ventilation individuels ou autonomes, qui ne desservent qu'un seul logement (section 9.32).

Section 9.32

Évolution des exigences de ventilation du CNB

En matière de ventilation mécanique, l'édition du CNB de 1980 n'exigeait des ventilateurs extracteurs que pour les maisons chauffées à l'électricité, disposition qui a été modifiée en 1985 puis en 1990 afin d'inclure tous les types d'habitation. Dans l'édition de 1985, les installations de ventilation exigées devaient avoir une capacité de 0,5 rah, taux ayant été abaissé à 0,3 rah dans l'édition de 1990. À partir de 1995, le taux de ventilation a été établi en fonction du nombre de pièces; les exigences du CNB portaient alors non seulement sur la capacité globale de renouvellement d'air des installations de ventilation mécanique, mais aussi sur la nécessité de distribuer l'air provenant de l'extérieur dans tout le bâtiment (CNRC, 1995).

Ventilation mécanique en saison de chauffe et hors saison de chauffe

Globalement, les exigences de ventilation du CNB modifiées pour le Québec varient selon la période de l'année. En dehors de la saison de chauffe, les pièces peuvent être ventilées de façon naturelle ou mécanique pour les pièces munies de fenêtres, et uniquement de façon mécanique pour les autres pièces. En général, la ventilation naturelle est assurée par les fenêtres (et/ou la porte-fenêtre), mais peut également être effectuée par d'autres moyens, en s'assurant toutefois que les ouvertures libres soient protégées des intempéries et des insectes. Selon le CNB, le taux de ventilation mécanique prévu en dehors de la saison de chauffe est de 1 rah pour les pièces dépourvues de fenêtres. Par contre, si le logement est climatisé, le taux de renouvellement d'air peut-être diminué à 0,5 rah.

En saison de chauffe, toute habitation alimentée en électricité doit être pourvue d'un système de ventilation mécanique. La conception et l'installation du système de ventilation mécanique et de son réseau doivent être conformes aux prescriptions de la section 9.32 du Code ou à la norme CAN/CSA F-326-M¹⁴. Toutefois, comme pour la norme ASHRAE, le CNB offre une certaine flexibilité. Ainsi, par exemple, le code n'exige pas que l'ensemble de la ventilation requise soit effectué par un seul appareil central, tel un ventilateur à récupération de chaleur, l'exigence de ventilation pouvant être satisfaite par plusieurs ventilateurs fonctionnant simultanément (APCHQ, 2002; Dupuis, 2002; SCHL, 1996a).

Capacité de ventilation requise

La capacité totale minimale ou requise d'une installation de ventilation (ou le besoin calculé de ventilation d'un logement) est calculée en fonction du type et du nombre de pièces. Pour une maison donnée, il suffit en fait d'additionner le taux de ventilation recommandé pour chacune des pièces (voir tableau 5). Ainsi, par exemple, à partir de ces chiffres, une habitation de 10 pièces (sous-sol, salle de séjour, salle à manger, salle familiale, cuisine, deux salles de bain, une chambre à coucher principale et deux autres chambres à coucher) nécessiterait une capacité totale de ventilation de 60 l/s (120 pcm) (RNC, 2003a). Pour la plupart des habitations, cette somme correspond à environ 0,3 rah (Haysom et Reardon, 1998b).

Tableau 5 Capacité de ventilation nécessaire par type de pièce (CNB 1995)

PIÈCE	CAPACITÉ (en l/s)
Chambre principale	10 ¹
Autres chambres	5 ²
Séjour	5
Salle à manger	5
Salle familiale	5
Salle de jeux	5
Sous-sol	10
Autres pièces aménagées	5
Cuisine	5
Salle de bain ou de toilette	5
Buanderie	5
Pièce de service	5

¹ Suppose 2 occupants (équivalent à 20 pcm).

² Suppose 1 seul occupant (équivalent à 10 pcm).

Sources : CNRC (1995)

Note : Ce tableau permet de déterminer le besoin de ventilation en fonction du nombre et de la fonction des pièces. Il ne signifie pas que l'on doit installer obligatoirement ce débit dans chacune des pièces mais demeure une indication de ce qui devrait être idéalement atteint.

¹⁴ En plus du Code national du bâtiment, les façons d'aborder la ventilation mécanique des habitations canadiennes sont décrites dans la norme CAN/CSA-F326-M, publiée en 1989 puis révisée en 1991. Cette norme vise à résoudre les problèmes en matière de conception et d'installation d'un système idéal de ventilation mécanique.

Pour être conforme à cette exigence, le ventilateur extracteur principal doit fournir un débit d'au moins 50 % et d'au plus 75 %¹⁵ de la capacité totale calculée. Selon l'exemple précédent, celui-ci aurait une capacité minimale d'extraction¹⁶ de 30 l/s (60 l/s x 50 %) et maximale de 45 l/s (60 l/s x 75 %). Il est intéressant de souligner que l'annexe A-9.32.3.3 2) stipule qu'une ventilation minimale en continu fournirait, dans de nombreux cas, plus de ventilation que nécessaire, ce qui se traduirait par une augmentation de la dépense énergétique et possiblement, d'un taux d'humidité relative extrêmement faible. Ainsi, même si le système à installer doit avoir une capacité minimale, il peut être équipé de commandes permettant de le faire fonctionner à une capacité réduite. Le débit restant ou supplémentaire est comblé par l'installation de ventilateurs d'extraction supplémentaires (systèmes secondaires) de la salle de bain (capacité nominale d'au moins 25 l/s) et de la cuisine (capacité nominale d'au moins 50 l/s). Soulignons que cette section du CNB comporte également plusieurs exigences techniques, dont celles portant sur la conception et l'installation, sur la protection contre la dépressurisation, sur les conduits, sur les ventilateurs récupérateurs de chaleur, etc. (voir tableau 6).

Tableau 6 Aperçu du contenu des articles de la section 9.32 du Code national du bâtiment

ARTICLE	THÈMES ABORDÉS
9.32.1	Généralités. <i>Domaine d'application; Exigences de ventilation</i>
9.32.2	Ventilation hors saison de chauffe. <i>Exigences de ventilation; Ventilation naturelle; Ventilation mécanique hors saison de chauffe</i>
9.32.3	Ventilation (mécanique) en saison de chauffe. <i>Exigences de ventilation et d'extraction; Conception et installation; Installation de ventilation principale; Installations de ventilation combinées ou non à des installations de chauffage à air pulsé; Installations assurant seulement l'extraction; Ventilateurs extracteurs supplémentaires; Protection contre la dépressurisation; Conduits; Ventilateurs récupérateurs de chaleur; Prises d'air extérieur et bouches d'extraction</i>

2.2.2 Principaux éléments structurant la réglementation actuelle en lien avec la ventilation au Québec

Au Québec, c'est la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) qui a pour mission de gérer la réglementation entourant la ventilation des habitations par l'entremise de la *Loi sur le bâtiment*, qu'elle administre. La Régie travaille actuellement à la refonte complète des lois et règlements.

2.2.2.1 *Loi sur le bâtiment (L.R.Q., c. B-1.1)*

C'est la *Loi sur le bâtiment*, adoptée en 1985, qui constitue les fondements de l'ensemble de la réglementation québécoise applicable aux bâtiments. Des articles de cette loi, mis en vigueur en novembre 2000 et octobre 2002, ont été respectivement promulgués dans le but de permettre l'adoption progressive d'un *Code de construction* et d'un *Code de sécurité* uniques s'appliquant à l'ensemble du territoire québécois. Ces codes visent principalement à assurer la qualité des travaux de construction et la sécurité des bâtiments et des équipements destinés à l'usage du public, des

¹⁵ Si la capacité du ventilateur extracteur principal dépasse 75 % de la capacité totale requise, un dispositif de commande est requis pour réduire la vitesse du ventilateur à plus ou moins 10 % de la capacité minimale exigée.

¹⁶ L'exigence relative au ventilateur principal est mesurée du côté extraction de l'appareil.

installations électriques, de plomberie, sous pression, des appareils de levage, des appareils sous pression ainsi que de ceux assurant la distribution et l'entreposage de gaz. La *Loi sur le bâtiment* vise non seulement à simplifier l'ensemble de la réglementation en ce domaine¹⁷ mais aussi à mieux définir les responsabilités des professionnels de la construction et des propriétaires, et de permettre la délégation de certaines responsabilités aux municipalités. Cette loi vise ultimement l'instauration d'une norme uniforme de base pour tous les bâtiments et les équipements sur l'ensemble du territoire québécois (RBQ, s.d. a; b). Chacun des deux codes est constitué de plusieurs chapitres correspondants, qui sont destinés à être adoptés progressivement jusqu'au remplacement complet des lois et règlements actuels (tableau 7).

Tableau 7 Contenu des codes et dates de mise en vigueur¹

CODE DE CONSTRUCTION		CODE DE SÉCURITÉ	
Responsabilisation ⇒ Concepteurs et entrepreneurs : conception et construction		Responsabilisation ⇒ Propriétaires : entretien et utilisation	
Contenu	Date de mise en vigueur	Contenu	Date de mise en vigueur
Chapitre I : Bâtiment ²	7 novembre 2000	Chapitre I : Plomberie	1 ^{er} octobre 2002
Chapitre II : Gaz	2 décembre 2003	Chapitre II : Électricité	1 ^{er} octobre 2002
Chapitre III : Plomberie	1 ^{er} octobre 2002	Chapitre III : Gaz	2 décembre 2003
Chapitre IV : Appareils de levage	21 octobre 2004	Chapitre IV : Appareils de levage	1 ^{er} janvier 2006
Chapitre V : Électricité	1 ^{er} octobre 2002	Chapitre V : Jeux et remontées mécaniques	21 octobre 2004
Chapitre VI : Appareils sous pression			
Chapitre VII : Jeux et remontées mécaniques	21 octobre 2004		

¹ Date de mise à jour : mars 2005.

² Ce chapitre est constitué du CNB-1995, des modifications du juillet 1998 et de novembre 1999, ainsi que des modifications apportées par le Québec.

Source : RBQ, [s.d. b]

La *Loi sur le bâtiment* oblige désormais les concepteurs de plans et devis, les entrepreneurs et les constructeurs/promoteurs à respecter le Code de construction pendant les travaux. Ainsi, la Régie du bâtiment pourra intervenir dès le début des travaux ou en cours de chantier pour les bâtiments relevant de son domaine de compétence. Comme la *Loi sur le bâtiment* a une portée générale et couvre d'emblée tous les bâtiments, c'est par le *Règlement d'application de la Loi sur le bâtiment* que le champ d'application est circonscrit et défini. La *Loi sur le bâtiment* s'appuie sur un mécanisme de délégation pour remettre aux municipalités qui le désirent l'application du code et la responsabilité de l'inspection (Tremblay, 2004).

¹⁷ En 2004, la RBQ administrait, en plus de la *Loi sur le bâtiment*, quatre (4) autres lois (*Loi sur les appareils sous pression*, *Loi sur l'économie de l'énergie dans le bâtiment*, *Loi sur les mécaniciens de machines fixes*, *Loi sur la sécurité des édifices publics*) de même que plusieurs règlements en découlant (Michel Légaré, comm. pers., septembre 2004).

2.2.2.2 Code de construction du Québec (chapitre 1)

Les exigences réglementaires du chapitre 1 « Bâtiment » du Code de construction du Québec (CCQ) sont constituées essentiellement du CNB-1995 et de certaines modifications destinées à en faciliter l'application et à l'adapter aux besoins spécifiques du Québec. À moyen terme, le Chapitre I du CCQ vise à permettre l'établissement d'exigences normatives et réglementaires uniformes pour l'ensemble du territoire québécois applicables à la construction des bâtiments et des équipements destinés à l'usage du public. À court terme, le fait de reconduire les exemptions prévues par la *Loi sur la sécurité dans les édifices publics* (L.R.Q. c. 8-3) permet d'établir une période de transition durant laquelle les juridictions respectives de la RBQ et des municipalités demeurent sensiblement les mêmes. Certains bâtiments et équipements ne sont pour l'instant pas assujettis au chapitre 1 du CCQ et, de ce fait, sont généralement sous juridiction des municipalités (voir l'encadré suivant).

BÂTIMENTS ASSUJETTIS ET NON ASSUJETTIS AU CODE DE CONSTRUCTION DU QUÉBEC (chapitre 1 « Bâtiment ») SELON LE RÈGLEMENT D'APPLICATION DU CODE

Les bâtiments assujettis au Code de construction du Québec

Actuellement, le chapitre 1 « Bâtiment » du CCQ vise essentiellement les bâtiments déjà assujettis avant le 7 novembre 2000 par la *Loi sur la sécurité dans les édifices publics*, c'est-à-dire tout bâtiment d'habitation de plus de 2 étages **et** de plus de 8 logements, auxquels s'ajoutent les condominiums résidentiels. Les deux caractéristiques (nombre d'étages et de logements) doivent être présentes de façon simultanée pour qu'un bâtiment de ce type soit assujetti.

Les bâtiments non assujettis (ou exemptés) au Code de construction du Québec

Les bâtiments répondant à certaines caractéristiques et abritant un seul usage principal sont exemptés de l'application du CCQ en vertu du règlement d'exemption promulgué à cet effet. De cette liste, notons les habitations d'au plus 2 étages (2 étages ou moins) **ou** d'au plus 8 logements (8 logements ou moins). L'une ou l'autre de ces caractéristiques suffit à établir le non assujettissement d'un tel bâtiment au Code. Ce sont les règlements municipaux ou les plans de garantie¹⁸ qui s'appliquent aux bâtiments non assujettis.

¹⁸ Il existe différents plans de garantie généralement gérés par des associations provinciales (Garantie Réno-Pyrite, Garantie Qualité-rénovation, Garantie des maisons neuves, Garantie Qualité Habitation, Garantie des Maîtres Bâisseurs) (SHQ, s.d.).

Implication des municipalités

En vertu de la *Loi sur le bâtiment* et de son règlement d'exemption, l'entrée en vigueur du CCQ implique que les municipalités peuvent continuer à réglementer dans le domaine du bâtiment, mais seulement dans le cadre des nouvelles limites qui leurs sont imposées, soit :

- L'adoption de normes supérieures au Code pour les bâtiments et équipements assujettis ;
- L'adoption d'un code de construction, de règlements ou de plans de garantie de leur choix pour les bâtiments et équipements non assujettis.

Ce contexte de transition réglementaire et juridictionnelle explique la diversité réglementaire actuelle au sein des municipalités et des arrondissements du Québec.

Certaines municipalités ont adopté de façon intégrale le nouveau Code de construction québécois; d'autres lui ont apporté des modifications, touchant notamment la ventilation des petits bâtiments d'habitation (section 9.32); d'autres ont maintenu en vigueur l'ancienne réglementation ou encore leur propre code de construction; finalement, certaines municipalités n'ont adopté aucun code de construction pour les bâtiments non assujettis au CCQ, laissant un vide réglementaire important pour la plupart des petits bâtiments résidentiels (voir l'encadré suivant).

DIVERSITÉ DE LA RÉGLEMENTATION ACTUELLEMENT EN VIGUEUR DANS LES MUNICIPALITÉS¹

- Chapitre 1 « Bâtiment » du Code de construction du Québec, modifié (ex. exclusion de la ventilation mécanique exigée à la section 9.32) ou non²
- CNB 1995, modifié ou non²
- CNB 1990, modifié ou non
- CNB 1985, modifié ou non
- Autre règlement municipal
- Aucun règlement municipal

¹ Il faut noter qu'encore aujourd'hui dans les villes fusionnées, les arrondissements correspondant aux anciennes municipalités n'appliquent pas tous le même code de construction (Légaré, 2003).

² Cas s'appliquant à environ 115 municipalités.

Ainsi, plusieurs municipalités telles que Laval, Lévis et Trois-Rivières n'imposent que l'édition 1990 du CNB, qui oblige simplement l'installation d'un ventilateur extracteur dans la salle de bain. Gatineau, Mascouche et Saguenay appliquent le CNB 1995, lequel exige, comme nous l'avons vu, une entrée d'air frais dans toutes les pièces importantes de la maison, comme la salle de séjour, les chambres à coucher et le sous-sol. D'autres comme Granby, Montréal et Repentigny appliquent le CNB 1995, auquel elles ont retiré la section 9.32 sur la ventilation (Dussault, 2005).

2.2.2.3 Loi sur l'économie de l'énergie dans le bâtiment (L.R.Q., chapitre E-1.1)

La *Loi sur l'économie de l'énergie dans le bâtiment* et le *Règlement sur l'économie de l'énergie dans les nouveaux bâtiments*, dont l'application est sous la responsabilité du ministère du Travail, visent essentiellement à assurer que les nouveaux bâtiments construits au Québec, de même que les additions à un bâtiment, soient conformes aux normes d'efficacité énergétique adoptées par le gouvernement. La section 6 du règlement, qui porte sur la ventilation mécanique, stipule qu'une maison unifamiliale doit être pourvue d'une installation de ventilation mécanique et que celle-ci doit être conforme aux exigences de la section 9.32 du CNB 1990.

En 1992, 37 municipalités ont obtenu la gestion de la loi pour le volet résidentiel. Selon cette loi, une attestation de conformité doit être fournie au propriétaire dans les deux ans suivant la livraison du bâtiment, attestation devant être signée par les concepteurs et/ou les constructeurs. Cet engagement à respecter la réglementation vise une performance minimale de l'isolation thermique des murs et des plafonds ainsi qu'une performance adéquate des systèmes mécaniques installés dans les bâtiments de grande taille (AEEQ, s.d. b). Dans la foulée de cette loi, l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ) a initié son programme *Novoclimat*, qui vise essentiellement à assurer aux consommateurs des maisons plus saines et plus économiques à l'usage.

2.3 POINTS SAILLANTS

- À travers le monde, le taux de ventilation requis pour les habitations varie, pour la grande majorité des pays, de 0,3 à 0,5 renouvellement d'air à l'heure (rah) ; il se situe à 0,5 rah dans les pays européens nordiques.
- Le climat a une influence marquée sur le choix d'un mode ou d'un système de ventilation. Dans les pays au climat froid, les systèmes à ventilation mécanique dominent le marché de la nouvelle construction.
- Les normes ASHRAE prescrivent des taux de ventilation qui servent de lignes directrices à de nombreux pays. La norme ASHRAE 62-1999, actuellement citée en référence par le Code national du bâtiment (édition 1995), stipule que l'air intérieur d'un logement doit être renouvelé à raison de 0,35 rah sans être inférieur à 7,5 l/s par personne. Cette norme a été suivie de la norme 62-2001, laquelle contient entre autres de nouvelles sections sur la conception, le fonctionnement et l'entretien des systèmes de ventilation. Au cours de ses travaux, l'ASHRAE a scindé la norme 62 en deux, ce qui a donné naissance à la norme 62.1-2004, destinée aux établissements commerciaux et institutionnels et à la norme 62.2-2003, spécifique aux petits bâtiments résidentiels. Cette dernière norme concerne autant les nouvelles habitations que celles faisant l'objet de rénovations. Elle diffère de la norme 62-1999 notamment par le fait que le taux de ventilation minimum requis se calcule à partir de la surface de plancher et du nombre de chambres à coucher, et que son application aurait pour effet de réduire le taux de ventilation minimal actuellement requis.
- Au Canada, c'est à la partie 6 et à la section 9.32 du Code national du bâtiment (CNB), qui fait office de code modèle, qu'est traitée la ventilation des bâtiments d'habitation. Le taux de ventilation nécessaire d'une installation individuelle ou autonome est calculé en fonction du nombre et du type de pièces, et équivaut à environ 0,3 rah. Pour être conforme, le ventilateur extracteur principal doit fournir un débit d'au moins 50 % de la capacité totale calculée. De plus,

les systèmes de ventilation mécanique conçus en fonction de cette section du Code doivent comprendre un moyen de distribuer l'air extérieur aux pièces habitables de la maison et d'évacuer directement l'air provenant des cuisines, des salles de bain et des toilettes.

- La *Loi sur le bâtiment*, qui constitue les fondements de l'ensemble de la réglementation québécoise applicable aux bâtiments (incluant la ventilation), prévoit l'adoption progressive d'un Code de construction du Québec, dont le chapitre 1 « Bâtiment » correspond, à quelques modifications près, au CNB-1995. Cette loi vise ultimement l'instauration d'une norme uniforme de base pour tous les bâtiments et les équipements sur l'ensemble du territoire québécois. Elle s'appuie sur un mécanisme de délégation pour remettre aux municipalités qui le désirent, l'application du Code et la responsabilité de l'inspection.
- Concernant les bâtiments non assujettis au chapitre 1 du Code de construction du Québec (soit les petits bâtiments d'habitation), les municipalités québécoises ont encore le loisir d'adopter et d'appliquer le règlement de leur choix ou encore de n'adopter aucun règlement, ce qui entraîne une diversité réglementaire en matière de ventilation des petits bâtiments résidentiels. Cet état de fait laisse un vide réglementaire important en ce qui concerne cette catégorie de bâtiment.

3 LA VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION ET LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

3.1 INTRODUCTION

Depuis des siècles, l'homme est préoccupé par les effets de la mauvaise qualité de l'air. Au début, ces préoccupations concernaient principalement les villes et les milieux de travail pollués, en particulier les mines. Intuitivement, dans l'esprit de la population, la pollution de l'air était associée à une mauvaise « ventilation », c'est-à-dire à une « exposition au vent » absente ou déficiente. La publication du livre de Ramazzini (1633-1714) *Da Morbis Artificum Diatriba*, sur les maladies reliées au travail, constitue un jalon important de la médecine environnementale en ce qui concerne les effets de la pollution de l'air sur la santé. Cependant, les connaissances dans ce domaine sont demeurées empiriques jusqu'à ce que Lavoisier (1743-1794) découvrit que l'air était constitué d'au moins deux gaz, l'oxygène (O₂) et le dioxyde de carbone (CO₂). Les travaux de Lavoisier ont été importants pour la compréhension des mécanismes de la respiration. À la suite de ces travaux, les spécialistes de l'époque expliquaient l'inconfort ressenti dans les habitations et le risque d'infections respiratoires, la tuberculose, par exemple, à des concentrations trop élevées de CO₂. En Allemagne, Pettenkofer (1818-1901), un pionnier de l'hygiène, effectua des mesures des concentrations de CO₂ dans divers bâtiments et fut l'un des premiers à suggérer la concentration de 1 000 ppm comme valeur-limite de CO₂ dans les bâtiments et de 700 ppm dans les chambres à coucher. Plusieurs études d'hygiène ont été réalisées dans la première moitié du vingtième siècle. Pour les chercheurs, ce n'était pas le CO₂ lui-même qui était à l'origine de l'inconfort des occupants mais plutôt les émissions du corps humain, aussi appelés « bioeffluents », sources de mauvaises odeurs (Sundell, 2004).

Yaglou *et al* (1936; 1937), dans les années 1930, furent les premiers à étudier le lien entre l'inconfort relié aux odeurs corporelles et le taux de ventilation des bâtiments (Yaglou *et al*, 1936; Yaglou et Witheridge, 1937). Pour ces derniers, la recirculation de l'air n'était pas suffisante pour se débarrasser des mauvaises odeurs. Ils recommandaient un ratio d'apport d'air de l'extérieur de 8 l/s/p sur 15 l/s/p d'air total. Cette recommandation a été à l'origine des premières « normes » de ventilation. Les exigences de ventilation étaient donc basées uniquement sur le confort et non pas sur la santé. Au cours des années 1970, des chercheurs scandinaves ont investigué davantage la problématique des odeurs dans les édifices à bureaux (Fanger et Valbjorn, 1979). Depuis cette époque, il y a eu relativement peu d'études sur le thème de la ventilation reliée à la qualité de l'air et à la santé. Les travaux réalisés au cours des dernières décennies ont porté principalement sur le syndrome de l'édifice hermétique (*sick building syndrome*), dont la fréquence a fait l'objet de comparaison entre les édifices à ventilation naturelle et ceux à ventilation mécanique (Mendell, 1993; Mendell *et al*, 1996).

Objectifs

Le but de cette section est d'évaluer s'il existe des preuves suffisantes pour utiliser la « santé » comme critère pour estimer le besoin de ventilation dans les bâtiments d'habitation. Nous visons les objectifs spécifiques suivants :

- réviser les connaissances scientifiques concernant l'association entre la ventilation des bâtiments d'habitation et la santé respiratoire des occupants;
- identifier, si possible, le débit d'air minimal à partir duquel un effet positif sur la santé des occupants est observé.

Dans cette partie du document, nous présenterons en premier lieu la méthodologie utilisée, incluant un modèle qui explique les liens potentiels existant entre la ventilation d'un bâtiment d'habitation et des effets sur la santé des occupants. Deuxièmement, nous ferons une analyse critique des études scientifiques réalisées jusqu'à maintenant concernant le lien direct entre la ventilation et la santé des occupants des bâtiments publics et des édifices à bureaux. Par la suite, nous réviserons les études scientifiques concernant les liens indirects entre la ventilation et la santé en lien avec trois groupes de contaminants spécifiques : les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils (COV). Nous réviserons aussi les études portant sur le lien entre la ventilation et le niveau d'humidité, compte tenu du lien qui existe entre ce dernier et les concentrations d'acariens et de moisissures. Enfin, nous ferons le bilan de l'ensemble des résultats et nous discuterons du poids relatif des études par rapport à la preuve d'une association entre la ventilation et la santé des occupants. Nous concluons en faisant ressortir les points saillants au niveau des connaissances.

3.2 MÉTHODOLOGIE

3.2.1 Le modèle « Ventilation → Contaminants → Santé respiratoire »

3.2.1.1 La description du modèle

En nous basant sur l'histoire naturelle des maladies d'origine environnementale, nous avons développé un modèle conceptuel explicatif pour identifier et analyser les études pertinentes (voir figure 11). Notre modèle, adapté de celui de Davies et coll., en 2004, comprend trois composantes : la ventilation, son impact sur les contaminants et les effets sur la santé. Nous avons limité notre étude aux allergies et aux symptômes respiratoires, en particulier ceux reliés à l'asthme, puisque ces problèmes sont reconnus et bien documentés. Les trois groupes de contaminants environnementaux suivants ont été retenus à cause de leur plausibilité dans l'histoire naturelle des maladies étudiées : les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils, en particulier le formaldéhyde. Il est à remarquer que ce modèle n'inclut pas les contaminants qui sont peu documentés en lien avec la ventilation, tels les allergènes d'animaux, les pollens, le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃), etc.

Le modèle met en évidence deux types de liens possibles au niveau des études, soit des liens directs et indirects entre la ventilation et les problèmes de santé respiratoire. Pour ce qui est du lien direct, les études portent sur l'association entre les variables « ventilation » et « santé respiratoire ». Pour ce qui est des liens indirects, les études portent sur des associations possibles entre, d'une part, ces deux premières variables, et d'autre part, des variables intermédiaires, indicatrices de l'exposition aux trois

contaminants retenus : les acariens, les moisissures et les COV. Dans le cas d'un lien indirect, nous avons procédé par déduction pour affirmer avec plus ou moins de certitude le lien entre la ventilation et la santé.

3.2.1.2 Les contaminants étudiés

- **Les acariens**

Les acariens ou « mites de poussière » sont des animaux domestiques (0,2 à 0,3 mm), à 8 pattes, appartenant à la famille des arachnides. Dans les années 1960, Voorhorst *et al* (1967; 1969) ont identifié pour la première fois les acariens comme source principale d'allergènes dans la poussière de maison. L'exposition des occupants se fait principalement par inhalation de particules en suspension dans l'air provenant des fèces excrétées par les acariens. Les particules respirables qui peuvent être inhalées (< 10 µm), représentent 5 % à 15 % des particules aéroportées totales. La majorité des particules ont tendance à sédimenter rapidement dans la poussière, à moins que l'air ne soit perturbé.

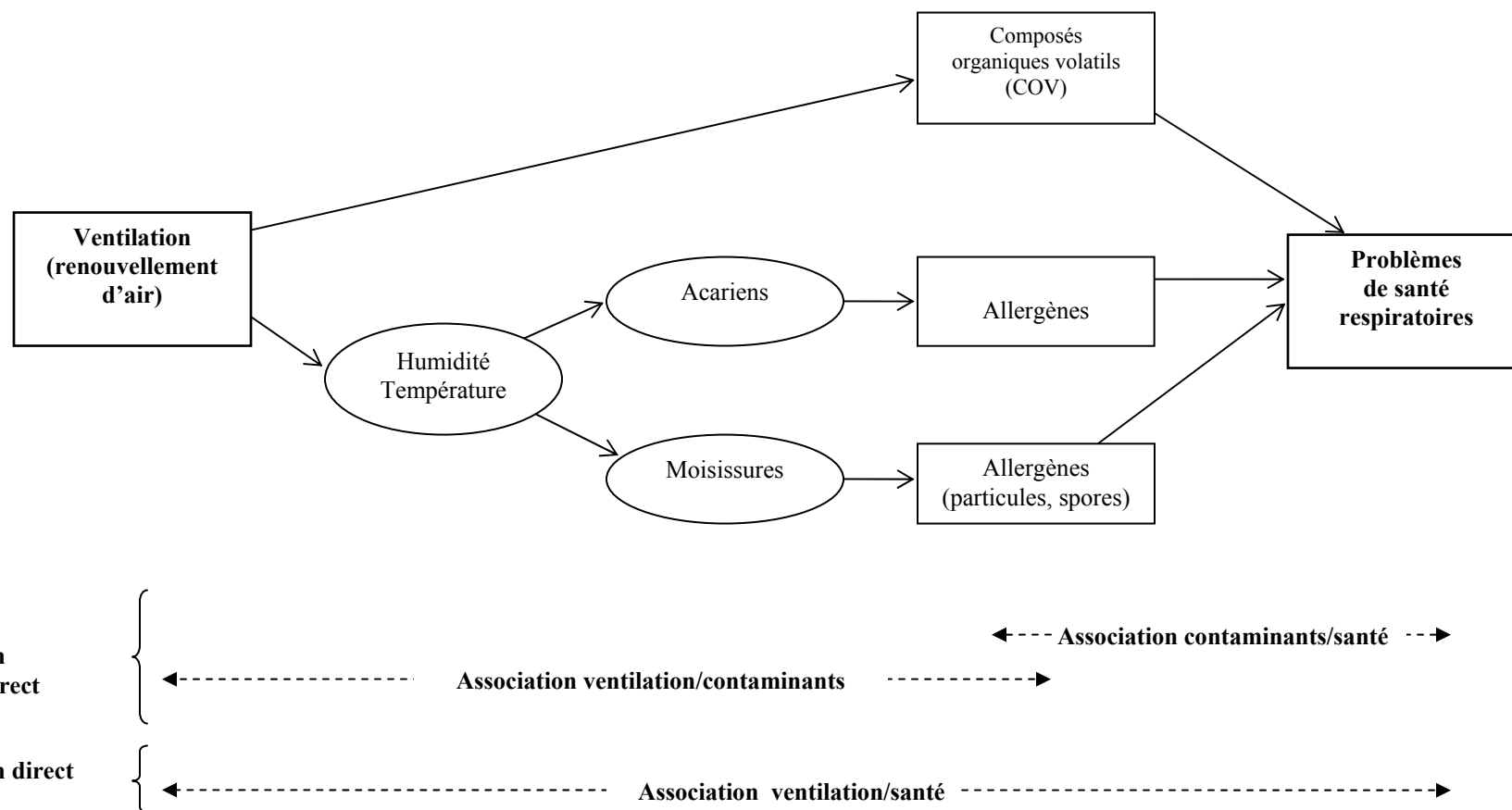


Figure 11 Modèle explicatif de l'association entre la ventilation des bâtiments d'habitation et les problèmes de santé respiratoire

Adapté de Davies *et al* (2004)

Crowther *et al* (2000) ont révisé la littérature concernant l'écologie, la physiologie et l'influence de l'humidité et de la chaleur sur les populations d'acariens dans les habitations, en particulier dans les chambres à coucher. Selon ces auteurs, le développement des acariens est optimal dans un environnement chaud et humide. Ils se nourrissent de débris de peau humaine. Ils ne vivent que 6 semaines mais se reproduisent à une vitesse vertigineuse. Une femelle peut pondre de 25 à 50 œufs à toutes les 3 semaines. On compte entre 2 000 et 15 000 acariens par gramme (g) de poussière. Deux espèces représentent la majorité des acariens habituellement retrouvés en milieu intérieur : *Dermatophagoides pteronyssus* (*Der p*) et *Dermatophagoides farinae* (*Der f*). En général, *Der p* est davantage prévalant dans les pays humides (ex. Grande-Bretagne) alors que *Der f* préfère les endroits plus secs comme en Amérique du nord. Soulignons qu'à Wallaceburg, à l'Île-du-Prince-Édouard, une étude dans plus de 400 maisons a révélé des concentrations à peu près égales de *Der p* et de *Der f* (Dales et Miller, 1999). Les matelas représentent les milieux de prédilection pour la prolifération des populations d'acariens. La colonisation d'une maison ou d'un appartement neuf peut prendre plus d'un an.

- **Les moisissures**

Les moisissures sont des champignons microscopiques ubiquistes à croissance filamenteuse qui regroupent des milliers d'espèces. Ce sont des organismes saprophytes, c'est-à-dire se nourrissant de matières organiques en décomposition. Les moisissures produisent des métabolites (antibiotiques, mycotoxines) ainsi que des spores, structures de reproduction variant généralement de 2 à 20 µm qui peuvent, chez la plupart des espèces, passer en suspension dans l'air. Lorsque les conditions de croissance sont réunies (éléments nutritifs nécessaires, température appropriée, eau en quantité suffisante), les moisissures peuvent coloniser l'environnement intérieur et ainsi libérer des spores, des fragments fongiques et des composés chimiques. Les moisissures peuvent aussi proliférer lorsque l'air ambiant est relativement sec, soit dans les cas de condensation de surface due à des ponts thermiques (manque d'isolation) ou lorsque les matériaux ont été détremés, à la suite d'un dégât d'eau ou d'infiltrations d'eau. On note, à titre d'exemple, plusieurs cas de condensation estivale sur les planchers des sous-sols non isolés. Diverses composantes fongiques sont susceptibles d'entraîner des effets nocifs chez un individu exposé, soit des substances élaborées par les moisissures (ex. mycotoxines, composés organiques volatils) ou des éléments constituant les parois des spores et du mycélium (ex. β(1,3) glucanes). L'exposition aux particules fongiques ou aux métabolites fongiques peut se faire par inhalation ou, dans une moindre mesure, par contact physique (exposition cutanée) ou plus rarement encore, par ingestion. Les structures fongiques (ex. spores) non viables d'une espèce donnée peuvent être tout aussi nocives (allergènes, irritantes ou toxiques) que ses structures viables (d'Halewyn *et al*, 2002).

- **Les composés organiques volatils**

Les composés organiques volatils (COV) constituent un groupe de plus de 300 substances organiques présentes sous forme gazeuse ou encore adsorbées sur des particules en suspension. Ils comprennent notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les hydrocarbures aliphatiques, les aldéhydes, les composés chlorés et les terpènes. Les sources sont multiples : matériaux, produits chimiques, combustion, etc. Le formaldéhyde représente un des principaux composés toxiques susceptibles d'être retrouvés à l'intérieur des habitations. Il est principalement émis par les bois agglomérés, les colles, les peintures et la combustion du tabac. Les taux d'émission sont plus élevés

lorsque les matériaux sont neufs. L'exposition des occupants se fait principalement par l'inhalation de vapeurs et le contact au niveau de la peau et des muqueuses. Le formaldéhyde est très soluble dans l'eau et donc absorbé rapidement.

3.2.1.3 *Le rôle de l'humidité, de la température et du climat*

Humidité et température

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. Le degré d'humidité peut être exprimé en humidité absolue ou en humidité relative. L'humidité absolue (exprimée en g/kg) représente la masse de la vapeur d'eau divisée par la masse d'air sec. L'humidité relative (exprimée en %) représente la pression partielle de la vapeur d'eau divisée par la pression partielle dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température. La quantité de vapeur d'eau nécessaire pour saturer l'air diminue avec la température. Ainsi, par exemple, un air extérieur avec 100 % d'humidité relative à 0 °C, aura une humidité relative de 50 % à la température intérieure. L'humidité relative donne cependant peu de renseignements sur la teneur en humidité réelle de l'air compte tenu de sa variation selon la température. Les météorologues, par exemple, peuvent calculer la teneur en humidité de l'air en calculant la pression de vapeur d'eau exprimée en kilopascals (kPa). En général, à cause des multiples sources potentielles dans un domicile, l'humidité à l'intérieur sera toutefois supérieure à celle de l'extérieur. Dans les endroits au climat froid, l'air extérieur est très sec durant l'hiver, le renouvellement d'air pouvant dans ce cas diminuer de façon importante le degré d'humidité à l'intérieur. À l'inverse, dans les endroits au climat chaud et humide, la ventilation peut faire augmenter le degré d'humidité à l'intérieur, à moins que l'air ne soit déshumidifié lorsqu'il est introduit.

Korsgaard, un chercheur danois réputé, a effectué une revue très approfondie de l'épidémiologie des acariens en milieu domestique (Korsgaard, 1998a; b). Au niveau biologique, plusieurs études effectuées en laboratoire ont montré que les acariens ne peuvent tolérer un niveau d'humidité inférieur à 55 % tandis que plusieurs études épidémiologiques ont montré que le nombre d'acariens augmentait avec le niveau d'humidité dans les maisons. L'humidité à l'extérieur varie entre 4 g de vapeur d'eau par kg d'air sec durant l'hiver à 10 g/kg durant l'été. L'humidité extérieure représente le facteur déterminant du niveau d'humidité à l'intérieur par le biais du renouvellement de l'air. L'humidité à l'intérieur est donc influencée de façon importante par le climat et la saison. Selon Korsgaard, un niveau d'humidité absolue de 7 g/kg, qui correspond à 45 % d'humidité relative à 20-22 °C, constitue le seuil au-dessous duquel il n'y a pas de prolifération d'acariens et où le nombre demeure inférieur à 100 acariens/g de poussière. Les études ont montré une très bonne corrélation ($r=0,93$) entre le nombre d'acariens/g et l'humidité absolue à l'extérieur durant l'hiver, dans les climats tempéré, subtropical et tropical.

L'humidité est un facteur déterminant pour la reproduction et la survie des acariens. Il existe une humidité critique d'équilibre (*Critical Equilibrium Humidity*), au-dessous de laquelle les acariens se déshydratent et meurent (Crowther *et al.*, 2000). Par exemple, l'humidité critique d'équilibre pour *Dermatophagoides pteronyssus* (*Der p*), est de 73 % à 25 °C. En dessous de cette valeur, la population de *Der p* diminue. Entre 40 et 50 % d'humidité, les acariens adultes ne survivent pas plus de 8 à 11 jours. Le maintien du pourcentage d'humidité au-dessous de 50 %, même si le taux s'élève au-dessus de ce pourcentage pendant 2 à 8 heures au cours de la journée, permet de limiter la croissance de la population d'acariens et par conséquent, d'allergènes (Arlan *et al.*, 1999). Par ailleurs, une humidité

excessive de plus de 85 % réduit la population d'acariens en favorisant la prolifération des moisissures qui sont des compétiteurs pour la nourriture. La prolifération des acariens est aussi favorisée par une augmentation de la température. Il existe des conditions hygrothermiques optimales. Par exemple, pour *Der p*, la prolifération maximale survient à 25°C et 75 % d'humidité. Un modèle hygrothermique a été développé pour prédire la prolifération des acariens dans les matelas et la literie (Crowther *et al*, 2002). Ces milieux constituent des microhabitats où l'humidité est souvent beaucoup plus élevée que dans l'air intérieur de l'habitation. C'est pourquoi, l'humidité relative mesurée dans l'air n'est pas toujours représentative des conditions écologiques réelles des acariens.

Selon Korsgaard, dans les endroits où l'humidité absolue à l'extérieur est supérieure à 6 g/kg durant l'hiver, une intervention même majeure pour réduire l'humidité à l'intérieur des maisons aura peu d'impact compte tenu de la nature exponentielle de la relation entre l'humidité hivernale extérieure et la prolifération des acariens. Au contraire, dans les régions tempérées avec un climat relativement sec, c'est-à-dire où l'humidité à l'extérieur durant l'hiver est inférieure à 5 g/kg, la prolifération des acariens est multipliée par 10 pour chaque augmentation d'humidité de 1 g/kg. Dans ces régions, un changement relativement mineur du niveau d'humidité à l'intérieur, à la hausse comme à la baisse, peut avoir un impact énorme sur la prolifération des acariens.

L'humidité relative peut aussi être un facteur déterminant pour la croissance et la prolifération de moisissures. De plus, même si le taux d'humidité relative est acceptable au milieu d'une pièce, un mur mal isolé et froid pourra entraîner la formation d'une condensation de surface susceptible de favoriser la croissance de moisissures. Il existe différentes façons de réduire l'humidité relative sous le point de saturation près de ces surfaces, dont la réduction du contenu en vapeur d'eau de l'air, l'accroissement du mouvement d'air en surface et l'augmentation de la température de l'air (d'Halewyn *et al*, 2002).

Climat

Le climat d'un lieu se compose de nombreux éléments dont les plus fréquemment observés et mesurés sont la température et les précipitations, correspondant aux notions de chaleur, de froid, d'humidité et de sécheresse (Philipps, 1990). D'autres éléments sont cependant importants : direction et vitesse des vents, ensoleillement, nébulosité, pression atmosphérique, etc. Le Canada n'est pas un pays uniformément froid, la plus grande partie bénéficiant d'un climat plutôt tempéré. Les hivers y sont froids et les étés plutôt chauds, la température variant passablement d'un jour à l'autre. Les climatologues considèrent qu'une journée est très froide si la température minimale est inférieure à moins 20 °C. L'est du Canada connaît habituellement de longues périodes de froid intense. Les villes de Québec et de Montréal se classent respectivement aux deuxième et sixième rangs en ce qui concerne l'indice de rigueur du climat parmi douze grandes villes canadiennes. Étant donné la variation de la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau en fonction de la température, l'air est plus sec au milieu de l'hiver et plus humide en été. Le taux d'humidité a tendance à être plus élevé dans les régions côtières et au-dessus des terrains humides. Au Québec, en hiver, le taux d'humidité moyen, est relativement faible en comparaison avec celui des provinces maritimes et du sud de la Colombie-Britannique. En janvier, au milieu de la journée, la tension moyenne de vapeur d'eau se situe entre 0,2 kPa et 0,3 kPa en comparaison avec 0,4 kPa et 0,5 kPa sur la côte est. Le mois de juillet est plus humide, alors que la tension moyenne de vapeur d'eau se situe à environ 1,4 kPa, en comparaison avec 1,0 kPa au centre du Canada (Philipps, 1990). À l'intérieur même du Québec, il existe une gamme de climats très variés. Dans le nord et le centre de la province, par exemple, les hivers sont longs et froids

et les étés courts et chauds. La côte nord du golfe du Saint-Laurent possède un climat plus maritime avec des hivers humides. Le sud du Québec connaît un climat assez semblable à celui du sud de l'Ontario. En janvier, les températures diurnes et nocturnes moyennes oscillent autour de - 5 et - 14 °C à Montréal, et de - 8 et - 17 °C à Québec et dans les Cantons de l'Est.

3.2.2 La sélection et la révision des études

Nous avons recherché et analysé les études réalisées dans tous les types de bâtiment d'habitation sur les liens entre la ventilation et les symptômes respiratoires des occupants (annexe 3).

Nous avons interrogé les banques de données électroniques MEDLINE et EMBASE, de même que le répertoire de la *Library Cochrane*. Nous avons utilisé les descripteurs suivants : *wheezing, respiratory symptoms, asthma, house dust mites, moulds, molds, VOC, formaldehyde, indoor ventilation, mechanical ventilation*. Nous en avons extrait les résumés et les articles complets des études publiées entre 1966 et décembre 2005, bien que la grande majorité d'entre elles datent des dix dernières années. Les répertoires des centres de documentation accessibles à l'INSPQ ont été consultés afin d'identifier les rapports de recherche. Des experts ont été consultés afin de s'assurer que tous les documents pertinents aient été identifiés. Les articles et les rapports de recherche ont été revus et analysés à l'aide de la méthodologie développée par le *Groupe de travail canadien sur les soins de santé préventifs* (Woolf *et al*, 1990). Les articles ont été classés selon le type d'études et la qualité de la preuve a été évaluée selon la hiérarchie des différents types d'études (voir encadré suivant). Nous avons analysé les articles en fonction de l'association des effets avec deux types de mesure de la variable indépendante : ventilation mécanique *versus* ventilation naturelle et comparaison de différents taux de ventilation. Rappelons que les chercheurs postulent, en général, que la ventilation mécanique se traduit par un taux de ventilation supérieur à celui de la ventilation naturelle. Pour ce qui est des recommandations, nous avons adapté la méthodologie à la santé publique en centrant les catégories de recommandations sur les mesures préventives potentielles pertinentes dans les habitations, c'est-à-dire, la présence de ventilation mécanique et le taux de ventilation minimal.

Dans le but de compléter la révision des connaissances et considérant le nombre non négligeable d'études ayant été produites en milieu de travail en rapport avec les effets de la ventilation sur la santé, nous avons recherché les études réalisées sur ce sujet dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux (annexe 4). Les résultats de ces études sont utiles pour comparer avec les résultats obtenus dans les bâtiments d'habitation, d'autant plus que les chercheurs extrapolent eux-mêmes fréquemment les résultats de ces études à l'habitation. Nous avons analysé les études concernant la fréquence du syndrome de l'édifice hermétique (SEH). Le SEH englobe des symptômes d'irritation des voies respiratoires supérieures, tels que la congestion nasale et la sécheresse de la gorge, en plus de la sécheresse de la peau, la céphalée et la léthargie. Quelques études ont porté sur la fréquence des symptômes respiratoires et la performance académique chez des enfants dans des écoles et les garderies. En ce qui concerne les études sur les bâtiments publics et les édifices à bureaux, nous avons utilisé les descripteurs *ventilation, health, respiratory symptoms, sick building syndrome*.

**QUALITÉ DES PREUVES ET CATÉGORIES DE RECOMMANDATIONS
DU GROUPE D'ÉTUDE CANADIEN SUR LES SOINS DE SANTÉ PRÉVENTIFS**

Qualité des preuves

- I Données obtenues dans le cadre d'au moins un essai comparatif bien conçu randomisé.
- II-1 Données obtenues dans le cadre d'essais comparatifs bien conçus, sans randomisation.
- II-2 Données obtenues dans le cadre d'études de cohortes ou d'études analytiques cas-témoins, réalisées de préférence dans plus d'un centre ou par plus d'un groupe de recherche.
- II-3 Données comparatives de différents lieux et époques dans le cadre d'études descriptives.
- III Opinions exprimées par des sommités dans le domaine et reposant sur l'expérience clinique.

Catégories de recommandations

- A La preuve est forte (« good ») pour recommander que le problème ou l'intervention soit spécifiquement pris en considération à titre de mesure préventive. (I)
- B La preuve est modérée (« fair ») pour recommander que le problème ou l'intervention soit spécifiquement pris en considération à titre de mesure préventive. (II-1; II-2)
- C La preuve est faible (« weak ») pour recommander l'inclusion ou l'exclusion d'un problème ou d'une intervention à titre de mesure préventive, mais des recommandations peuvent être formulées pour d'autres motifs. (II-3; III)
- D La preuve est modérée (« fair ») pour recommander qu'un problème ou une intervention soit spécifiquement exclu à titre de mesure préventive. (II-1; II-2)
- E La preuve est forte (« good ») pour recommander qu'un problème ou une intervention soit spécifiquement exclu à titre de mesure préventive. (I)

Source : Traduit et adapté de Woolf *et al* (1990)

3.3 LE BILAN DES ÉTUDES

3.3.1 Lien direct ventilation-santé respiratoire

Le bilan concernant le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire porte sur 13 études réalisées dans des habitations. Les études sont réparties de la façon suivante : 3 études d'intervention, 6 études de types cohorte/cas-témoins, 3 études descriptives et 1 revue. Dix (10) de ces 13 études ont été réalisées en Scandinavie. Douze études ont donné des résultats concluants, dont 8 ont montré des effets significatifs et 4 l'absence d'effet. Plusieurs études de qualité suggèrent un lien direct positif entre la ventilation et la santé respiratoire, chez les asthmatiques et dans la population en général. Chez des asthmatiques adultes, Harving *et al* (1994a) ont montré, dans une étude quasi-expérimentale, que la ventilation mécanique avait un impact positif durable significatif sur le VEMS, le débit de pointe, le niveau d'anticorps, les symptômes et la consommation de médicaments. L'étude d'intervention réalisée par Leech *et al* (2004), au Canada, a montré une amélioration significative des symptômes respiratoires reliée à l'installation de la ventilation mécanique dans les maisons R-2000, dans la population générale. Les études de cohorte/cas-témoins montrent que la présence de ventilation mécanique diminue le risque de symptômes de 8 % à 72 % chez les occupants. La présence de la ventilation naturelle est associée dans une étude à un risque de sibilances trois fois plus élevé. Enfin, une étude a montré qu'un taux de ventilation inférieur à 0,5 rah, conjointement avec une humidité excessive, était associé à un risque de bronchite près de 10 fois plus élevé chez les occupants. L'étude récente de Bornehag *et al* (2005) a mis en évidence une association significative entre le taux de ventilation et des symptômes reliés à l'asthme et à l'allergie chez les enfants. L'étude quasi-expérimentale réalisée par Engvall *et al* (2005) chez des adultes en bonne santé, bien qu'elle ait mis en évidence un impact positif du taux de ventilation sur la perception des odeurs et de la qualité de l'air intérieur, n'a pas montré d'effets sur les symptômes respiratoires. Soulignons que les symptômes étaient mesurés à l'aide d'un questionnaire sur le SEH et non pas à l'aide d'un questionnaire respiratoire standardisé.

Le tableau 8a présente le bilan des études portant sur le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire selon la région et le type de bâtiment.

Tableau 8a Bilan des études portant sur le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire selon la région et le type de bâtiment

MILIEU	TYPE D'ÉTUDE	RÉGIONS							NOMBRE D'ÉTUDES	RÉSULTATS DES ÉTUDES			FORCE DE L'ASSOCIATION	QUALITÉ DE LA PREUVE
		AN	EC	S	GB	AU	AP	Div.		Concluantes		Non concluantes		
										+	-	±		
HABITATIONS (Annexe 3, tableau 3-1)	Intervention randomisée (I)												.	
	Intervention non randomisée (II-1)	1		2					3	2	1		n.d.	II-1
	Cohorte/cas-témoins (II-2)			6					6	4	2		Chez les enfants : VN : RR sibilances = 3,13 Vt (< 0,5 rah) + H : RR bronchite = 9,6; Relation dose/effet entre Vt et symp. allergiques.	II-2
	Descriptive (II-3)		1	2					3	2	1		Chez les adultes : VM : RR symptômes = 0,28 - 0,92; Chez les enfants : VM : RR symptômes + 0,68 (IC 95% : 0,46-1,00)	III
	Revue (III)				1				1			1	n.d.	
	SOUS-TOTAL	1	1	10	1	-	-	-	13	8	4	1		

Régions : AN : Amérique du Nord
EC : Europe centrale
S : Scandinavie
GB : Grande-Bretagne

AU : Australie
AP : Asie-Pacifique
Div. : régions diverses

H : humidité excessive
VAC : ventilation + air conditionné
VM : ventilation mécanique
VN : ventilation naturelle

Vt : taux de ventilation
Rah : renouvellement d'air à l'heure
RR : risque relatif

3.3.2 Lien indirect

Nous avons fait le bilan des différentes études portant sur les acariens, les moisissures et les COV (tableau 12b).

3.3.2.1 Associations avec les acariens

Notre analyse porte sur 27 études (4 acariens/santé; 23 ventilation/acariens) concernant les associations indirectes ventilation/humidité/acariens/santé respiratoire. Parmi ces études, on retrouve 10 études d'intervention dont 1 randomisée, 2 études de types cohorte/cas-témoins, 8 études descriptives et 7 revues. Sept (7) études ont été réalisées en Scandinavie, 5 en Grande-Bretagne (uniquement des études d'intervention) et 5 en Amérique du Nord. Vingt-deux (22) études sont concluantes. Trois (3) études sont négatives dont 2 études d'intervention. Globalement, ces études, qui ont été l'objet de plusieurs revues, font ressortir une association entre l'exposition aux acariens en milieu domestique et la sensibilisation aux allergènes d'acariens 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 y avait entre ces variables une association causale, incluant le développement de l'asthme. Signalons par ailleurs que certains chercheurs comme Pearce *et al* (2000), 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. Ces auteurs ne remettent cependant pas en question l'association de l'exposition aux acariens avec une fréquence accrue de symptômes respiratoires chez les enfants et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées.

Plusieurs études d'intervention ont été réalisées pour évaluer la capacité de la ventilation mécanique à réduire le niveau d'humidité à l'intérieur, le nombre d'acariens et la concentration d'allergènes dans la poussière de même que, dans certains cas, la fréquence de symptômes respiratoires. Les résultats de plusieurs études réalisées en Scandinavie ont montré un impact positif de la ventilation sur ces trois paramètres environnementaux dont l'une d'entre elles incluait une amélioration des symptômes respiratoires. 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. Toutefois, plusieurs d'entre elles indiquent que la ventilation réduit l'humidité à l'intérieur. Quelques-unes montrent aussi une réduction des acariens et des allergènes, dont les études en Amérique du nord portant sur l'air conditionné. 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. Korsgaard (1998b) insiste sur l'importance cruciale de la ventilation des habitations pour contrôler la prolifération des acariens en se basant principalement sur les trois études scandinaves de Munir *et al* (1995), de Harving *et al* (1993), et de Sundell *et al* (1995). Le chercheur recommande de maintenir l'humidité à l'intérieur au-dessous de 7 g/kg ou de 45 % pendant quelques mois durant l'hiver. Une formule mathématique permet de déterminer le taux minimal de changement d'air à l'heure selon la région géographique, en tenant compte de l'humidité extérieure durant l'hiver, de la surface du logement et du nombre de personnes dans l'habitation (Korsgaard, 1998a).

3.3.2.2 Associations avec les moisissures

Nous avons analysé 19 études portant sur les associations ventilation/humidité/moisissures/santé respiratoire. Nous n'avons trouvé aucune étude d'intervention. Les études sont regroupées de la façon suivante : 4 études de type cohortes/cas-témoins, 10 études descriptives et 5 revues. Sept (7) études sont non-concluantes. En ce qui concerne le lien entre l'exposition aux moisissures et les symptômes respiratoires, 11 des 12 études restantes ont montré des effets significatifs, caractérisés principalement par une association de l'exposition à une fréquence plus élevée de symptômes reliés à l'asthme chez les enfants. Deux 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 si les parents sont atopiques. Une étude descriptive réalisée chez des asthmatiques adultes a montré une augmentation des symptômes associée à l'exposition aux moisissures. Pour ce qui est du lien entre la ventilation et la concentration de moisissures en milieu intérieur, les seules études publiées sont des études descriptives. Les résultats de ces dernières suggèrent que le manque de ventilation (dans ce cas-ci, ventilation naturelle par les fenêtres) a tendance à provoquer une augmentation de la concentration de spores dans l'air. L'impact de la ventilation sur la présence de moisissures est encore peu documenté.

3.3.2.3 Associations avec les composés organiques volatils (COV)

Les études portant sur l'association entre l'exposition résidentielle aux COV et la santé respiratoire sont peu nombreuses. Nous avons analysé 16 études réparties de la façon suivante : 4 études d'intervention, 4 études de cohortes/cas-témoins, 4 études descriptives et 4 revues. Cinq (5) des 16 études ne sont pas concluantes. Huit des 11 études restantes ont montré des effets significatifs caractérisés par une augmentation de la fréquence des symptômes d'asthme chez les enfants exposés et des symptômes respiratoires chez les adultes sains. La revue de Dales et Raizenne, publiée en 2004, a répertorié une douzaine d'études auxquelles se sont ajoutées 2 études cas-témoins plus récentes. Alors que les études plus anciennes font appel à une mesure de l'exposition basée principalement sur un questionnaire et l'observation des lieux pour identifier la présence de sources d'émission (papier peint, tapis, etc.), les études de Rumchev *et al.*, en 2004, et Venn *et al.*, en 2003, font appel à des mesures des concentrations de COV dans l'air. Ces deux études ont montré une association significative entre l'exposition aux COV et un excès de problèmes respiratoires.

En ce qui concerne l'influence de la ventilation sur les concentrations de COV à l'intérieur, les travaux de Sherman et Hodgson, en 2004, et du Comité de l'*Institute of Medicine*, en 2000, permettent d'estimer à partir de modèles mathématiques l'impact prévisible sur la qualité de l'air et la santé respiratoire. Ces modèles permettent d'estimer l'influence de la ventilation sur les concentrations de certains types de contaminants. L'influence de la ventilation dépend beaucoup de la taille des particules. Le taux de ventilation a peu d'impact sur les concentrations de grosses particules, comme celles retrouvées dans les particules d'acariens, de blattes et de spores. Par contre, le changement du taux de ventilation a un impact majeur sur les concentrations des petites particules comme, par exemple, celles retrouvées dans la fumée de tabac et les allergènes de chat (voir annexe 1). Les concentrations de ce type de contaminants peuvent augmenter de façon très importante si le taux de ventilation est inférieur à 0,25 rah, par exemple. À partir de ces modèles, le Comité de l'IOM estime qu'une augmentation du taux de ventilation de 0,75 rah à 4 rah, amène une réduction de 80% des

particules de 1 µm et moins. La réduction est de 50 % pour les particules de 10 µm. L'influence du taux de ventilation sur les concentrations de contaminants gazeux est moins importante, en général inférieure à 50 %. L'impact est cependant plus important dans le cas de composés plus volatils. Cependant, les résultats d'une récente étude réalisée par Gilbert *et al* (2006) au Canada (ville de Québec), font ressortir que les concentrations de formaldéhyde mesurées dans les habitations étaient associées de façon négative avec le taux d'échange d'air. En général, les résultats des études suggèrent que le taux de ventilation influence surtout l'exposition à la fumée de tabac, aux allergènes de chat, aux bioaérosols infectieux et à certains COV.

Le tableau 8b présente le bilan des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire selon le type de contaminant.

Tableau 8b Bilan des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire selon le type de contaminant

TYPE DE CONTAMINANT	TYPE D'ÉTUDE	RÉGIONS							NOMBRE D'ÉTUDES	RÉSULTATS DES ÉTUDES			FORCE DE L'ASSOCIATION	QUALITÉ DE LA PREUVE
		AN	EC	S	GB	AU	AP	Div.		Concluantes		Non concluantes		
										+	-			
ACARIENS (Annexe 3, tableaux 3-2a et 3-2b)	Intervention randomisée (I)				1				1	1			n.d.	I
	Intervention non randomisée (II-1)	2		2	4	1			9	4	2	3	n.d.	II-1
	Cohorte/cas-témoins (II-2)	1	1						2	2			n.d.	II-2
	Descriptive (II-3)	2	1	5					8	5	1	2		III
	Revue (III)							7	7	7			Pers. sensibilisées : RR asthme = 6-12. Si 100 acariens/gr : RR suggéré : dévelop. asthme = 6,8 Si 1000 acariens/gr : RR=7,8	
	SOUS-TOTAL	5	2	7	5	1	-	7	27	19	3	5		
MOISSISSURES (Annexe 3, tableaux 3-3a et 3-3b)	Intervention randomisée (I)													
	Intervention non randomisée (II-1)													
	Cohorte/cas-témoins (II-2)	1		2	1				4	3		1	Enfants (parents atopiques) : RR développement asthme = 1,52 RR sibilances = 2,27 RR toux = 1,83	II-2
	Descriptive (II-3)	2	2	1		4	1		10	6	1	3	n.d.	III
	Revue (III)							5	5	2		3		
	SOUS-TOTAL	3	2	3	1	4	1	5	19	11	1	7		

Régions : AN : Amérique du Nord
EC : Europe centrale
S : Scandinavie
GB : Grande-Bretagne

AU : Australie
AP : Asie-Pacifique
Div. : régions diverses

VAC : ventilation + air conditionné
VM : ventilation mécanique
VN : ventilation naturelle

Vt : Taux de ventilation
rah : renouvellement d'air à l'heure
RR : risque relatif

Tableau 8b Bilan des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire selon le type de contaminant (suite)

TYPE DE CONTAMINANT	TYPE D'ÉTUDE	RÉGIONS							NOMBRE D'ÉTUDES	RÉSULTATS DES ÉTUDES			FORCE DE L'ASSOCIATION	QUALITÉ DE LA PREUVE
		AN	EC	S	GB	AU	AP	Div.		Concluantes		Non concluantes		
										+	-			
COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV) (Annexe 3, tableaux 3-4a et 3-4b)	Intervention randomisée (I)	1							1	1				I
	Intervention non randomisée (II-1)	1			1	1			3	2		1		
	Cohorte/cas-témoins (II-2)			2		2			4	3			OR asthme enfants par 10 µg/m ³ COV=1,2 (IC 95% : 1,13-1,27); Humidité+ formaldéhyde : OR symptômes nocturnes = 1,45 (IC 95% : 1,06-1,98) chez non-atopiques et 1,97 (IC 95% : 1,10-3,53) chez atopiques.	II-2
	Descriptive (II-3)	2		1	1				3	1	1	1		III
	Revue (III)							4	4	1		3		
	SOUS-TOTAL	4	-	3	2	3	-	4	16	8	2	5		
TOTAL	12	4	13	8	8	1	16	62	39	6	17			

Régions : AN : Amérique du Nord
EC : Europe centrale
S : Scandinavie
GB : Grande-Bretagne

AU : Australie
AP : Asie-Pacifique
Div. : régions diverses

VAC : ventilation + air conditionné
VM : ventilation mécanique
VN : ventilation naturelle

Vt : Taux de ventilation
rah : renouvellement d'air à l'heure
RR : risque relatif

3.3.3 Aperçu des données issues des études réalisées dans les édifices publics

Les résultats des études sur la ventilation réalisées dans des écoles et des édifices à bureaux nous sont apparus pertinents notamment en ce qui a trait aux comparaisons entre la ventilation naturelle et la ventilation mécanique, ainsi qu'aux taux de ventilation. Cependant, à la différence des bâtiments d'habitation, ces milieux sont généralement dotés d'un système plus complexe, combinant le chauffage, la ventilation et le conditionnement de l'air. La comparaison des résultats des études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux avec ceux des études réalisées dans les habitations doit donc être faite avec prudence compte tenu des différences au niveau des composantes de ces systèmes. De plus, les études réalisées dans les milieux de travail ne portent pas de façon spécifique sur les symptômes respiratoires et l'asthme.

Globalement, en ce qui concerne les bâtiments publics et édifices à bureaux, nous avons répertorié et analysé 13 études portant sur la ventilation et le SEH. Les études sont réparties de façon suivante : 3 études d'intervention, 3 études descriptives et 7 revues. La plupart de ces études ont été réalisées en Scandinavie et en Amérique du nord. Parmi les 11 études concluantes, 9 études ont montré des effets significatifs associés à la ventilation mécanique. Dans ces bâtiments, les résultats démontrent que le risque de symptômes reliés au SEH augmente de 3 à 6 fois en présence de ventilation mécanique en comparaison avec la ventilation naturelle. Rappelons toutefois que les études de Mendell *et al* (1996) et Seppänen et Fisk (2004) ont montré que le risque de problèmes respiratoires est sensiblement plus élevé dans les édifices pourvus d'un système combinant le chauffage, la ventilation et le conditionnement de l'air (CVCA), l'hypothèse avancée étant le risque de contamination biologique plus élevé dans ces systèmes. Par ailleurs, les résultats des études montrent que l'augmentation du taux de ventilation diminue de façon significative la fréquence de ces symptômes (de 20 % à 40 %) et des absences-maladies (50 %).

3.4 MESURES PRÉVENTIVES À RECOMMANDER SELON LE DEGRÉ DE PREUVE

Nous avons utilisé les critères développés pour les recommandations du « Groupe canadien sur l'examen médical périodique » pour identifier les mesures préventives reliées à la ventilation, les impacts prévus, le degré de preuve concernant ces impacts et les recommandations appropriées selon le poids relatif des études. La classification des études se rapproche de celle développée par le « Oxford Centre for Evidence-Based Medicine »; cette dernière est plus détaillée et inclut les revues systématiques et les méta-analyses (<http://www.cebm.net/>). Cette classification est utilisée par la « Collaboration Cochrane », dont les travaux sont surtout axés sur l'évaluation de l'efficacité des traitements médicaux. Pour cet organisme, la détermination d'une preuve suffisante repose essentiellement sur les essais randomisés. La classification des niveaux de preuve et des niveaux de recommandations (A, B, C, D) permet de fournir des assises pour les recommandations applicables à la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation. La méthodologie utilisée comporte des limites qui sont aussi rencontrées dans d'autres systèmes de classification et de recommandation (Atkins *et al*, 2004). En santé publique, en particulier en santé environnementale, l'évaluation est moins bien développée et limitée par le manque de données (Anderson *et al*, 2005). De plus, d'autres critères, comme les coûts et l'acceptabilité, doivent être pris en compte dans la prise de décision.

Nous avons identifié deux mesures préventives sur lesquelles peuvent porter les recommandations pour les bâtiments d'habitation : l'installation ou non d'un système de ventilation mécanique et la détermination d'un taux de ventilation minimal. Nous avons identifié les impacts directs et indirects de ces deux mesures, prévus à partir de la littérature scientifique. Les niveaux de recommandations sont basés sur le type d'études publiées. En ce qui concerne la ventilation mécanique dans les bâtiments d'habitation, la preuve d'un effet bénéfique sur la santé respiratoire, qu'elle soit directe ou indirecte par le biais des acariens, est modérée et permet de supporter une recommandation de catégorie B (voir tableau 9a). En ce qui concerne les moisissures et les COV, la preuve est modérée pour ce qui est du lien entre l'exposition et les problèmes respiratoires chez les occupants. La preuve sur le lien entre la ventilation et la diminution de l'exposition à ces contaminants dans les bâtiments d'habitation est cependant faible, ce qui ne permet pas de supporter la ventilation mécanique. En ce qui concerne la détermination d'un taux de ventilation minimal à 0,5 rah, la preuve directe et indirecte est modérée et permet de supporter une recommandation de niveau B (tableau 9b). Toutefois, les données sont insuffisantes pour exclure la possibilité qu'un taux inférieur à 0,5 rah ne puisse produire un effet bénéfique similaire au niveau respiratoire.

Tableau 9a Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
Ventilation mécanique du bâtiment	Impacts directs : Bâtiments d'habitation			
	Diminution de la sévérité des symptômes respiratoires chez les adultes.	Essais non randomisés (II-1)	Engvall <i>et al</i> (2005) (-) Leech <i>et al</i> (2004)	Catégorie B : preuves modérée (II-1 ; II-2) et faible (II-3) pour supporter la recommandation que les bâtiments d'habitation neufs soient pourvus d'un système de ventilation mécanique afin de fournir un taux de renouvellement d'air neuf suffisant.
	Diminution des symptômes, de la consommation de médicaments et amélioration de la fonction respiratoire chez les adultes asthmatiques.	Essai non randomisé (II-1)	Harving <i>et al</i> (1994a)	
	Diminution du risque de symptômes respiratoires chez les enfants.	Étude de cohorte (II-2) Études cas-témoins (II-2)	Hesselmar <i>et al</i> (2005) Bornehag <i>et al</i> (2005) Emenius <i>et al</i> (2004) (-) Oie <i>et al</i> (1999) Wickman <i>et al</i> (1991) Norbäck <i>et al</i> (1995) (adultes) (-)	
	Diminution de la fréquence des symptômes respiratoires, d'irritation des yeux et du nez, chez les adultes.	Études descriptives (II-3)	Bonnefoy (2004) (-) Engvall <i>et al</i> (2003) Aberg <i>et al</i> (1996)	
Revue (III)		Davies <i>et al</i> (2004) (-)		

Tableau 9a Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation (suite)

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
	Impacts indirects : Acariens			
	Diminution de l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées Diminution possible du risque de développement de l'asthme chez l'enfant suite à la réduction de l'exposition.	Études cas-témoins (II-2)	Bornehag <i>et al</i> (2004a) Venn <i>et al</i> (2003) Korsgaard <i>et al</i> (1998a) : 8 études de 1983 à 1995 ; Pearce <i>et al</i> (2000) : 21 études jusqu'à 1998.	Catégorie B : preuve modérée (II-1 ; II-2) pour supporter la recommandation que les bâtiments d'habitations neufs soient pourvus d'un système de ventilation mécanique, afin de fournir un taux de renouvellement d'air neuf suffisant.
		Revue d'experts (III)	Bornehag <i>et al</i> (2004a; 2001) IOM (2000) Pearce <i>et al</i> (2000) Korsgaard (1998a ;b)	
	Réduction des niveaux d'humidité (H), d'acariens (A) et d'allergènes associée à la présence d'un système de ventilation mécanique.	Essai randomisé (I)	Warner <i>et al</i> (2000)	
		Essais non randomisés (II-1)	Arlian <i>et al</i> (2001) Niven <i>et al</i> (1999) (H+ ; A-). Emenius <i>et al</i> (1998) Crane <i>et al</i> (1998) (H+ ; A-). Stephen <i>et al</i> (1997) (H+ ; A-). Fletcher <i>et al</i> (1996) (H+ ; A-) Htut <i>et al</i> (1996)	
		Étude de cohorte Étude cas-témoins (II-2)	Van Strien <i>et al</i> (2004) Van Strien <i>et al</i> (1994)	

Tableau 9a Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation (suite)

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
		Études descriptives (II-3)	Sundell <i>et al</i> (1995) Munir <i>et al</i> (1995) Chan-Yeung <i>et al</i> (1995) (-) Wickman <i>et al</i> (1994) Lintner et Brame (1993) Harving <i>et al</i> (1992)	
		Reuves d'experts (III)	Crowther <i>et al</i> (2000) Munir (1998) Colloff (1994)	
Impacts indirects : Moisissures				
	Diminution de la fréquence de sibilances et possiblement du risque de développement de l'asthme chez l'enfant associée à la réduction de l'exposition.	Études de cohorte (II-2) Études cas-témoins (II-2)	Jaakkola <i>et al</i> (2005) Bélangier <i>et al</i> (2003) Bornehag <i>et al</i> (2004) Venn <i>et al</i> (2003)	Catégorie B : preuve modérée (II-2 ; II-3) pour supporter la recommandation de prévenir l'exposition aux moisissures dans les bâtiments d'habitation. Catégorie C : preuve faible (III) pour supporter la recommandation que les bâtiments d'habitation neufs soient pourvus d'un système de ventilation mécanique pour réduire l'exposition aux moisissures .
	Diminution de la fréquence de toux et de dyspnée chez l'adulte associée à une réduction de l'exposition.	Études descriptives (II-3)	Gunnbjörndottir <i>et al</i> (2003) Zock <i>et al</i> (2002) Dharmage et al (2002) Dales et Miller (1999)	
		Reuves d'experts (III)	Jaakkola et Jaakkola (2004) IOM (2004) Funh et Hughson (2003) D'Halewyn <i>et al</i> (2002)	

Tableau 9a Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur la ventilation mécanique des bâtiments d'habitation (suite)

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
	Impacts indirects : COV			
	Diminution du risque de sibilances persistantes et possiblement du développement de l'asthme chez l'enfant associée à une réduction de l'exposition aux COV.	Études cas-témoins (II-2)	Rumchev <i>et al</i> (2004; 2002) Venn <i>et al</i> (2003) Rumchev <i>et al</i> (2002) Jaakkola <i>et al</i> (1999) Garrett <i>et al</i> (1999) (-) Norbäck <i>et al</i> (1995)	Catégorie B : preuve modérée (II-2) pour supporter la recommandation de prévenir l'exposition aux COV dans les bâtiments d'habitation. Catégorie C : preuve faible (III) pour supporter la recommandation que les bâtiments d'habitation soient pourvus d'un système de ventilation mécanique pour prévenir l'exposition aux COV .
		Revue d'experts (III)	Dales et Raizenne (2004) (-) IOM (2000) (-)	

(-) : étude négative par rapport à l'impact prévu.

H : niveau d'humidité.

A : acariens.

Tableau 9b Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur le taux de ventilation minimal

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
Taux de ventilation minimal de 0,5 rah.	Impacts directs : <i>Bâtiments d'habitation</i>			
	Diminution de la fréquence des symptômes (S) d'asthme et d'allergie chez l'enfant, associée à l'augmentation du taux de ventilation.	Étude cas-témoins (II-2)	Bornehag <i>et al</i> (2005)	Catégorie B : preuve modérée (II-2) pour supporter la recommandation que l'on vise un taux de renouvellement d'air minimal de 0,5 rah.
	Diminution du risque de bronchite chez l'enfant en présence d'humidité excessive, si le taux de ventilation est supérieur à 0,5 rah.	Étude cas-témoins (II-2)	Oie <i>et al</i> (1999)	
	Amélioration de la perception de la QAI et diminution de la perception des odeurs chez les adultes.	Essai non randomisé (II-1)	Engvall <i>et al</i> (2005) (S-)	

Tableau 9b Sommaire de la preuve scientifique supportant la recommandation sur le taux de ventilation minimal (suite)

TYPE DE MESURE	IMPACTS PRÉVUS	DEGRÉ DE PREUVE	RÉFÉRENCES	RECOMMANDATION
	Impacts indirects : <i>Acariens</i>			
	Diminution des niveaux d'humidité, d'acariens et d'allergènes associée à une augmentation du taux de ventilation.	Essai non randomisé (II-1)	Emenius <i>et al</i> (1998) Harving <i>et al</i> (1994)	Catégorie B : preuve modérée (II-1) pour supporter la recommandation que l'on vise un taux minimal de renouvellement d'air de 0,5 rah.
		Études descriptives (III)	Sundell <i>et al</i> (1995) Munir <i>et al</i> (1995) Harving <i>et al</i> (1993)	
	Impacts indirects : <i>Moisissures</i>			
	Aucun impact documenté	n. d.	n. d.	n. d.
	Impacts indirects : <i>COV</i>			
	Réduction des concentrations de formaldéhyde et de CO ₂ en deçà des valeurs-limites recommandées par Santé Canada pour les effets aigus et à long terme associée à l'augmentation du taux de ventilation.	Étude descriptive (II-3)	Raw <i>et al</i> (2004) (-) Stricker Associates (1994) (-).	Catégorie C : preuve faible (II-3 ; III) pour supporter la recommandation de viser un taux de renouvellement d'air minimal de 0,5 rah.
		Revue (III)	Sherman et Hodgson (2004)	

(-) : étude négative par rapport à l'impact prévu.

(S-) : négatif en ce qui concerne les symptômes.

3.5 POINTS SAILLANTS

- Les normes de ventilation actuelles, à l'intérieur des bâtiments d'habitation, des édifices à bureaux et des bâtiments publics, ne sont pas spécifiquement basées sur la prévention des problèmes de santé. Elles visent principalement à prévenir l'inconfort relié aux contaminants ou « bioeffluents » émis par les occupants qui sont à l'origine de mauvaises odeurs.
- Au cours des 20 dernières années, plusieurs études ont été réalisées à travers le monde pour évaluer les effets de la ventilation des bâtiments sur la santé. Historiquement, les premiers problèmes de santé étudiés ont été les symptômes du syndrome de l'édifice hermétique dans les édifices à bureaux, suivis plus tard des symptômes respiratoires et d'allergie dans les bâtiments d'habitation. Ces nouvelles recherches découlent en partie des préoccupations occasionnées par les politiques de conservation d'énergie implantées au cours des années 1970 dans de nombreux pays industrialisés.
- Nous avons traduit et adapté le modèle explicatif développé par Davies *et al* (2004) pour identifier les liens potentiels entre la ventilation et la santé respiratoire. Les études qui portent sur le lien direct évaluent l'association entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants. Les études qui portent sur les liens indirects, évaluent les associations entre, d'une part, la ventilation et l'exposition des occupants à trois contaminants principaux, les acariens, les moisissures et les COV, et d'autre part, les effets d'une telle exposition sur la santé respiratoire.
- Au total, 75 études sur la ventilation des bâtiments d'habitation publiées au cours des dix dernières années ont été retenues pour analyse détaillée, incluant certaines revues importantes réalisées par des groupes d'experts portant sur des études publiées au cours des dernières décennies. En nous basant sur l'approche méthodologique développée par le « Groupe de travail canadien sur les soins de santé préventifs », adaptée à la santé publique, nous avons classé les études selon le type d'études : études d'intervention randomisée (I) et non-randomisée (II-1), étude de cohorte/cas-témoins (II-2), étude descriptive (II-3) et revue d'experts (III).
- Treize (13) études portent sur le lien direct entre la ventilation et la santé respiratoire. Parmi ces études, 10 ont été réalisées en Scandinavie. Parmi les 12 études concluantes, 8 ont montré que la ventilation diminuait de façon significative les symptômes respiratoires et d'allergie, principalement chez les enfants, tandis que 4 études se sont avérées négatives, dont 1 des 2 études d'intervention. Plusieurs études de qualité suggèrent un lien direct positif entre la ventilation et la santé respiratoire, chez les asthmatiques et dans la population en général. L'étude d'intervention réalisée par Leech *et al* (2004), au Canada, a montré une amélioration significative des symptômes respiratoires reliée à l'installation de la ventilation mécanique dans les maisons R-2000, dans la population générale.
- Vingt-sept (27) études ont été réalisées sur le lien indirect ventilation/humidité/acariens/santé respiratoire. Parmi ces études, 10 sont des études d'intervention. Celles-ci ont été réalisées pour la plupart en Scandinavie, en Grande-Bretagne et en Amérique du Nord. Parmi les 22 études concluantes, 19 sont positives. Globalement, ces études ont clairement démontré une association

entre l'exposition aux acariens et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées. L'association observée avec le développement de l'asthme chez l'enfant est moins certaine à cause de l'incertitude qui entoure le diagnostic d'asthme avant l'âge de 5 ans. En général, les études réalisées en Scandinavie démontrent aussi que la ventilation diminue le niveau d'humidité, la concentration d'acariens et d'allergènes à l'intérieur, de même que les symptômes respiratoires chez les occupants. Les études réalisées dans les autres pays sont plus limitées mais montrent aussi une diminution du niveau d'humidité, accompagnée à l'occasion d'une diminution significative des acariens et des allergènes. L'explication avancée par les chercheurs est le climat plus sec en Scandinavie qui permet à la ventilation de réduire davantage le niveau d'humidité à l'intérieur.

- Dix-neuf (19) études incluant cinq revues récentes et deux nouvelles études de cohorte chez les enfants sur le lien indirect ventilation/humidité/moisissures/santé respiratoire ont été analysées. Aucune étude d'intervention n'a été réalisée sur le sujet. Parmi les 12 études concluantes, 11 sont positives, parmi lesquelles certaines indiquent que l'exposition aux moisissures à l'intérieur pourrait être associée à un excès de risque de « développer » de l'asthme et de présenter des symptômes respiratoires. Toutefois, bien que l'influence de l'humidité sur la prolifération des moisissures soit documentée, aucune étude n'a été réalisée pour évaluer de façon rigoureuse l'impact de la ventilation sur les moisissures dans les bâtiments d'habitation.
- Seize (16) études sur le lien indirect ventilation/COV/santé respiratoire ont été analysées. Une des 4 études d'intervention a montré une augmentation significative des symptômes respiratoires chez l'adulte. Les 7 études d'observation, incluant deux études cas-témoins plus récentes, ont montré une association significative entre l'exposition aux COV dans les habitations et un excès de risque de symptômes respiratoires chez les enfants. Aucune étude n'a été réalisée pour mesurer de façon objective l'impact de la ventilation sur les COV à l'intérieur des habitations. Toutefois, des modèles de prédiction développés à partir des paramètres physico-chimiques des contaminants indiquent que le taux de ventilation peut diminuer les concentrations de contaminants gazeux d'au plus 50 %, l'efficacité maximale étant au niveau des composés très volatils.
- Les résultats de quelques études suggèrent l'existence d'un seuil minimal du taux de ventilation près de 0,5 rah, au-dessous duquel des problèmes de santé reliés à la qualité de l'air sont plus probables : perception de mauvaises odeurs, bronchite chez les enfants en présence d'humidité excessive, augmentation significative des acariens et des allergènes, fréquence plus élevée de symptômes respiratoires et allergiques chez les enfants. Il est toutefois important de souligner qu'aucune étude n'a tenté d'évaluer les effets d'un taux de ventilation inférieur à 0,5 rah sur les symptômes respiratoires.
- Les résultats des 13 études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux semblent démontrer que le risque de symptômes reliés au SEH augmente (de 3 à 6 fois) en présence de la ventilation mécanique en comparaison avec la ventilation naturelle. Soulignons que les études ont également montré que le risque de problèmes respiratoires est sensiblement plus élevé dans les édifices dotés d'un système de ventilation qui comprend le conditionnement de l'air. L'hypothèse avancée est un risque de contamination biologique plus élevé dans ces systèmes. Par ailleurs, les résultats montrent aussi que l'augmentation du taux de ventilation diminue de 20 % à 50 % la fréquence des symptômes et de 50 % la fréquence des absences-maladies.

- Du point de vue de la santé publique, nous avons identifié deux mesures préventives susceptibles de faire l'objet de recommandations pour les nouveaux bâtiments d'habitation : l'installation d'un système de ventilation mécanique complémentaire à la ventilation naturelle et la détermination d'un taux de ventilation minimal. En nous basant sur l'approche du Groupe de travail canadien sur les soins de santé préventif, nous avons déterminé pour chacune de ces mesures le degré de preuve et la catégorie de recommandation appropriée :
 - Ventilation mécanique du bâtiment d'habitation :
Recommandation de catégorie B basée sur une preuve scientifique modérée ou « *fair* » à partir des résultats des études portant sur le lien direct ventilation (mécanique)/santé respiratoire et sur le lien indirect avec les acariens.
 - Taux de ventilation minimal d'environ 0,5 rah¹⁹ :
Recommandation de catégorie B basée sur une preuve scientifique modérée ou « *fair* » à partir des résultats des études portant sur le lien direct ventilation (taux)/santé respiratoire et sur le lien indirect avec les acariens.

¹⁹ Le taux de ventilation de 0,5 rah a été retenu puisque les chercheurs n'ont examiné les impacts possibles de la ventilation qu'en fonction de ce seuil. Cependant, le lecteur doit noter que cet état de fait n'exclut pas la possibilité d'obtenir des résultats significatifs à des taux différents.

4 DISCUSSION

Dans les chapitres précédents, nous avons révisé les aspects techniques et réglementaires reliés à la ventilation de même que les connaissances scientifiques concernant l'impact de la ventilation des bâtiments d'habitation sur la santé respiratoire des occupants. Dans la présente section, nous mettrons en relation les différentes données recueillies afin de formuler un avis s'appliquant au contexte québécois. Notre réflexion se fera autour des questions suivantes :

- Quelle est la qualité des études concernant les effets de la ventilation sur la santé respiratoire des occupants des bâtiments d'habitation ?
- Les résultats des études analysées sont-ils applicables au contexte québécois ?
- Sur la base des études épidémiologiques et des avis d'experts, existe-t-il un taux de ventilation minimal souhaitable ?
- Quels sont les facteurs susceptibles de compromettre l'efficacité de la ventilation des bâtiments d'habitation ?

4.1 QUALITÉ DES ÉTUDES

Pour évaluer le niveau de preuve d'une relation de cause à effet entre la ventilation et la santé, nous avons utilisé en ordre décroissant les études d'intervention (études randomisées, études non-randomisées avec groupe contrôle), les études d'observation (études de cohorte, études cas-témoins, études descriptives) et les avis d'experts basés sur des consensus. Dans cette section, nous identifions les forces et les limites des études que nous avons analysées. De plus, nous comparons les résultats globaux de notre analyse avec les avis de divers groupes d'experts de niveau international.

4.1.1 Études sur le lien direct

Forces

Trois études d'intervention non-randomisées, avec groupes contrôles, ont été réalisées sur le sujet et ont montré des effets positifs de la ventilation. Soulignons l'étude de Harving *et al* (1994a), qui a montré une amélioration clinique objective à court et moyen termes des asthmatiques adultes occupant une « maison saine » avec ventilation mécanique. L'étude de Leech *et al* (2004), réalisée à l'Île-du-Prince-Édouard, au Canada, dans un climat se rapprochant de celui du Québec, a montré une amélioration des symptômes associée à la présence de ventilation mécanique. L'étude de Engvall *et al* (2005) est une étude de type *cross-over*. Bien qu'elle n'ait pas montré d'effets significatifs sur les symptômes, cette étude a fait ressortir une augmentation de la perception des odeurs et d'une mauvaise qualité de l'air associée à une diminution du taux de ventilation dans l'habitation. Globalement, les résultats des études d'intervention suggèrent actuellement un lien direct entre la ventilation mécanique des habitations et l'amélioration clinique des asthmatiques de même que la perception d'une meilleure qualité de l'air chez les occupants en général. Les résultats des études d'observation tendent à démontrer une association entre la ventilation naturelle ou un taux de ventilation faible et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires, en particulier en présence d'humidité élevée. La

taille des échantillons des études cas-témoins, des enquêtes de population et des études chez les travailleurs est relativement imposante. Les instruments de mesure utilisés dans l'étude cas-témoins publiée par Bornehag *et al.*, en 2005, qui a mis en évidence une association significative entre un taux de ventilation faible et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires et allergiques chez les enfants, avec relation dose/effet significative, sont plus objectifs que dans les études descriptives précédentes. Ils reposent sur un examen médical en plus du questionnaire et une mesure objective des taux de ventilation pendant une semaine.

Limites

La taille des échantillons des études d'intervention contrôlées est relativement faible. Les symptômes respiratoires étudiés dans les études utilisant un questionnaire portant sur le SEH, comme celle de Engvall *et al.* (2005), sont moins spécifiques et semblent reliés principalement à un phénomène d'irritation des voies respiratoires. Dans les études, la variable « ventilation » n'est pas toujours mesurée de façon objective à l'aide d'un gaz traceur.

Il est à remarquer que les auteurs de la presque totalité des études épidémiologiques portant sur le lien entre la ventilation et la santé n'ont pas contrôlé pour la variable « entretien » des principales composantes du système de ventilation. Or, l'absence ou le manque d'entretien de ses composantes se traduit théoriquement par une accumulation progressive de particules de toutes sortes (poussières, pollens, moisissures, etc.) sur les parois des conduits, sur les filtres ainsi que sur les grilles de sortie d'air. La présence de condensation ou d'eau stagnante susceptible de se manifester à certains endroits du système peut de plus favoriser la croissance de certains micro-organismes. Lors de la mise en marche de l'appareil, il est ainsi plausible de croire à une remise en suspension de ces particules respirables dans l'air intérieur, situation pouvant générer des problèmes respiratoires potentiels chez les personnes exposées. L'impact de ce biais « d'omission » est à notre avis susceptible d'entraîner une sous-estimation des effets positifs potentiels d'une ventilation efficace obtenue au moyen d'un système de ventilation adéquatement entretenu sur la qualité de l'air intérieur et par voie de conséquence, sur la santé respiratoire des occupants. Il faut par ailleurs ajouter que les études ne fournissent également pas d'information sur la façon dont les systèmes de ventilation sont utilisés par les occupants.

4.1.2 Études sur les liens indirects

4.1.2.1 Impact de la ventilation sur les acariens et l'asthme

Forces

L'association causale entre l'exposition aux acariens et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles fait consensus dans la communauté scientifique. Les critères de causalité de Bradford-Hill sont rencontrés : risque relatif élevé, relation dose-effet, plausibilité biologique. Il existe une bonne cohérence au niveau des résultats des études. La plupart des études d'intervention et d'observation portant spécifiquement sur l'impact de la ventilation mécanique ou de l'augmentation du taux de renouvellement d'air sur les acariens dans les habitations, réalisées au cours des dix dernières années, ont montré une réduction significative du niveau d'humidité, qu'elles aient été réalisées en

Scandinavie, en Grande-Bretagne, en Australie ou en Amérique du Nord²⁰. La diminution de l'humidité est accompagnée d'une réduction des concentrations d'acariens et d'allergènes dans plusieurs de ces études. De plus, dans quatre études scandinaves, les chercheurs ont trouvé une réduction significative de la fréquence des symptômes respiratoires chez les enfants et chez les adultes (asthmatiques). L'effet sur la santé respiratoire est plus mitigé en Grande-Bretagne et dans les autres pays. La force commune des études sur le sujet des acariens est l'utilisation de mesures environnementales et biologiques objectives (acariens, allergènes, anticorps spécifiques, fonction respiratoire).

Limites

Très peu d'études randomisées ont été réalisées pour évaluer l'impact de la ventilation sur les acariens. La seule recensée est celle de Warner *et al* (2000). Les études d'intervention contrôlées reposent sur de petits échantillons d'environ 50 habitations, compte tenu des difficultés techniques et des coûts de ce type d'étude. De plus, relativement peu d'études ont été réalisées à l'extérieur de la Scandinavie, en particulier en Amérique du Nord. Compte tenu de l'incertitude entourant le diagnostic d'asthme chez les jeunes enfants, un débat persiste encore concernant le rôle de l'exposition précoce aux allergènes, incluant l'exposition aux acariens et le développement de l'asthme après l'âge de six ans. L'ensemble des chercheurs reconnaissent toutefois qu'il existe une preuve indirecte assez forte suggérant un lien entre l'exposition aux allergènes dans l'enfance et la sensibilisation chez les enfants (Sporik et Platts-Mills, 2001; Pearce *et al*, 2000).

4.1.2.2 Impact de la ventilation sur les moisissures et la santé

Forces

Bien qu'il existe encore beaucoup d'aspects inconnus sur les facteurs en cause et sur la mesure de l'exposition, l'association entre l'exposition aux moisissures et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées est assez bien démontrée. Les études de cohorte publiées récemment par Jaakkola *et al* (2005) et Bélanger *et al* (2003), qui reposent sur des échantillons considérables de 1 984 et 849 enfants, indiquent que le développement de l'asthme peut être associé à l'exposition aux moisissures. La population étudiée dans *l'Enquête européenne sur la santé respiratoire* de Zock *et al* (2002) est constituée d'un échantillon représentatif de 19 218 jeunes adultes provenant de 38 pays européens et non-européens. La collecte des données sanitaires et environnementales a été réalisée par entrevue à l'aide d'un questionnaire standardisé. Les résultats de cette étude, qui ont montré un lien entre l'exposition aux moisissures et les symptômes d'asthme, sont consistants avec les résultats d'autres études descriptives européennes (Weiland *et al*, 2004 ; Gunnbjorndottir *et al*, 2003). La démonstration d'un risque significatif d'asthme du même ordre de grandeur dans les populations de plus d'une vingtaine de pays ayant participé à l'étude de même que l'excès de risque observé chez les personnes déjà sensibilisées aux moisissures, renforcent la possibilité d'une association causale. Par ailleurs, une étude réalisée au Canada a montré que l'excès de symptômes associé aux moisissures n'était pas expliqué par l'effet de l'exposition aux acariens, un facteur confondant potentiel (Dales et Miller, 1999).

²⁰ En Amérique du Nord, les études concernent principalement les systèmes combinant l'air conditionné.

Limites

Les études récentes ont porté sur le rôle de l'exposition aux moisissures sur le développement de l'asthme chez l'enfant. Selon certains chercheurs (Pearce *et al*, 2000; Brunekreef *et al*, 2004), bien que l'on trouve une association significative avec un excès de symptômes respiratoires, le diagnostic de l'asthme en bas âge demeure incertain car une proportion importante d'enfants deviennent asymptomatiques après l'âge de 5 ou 6 ans. Dans plusieurs études, la mesure de l'exposition aux moisissures repose sur un questionnaire et non pas sur des critères objectifs. De plus, plusieurs études d'observation sont peu spécifiques en ce qui concerne les types et les taux de ventilation évalués. Très souvent, le taux de ventilation n'est pas mesuré à l'aide de tests objectifs. Par ailleurs, il y a peu de données disponibles démontrant l'efficacité de la ventilation sur la prévention et le contrôle des moisissures dans les bâtiments d'habitation. En effet, aucune étude d'intervention, randomisée ou non randomisée, n'a été publiée sur le sujet.

4.1.2.3 Impact de la ventilation sur les composés organiques volatils (COV) et la santé

Forces

Dans le cadre de deux études randomisées (Harving *et al*, 1990; 1991), rapportées par Dales et Raizenne (2004), des asthmatiques ont été exposés en laboratoire à des concentrations de COV se rapprochant de celles rencontrées en milieu résidentiel. Les deux études se sont avérées négatives. Toutes les études d'observation, sauf une (soit 9/10), réalisées en milieu résidentiel pour étudier l'association entre l'exposition aux COV, en particulier le formaldéhyde, et les symptômes respiratoires reliés à l'asthme, se sont avérées positives. La plupart de ces études sont des études de cohorte et de cas-témoins. La taille d'échantillon de ces études est relativement grande. Les études récentes (Rumchev *et al*, 2004; Venn *et al*, 2003) ont fait appel à des mesures objectives des concentrations de COV. Le risque mis en évidence dans ces études apparaît relativement élevé en rapport avec les concentrations de COV retrouvées dans l'air.

Limites

À notre connaissance, aucune étude d'intervention n'a été réalisée sur les effets sur la santé de l'exposition aux COV en milieu résidentiel. La dernière étude, réalisée chez des sujets sains avec des concentrations se rapprochant de celles retrouvées en milieu de travail, a mis en évidence un excès significatif de symptômes respiratoires reliés à l'asthme. Toutefois, à cause des limites méthodologiques associées à la difficulté de faire le diagnostic d'asthme chez les jeunes enfants de moins de cinq ans et à la mesure de l'exposition aux COV qui est objective mais ponctuelle, il n'est actuellement pas possible d'affirmer que l'exposition aux COV constitue un facteur de risque pour l'asthme chez l'enfant (Brunekreef, 2004). Des études de cohorte sont nécessaires.

4.1.3 Avis de groupes internationaux

4.1.3.1 Effets des acariens, des moisissures et des COV sur la santé respiratoire

En ce qui concerne les effets de l'exposition aux acariens, aux moisissures et aux COV sur la santé respiratoire, les résultats de notre analyse corroborent ceux de différents groupes d'experts qui se sont penchés sur le sujet : *IOM* (2004, 2000), *McMaster Institute of Environment and Health* (MIEH) (1999), Institut national de santé publique du Québec (d'Halewyn *et al*, 2002). En ce qui concerne les acariens, l'*IOM* a conclu à une association causale entre l'exposition aux acariens et le « développement » de l'asthme chez l'enfant de même que l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles. Cependant, à la suite de notre analyse, nous sommes d'avis que chez l'enfant, il faudrait parler davantage d'une association avec une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires que de « développement » de l'asthme, compte tenu de la proportion importante d'enfants qui demeureront asymptomatiques après l'âge de 5 ans. Pour ce qui est de l'exposition aux moisissures, les résultats de notre analyse, en accord avec les avis publiés par l'*IOM*, le *MIEH* et l'*INSPQ*, confirment les évidences scientifiques actuelles démontrant un lien avec la survenue de symptômes d'asthme chez des asthmatiques, de même que la survenue de toux, de sibilance et de symptômes des voies respiratoires supérieures chez des personnes en bonne santé. Là encore, compte tenu de l'incertitude entourant le diagnostic de l'asthme chez l'enfant, la preuve nous apparaît insuffisante pour confirmer un lien avec le « développement » de l'asthme. En ce qui concerne les COV, l'*IOM* concluait, en 2000, que la preuve concernant le lien entre l'exposition au formaldéhyde et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles était suffisante. À notre avis, les études récentes ont fait évoluer les connaissances et confirment un lien entre l'exposition aux COV et une fréquence plus élevée de symptômes respiratoires chez l'enfant et l'adulte en bonne santé.

4.1.3.2 Effets de la ventilation sur les contaminants intérieurs

En 2000, l'*IOM* concluait que les données étaient insuffisantes pour démontrer une association entre le taux de ventilation ou la contamination microbiologique des systèmes de ventilation et l'exacerbation ou le développement de l'asthme. L'*IOM* soulignait cependant qu'il y avait des preuves théoriques et empiriques qui indiquaient que la variation des taux de ventilation pouvait être associée à une hausse ou à une baisse importante de certains polluants reliés à l'asthme, en particulier les acariens. En plus d'études d'expérimentation, des études d'observation importantes, sont parues à la suite du rapport de cet organisme. À la suite de l'analyse de ces études, nous partageons l'avis de Davies *et al* (2004), à l'effet que les résultats des études actuelles sur les acariens constituent une preuve indirecte modérée militant en faveur d'un lien causal entre l'augmentation de la ventilation et la réduction de l'humidité, des concentrations d'acariens et d'allergènes, et de la fréquence des symptômes respiratoires chez les occupants, en particulier chez les enfants et les personnes asthmatiques. Pour ce qui est de l'effet de la ventilation sur les moisissures et les COV, nous partageons les conclusions de l'*IOM*, à l'effet que les données scientifiques actuelles sont insuffisantes pour confirmer un effet bénéfique indirect sur la santé respiratoire.

Par ailleurs, une révision systématique de la littérature portant sur l'impact du contrôle de l'humidité dans les habitations a été faite par le « Centre Cochrane » (Singh *et al*, 2002). Soulignons que pour cette organisation, il est indispensable que la preuve, utilisée principalement pour l'efficacité des traitements médicaux, soit extrêmement exigeante et repose uniquement sur des essais randomisés. Dans leur analyse, les auteurs ont retenu uniquement l'étude randomisée de Warner *et al* (2000). Cette étude réalisée en Grande-Bretagne, bien qu'elle ait montré un effet significatif de la ventilation sur la réduction de l'humidité et des acariens, n'a pas montré d'effet significatif sur la fréquence des symptômes respiratoires. Les chercheurs n'ont pas retenu l'étude de Harving *et al* (1994b) car ils ne considéraient pas dans leur analyse les études limitées aux impacts environnementaux et ce, bien qu'une publication concomitante des mêmes auteurs (Harving *et al*, 1994a) ait montré des effets cliniques positifs chez les asthmatiques à la suite de l'introduction de la ventilation mécanique dans les habitations. Sur cette base, les auteurs concluent qu'il n'existe aucune preuve scientifique pour justifier l'utilisation de la déshumidification de l'air dans le traitement des asthmatiques. L'étude de Warner *et al* (2000) a aussi été analysée par Gotzsche *et al* (2004), des chercheurs du « Centre Cochrane », qui ont effectué une méta-analyse pour évaluer l'efficacité des mesures de contrôle environnemental dans les habitations sur la diminution de l'asthme chez ces patients. Les résultats ne permettent pas d'évaluer si les mesures de contrôle environnemental étudiées ont eu un impact significatif sur le niveau d'acariens et d'allergènes. Les mesures évaluées étaient cependant très diverses : acaricides, housse, purificateur d'air, type de matelas et de lavage, etc. Seule l'étude de Warner *et al* (2000) portait sur l'utilisation de la ventilation mécanique. Les auteurs ont conclu qu'il n'existait aucune preuve scientifique démontrant l'efficacité des mesures de contrôle environnemental pour le traitement et la prévention de l'asthme chez ces patients. La méta-analyse de Gotzsche *et al* (2004) a toutefois été critiquée par Sporik et Platts-Mills (2001). Selon ces derniers, six études d'intervention contrôlées ont montré que les mesures de contrôle environnemental réduisaient de façon prolongée l'exposition aux allergènes, cinq d'entre elles ayant fait ressortir une diminution de l'hyperréactivité bronchique. D'autres chercheurs estiment que plusieurs mesures sont probablement efficaces (Ernst, 2002; Strachan, 1998). Une évaluation systématique plus spécifique des différentes mesures de contrôle environnemental a été réalisée. Celle-ci indique une efficacité mitigée de certaines mesures, comme par exemple, la pose d'une housse sur le matelas (Woodcock *et al*, 2004; 2003). À notre avis, l'approche du « Centre Cochrane » concernant le choix des études, bien qu'elle soit appropriée dans l'évaluation des interventions biomédicales qui requiert une preuve forte, nous apparaît exigeante dans un contexte de santé publique. Les études d'intervention non randomisées et les études d'observation rigoureuses, en particulier les études de cohorte et les études de cas-témoins, peuvent en effet fournir une preuve modérée et être suffisantes pour supporter une décision concernant une mesure de prévention ou de précaution.

4.1.4 Synthèse

Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer, de façon directe ou indirecte, les liens entre la ventilation dans les bâtiments d'habitation et la santé respiratoire des occupants, en particulier les symptômes d'asthme chez les enfants. En ce qui concerne les études d'intervention, très peu d'études randomisées sont disponibles. Par contre, une dizaine d'études non-randomisées mais bien contrôlées ont mis en évidence un impact de la ventilation sur la diminution de l'humidité et des acariens dans l'habitation et la sensibilisation aux allergènes et les symptômes respiratoires chez les occupants. Plusieurs études de cohorte et de cas-témoins supportent ces évidences scientifiques, dont les plus

récentes. Cependant, certaines limites demeurent, en particulier le peu d'études réalisées dans les populations non scandinaves ainsi que les résultats limités obtenus ailleurs qu'en Scandinavie. L'extrapolation des résultats à l'extérieur de la Scandinavie doit donc être effectuée avec prudence. L'incertitude entourant le diagnostic d'asthme chez les enfants représente aussi une limite pour affirmer le rôle de l'exposition aux acariens, aux moisissures et aux COV dans le développement de l'asthme en comparaison avec le rôle de l'exposition à ces contaminants sur l'exacerbation de cette affection. Dans plusieurs études, en particulier les plus anciennes, la mesure de l'exposition aux moisissures et aux COV repose sur un questionnaire ou des instruments qualitatifs et non pas quantitatifs. La mesure de l'exposition aux acariens est en général beaucoup plus objective : acariens/g, allergènes/g, concentrations d'anticorps dans le sang, *Prick test*. Une limite commune des différentes études sur la ventilation et la santé est l'absence de prise en compte de la variable « entretien » du système, qui pourrait avoir comme impact de sous-estimer l'effet bénéfique potentiel d'une ventilation effectuée dans des conditions optimales. Certains groupes d'experts internationaux sont aussi d'avis qu'il existe une preuve scientifique qui suggère un lien entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants. Les recherches futures dans le domaine de la ventilation devraient porter dans la mesure du possible sur des essais randomisés et ce, même si de tels essais ne sont pas réalisés couramment dans le domaine de la santé environnementale.

4.2 APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS AU QUÉBEC

Force est de constater que nous disposons de très peu de données québécoises concernant les impacts de la ventilation des bâtiments d'habitation sur la présence de contaminants et la santé des occupants (impacts du mode de ventilation (mécanique vs naturelle) sur la présence de contaminants aéroportés, sur la santé respiratoire des occupants; impact des débits de ventilation actuellement prescrits par les normes, etc.), pas plus que nous ne disposons de données issues d'enquêtes évaluant la perception et les habitudes de la population à cet égard.

Il existe probablement diverses façons d'évaluer l'applicabilité des résultats obtenus par les études réalisées à travers le monde à la situation prévalant au Québec. Toutefois, dans le présent contexte, le climat semble jouer un rôle important sur l'efficacité de la ventilation naturelle ou mécanique en faisant varier, à la hausse comme à la baisse, le niveau d'humidité à l'intérieur ainsi qu'en influençant de façon indirecte l'exposition aux acariens et aux moisissures. En effet, les résultats des études montrent que l'humidité à l'intérieur de l'habitation joue un rôle déterminant sur la prolifération des acariens et des moisissures et l'augmentation de la concentration d'allergènes auxquels peuvent être exposés les occupants. Une valeur-seuil pour l'humidité absolue de 7 g/kg, en lien avec la prolifération des acariens, a d'ailleurs été établie par Korsgaard en Scandinavie. Des valeurs-seuils ont aussi été établies pour les concentrations d'acariens et d'allergènes dans la poussière de maison (2 µg/g), lesquelles sont fortement corrélées au degré d'humidité à l'intérieur. Les études d'intervention réalisées au Danemark, en Suède et en Norvège ont montré que la ventilation avait un impact significatif sur la réduction de l'humidité, des acariens, des allergènes et même, dans certains cas sur la diminution des problèmes de santé respiratoire. Certaines études réalisées en Grande-Bretagne, en Australie et en Nouvelle-Zélande ont aussi montré une réduction significative des paramètres environnementaux, incluant les acariens, mais sans réduction évidente des problèmes respiratoires. Les chercheurs attribuent cette différence au climat, en particulier à l'humidité extérieure moins élevée dans les pays scandinaves, où les hivers sont froids et secs.

Selon les données météorologiques disponibles, les régions de Copenhague, Oslo, Stockholm et Helsinki, où plusieurs études ont été réalisées, appartiennent à la catégorie Df de la classification du climat de Koppen, soit un climat continental de la zone tempérée sans saison sèche (Koppen, 1936). Soulignons que les régions d'Ottawa et de Toronto appartiennent à la même catégorie. Les régions de Londres, Manchester, Melbourne et Perth, où d'autres études ont été réalisées, appartiennent quant à elles à la zone tempérée humide toute l'année (Cf). Ces données supportent la plausibilité du facteur « humidité extérieure » comme explication possible de la différence des résultats observés dans les régions de ces deux zones climatiques. En se basant sur les normales climatiques mensuelles calculées sur 30 ans fournies par Environnement Canada (s.d.) et l'Organisation météorologique mondiale (WMO, s.d.), le climat des villes de Québec et de Montréal, par exemple, se rapproche de celui des villes situées au centre de la Suède. Les hivers y sont particulièrement froids et secs.

Compte tenu des conditions climatiques qui s'apparentent, il est plausible que l'on puisse atteindre au Québec, avec un taux de ventilation comparable, les mêmes réductions d'humidité à l'intérieur des habitations qu'en Scandinavie, à moins qu'il n'existe des différences importantes en ce qui concerne les caractéristiques de l'habitation et les comportements des occupants. Globalement, rien n'indique que ces caractéristiques diffèrent de façon notable de celles prévalant au Québec.

4.2.1 Synthèse

Le climat constitue un facteur important pouvant être utilisé pour juger de l'applicabilité des résultats des études au Québec. L'humidité présente dans l'air extérieur influence le niveau d'humidité à l'intérieur d'un bâtiment et conséquemment, la prolifération des acariens et des moisissures. Les études d'intervention réalisées au Danemark, en Suède et en Norvège ont fait ressortir que la ventilation avait un impact significatif sur la réduction de l'humidité, des acariens, des allergènes et, dans certains cas, de la fréquence des symptômes respiratoires. Certaines études réalisées en Grande-Bretagne, en Australie et en Nouvelle-Zélande ont aussi montré une réduction significative des paramètres environnementaux mais sans réduction évidente des problèmes respiratoires. En se basant sur les normales climatiques mensuelles calculées sur 30 ans fournies par Environnement Canada et l'Organisation météorologique mondiale, le climat des villes de Québec et de Montréal, par exemple, s'apparente à celui des villes situées au centre de la Suède. Les hivers y sont particulièrement froids et secs. Compte tenu de ces similitudes, il est vraisemblable que l'on puisse atteindre au Québec, avec un taux de ventilation comparable, les mêmes réductions d'humidité à l'intérieur des habitations qu'en Scandinavie. Toutefois, pour confirmer l'existence de ces effets au Québec, il est nécessaire d'évaluer les impacts de la ventilation par des études appropriées.

4.3 TAUX DE VENTILATION MINIMAL

4.3.1 Tendances récentes

Le taux de ventilation minimal actuellement requis dans les habitations en vertu du Code national du bâtiment du Canada (édition 1995) est d'environ 0,3 rah, ou un minimum d'environ 5 litres par seconde par personne (5 l/s/p). Cette exigence découle de la norme ASHRAE 62-1999 qui requiert un taux de ventilation minimal de 0,35 rah (ou un minimum de 7,5 l/s/p). Dans la plupart des pays, cette exigence se situe entre 0,3 et 0,5 rah, allant même, dans certains cas, jusqu'à 1 rah. Elle est de 0,5 rah

dans les pays scandinaves. Une tendance à la baisse du taux minimal de ventilation a été observée en Amérique du Nord au cours des 20 dernières années, due vraisemblablement aux préoccupations d'économie d'énergie (Angell *et al*, 2004). En effet, l'édition de 1981 de la norme ASHRAE 62 spécifiait un taux de ventilation minimal pour les habitations se situant entre 0,45 et 0,5 rah, taux ayant été réduit à 0,35 dans l'édition de 1989, puis maintenu à ce niveau dans l'édition de 1999. De même, dans l'édition de 1985 du Code national du bâtiment, les installations de ventilation exigées devaient avoir une capacité de 0,5 rah, taux ayant été abaissé à 0,3 rah dans l'édition de 1990. L'application de la nouvelle norme ASHRAE 62.2-2003, spécifique aux petits bâtiments résidentiels (qui ne servait toutefois pas de code modèle pour la réglementation canadienne et québécoise au moment de la rédaction du présent avis) aurait pour effet de réduire davantage le taux de ventilation actuel de l'habitation moyenne (Angell *et al*, 2004), correspondant à une diminution d'environ 30 % par rapport à la norme actuelle. Les défenseurs de cette nouvelle norme soulignent que cette façon de faire apporterait de l'air neuf de façon constante (puisque la ventilation serait effectuée en continu), ce qui serait préférable, selon eux, à la situation actuelle qui compte en partie sur l'infiltration.

D'un point de vue technique, selon des experts québécois, une réduction du taux de ventilation, même en fonctionnement continu, pourrait comporter d'importants problèmes de faisabilité. Les débits peu élevés sont en effet difficiles à mesurer, à distribuer, à équilibrer et font en sorte que l'air distribué se mélange peu avec l'air ambiant. En ce qui concerne l'extraction, ils ne sont pas aptes à procurer un captage à la source efficace. Le fonctionnement continu est par ailleurs mal adapté à la réalité du climat québécois et aux besoins ponctuels très changeants des occupants. Le fonctionnement à privilégier devrait plutôt permettre une ventilation plus importante lors de certaines périodes (prise de douches, tabagisme à l'intérieur, travaux de bricolage) et une ventilation réduite par temps froid et sec et pendant les périodes d'inoccupation, afin d'éviter l'assèchement excessif de l'air ambiant. Dans ces circonstances, une ventilation adaptée au Québec devrait permettre une utilisation intermittente, bien distribuée dans les pièces avec des conduits facilement nettoyables, à un taux minimal se situant, selon ces experts, entre 0,3 et 0,5 rah. Il serait donc difficile, dans ce contexte, de souscrire à l'application d'une norme qui aurait pour effet d'entraîner une nouvelle réduction du taux requis de ventilation et qui serait effectuée, par surcroît, en continu²¹.

4.3.2 Taux suggéré par les études

Plusieurs études épidémiologiques ont porté sur l'association entre le taux de ventilation et la fréquence des problèmes respiratoires. Dans ces études, le taux de ventilation est généralement mesuré à l'aide d'un gaz traceur, le perfluorocarbène, par exemple ; cette façon de faire correspond à la mesure du débit en condition réelle, c'est-à-dire à celui obtenu une fois le système installé et en fonction. Plusieurs études analysées dans le présent avis utilisent à des fins de comparaison un seuil qui se situe autour de 0,5 rah. Les résultats de ces études indiquent que des effets peuvent survenir lorsque le taux de ventilation est inférieur à ce seuil, tels qu'une perception plus fréquente d'une mauvaise qualité de l'air et de mauvaises odeurs (Engvall *et al*, 2005), un risque plus élevé de bronchite chez les enfants en présence d'humidité excessive dans l'habitation (Oie *et al*, 1999), et une humidité plus élevée (> 7g/kg) accompagnée d'une prolifération des acariens et d'une concentration plus élevée d'allergènes (> 2 µg/g de poussière) (Emenius *et al*, 1998; Harving *et al*, 1994b; Munir *et al*, 1995). Les résultats de l'étude de Bornehag *et al* (2005), qui ont montré une association

²¹ Mario Canuel, communication personnelle, août 2005.

significative entre le taux de ventilation et la fréquence de symptômes respiratoires et allergiques chez les enfants seraient, selon les auteurs, attribuables au fait que la plupart des maisons avaient un taux de ventilation inférieur à 0,5 rah. Dans les études de Oie *et al* (1999) et de Emenius *et al* (1998), qui n'ont montré aucun effet sur la fréquence des symptômes respiratoires et allergiques, les taux moyens de ventilation étaient supérieurs à 0,5 rah, ce qui suggère un effet protecteur pour la santé respiratoire à partir de ce taux. Globalement, les études, dont plusieurs ont été réalisées en Scandinavie, mettent en évidence le rôle déterminant d'un taux de ventilation minimal se situant près de 0,5 rah, pour influencer de façon positive l'histoire naturelle de l'asthme en relation avec l'exposition aux allergènes d'acariens.

Pour cette analyse, il importe de considérer le fait qu'une bonne part des études ayant examiné les impacts de la ventilation mécanique sur la santé des occupants des bâtiments d'habitation provient de pays dont les normes prescrivent un débit de ventilation de 0,5 rah. Or, le fait que les chercheurs aient regardé les impacts possibles en fonction de ce taux n'exclut en rien la possibilité d'obtenir un seuil se situant à un taux différent.

4.3.3 Avis d'experts

En Amérique du Nord, des chercheurs se sont déjà penchés sur la pertinence de la norme actuelle dans les habitations. À l'aide de modèles de prédiction, certains d'entre eux ont mis en évidence que pour rencontrer la directive de Santé Canada de 50 ppb pour le formaldéhyde, qui vise à prévenir les effets chroniques et le cancer, le taux minimal de ventilation devrait être de 0,5 rah (Sherman et Hodgson, 2004). En se basant sur les résultats des études sur la qualité de l'air et la santé, d'autres experts ont recommandé que la norme ASHRAE se rapproche à nouveau de 0,5 rah (Angell *et al*, 2004; Seppänen *et al*, 2002). En Europe, le groupe de travail de la « Commission européenne sur la ventilation, la qualité de l'air intérieur et l'utilisation rationnelle à l'énergie » est arrivé à la conclusion qu'un taux de ventilation minimal de 0,5 rah était souhaitable dans les pays au climat froid (ECA, 2003).

4.3.4 Synthèse

Au cours des vingt dernières années, une tendance à la baisse du taux de ventilation minimal requis a été observée en Amérique du Nord, due vraisemblablement aux préoccupations d'économie d'énergie. D'un point de vue technique, les faibles taux de ventilation entraînent toutefois des problèmes de faisabilité, notamment parce qu'ils rendent difficiles l'équilibrage des systèmes ainsi que la distribution et le mélange de l'air neuf avec l'air ambiant. Par ailleurs, les résultats des études épidémiologiques font ressortir divers effets sur la santé lorsque le taux de ventilation est inférieur à 0,5 rah. Cependant, le fait que les chercheurs n'aient examiné les impacts possibles qu'en fonction de ce taux ne permet pas d'exclure la possibilité d'obtenir un seuil se situant à un taux différent. Quoiqu'il en soit, plusieurs experts considèrent qu'un taux de ventilation minimal se rapprochant de 0,5 rah est souhaitable dans les pays au climat froid. Comme nous pouvons le constater, il y a absence de données en ce qui concerne l'impact sur les contaminants aéroportés et la santé respiratoire des taux de ventilation se situant en-deça de 0,5 rah. Nous sommes donc d'avis qu'il serait souhaitable de générer de nouvelles données à partir d'études qui se pencheraient sur des débits variant entre celui prescrit par réglementation en Amérique du Nord (soit autour de 0,35 rah) et celui généralement en vigueur dans les pays nordiques européens (soit 0,5 rah).

4.4 FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER L'EFFICACITÉ DE LA VENTILATION

Nous avons vu dans la première partie du présent ouvrage que pour parvenir à une réduction significative des contaminants aéroportés de l'air intérieur, le contrôle à la source demeurerait la première mesure à appliquer et que, par conséquent, la ventilation naturelle et/ou mécanique ne pouvaient se substituer à ces premiers efforts de contrôle de la contamination. Cependant, ne serait-ce que par l'omniprésence de la contamination générée par les occupants eux-mêmes ainsi que par celle émise par les produits et matériaux, tout environnement intérieur se doit d'être ventilé afin d'assurer une qualité de l'air acceptable à la santé humaine. En outre, la ventilation est requise dans toutes les pièces habitables, particulièrement dans les chambres à coucher, où la plupart des gens passent beaucoup de temps, la porte souvent fermée (Roberson *et al*, 1998 ; CNRC, 1995).

La ventilation obtenue de façon naturelle est une méthode encore fréquemment utilisée seule ou en combinaison avec la ventilation mécanique, par exemple. La possibilité de recourir à l'ouverture des fenêtres en tout temps permet par ailleurs à l'occupant de pourvoir rapidement à un besoin subit en air neuf supplémentaire. La ventilation naturelle reste toutefois très aléatoire et difficile à contrôler puisqu'elle est conditionnée par divers facteurs, tels que la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur et la vitesse des vents. Elle peut ainsi être très limitée ou insuffisante en l'absence de ces conditions climatiques (d'où risque d'excès d'humidité) tout comme devenir excessive en période très froide de l'hiver (d'où risque d'assèchement de l'air intérieur). Il s'avère donc pratiquement impossible dans ces conditions d'obtenir par la seule ventilation naturelle un renouvellement d'air constant et uniforme dans les pièces habitables.

Nous avons également vu que l'étanchéité de la nouvelle habitation s'accroissait de plus en plus et que, dans ce contexte, la ventilation naturelle s'avérait dorénavant insuffisante pour assurer à elle seule un débit d'air souhaitable, particulièrement en période de chauffe, lorsque les fenêtres demeurent fermées, dans la très grande majorité du temps. C'est ainsi que la ventilation mécanique s'est graduellement présentée comme une méthode à envisager pour atteindre les débits d'air recherchés. Parmi les systèmes de ventilation mécanique éprouvés avec les années par l'industrie de la construction, il appert que le ventilateur récupérateur de chaleur soit le type d'installation à privilégier à l'heure actuelle, bien qu'il ne soit pas exclu que d'autres systèmes fort prometteurs (comme le système hybride, par exemple) soient éventuellement adaptés puis mis sur le marché dans un proche avenir.

Comme tout autre type d'installation motorisée, le système de ventilation mécanique est soumis à un certain nombre de contraintes techniques qui doivent être considérées afin d'optimiser son efficacité et d'éviter la survenue de conséquences négatives. L'objet du présent ouvrage n'est pas de documenter chacun de ces aspects, mais plutôt de les présenter dans une perspective où certains d'entre eux peuvent avoir la capacité de modifier considérablement les impacts attendus sur la qualité de l'air intérieur. Tel qu'explicité à la section 1.4.2, il ne suffit donc pas uniquement de concevoir et de rendre disponible des systèmes de ventilation d'une capacité donnée mais de s'assurer que ces systèmes soient en mesure de fournir un air de qualité. Il faut donc penser, en plus de la conception et de la sélection de l'appareil (incluant, au besoin, la filtration), à son installation (incluant la localisation et le

calibrage de l'appareil), à l'entretien préventif ainsi qu'à son utilisation. Chacun de ces aspects, s'il est effectué de façon inappropriée, peut avoir des conséquences négatives sur le rendement attendu.

Emplacement, équilibrage

Ainsi, il convient de s'assurer, par exemple, de ne pas installer un appareil de ventilation à des endroits qui sont difficiles d'accès, tels que les combles ou les vides sanitaires, puisqu'à ces endroits, il est peu probable que le matériel reçoive un entretien adéquat (SCHL, 2000b). L'emplacement des grilles d'entrée d'air extérieur revêt une importance particulière pour les immeubles des milieux urbains à forte densité qui sont fréquemment construits relativement proches les uns des autres. En effet, à ces endroits, l'air évacué d'un immeuble peut être aspiré par les prises d'air extérieur d'immeubles voisins. Il existe d'ailleurs des critères de conception visant à réduire les possibilités de contamination croisée entre les immeubles (SCHL, 2003b). L'article 9.32.3.13 du Code national du bâtiment contient différentes directives concernant les prises d'air extérieur et les bouches d'extraction, ce qui témoigne des préoccupations des comités chargés d'élaborer et de mettre à jour les codes modèles à cet égard. On y mentionne par exemple que les prises d'air extérieur doivent être situées de manière à éviter que l'air de ventilation ne soit contaminé par d'autres sources avoisinantes, comme les gaz d'échappement des automobiles et l'air vicié évacué par les bâtiments avoisinants.

Tel que précisé au premier chapitre, le système doit également faire l'objet d'un équilibrage adéquat. Bien que nous disposons de peu de données à ce sujet, des lacunes ont déjà été observées au niveau du réglage du débit d'air chez des installateurs d'appareils de ventilation résidentielle (SCHL, 2002).

Filtration

L'impact potentiel de la filtration sur la présence de particules intérieures aéroportées est notamment souligné dans une étude de la SCHL (2003c). Cette étude, bien que limitée à une seule habitation à l'intérieur de laquelle les auteurs ont testé cinq modes de ventilation distincts, fait ressortir que les *modes de ventilation sans filtration* ont donné lieu à des concentrations supérieures de particules intérieures par rapport aux concentrations extérieures tandis que les *modes de ventilation avec filtration* ont entraîné des concentrations de particules intérieures beaucoup plus faibles que celles des particules extérieures. Les auteurs, qui font dans leur étude diverses distinctions entre les modes de ventilation, soulignent les avantages substantiels à filtrer l'air de ventilation admis dans l'habitation. Il faut à cet effet souligner à nouveau l'importance de considérer le secteur d'habitation concerné (présence ou non de polluants de l'air extérieur à des concentrations dépassant les limites acceptables, présence de sources de contamination locale) ainsi que l'état de santé des occupants (présence ou non de personnes allergiques, asthmatiques, etc.) quant à la pertinence d'envisager l'ajout, sur un système de ventilation, d'un module de filtration à haute efficacité. Tel que précisé à la section 1.4.2, il existe différents filtres dont l'efficacité se mesure à leur capacité moyenne à retenir les particules aéroportées selon leur dimension. Il apparaît donc souhaitable que lorsqu'un problème est connu ou appréhendé, le système de ventilation à installer soit sélectionné de façon à permettre l'ajout éventuel d'un filtre à haute efficacité. Rappelons toutefois que de tels filtres peuvent être sujets au colmatage de même qu'être d'une efficacité réduite dans les maisons relativement peu étanches puisque l'air s'infiltrant par les orifices de l'enveloppe diminue l'effet de la filtration fine.

Entretien, utilisation

Les conduits des systèmes de ventilation mécanique, particulièrement ceux qui sont flexibles, font fréquemment l'objet d'une accumulation de poussières. Or, il est reconnu qu'une telle accumulation jumelée à la présence d'eau due à la condensation, par exemple, peut devenir un site propice au développement de microorganismes, tels que les bactéries et les moisissures, et ainsi entraîner leur dispersion dans l'air intérieur (Concannon, 2002; Liddament, 2000; EPA, 1997). Un entretien périodique des composantes du système de ventilation est d'ailleurs recommandé par l'AIVC et l'ASHRAE (voir section 1.4.2). Par ailleurs, d'après Concannon (2002), il a été démontré que le nettoyage d'un système de ventilation pouvait accroître le débit de ventilation de 25 % tandis qu'en l'absence de nettoyage, ce même débit pouvait diminuer de 50 % après un an seulement. Il importe toutefois de considérer que l'opération de nettoyage peut entraîner, pour une certaine période de temps, la remise en suspension de particules respirables dans l'air ambiant (Ahmad et al, 2001).

Des résultats d'une autre étude terrain réalisée par la SCHL (1999a) ont quant à eux fait ressortir que, bien que la plupart des occupants d'habitations (60 maisons) pourvues d'un ventilateur récupérateur de chaleur connaissent l'usage général de leur appareil, ceux-ci n'avaient pas une compréhension suffisante des aspects techniques que nécessitent l'utilisation et l'entretien d'un VRC. Malgré le fait que plus de la moitié de la population à l'étude ait obtenu des explications quant au fonctionnement de leur appareil et que la plupart ait reçu un guide d'utilisation, peu d'occupants avaient saisi les inconvénients que risque d'entraîner un VRC mal entretenu ou mal utilisé. Ainsi, parmi les occupants ayant signalé des problèmes de qualité de l'air intérieur (soit 26 %), plus de la moitié (60 %) étaient aux prises avec une ventilation inférieure aux normes, 62 % avec des débits d'admission et d'évacuation mal équilibrés et 56 % avaient un VRC dont les filtres, les ailettes ou le boîtier étaient souillés. Il faut toutefois souligner que la majorité des occupants percevaient tout de même leur VRC comme étant bénéfique. Par ailleurs, il s'agissait dans ce cas d'un échantillon relativement faible de 60 maisons sélectionnées sur la côte ouest, la côte est et le centre du Canada, n'étant de ce fait pas nécessairement représentatif de la situation prévalant au Québec. De même, une analyse de la performance des systèmes de ventilation (dont 76 % étaient des systèmes d'extraction centrale) dans 91 maisons récentes d'Ontario a démontré que la majorité des propriétaires saisissaient mal le principe de fonctionnement de leur système (SCHL, 2004d). Dans cette étude, les auteurs suggèrent d'ailleurs que les prochains codes recommandent une simplification du principe servant à actionner les systèmes en question. Enfin, dans une étude réalisée au Minnesota (États-Unis) sur 43 maisons, dont les deux tiers étaient dotées d'un système de ventilation mécanique, les propriétaires ont clairement manifesté leur intérêt à recevoir de l'information et des directives sur la façon d'opérer et de maintenir leur système (Sheltersource, 2002).

Immeubles à logements

La situation prévalant dans les immeubles à logements diffère de celle des maisons unifamiliales en ce sens qu'à l'origine, les systèmes de ventilation de ces bâtiments d'habitation ont été conçus et installés de manière à limiter la migration des contaminants entre les logements et vers les corridors et non pas afin d'assurer les besoins en ventilation de chacun des logements de l'immeuble (SCHL, 2003a). En fait, par ce principe, les concepteurs supposaient que l'air frais destiné aux occupants leur parvenait en grande partie par ventilation naturelle grâce à l'ouverture des fenêtres et par infiltration de l'air à travers l'enveloppe, et que l'air vicié était évacué par les ventilateurs d'extraction situés dans la chambre de bain et la cuisine. Dans une étude de la SCHL, parue en 1997, les débits mesurés des

ventilateurs de salles de bain et de cuisines de logements situés dans des bâtiments de moyenne hauteur (3,5 à 5 étages) atteignaient de 30 à 85 % de la capacité prévue pour les salles de bain et de 50 à 90 % pour les cuisines. De plus, d'après cette même étude, même si 82 % des occupants utilisaient régulièrement les ventilateurs de cuisine, seulement 41 % avaient régulièrement recours aux ventilateurs de salle de bain. D'après ces résultats, on conçoit bien que, dans le contexte actuel, le débit d'air à l'intérieur d'un même immeuble d'habitation puisse varier passablement d'un logement à l'autre. Dans une autre étude de la SCHL effectuée sur dix immeubles à logements construits après 1990, les auteurs concluent entre autres que pour faire en sorte que la ventilation des appartements soit appropriée, des pratiques rigoureuses, se rapprochant de celles utilisées pour les habitations individuelles, devront être mises au point pour la conception des installations de ventilation (SCHL, 1999b). Les résultats de ces études remettent en question la capacité des installations traditionnelles de ventilation de corridors à ventiler les logements de façon individuelle. Enfin, il est intéressant d'ajouter qu'une enquête réalisée en France auprès de 10 000 ménages a fait ressortir que les occupants étaient plus satisfaits de leur système de ventilation lorsqu'ils en avaient le contrôle (Lemaire *et al*, 2000, cités par McWilliams et Sherman, 2005).

Ces quelques résultats d'études effectuées sur le terrain font bien ressortir le défi que représentent les objectifs visant à obtenir un débit d'air donné ainsi qu'un air de qualité pour l'ensemble de la population occupant l'habitation d'aujourd'hui. La nécessité de satisfaire les conditions d'obtention du fonctionnement optimal d'un système de ventilation et par conséquent, de l'efficacité souhaitée à distribuer les débits d'air recherchés de même qu'un air de qualité, représente un défi, qui doit être pris en compte dans le processus de réflexion entourant la pertinence de réglementer la ventilation mécanique dans l'habitation. Il faut également mettre en perspective le fait que plusieurs études épidémiologiques font ressortir un effet positif de la ventilation mécanique sur la santé respiratoire des occupants et ce, sans contrôler pour les nombreux aspects techniques susceptibles d'en influencer l'efficacité. Aussi, tel qu'il a été observé dans certaines études de la SCHL, une proportion apparemment non négligeable d'appareils n'est pas installée, calibrée, utilisée ou entretenue de façon convenable. Il est donc plausible de croire que dans ce contexte, l'adoption de mesures procurant une efficacité optimale à grande échelle aurait pour effet d'augmenter les impacts positifs observés dans les études épidémiologiques.

4.4.1 Synthèse

Les données disponibles nous incitent à croire que, compte tenu du caractère aléatoire et difficilement contrôlable de la ventilation naturelle, il est préférable, pour obtenir des débits d'air acceptables en toute période de l'année, de considérer la ventilation mécanique en combinaison avec la ventilation naturelle. Comme tout autre type d'installation motorisée, le système de ventilation mécanique est soumis à un certain nombre de contraintes techniques qui doivent être considérées afin d'optimiser son efficacité et d'éviter la survenue de conséquences négatives. Il ne suffit donc pas uniquement de concevoir et de rendre disponible des systèmes de ventilation d'une capacité donnée mais de s'assurer que ces systèmes soient en mesure de fournir un air de qualité. Il faut donc penser, en plus de la conception et de la sélection du système (incluant, au besoin, la filtration), à son installation (incluant la localisation et le calibrage de l'appareil), à l'entretien préventif ainsi qu'à son utilisation. Comme le suggèrent les résultats des études effectuées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux, chacun de ces aspects, lorsque effectué de façon inappropriée, peut avoir des conséquences négatives sur le rendement attendu. Dans les immeubles à logements, il semble souhaitable d'envisager des

installations de ventilation se rapprochant de celles utilisées pour les habitations individuelles, incluant le contrôle individuel des appareils. Ainsi, sur la base de notre réflexion, il appert que l'adoption de mesures procurant une efficacité optimale à grande échelle pourrait avoir pour effet d'augmenter les impacts positifs observés dans les études épidémiologiques. Ceci milite donc en faveur d'une sensibilisation accrue du milieu de l'habitation (constructeurs, entrepreneurs, fabricants, etc.) ainsi que du public à l'importance des aspects techniques à considérer pour l'obtention d'une qualité d'air intérieur optimale.

CONCLUSION

L'uniformisation des exigences en matière de ventilation des nouvelles habitations québécoises est un enjeu faisant actuellement l'objet d'une réflexion à l'échelle provinciale, par de nombreux organismes publics, parapublics et privés intéressés par la question. Toutefois, ces organisations, de même que le public en général, sont en général mal informés des enjeux que représente la ventilation pour la qualité de l'air intérieur et la santé des occupants. Le présent avis a pour objectif d'éclairer, dans la mesure des connaissances actuelles, les autorités concernées quant aux mesures à adopter en matière de ventilation des habitations au Québec, sur la base de ses impacts sur la santé respiratoire des occupants. Pour ce faire, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature scientifique portant sur les liens directs et indirects entre la ventilation des bâtiments et la santé respiratoire, en particulier sur les symptômes reliés à l'asthme chez l'enfant.

À l'aide d'un modèle explicatif de santé environnementale basé sur l'exposition potentielle des occupants dans les bâtiments d'habitation, nous avons recherché les études directes et indirectes portant sur ces liens en fonction des trois contaminants les plus documentés, soit les acariens, les moisissures et les COV. À la fin de cet exercice, nous avons analysé de façon détaillée et classifié 75 études selon la méthodologie utilisée (essais randomisé et non-randomisé, cohorte, cas-témoins, étude descriptive, revue). Les résultats des études directes montrent une diminution de la fréquence des symptômes respiratoires et allergiques chez les enfants de même que chez les asthmatiques adultes, associée à la ventilation mécanique. Vingt-deux (22) études sur les acariens sont concluantes, parmi lesquelles 19 sont positives et montrent un lien entre la ventilation, la réduction de l'humidité et des acariens, et l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibilisées. Bien que l'on retrouve une association significative avec un excès de symptômes respiratoires chez l'enfant, l'association avec le développement de l'asthme est moins claire à cause de l'incertitude entourant le diagnostic de l'asthme chez les jeunes enfants. La majorité des études en rapport avec les acariens ont été réalisées en Scandinavie. Quelques études montrent une fréquence plus élevée des symptômes lorsque le taux de ventilation est inférieur à 0,5 rah, taux de ventilation minimal prescrit dans les pays scandinaves. Les résultats des études réalisées en dehors des pays scandinaves sont plus mitigés et montrent une réduction de l'humidité et parfois des acariens à l'intérieur, non accompagnée d'une réduction des symptômes. Les résultats des études montrent une association significative entre l'exposition aux moisissures et aux COV et une augmentation de la fréquence des symptômes respiratoires chez les enfants. Toutefois, l'association entre la ventilation et la réduction des moisissures et des COV dans les habitations est très peu documentée. Dans le but de compléter la révision des connaissances, nous avons analysé 13 études réalisées dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux portant principalement sur la ventilation et le SEH. Les résultats démontrent une association entre la ventilation mécanique et une fréquence plus élevée du SEH chez les travailleurs. Cet excès semble relié en grande partie au conditionnement de l'air et/ou à un taux de ventilation insuffisant et/ou à un entretien inadéquat du système. Par ailleurs, les résultats montrent aussi que l'augmentation du taux de ventilation diminue la fréquence des symptômes et des absences-maladies chez les travailleurs.

Du point de vue de la santé publique, la preuve scientifique tirée des études directes et des études indirectes reliées aux acariens (B, modérée ou « fair ») supporte la pertinence d'une ventilation mécanique complémentaire à la ventilation naturelle dans les habitations neuves de même que d'un taux minimal suffisant, qui pourrait se situer entre 0,3 et 0,5 rah. Toutefois, les données actuellement

disponibles concernant les effets de la ventilation sur les symptômes respiratoires ne permettent pas d'exclure l'existence d'un seuil se situant à un taux différent de 0,5 rah. Les résultats des études réalisées dans les pays scandinaves pourraient être extrapolables au Québec, compte tenu notamment des similarités du climat. Des études spécifiques réalisées au Québec nous apparaissent cependant nécessaires pour évaluer l'impact réel de la ventilation sur la qualité de l'air intérieur et la santé respiratoire des occupants. Une attention particulière doit être apportée aux divers facteurs susceptibles d'influencer et même de compromettre l'efficacité de la ventilation et par conséquent, à l'information des intervenants du milieu de la construction-rénovation et du public en général. Une série de recommandations formulées à partir de l'analyse des résultats des études épidémiologiques, des aspects d'ordre technique ainsi que du contexte réglementaire actuel sont faites pour orienter les décisions dans ce domaine au Québec.

RECOMMANDATIONS

Le présent avis a été produit dans le but premier de permettre aux autorités concernées de faire un choix éclairé quant aux mesures à adopter en matière de ventilation des habitations au Québec. Il s'inscrit dans le cadre de la mission de l'Institut national de santé publique du Québec et de l'application de l'article 54 de la *Loi sur la santé publique*, qui stipule notamment que le ministre de la Santé et des Services sociaux agit à titre de conseiller du gouvernement en matière de politiques favorables à la santé. L'avis s'inscrit également dans l'un des objectifs du *Programme national de santé publique 2003-2012*, soit celui de réduire la morbidité due à l'asthme et reliée à la mauvaise qualité de l'air intérieur dans les résidences et les édifices publics.

L'avis a de façon plus spécifique pour buts : de revoir les impacts de la ventilation sur la présence des contaminants potentiellement rencontrés dans l'air intérieur ainsi que sur la santé des occupants ; de faire ressortir les principaux aspects techniques susceptibles d'influencer l'efficacité de la ventilation ; de mettre en relation l'ensemble des données disponibles afin de dégager les avenues les plus appropriées en matière de ventilation des habitations au Québec d'un point de vue de santé publique.

Bien qu'il apporte réponse à certaines questions, nous ne saurions en aucun cas prétendre que le présent avis constitue un point final à la réflexion entourant les besoins en ventilation dans les bâtiments d'habitation. Cependant, nous sommes d'avis qu'il permet de dégager un certain nombre de constats et de recommandations qui, nous l'espérons, contribueront à l'obtention d'un environnement intérieur de meilleure qualité. Ces recommandations ont été formulées à partir de l'analyse des résultats des études épidémiologiques, des aspects d'ordre technique ainsi que du contexte réglementaire actuel.

CONCERNANT LA PERTINENCE DE LA VENTILATION MÉCANIQUE DANS L'HABITATION QUÉBÉCOISE

Considérant :

- qu'une ventilation adéquate des espaces intérieurs habitables s'inscrit dans une stratégie globale visant à assurer une qualité d'air intérieur acceptable pour les occupants;
- que les bâtiments d'habitation d'aujourd'hui sont de plus en plus étanches à l'air et que la ventilation naturelle obtenue autrefois par infiltrations et exfiltrations de l'air ainsi que par l'ouverture des portes et des fenêtres ne permet plus, dans ces bâtiments, une distribution d'air neuf adéquate et uniforme, particulièrement en période de chauffe;
- que les données disponibles tendent à démontrer que les installations de ventilation des corridors visant à fournir non seulement de l'air extérieur aux corridors mais aussi de l'air de ventilation aux logements contigus s'avèrent en réalité inefficaces pour ventiler adéquatement chacune des unités d'habitation des immeubles à logements;

- que l'édition actuellement en vigueur du Code national du bâtiment contient des exigences concernant l'installation d'une ventilation mécanique;
- que les preuves scientifiques directes et indirectes font ressortir que, dans les pays nordiques dont le climat s'apparente à celui du Québec, la ventilation mécanique effectuée avec un débit suffisant peut réduire, contrairement à la seule ventilation naturelle, le niveau d'humidité, la prolifération des acariens et l'exposition des occupants aux allergènes à l'intérieur des habitations;
- que les preuves scientifiques tendent également à indiquer que la ventilation mécanique des habitations peut prévenir les symptômes respiratoires et allergiques, en particulier les problèmes reliés à l'asthme chez les enfants et les personnes sensibles;
- qu'il existe une grande variabilité entre les municipalités du Québec en ce qui concerne l'application de prescriptions de ventilation pour les bâtiments d'habitation non assujettis au Code de construction du Québec.

Nous recommandons :

1. que des mesures appropriées soient prises pour que les nouveaux bâtiments d'habitation construits au Québec, de même que ceux faisant l'objet de rénovations majeures entraînant une étanchéité accrue de l'enveloppe, soient dotés d'un système de ventilation mécanique installé selon les règles de bonne pratique, complémentaire à la ventilation naturelle, capable d'assurer une ventilation suffisante des espaces habitables, en toute période de l'année;
2. que des mesures appropriées soient prises pour que l'installation de ventilation des nouveaux immeubles à logements permette de ventiler chacune des unités d'habitation à un taux similaire à celui prescrit pour les habitations individuelles, et que les mesures nécessaires soient également prises pour s'assurer de l'entretien adéquat de cette installation.

CONCERNANT LE TAUX DE VENTILATION MINIMAL REQUIS

Considérant :

- qu'en l'absence de ventilation suffisante, les risques d'humidité excessive, de mauvaise qualité de l'air intérieur et incidemment, de problèmes de santé respiratoire sont plus élevés;
- qu'un taux de ventilation trop faible entraîne certaines difficultés techniques, notamment au niveau de la distribution adéquate de l'air neuf et de son mélange avec l'air ambiant, susceptibles de compromettre l'efficacité de la ventilation;
- que la norme ASHRAE 62-1999, à laquelle le Code national du bâtiment se réfère, prescrit un taux de renouvellement d'air à l'heure minimal de 0,35 pour les nouvelles habitations;

- que la section 9.32 du Code national du bâtiment 1995 prescrit un taux de renouvellement d'air basé sur l'occupation en fonction du nombre de pièces de l'habitation, qui correspond à environ 0,3 rah pour une habitation moyenne;
- que les résultats de certaines études montrent une fréquence de symptômes respiratoires moins élevée à un taux de 0,5 rah, que des groupes d'experts internationaux recommandent un taux de ventilation minimal de 0,5 rah et que dans les pays européens nordiques, dont le climat s'apparente à celui du Québec, le taux de renouvellement d'air prescrit se situe davantage autour de 0,5 rah que de 0,3 rah;

Nous recommandons :

3. que la pertinence et la faisabilité de revoir le taux actuel de ventilation minimal exigé pour les bâtiments d'habitation soient évaluées d'un point de vue de santé publique. À cette fin, une conférence de consensus regroupant des experts d'organismes de recherche et de réglementation pourrait être organisée.

CONCERNANT LES MESURES VISANT L'EFFICACITÉ DE LA VENTILATION

Considérant :

- que l'installation d'un système de ventilation revêt une importance déterminante sur le rendement attendu et sur son efficacité en général, et conséquemment, sur la qualité de l'air intérieur;
- que la ventilation, tant naturelle que mécanique, doit être perçue comme une mesure complémentaire et essentielle s'inscrivant dans une stratégie globale d'assainissement de l'air intérieur;
- qu'il est important d'éviter les impacts potentiellement négatifs d'une ventilation effectuée avec un mode d'opération inapproprié (ex. système utilisé de façon sporadique entraînant un débit d'air insuffisant ou encore, système utilisé en continu à un taux relativement élevé, entraînant un assèchement excessif de l'air).
- qu'un entretien inadéquat du système de ventilation entraîne un risque d'efficacité réduite et de contamination microbiologique des composantes du système.

Nous recommandons :

4. que soit élaboré un guide de bonnes pratiques portant sur les aspects techniques liés à l'efficacité de la ventilation mécanique (conception, sélection, installation, modes d'opération, entretien, etc.);
5. qu'un programme de formation, basé sur le guide de bonnes pratiques, soit offert aux entrepreneurs spécialisés en ventilation ainsi qu'auprès de toute autre clientèle concernée du milieu de la construction-rénovation;

6. qu'une campagne de sensibilisation et d'information soit réalisée auprès du grand public afin de promouvoir l'importance d'une stratégie intégrée d'assainissement de l'air (contrôle des émissions de contaminants à la source, ventilation adéquate des espaces habitables, ressources ou programmes disponibles, entretien et utilisation adéquats du système de ventilation, etc.) pour l'obtention d'une bonne qualité de l'air intérieur.

CONCERNANT L'ACQUISITION DE DONNÉES QUÉBÉCOISES

Considérant :

- les résultats des études réalisées dans les pays scandinaves qui montrent des effets bénéfiques de la ventilation sur l'environnement intérieur et la santé respiratoire, ainsi que les similitudes du climat québécois avec celui de ces pays, où le taux de renouvellement d'air requis par les normes se situe davantage autour de 0,5 rah que de 0,3 rah;
- l'absence de données québécoises sur les impacts réels des différentes stratégies de ventilation (naturelle, mécanique, mixte) ainsi que des débits de ventilation actuellement prescrits par les codes sur la présence de contaminants aéroportés et la santé respiratoire des occupants;
- l'absence de données faisant état de la perception de la population à l'égard de l'importance de la ventilation des espaces habitables.

Nous recommandons :

7. qu'une enquête scientifique soit réalisée sur un échantillon représentatif d'habitations québécoises afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur ainsi que la santé respiratoire des occupants en lien avec la ventilation des espaces habitables et les paramètres qui en conditionnent l'efficacité;
8. qu'une étude d'expérimentation à deux volets soit réalisée, visant à :
 - i) comparer les impacts de différentes stratégies de ventilation sur la variation des niveaux de certains contaminants de l'air (humidité, acariens, allergènes, etc.) et de la fréquence des symptômes respiratoires chez les occupants;
 - ii) comparer les impacts de différents taux de renouvellement d'air, en particulier ceux variant entre 0,3 et 0,5 rah, sur la variation des niveaux de certains contaminants de l'air (humidité, acariens, allergènes, etc.) et de la fréquence des symptômes respiratoires chez les occupants.

RÉFÉRENCES

- 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.
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ), [s.d.a]. *Quelle est l'importance de la ventilation dans une maison? Comment choisir les bons appareils?* Disponible en ligne : <http://www.aee.gouv.qc.ca/semaine-2004/reponses-ventilation.jsp>
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ), [s.d.b]. *Lois et règlements. Loi sur l'économie de l'énergie dans les bâtiments.* Disponible en ligne : <http://www.aee.gouv.qc.ca/agence/lois/batiments/batiment.jsp>.
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ), 2005. *Comment choisir un système de chauffage.* Disponible en ligne : <http://www.aee.gouv.qc.ca/semaine-2004/reponses-chauffage.jsp>.
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ), 2004. *Novoclimat. Confort. Santé. Économies.* Magazine. 19 p.
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEEQ), 2003. *Novoclimat. Exigences techniques générales.* 12 p. Disponible en ligne : http://www.aee.gouv.qc.ca/pdf/habitation/support/Exigences_generales.pdf.
- Ahmad, I., Tansel, B., Mitroni, J.D., 2001. Effectiveness of HVAC duct cleaning procedures in improving indoor air quality. *Environmental monitoring and Assessment*, 72: 265-76.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc. (ASHRAE), 2004. *ASHRAE Standard. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004.* 20 p. + annexes. ISSN 1041-2336.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc. (ASHRAE), 2003. *HVAC Applications.* I-P Edition, 868 p.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc. (ASHRAE), 2002. *BSR/ASHRAE Standard 62.2P. Ventilation and acceptable indoor air quality in low-rise residential buildings.* Fourth public review. 19 p. + annexes.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc. (ASHRAE), 2001. *ASHRAE Standard. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ANSI/ASHRAE Standard 62-2001.* 18 p. + annexes. ISSN 1041-2336.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, inc. (ASHRAE), 1999. *ASHRAE Standard. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Standard 62-1999.* 16 p. + annexes. ISSN 1041-2336.

American Thoracic Society (ATS) Workshop, 1997. Achieving healthy indoor air. Report of the ATS Workshop: Santa Fe, New Mexico. *Am J Respir Crit Care Med*, 156 : s33-s64.

Anderson L.M., Brownson, R.C., Fullilove, M.T., Teutsch, S.M., Novick, L.F., Fielding, J., Land, G.H., 2005. Evidence-based public health policy and practice : promises and limits. *Am J Prev Med*, 28(5S) : 226-30.

Angell, W., Grimsrud, D.T., 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.

Arlian, L.G., Neal, J.S., Morgan, M.S., Vyszynski-Moher, D.L., Rapp, C.M., Alexander, A.K., 2001. Reducing relative humidity is a practical way to control dust mites and their allergens in homes in temperate climates. *J Allergy Clin Immunol*, 107 : 99-104.

Arlian, L.G., Neal, J.S., Vyszynski-Moher, D.L., 1999. Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *J Allergy Clin Immunol*, 104 : 852-6.

Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec (APCHQ), 2005. *Des normes à respecter pour la qualité de l'air des habitations*. Disponible en ligne : [http://www.apchq.com/prod/portail.nsf/\(alias\)/qhnormesairhabitations](http://www.apchq.com/prod/portail.nsf/(alias)/qhnormesairhabitations).

Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec (APCHQ), 2002. *Ventilation*. Disponible en ligne : <http://www.apchq.com>.

Atkins, D., Eccles, M., Flottorp, S., Guyatt, G.H., Henry, D., Hill, S., Liberati, A., O'Connell, D., Oxman, A.D., Philipps, B., Schüneman, H., Edejer, T.T., Williams, J.W., 2004. The GRADE working group. Systems for grading the quality of evidence and the strength of recommendations I: Critical appraisal of existing approaches. The GRADE Working Group. *BMC Health Services Research*, 4 : 38.

Belanger, K., Beckett, W., Triche, E., Bracken, M., Holford, T., Ren, P., McSharry, J.E., Gold, D.R., Platts-Mills, T.A., Laederer, B.P., 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.

Bonnefoy, X.R., 2004. *Habitat et santé : état des connaissances*. Organisation mondiale de la santé - Bureau de l'Europe. Centre européen pour l'environnement et la santé, Bonn.

Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järvolhm, 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.

Bornehag, C.G., 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) : 275-80.

- Bornehag, C.G., Sundell, J., Sigsgaard, T., 2004a. Dampness in buildings and health (DBH): Report from an ongoing epidemiological investigation on an association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden. *Indoor Air*, 14 (suppl. 7) : 59-66.
- Bornehag, C.G., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T., Verhoeff, A., 2004b. Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO : a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air*, 14 : 243-57.
- 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, P.S., 2004. Sick building syndrome. *Occup Environ Med*, 61 : 185-90.
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), [s.d.]. *HYBVENT : ventilation hybride des immeubles de bureaux et des écoles*. Disponible en ligne : <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=europe&sub=54>.
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), 1997. *Analyse d'impacts résultant de l'adoption du Code national de l'énergie pour les habitations (CNÉH)*. Hydro-Québec, Ressources naturelles Québec et Société d'habitation du Québec. 82 p. + annexes.
- Chan-Yeung, M., Becker, A., Lam, J., Dimich-Ward, H., Ferguson, A., Warren, P., Simons, E., Broder, I., Manfreda, J., 1995. House dust mite allergens levels in two cities in Canada : effects of season, humidity, city, and home characteristics. *Clin Exper Allergy*, 25(3) : 240-6.
- Clarisse, B., Seta, N., Hasnaoui, A.E., Terrioux, P., Momas, I., 2002. Description de l'environnement domestique et études épidémiologiques sur les pathologies respiratoires. Revue générale. *Rev Epidemiol Santé Publique*, 50 : 179-200.
- Colloff, M.J., 1994 Dust mite control and mechanical ventilation : when the climate is right (Editorial). *Clin Exp Allergy*, 24: 94-6.
- Concannon, P. 2002. *Residential Ventilation*. Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC), Technical Note AIVC 57. 70 pp, Code TN 57.
- Conseil national de recherches Canada (CNRC), [s.d. a]. *Au sujet de ...* Disponible en ligne : http://www.codesnationaux.ca/ccbfc/index_f.shtml.
- Conseil national de recherches Canada (CNRC), [s.d. b]. *Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies*. Disponible en ligne : http://www.codesnationaux.ca/nbc/questions1_f.shtml.
- Conseil national de recherches Canada (CNRC), 2005. *Des systèmes de ventilation mixtes éconergétiques pour les immeubles d'habitation*. Projet de recherche en cours. Disponible en ligne : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/iaq/factsheet8_f.html.

- Conseil national de recherches Canada (CNRC), 1995. Code national du bâtiment – *Canada 1995*. Disponible en ligne : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/catalogue/nbc1f.html>.
- Conseil de recherche de Saskatchewan (CRS), 1994. *Régulation de la ventilation dans les maisons moyennement étanches à l'air*. Rapport préparé pour la Société Canadienne d'Hypothèque et de Logement. Publication SRC n° 1-48000-21-C-94.
- Consortium Dessau/Siricon, 1996. *Enquête sur le terrain portant sur l'étanchéité à l'air, le mouvement de l'air et la qualité de l'air intérieur sans les bâtiments résidentiels de moyenne taille et vérification énergétique de ces bâtiments*. Pagination multiple.
- 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 *Der p 1* in New Zealand homes. *Allergy*, 53: 755-62.
- 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. Disponible en ligne: <http://www.arct.cam.ac.uk/research/mite/review.pdf>.
- Crowther, D., Pretlove, S., Ridley, I., Oreszczyn, T., Wilkinson, T., 2002. *A hygrothermal model of house dust mite response to environmental conditions in dwellings. A summary report*. Disponible en ligne : <http://www.arct.cam.ac.uk/research/mite/four.pdf>.
- Daisey, J.M., Angell, W.J., Apte, M.G., 2003. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools : an analysis of existing information. *Indoor Air*, 13 : 53-64.
- Dales, R., Raizenne, M., 2004. Residential exposure to volatile organic compounds and asthma. *Journal of asthma*, 41 (3) : 259-70.
- Dales, R., Miller, D., 1999. Residential fungal contamination and health : microbial cohabitants as covariates. *Environ Health Perspective*, (Suppl 3) : 481-83.
- Dales, R.E., Zwanenburg, H., Burnett, R., Franklin, C.A., 1991. Respiratory health effects of home dampness and molds among Canadian children. *Amer J Epidemiol*, 134(2) : 196-203.
- 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.
- d'Halewyn, M.A., Leclerc, J.M., King, N., Bélanger, M., Legris, M. et Frenette, Y., 2002. *Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu résidentiel*. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels. Institut national de santé publique du Québec. 105 p. + annexes.
- Dharmage, S., Bailey, M., Raven, J., Abeyawickrama, K., Cao, D., Guest, D., Rolland, J., Forbes, A., Thien, F., Abramson, M., Walters, E.H., 2002. Mouldy homes influence symptoms among atopic individuals. *Clin Exper Allergy*, 32: 714-20.

- Dharmage, S., Bailey, M., Raven, J., Mitakakis, T., Thiens, F., Forbes, A., Guest, D., Abramson, M., Walters, E.H., 1999. Prevalence and residential determinants of fungi within homes in Melbourne, Australia. *Clin Exper Allergy*, 29 (11) : 1481-9.
- Dupuis, A. 2002. Exigences de ventilation des résidences. La ventilation des bâtiments étanches est devenue une affaire sérieuse. *Inter-mécanique du bâtiment*, p. 7-12. juin 2002.
- Dussault, S., 2005. Efficacité énergétique des maisons neuves. *Magazine protégez-vous*, janvier 2005. pp. 9-20.
- Emenius, G., Egmar, A.C., Wickman, M., 1998. Mechanical ventilation protects one-storey single-dwelling houses against increased humidity, domestic mite allergens and indoor pollutants in a cold climatic region. *Clin Exp Allergy*, 28 : 1389-96.
- Emenius, G., Svartengren, M., Korsgaard, J., Nordval, L., Pershagen, G., Wickman, M., 2004. Building characteristics, indoor air quality and recurrent wheezing in very young children (BAMSE). *Indoor Air*, 14 : 34-42.
- Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse (EEREC), 2002. *Whole-house ventilation systems. Improved control of air quality*. Technology fact sheet. Office of building technologies program. 6 p.
- Engvall, K., Norby, C., Norbäck, D., 2003. Ocular, nasal, dermal, and respiratory symptoms in relation to heating, ventilation, energy conservation, and reconstruction of older multi-family houses. *Indoor Air*, 13 : 206-11.
- Engvall, K., Wickman, P., Norbäck, D., 2005. Sick building syndrome and perceived indoor environment in relation to energy saving by reduced ventilation flow during heating season: a 1 year intervention study in dwellings. *Indoor Air*, 15 : 120-7.
- Environmental Protection Agency (EPA), [s.d.]. *Ventilation to Protect Health and Increase Energy Efficiency*. Disponible en ligne: <http://healthandenergy.com/ventilation.htm>.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1997. *Should you have the air ducts in your home cleaned ?* Indoor Environments Division. EPA 402-K-97-002. 17 p.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1995. New York State Energy Research and Development Authority. *Home Owner's Guide to Ventilation*. Disponible en ligne: <http://www.nyserda.org/guide.pdf>.
- Environnement Canada, s.d. *Normales climatiques au Canada 1971-2000*. Disponible en ligne : http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/.
- Ernst, P., 2002. Environmental measures and asthma. *Chest*, 122 : 1509-10.

- European Collaborative Action on "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure" (ECA), 2003. *Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy*. Report no 23. Eur 20741, EN Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission, 2003. *Ventilation, good indoor air quality and rational use of energy*. Report No. 23. EUR 20741.
- Fanger, P.O., Valbjorn, O., 1979. *Indoor climate: effects on human comfort, performance and health in residential, commercial and light-industry buildings*. Copenhagen, Denmark. Danish Building research Institute.
- Fehlmann, J., Wanner, H.U., 1993. Indoor climate and indoor air quality in residential buildings. *Indoor Air*, 3 : 41-50.
- Fletcher, A.M., Pickering, C.A., 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.
- Fung, F., Hughson, W.G., 2003. Health effects of indoor fungal bioaerosol exposure. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 18: 5535-44.
- Gagnon, C., 2004. *Comment s'y retrouver dans les systèmes de ventilation résidentielle ?* Chronique # 19. Chronique Sous mon toit. Disponible en ligne : <http://www.cjonquiere.qc.ca/sousmontoit/chronique19.html>.
- Gagnon, C., 1994. *Les ventilateurs avec récupération de chaleur : comment choisir un bon appareil et bien l'installer ?* Chronique # 20. Chronique sous mon toit. Disponible en ligne : <http://www.cjonquiere.qc.ca/sousmontoit/chronique20.html>.
- Garrett, M.H., Hooper, M.A., Hooper, B.M., Rayment, P.R., Abramson, M.J., 1999. Increased risk of allergy in children due to formaldehyde in homes. *Allergy*, 54 : 330-7.
- Garrett, M.H., Rayment, P.R., Hooper, M.A., Abramson, M.J., Hooper, B.M., 1998. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. *Clin Exper Allergy*, 28 : 459-67.
- Gilbert, N.L., Gauvin, D., Guay M., Héroux, M.È, Dupuis G., Legris, M., Chan, C.C., Dietz, R.N., Lévesque, B., 2006. Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City, Canada. *Environmental Research*. In Press.
- Gilbert, N.L., Guay, M., Miller, D., Judek, S., Dales, R.E., 2005. Levels and determinant of formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein in residential indoor air in Prince Edward Island, Canada. *Environ Res*, 99 (1) : 11-7.
- Gotzsche, P.C., Johansen, H.K., Schmidt, L.M., Burr, M.L., 2004. House dust mite control measures for asthma (Review). *The Cochrane Database for Systematic Reviews*, Issue 4. Art. No.: CD001187.

- Gunnbjörnsdottir, M.I., Norbäck, D., Plaschke, P., Norrman, E., Björnsson, E., Janson, C., 2003. The relationship between indicators of building dampness and respiratory health in young Swedish adults. *Respir Med*, 97 : 302-7.
- Handegord, G.O., 1984. *Ventilation des maisons, regard sur la science du bâtiment*. Institut de recherche en construction (IRC), Conseil national de recherches du Canada. 14 p. Disponible en ligne : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/83-4_F.html.
- 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.
- Harving, H., Korsgaard, J., Dahl, R., 1993. House-dust mites and associated environmental conditions in Danish homes. *Allergy*, 48 : 106-9.
- Harving, H., Dahl, R., Korsgaard, J., Linde, S.A., 1992. The indoor environment in dwellings : a study of air-exchange, humidity and pollutants in 115 Danish residences. *Indoor Air*, 121-6.
- Haysom, J.C., Reardon, J.T., 1998a. Pourquoi les maisons ont besoin de ventilation mécanique. *Solution constructive* no. 14. Institut de recherche en construction (IRC), Conseil national de recherches du Canada. Disponible en ligne : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/14_f.html.
- Haysom, J.C., Reardon, J.T., 1998b. Façons actuelles d'aborder la ventilation mécanique des habitations. *Solution constructive* no. 15. Institut de recherche en construction (IRC), Conseil national de recherches du Canada. 6 p. Disponible en ligne : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/ctus/15_f.html.
- 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.
- Htut, T., Burgess, I.F., Maunder, J.W., Basham, E., 1996. A pilot study on the effect of one room mechanical ventilation with heat recovery (MVHR) units on house dust mite populations and *Der p 1* levels in laboratory simulated bedrooms and on ambient conditions in an occupied bedroom in Cambridge, UK. *Intern J Environ Health Research*, 6 : 301-13.
- Institut de recherche en construction (IRC), 2002. Modifications proposées à la partie 9 du CNB, Maisons et petits bâtiments. *Innovation en construction*, 7(3). Disponible en ligne : http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/newsletter/v7no3/technical_changes_f.html.
- Institute of Medicine (IOM), Committee on Damp Indoor Spaces and Health, 2004. *Damp indoor spaces and health*. National Academy Press. Washington. 354 p.
- 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, J.J.K., Hwang, B.F., 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
- Jaakkola, J.J.K., Oie, L., Nafstad, P., Botten, G., Sammelsen, S.O., Magnus, P., 1999. Interior surface materials in the home and the development of bronchial obstruction in young children in Oslo, Norway. *Amer J Public Health*, 89 : 188-92.
- Jaakkola, J.J.K., Verkasalo, P.K., Jaakkola, N., 2000. Plastic wall materials in the home and respiratory health in young children. *Amer J Public Health*, 90 : 797-9.
- Jaakkola, N., Jaakkola, J.J.K., 2004. Indoor molds and asthma in adults. *Advances Applied Microbiology*, 55 : 309-38.
- Keefe, D., Cawley, D., 1999. *Mechanical ventilation for residential new construction in Vermont*. A review of codes, standards and research with recommendations for a Vermont ventilation standard. 29 p.
- Kodama, A.M., McGee, R., 1986. Airborne microbial contaminants in indoor environments. Naturally ventilated and air-conditioned homes. *Arch Environ Health*, 41 : 306-11.
- Koppen, W., 1936. *Das geographisches system der climate*. In Handbush der klimatologie. Volume 1. W Koppen and R Geigers (Eds). Gegruder Borntraeger, Berlin, Germany.
- Korsgaard, J., 1998a. Epidemiology of house-dust mites. *Allergy*, 53 (Suppl 48) : 36-40.
- Korsgaard, J., 1998b. House-dust mites and asthma. A review on house-dust mites as a domestic factor for mite asthma. *Allergy*, 53 (suppl 48) : 77-83.
- Korsgaard, J., 1983. House-dust mites and absolute indoor humidity. *Allergy*, 38 : 85-92.
- Laberge, R., 2005. *Voies et impasses pour la qualité de l'air de nos habitations. Problématique québécoise de la ventilation résidentielle*. Version préliminaire. Document non publié.
- Last, J.M., 2004. *Dictionnaire d'épidémiologie. Enrichi d'un lexique anglais-français*. Edisem. 306 p.
- Leech, J.A., Raizenne, M., Gusdorf, J., 2004. Health in occupants of energy efficient new homes. *Indoor Air*, 14 : 169-73.
- Légaré, M., 2003. *Les exigences de ventilation des logements des immeubles d'habitation. Chapitre 1, Bâtiment, du Code de construction du Québec*. Régie du bâtiment du Québec. Direction de la normalisation. *Présentation Power Point* diffusée dans le cadre d'une rencontre du Regroupement technologique en habitation du Québec. Non publié.
- Liddament, M.W., 2000. A review of ventilation and the quality of ventilation air. *Indoor Air*, 10 : 193-9.

- Lintner, T.J., Brame, K.A., 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.
- Martinez, F.D., Wright, A.L., Taussig, L.M., Holdberg, C.H., Halonen, M., Morgan, W.J., 1995. Asthma and wheezing in the first six years of life. *New Engl J Med*, 332 (3) : 133-8.
- Matson, N.E., Sherman, M.H., 2004. *Why we ventilate our houses – An historical look*. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California. 10 p.
- McKone, T.E., Sherman, M.H., 2003. *Residential ventilation standards scoping study*. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 28 p. + annexes.
- McMaster Institute of Environment and Health (MIEH), 1999. *Expert panel on fungal contamination indoors*. Ontario ministry of health. 14 p.
- McWilliams, J., Sherman, M.H., 2005. *Review of literature related to residential ventilation requirements*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL-57236. 27 p.
- Mendell, M.J., 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature. *Indoor Air*, 3 : 227-36.
- Mendell, M.J., Fisk, W.J., Deddens, J.A., Seavey, W.G., Smith, A.H., Smith, D.F., Hodgson, A.T., Daisey, J.A., Gold, L.R., 1996. Elevated symptoms prevalence associated with ventilation type in office buildings. *Epidemiology*, 7 : 583-9.
- Mendell, M.J., Heath, G.A., 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15 : 27-52.
- Menzies, D., Popa, J., Hanley, J.A., Milton, D.K., 2003. Effect of ultraviolet germicidal lights installed in office ventilation systems on workers' health and well being : double-blind multiple crossover trial. *Lancet*, 362 : 1785-91.
- Menzies, D., Bourbeau, J., 1998. Building-related illnesses. *New Engl J Med*, 337 (21) : 1524-31.
- Menzies, D., Tamblyn, R., Farant, J.P., Hanley, J., Nunes, F., Tamblyn, R., 1993. The effect of varying levels of outdoor-air supply on the symptoms of sick building syndrome. *New Engl J med*, 328 (12) : 821-7.
- Milton, D.K., Glencross, P.M., Walters. M.D., 2000. Risk of sick leave associates with outdoor air supply rate, humidification, and occupants complaints. *Indoor Air*, 10 : 212-21.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER), [s.d.]. Brochure. Série : *Les économies d'énergie dans l'habitation existante*. 23 p.
- Munir, A.K.M., 1998. Mite sensitization in the Scandinavian countries and factors influencing exposure levels. *Allergy*, 53 (Suppl 48) : 64-70.

- Munir, A.K.M., Björkstén, B., Einarsson, R., Ekstrand-Tobin, A., Möller, C., Warner, A., Kjellman, N.I.M., 1995. Mite allergens in relation to home conditions and sensitization of asthmatic children from three climatic regions. *Allergy*, 50 : 55-64.
- Nafstad, P., Jaakkola, J.J.K., Skrondal, A., Magnus, P., 2004. Day care center characteristics and children's respiratory health. *Indoor Air*, 15 : 69-75.
- Nguyen, V.H., 2003. *Guide de prévention. Nouveau standard ASHRAE #62-2001 Ventilation. Pour une qualité de l'air acceptable et pour la prévention des moisissures*. Groupe Teknica, 46 p.
- Niven, R.M., Fletcher, A.M., Pickering, A.C., Custovic, A., Sivour, J.B., Preece, A.R., Oldham, L.A., Francis, H.C., 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.
- Oie, L., Nafstad, P., Botten, G., Magnus, P., Jaakkola, J.K., 1999. Ventilation in homes and bronchial obstruction in young children. *Epidemiology*, 10 : 294-9.
- Pappas, G.P., Herbert, R.J., Henderson, W., Koenig, J., Barnhart, S., 2000. The respiratory effects of volatile organic compounds. *Int J Occup Environ Health*, 6(1): 1-8.
- Pearce, N., Douwes, J., Beasley, R., 2000. Is allergen exposure the primary cause of asthma? *Thorax*, 55 : 424-31.
- Peat, J.K., Dickerson, J., Li, J., 1998. Effects of damp and mould in the home on respiratory health : a review of the literature. *Allergy*, 53 : 120-8.
- Phillips, D., 1990. *Les climats du Canada*. Ministre des Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, En-561/1990F, 176 p.
- Raw, G.J., Coward, S.K.D., Brown, V.M., Crump, D.R., 2004. Exposure to air pollutants in English homes. *J Exposure Environ Epidemiol*, 14 : S85-S94.
- Reardon, J.T., Shaw, C.Y., Chown, G.A., 1990. *Stratégies de ventilation pour les petits bâtiments*. Regard sur la science du bâtiment. Conseil national de recherches Canada. 23 p.
- Régie du bâtiment du Québec (RBQ), [s.d. a]. *La Régie du bâtiment en bref*. Disponible en ligne : <http://www.rbq.gouv.qc.ca/dirCorporatif/aPropos/index.asp>.
- Régie du bâtiment du Québec (RBQ), [s.d. b]. *Lois, règlements et codes*. Disponible en ligne : <http://www.rbq.gouv.qc.ca/dirLoisReglementsCodes/dirCodeConstruction/index.asp>.
- Ren, P., Jankun, T.M., Belanger, K., Bracken, M.B., Leaderer, B.P., 2001. The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics. *Allergy*, 56 : 419-24.

- Ressources Naturelles Canada (RNC), [s.d.]. *Le guide complet des foyers à gaz - étanchéisez la trappe d'accès à l'entretoit*. Disponible en ligne : http://oeenrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/renovate_f/La_reduction_des_fuites_dair_Section02.cfm. =
- Ressources Naturelles Canada (RNC), 2003a. *Respirez plus facilement grâce à une ventilation salubre et un moins grand nombre de polluants*, Initiative R-2000. Disponible en ligne : http://oeenrcan.gc.ca/Publications/infosource/Pub/r2000_f/M27-01-1901F.pdf.
- Ressources Naturelles Canada (RNC), 2003b. *R-2000 Ventilation et qualité de l'air ambiant*. Office de l'efficacité énergétique. Disponible en ligne : http://oeenrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/r2000_f/r-2000_ventilation.cfm.
- Ressources Naturelles Canada (RNC), 2003c. *Ventilateurs récupérateurs de chaleur, EnerGuide*. Office de l'efficacité énergétique. Disponible en ligne : <http://oeenrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/vrc/VRC-HRV.pdf>.
- Ressources Naturelles Canada (RNC), 1997. *Enquête 1997 sur l'utilisation de l'énergie par les ménages. Rapport sommaire*. Disponible en ligne : http://www.oeenrcan.gc.ca/Publications/infosource/Pub/energie_consommation/sheu_f/sheu_4.cfm.
- Roberson, J.A., Brown, R.E., Koomey, J.G., Greenberg, S.E., 1998. *Recommended ventilation strategies for energy-efficient production homes*. Energy analysis department. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 29 p. + annexes. LBNL-40378.
- 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., Phillips, M., Stick, S., 2002. Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Eur Respir J*, 20 : 1-6.
- Russell, M., Sherman, M., Rudd, R., 2005. *Review of residential ventilation technologies*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 38 p. LBNL-57730.
- Santé Canada, 1989. *Directives d'exposition concernant la qualité de l'air des résidences*. Ottawa, Comité consultatif fédéral-provincial sur l'environnement et l'hygiène du milieu, 26 p. Disponible en ligne : http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/pdf/rt-156.pdf.
- Seppänen, O.A., Fisk, W.J., 2004. Summary of human response to ventilation. *Indoor Air*, 14 (Suppl. 7) : 102-18.
- Seppänen, O.A., Fisk, W.J., 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air*, 12 : 98-112.
- Seppänen, O.A., Fisk, W.J., Mendell, M.J., 2002. Ventilation rates and health. *ASHRAE J*, 56-8.

- Seppänen, O.A., Fisk, W.J., Mendell, M.J., 1999. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9 : 226-52.
- Shaw, C.Y., 1987. Ventilation mécanique et pression d'air dans les maisons. Institut de recherche en construction (IRC). CBD-245-F. *Digeste de la construction au Canada*. Disponible en ligne : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd245f.html>.
- Sheltersource Inc., 2002. *Evaluating Minnesota Homes*. Final report. Prepared for the Minnesota department of Commerce. 69 p. + annexes.
- Sherman, M.H., Matson, N.E., 2003. *Reducing indoor residential exposures to outdoor pollutants*. Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL – 51758. 27 p. + annexe.
- Sherman, M.H., 2004. *ASHRAE's first residential ventilation standard*. Proceedings of Buildings IX Conference, SP-95. LBNL-54331.
- Sherman, M.H., 2003. ASHRAE & Residential Ventilation. *ASHRAE J.* 46(1) : S149-56, Lawrence Berkeley Laboratory report LBNL-53776.
- Sherman, M.H., Hodgson, A.T., 2004. Formaldehyde as a basis for residential ventilation rates. *Indoor Air*, 14 : 2-8.
- Singh, M., Bara, A., Gibson, P., 2002. Humidity control for chronic asthma. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. Issue 1. Art. No: CD003563.
- Smedje, G., Norbäck, D., 2000. New ventilation systems at select schools in Sweden - Effects on asthma and exposure. *Arch Environ Health*, 55 (2) : 18-25.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), [s.d.]. *Tours d'habitation saines. Guide de conception des tours d'habitation saines*. Rapport de recherche. Série sur la maison et les collectivités saines. 143 p. + annexes.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2004a. *L'air et l'humidité : problèmes et solutions. Options en matière de ventilation*. Disponible en ligne : http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/coreenlo/coprge/humo/aihuprso/aihuprs_011.cfm.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2004b. *Techniques améliorées pour l'alimentation en air de compensation*. Le point en recherche. Série technique 04-100. 4 p. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/dblist.cfm?mode=title>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2004c. *Un portrait du logement au Canada*. L'observateur du logement au Canada 2004. Disponible en ligne : http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/obloca/poloca2004/poloca_001.cfm.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2004d. *Analysis of ventilation system performance in new Ontario houses. Research highlight*. Technical Series 04-117.

- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2003a. *Installations de ventilation dans les collectifs d'habitation : exigences en matière de performance et options de rechange*. Série technique 03-121. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/dblist.cfm?mode=title>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2003b. *Réduction de la contamination des prises d'air dans les tours d'habitation*. Le point en recherche. Série technique 03-119. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/03-119-f.htm>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2003c. *Infiltration de particules extérieures dans une habitation*. Le point en recherche. Série technique 03-105. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/03-105-f.html>
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2002. *Conformité des installations de ventilation mises en place en application des changements proposés au CNBC 1995*. Le point de recherche. Série technique 02-118. 5 p. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/02-118-f.html>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2001a. *Caractéristiques d'étanchéité à l'air, méthodes d'essai et spécifications pour les immeubles de grande hauteur*. Le point de recherche. Série technique 02-118. 5 p. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/01-123-f.htm>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2001b. *Importance des ventilateurs de cuisine et de salle de bains*. Série Votre maison. CF 17. 4 p. Disponible en ligne : http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/coreenlo/coprge/insevoma/cf_17.cfm.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2000a. *Avant d'améliorer l'efficacité énergétique de votre maison – L'enveloppe du bâtiment*. Série Votre maison. CF 28j. 6 p. Disponible en ligne : http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/coreenlo/coprge/insevoma/cf_41.cfm.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 2000b. *Amélioration des systèmes de ventilation dans les immeubles de faible hauteur*. Le point en recherche. Série technique 000-144. Disponible en ligne : <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/NH18-22-100-144F.pdf>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1999a. *Étude sur le terrain des ventilateurs récupérateurs de chaleur*. Le point en recherche. Série technique 96-215. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/96215.htm>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1999b. *Essais en service visant à caractériser la ventilation des appartements dans les immeubles résidentiels de moyenne et de grande hauteur de construction récente*. Le point en recherche. Série technique 99-118. Disponible en ligne : <http://www.cmhc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/99118.htm>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1998. *Guide d'assainissement de l'air. Comment cerner et régler les problèmes de qualité de l'air de votre habitation*. 32 p.

Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1996a. *Comment se conformer aux exigences de ventilation des bâtiments résidentiels du Code national du bâtiment de 1995*. Pagination multiple.

Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1996b. *Systèmes de ventilation destinés aux maisons neuves ou existantes chauffées par plinthes électriques*. Le point en recherche et développement. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/96-200.pdf>.

Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), 1991. *Installations mécaniques dans les tours d'habitation*. Série technique 90-205. 2 p. Disponible en ligne : <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/fr/rh-pr/tech/90205.htm>.

Société d'habitation du Québec (SHQ), [s.d.]. *Vous avez besoin d'aide financière pour rénover ?* Disponible en ligne : http://www.habitation.gouv.qc.ca/proprietaires/aide_financiere.html.

Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F., 2001. *Indoor air quality handbook*. McGraw-Hill. Pagination multiple.

Sporik, R., Platts-Mills, T.A.E., 2001. Allergen exposure and the development of asthma. *Thorax*, 56 (Suppl II) : ii58-ii63.

Sporik, R., Holgate, S.T., Platts-Mills, T.A., Cogswell, J.J., 1990. Exposure to house-dust mite allergen (Der p 1) and the development of asthma in childhood. A prospective study. *N Engl J Med*, 323(8) : 337-8.

Stephen, F.R., McIntyre, D.A., Lane, A., Raw, G.J., Wiech, C.R., 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.

Strachan, D.P., 1998. House dust mite allergen avoidance in asthma. Benefits unproved but not yet excluded. *British Med J*, 317 : 1096-7.

Stricker Associates Inc., 1994. *Essais de ventilation et de qualité de l'air dans des maisons chauffées à l'électricité*. En collaboration avec Hydro-Québec et la Société canadienne d'hypothèques et de logement. 36 p.

Sundell, J. 2004. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14 (Suppl 7) : 51-8.

Sundell, J., Wickman, M., Pershagen, G., Nordvall, S.L., 1995. Ventilation in homes infested by house-dust mites. *Allergy*, 50 : 106-12.

Tremblay, G., 2004. Code de construction du Québec : vers une norme unique en ventilation ? *Le technologue*, Dossier. Disponible en ligne : www.otpq.qc.ca/cap1.html.

Turner, W.A., Bearg, D.W., Brennan, T., 1995. Ventilation. *Occup Med*, 10(1): 41-57.

- Van Strien, R.T., Gehring, U., Belanger, K., Triche, E., Gent, J., Bracken, M.B., Leaderer, B.P., 2004. The influence of air conditioning, humidity, temperature and other household characteristics on mite allergen concentrations in the northeastern United States. *Allergy*, 59 : 645.
- Van Strien, R.T., Verhoeff, P., Brunekreef, B., Van Wijnen, J.H., 1994. Mite allergen in house dust: relationship with different housing characteristics in the Netherlands. *Clin Exper Allergy*, 24 : 843-53.
- Venn, A.J., Cooper, M., Antoniak, M., Laughlin, C., Britton, J., Lewis, S.A., 2003. Effects of volatile organic compounds, damp, and other environmental exposures in the home on wheezing illness in children. *Thorax*, 58 : 955-60.
- Ventilation Energy and Environmental Technology (VEETECH), 2005. *Ventilation energy and environmental technology*. <http://freespace.virgin.net/vent.air/Filtration/Filtration.htm>.
- Ventilation Energy and Environmental Technology (VEETECH), 2004. *Ventilation Strategies*. http://freespace.virgin.net/vent.air/Ventilation%20Technology/ventilation_strategies.htm.
- Voorhorst, R., Spieksma, F.T., 1967. Correspondence : of mites and men. *J Allergy*, 40(6) : 357-358.
- Voorhorst, R., Spieksma, F.T., Varekamp, H., 1969. House dust atopy and the house dust mite *Dermatophagoides pteronyssus*, Leiden, The Netherlands : Stafleu's Scientific Publishing Company.
- Wargocki, P., L. Lagercrantz, T. Witterseh, J. Sundell, D.P. Wyon et P.O. Fanger, 2002b. Subjective perceptions, symptom intensity and performance : a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor air*, 12 : 74-80.
- Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G., Fanger, O., 2000. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air*, 10 : 222-36.
- Warner, J.A., Frederick, J.M., Bryant, T.N., Weich, C., Raw, G.J., Hunter, C., Stephen, F.R., McIntyre, D.A., Warner, J.O., 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.
- Weiland, S.K., Hüsing, A., Strachan, D.P., Rzehak, P., Pearce, N., 2004. Climate and the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinitis and atopic eczema in children. *Occup Environ Med*, 61 : 609-15.
- White, J.H., 2003. *Review of optimum ventilation rates for CSA F326*. System Science Associates Ltd. 12 p.
- Wickman, M., Emenius, G., Egmar, A.C., Axelsson, G., Pershagen, G., 1994. Reduced mite allergen levels in dwellings with mechanical exhaust and supply ventilation. *Clin Exp Allergy*, 24 : 109-14.

- Wickman, M., Nordvall, S.L., 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.
- Woodcock, A., Lowe, L.A., Murray, C.S., Simpson, B.M., Pipis, S.D., Kissen, P., Simpson, A., Custovic, A., 2004. Early life environmental control. Effect on symptoms, sensitization, and lung function at age 3 years. *Am J Respir Crit Care Med*, 170 : 433-9.
- Woodcock, A., Forster, L., Matthews, E., Martin, J., Letley, L., Vickers, M., Britton, J., Strachan, D., Howarth, P., Altmann, D., Frost, C., Custovic, A., 2003. Control of exposure to mite allergen and allergen-impermeable bed covers for adult with asthma. *New Engl J Med*, 349 : 225-36.
- Woolf, S.H., Battista, R.N., Anderson, G.M., Logan, A.G., Wang, E., 1990. Assessing the clinical effectiveness of preventive maneuvers : analytic principles and systematic methods in reviewing evidence and developing clinical practice recommendations. A report of the Canadian Task Force on the periodic health examination. *J Clin Epidemiol*, 43 : 891-905.
- World Meteorological Organization (WMO), [s.d.]. World weather information service. Weather information for Stockholm. Disponible en ligne: <http://www.worldweather.org/096/c00187.htm>.
- Yaglou, C.P., Riley, E.C., Coggins, D.I., 1936. Part 1. Ventilation requirements : heating, piping and air conditioning. *ASHRAE J*, 42 : 65-76.
- Yaglou, C.P., Witheridge, W.N., 1937. Part 2. Ventilation requirements : heating, piping and air conditioning. *ASHRAE J*, 43 : 1-4.
- Yoshino, H., S. Murakami, S. Akabayashi *et al.*, 2004. Survey on minimum ventilation rate of residential buildings in fifteen countries. Department of architecture & building science. Graduate school of engineering, Tohoku. pp. 227-238.
- Zhang, G., Spickett, J., Lee, A.H., Rumchev, K., Stick, S., 2005. Household hygiene practices in relation to dampness at home and current wheezing and rhinoconjunctivitis among school age children. *Pediatr Allergy Immunol*, 16 : 587-592
- Zock, J.P., Jarvis, D., Luczynska, C., Sunyer, J., Burney, P., 2002. Housing characteristics, reported mold exposure, and asthma in the European community respiratory health survey. *J Allergy Clin Immunol*, 110(2) : 285-92.

ANNEXE 1

ÉTENDUE DES DIAMÈTRES DES PARTICULES AÉROPORTÉES COMMUNÉMENT RENCONTRÉES DANS L'AIR INTÉRIEUR

ANNEXE 1 – ÉTENDUE DES DIAMÈTRES DES PARTICULES AÉROPORTÉES COMMUNÉMENT RENCONTRÉES DANS L'AIR INTÉRIEUR

Particules	Diamètre (µm)
Acariens	> 50
Spores de moisissure et pollens	2 à 200
Squames ¹ d'humain	1 à 40
Poussières visibles	> 25
Poussières remises en suspension	5 à 25
Allergènes d'acarien	5 à 10
Fibres minérales	3 à 10
Squames de chat	1 à 3
Amiante	0,25 à 1
Particules fines extérieures (sulfates, métaux)	0,1 à 2,5
Fumée de tabac	0,1 à 0,8
Suie de diesel	0,01 à 1
Particules de combustion récentes	< 0,1
Bactérie ²	0,05 à 0,7
Virus ²	< 0,01 à 0,05

¹ Lamelle épidermique qui se détache de la surface de la peau naturellement ou du fait d'une dermatose (psoriasis, eczéma, dermatite, séborrhée, etc.). Les squames sont présentes autant chez l'homme que chez l'animal.

² Se rencontrent dans de plus larges gouttelettes.

Adapté de Spengler *et al* (2001)

ANNEXE 2

UNITÉS LES PLUS FRÉQUEMMENT UTILISÉES EN VENTILATION

ANNEXE 2 – UNITÉS LES PLUS FRÉQUEMMENT UTILISÉES EN VENTILATION

TERME OU UNITÉ	SYMBOLE
Renouvellement d'air à l'heure ¹	rah
Changement d'air à l'heure ²	cah
Air change (or exchange) per hour⁴	ach
Litre par seconde ³	l/s
Pied cube par minute ³	pcm
Mètre cube par heure ³	m ³ /h
Cubic feet per minute⁴	cfm

¹ Un renouvellement d'air à l'heure signifie qu'une quantité d'air extérieur égale au volume du bâtiment y pénètre en une heure.

² Équivalent de renouvellement d'air à l'heure.

³ Exprime une capacité (ex. capacité d'un ventilateur à introduire de l'air frais) ou un taux de ventilation; généralement par personne (ex. l/s/p, pcm/p ou, en anglais, cfm/p) ou par unité de surface (l/s/m², pcm/pi² ou, en anglais, cfm/f²).

⁴ Équivalent anglais.

FACTEURS DE CONVERSION DES UNITÉS

$$1 \text{ l/s} = 2,119 \text{ pcm (cfm)}$$

$$1 \text{ pcm (cfm)} = 0,47189 \text{ l/s}$$

$$1 \text{ l/s} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1 \text{ pcm (cfm)} = 1,699 \text{ m}^3/\text{h}$$

FORMULE POUR DÉTERMINER LE BESOIN EN VENTILATION

$$\text{Taux de ventilation (l/s)} = \frac{\text{volume d'air à ventiler (m}^3\text{)} \times \text{renouvellement d'air à l'heure (rah) requis}}{3,6}$$

Par exemple, pour le besoin en ventilation d'une maison-type de 453 m³*, en tenant compte de la prescription du Code national du bâtiment de 0,3 renouvellement d'air à l'heure (rah), le taux de ventilation recherché peut être calculé de la façon suivante :

$$\frac{453 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ rah}}{3,6} = 37,75 \text{ l/s, soit environ } \mathbf{40 \text{ l/s}}$$

* : calcul du volume : maison (avec sous-sol) de 25' x 40' ⇒ 1 000 pi² x 8 pi de hauteur x 2 (rez-de-chaussée + sous-sol) = 16 000 pi³ ou 453 m³.

ANNEXE 3

RÉSUMÉS DES ÉTUDES SUR LE LIEN DIRECT ET LES LIENS INDIRECTS ENTRE LA VENTILATION ET LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

ANNEXE 3 – RÉSUMÉS DES ÉTUDES SUR LE LIEN DIRECT ET LES LIENS INDIRECTS ENTRE LA VENTILATION ET LA SANTÉ RESPIRATOIRE DES OCCUPANTS

RÉSUMÉS DES ÉTUDES SUR LE LIEN DIRECT ENTRE LA VENTILATION ET LA SANTÉ DES OCCUPANTS

Les études dans les bâtiments d'habitation

Les études d'intervention : essais comparatifs randomisés (I) et non-randomisés (II-1)

Engvall *et al* (2005) ont réalisé une étude d'intervention quasi-expérimentale dans un immeuble à logements pour évaluer l'influence d'une réduction de 25 à 30 % du taux de ventilation pendant la période de chauffe, sur la prévalence du syndrome des édifices hermétiques (SEH) et sur la perception de la qualité de l'air intérieur (QAI). Cette étude de type *cross-over* a été réalisée auprès de 44 sujets pendant une année. La collecte des données a été faite à l'aide d'un questionnaire (*Stockholm Indoor Environment Questionnaire*) acheminé par la poste. Celui-ci comprenait sept questions sur les symptômes dont deux sur la toux et l'irritation de la gorge. Durant la première saison de chauffe, la partie A de l'édifice a été ventilée à un taux de 0,4 à 0,5 rah alors que la partie B a été ventilée à un taux de 0,5 à 0,8 rah. La situation a été inversée durant la saison suivante. Les occupants ont perçu une diminution statistiquement significative de la QAI de même qu'une mauvaise odeur plus fréquente dans leur logement durant la période de réduction du taux de ventilation. Toutefois, les chercheurs n'ont pas trouvé de différence significative au niveau de la fréquence des symptômes. La réduction du taux de ventilation s'est accompagnée d'une augmentation variant de 1 à 3 % du taux d'humidité relative dans la salle de séjour et de 1 à 5 % dans la salle de bain. La température de la chambre a augmenté de 0,1 à 0,3°C et la concentration de CO₂ de 920 à 980 ppm. Les différences observées au niveau environnemental demeurent minimales. Soulignons toutefois que les taux de ventilation comparés sont tous deux relativement élevés.

En 1997-1998, Leech *et al* (2004) ont réalisé une étude prospective sur les symptômes respiratoires et généraux chez les occupants de maisons R-2000, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse (Leech *et al*, 2004). La population étudiée était constituée de 128 occupants de maisons R-2000 comparés à 149 occupants de maisons-contrôles. Le groupe contrôle était constitué de 53 nouvelles maisons construites au cours de la même année, dans la même zone géographique et du même prix que celles des cas. Un questionnaire a été administré par téléphone auprès d'un répondant de chaque domicile trois mois après l'inscription au programme dans la nouvelle maison. Le questionnaire a été répété un an plus tard. Les questions portaient sur la présence et l'indice (*score*) de sévérité des symptômes. Les principaux résultats montrent une amélioration significative des symptômes après un an chez les occupants des maisons R-2000. Cette amélioration est plus grande que chez les résidents des maisons-contrôles. Les symptômes d'irritation de la gorge, de toux, de fatigue et d'irritabilité ont diminué alors que la diarrhée et les nausées sont restés les mêmes. Cette étude a certaines limites, soit la présence plus élevée de fumeurs chez les contrôles et le biais de rappel possible. Toutefois, l'absence d'effet observé au niveau des symptômes non reliés à la qualité de l'air rend les résultats plus plausibles. Parmi les explications possibles, les auteurs avancent l'hypothèse d'une réduction de

l'humidité dans les maisons R-2000 due à la présence d'un système de ventilation à récupération de chaleur (VRC).

Une étude quasi-expérimentale a été réalisée par Harving *et al* (1994a) dans le cadre du *Healthy Homes Project*. Les résultats d'une étude antérieure ont montré une réduction statistiquement significative de l'humidité et de la contamination par les acariens dans les maisons ventilées avec un VRC en comparaison avec les maisons contrôles. L'objectif de cette étude est d'évaluer si cette réduction se traduit par des effets sur l'état de santé des asthmatiques. Les groupes intervention (déménagement dans une nouvelle maison avec VRC) et contrôle étaient constitués respectivement de 14 et 11 asthmatiques allergiques aux acariens. Les variables suivantes ont été mesurées au début de l'étude (1984-85), 4 mois (1985) et 15 mois (1986) après le début de l'intervention : fonction respiratoire, symptômes d'asthme, utilisation de la médication et anticorps IgE. Après 4 mois, on a observé, chez les asthmatiques résidant dans les maisons avec VRC, une amélioration du volume expiratoire maximum/seconde (VEMS), une diminution de la consommation de médicaments et de la concentration d'IgE. La différence observée était statistiquement significative par rapport aux valeurs de départ et à celles du groupe contrôle. Ces résultats se sont maintenus après 15 mois; on a observé de plus une augmentation significative du débit de pointe moyen et une diminution des symptômes d'asthme. Une différence significative au niveau de ces changements a été trouvée avec le groupe contrôle. La réduction de la consommation de médicaments observée dans le groupe intervention était reliée de façon significative à la réduction du niveau d'exposition aux acariens provenant des matelas et des tapis de la chambre à coucher. Les chercheurs attribuent cet effet à la présence d'un VRC dans les maisons.

Les études de cohorte et cas-témoins (II-2)

À partir d'un échantillon aléatoire de 412 enfants sélectionnés en 1991, dans deux villes de Suède, Hesselmar *et al* (2005) ont revu, en 1996, un sous-échantillon de 109 enfants alors âgés de 12 et 13 ans, provenant de Göteborg. L'objectif de cette étude de cohorte rétrospective était d'évaluer l'association entre les caractéristiques de l'habitation et le risque de développer de l'allergie et de l'asthme. Les unités de logement (appartements ou *flats* et maisons ou *houses*) ont été visitées par deux inspecteurs sanitaires durant la saison d'hiver. Les parents ont été interviewés. Les diverses caractéristiques du domicile ont été documentées, incluant la présence de ventilation mécanique et de ventilation naturelle. La température et l'humidité ont été mesurées. Les poussières du matelas des enfants et des tapis de la salle de séjour ont été échantillonnées pour mesurer la concentration des allergènes communs. Un questionnaire sur les symptômes respiratoires a été administré. Un *Prick test* a été effectué chez les enfants. Les chercheurs ont trouvé des allergènes d'acariens dans les matelas de 60 maisons (*Der p* : 27; *Der f* : 51). La concentration d'allergènes excédait le critère de 2 µg/g de poussière dans 6 maisons. Il s'agissait de *Der f* dans tous les cas. Les chercheurs ont trouvé une association significative entre la concentration d'allergènes d'acariens et la sibilance (*wheezing*) chez les enfants. L'humidité relative médiane était de 32 %. Il n'y avait pas de différence significative du taux d'humidité selon les caractéristiques des unités de logement. Les appartements étaient moins fréquemment infestés par les acariens que les maisons (OR : 0,24; IC 95% : 0,07-0,87). La ventilation naturelle était associée de façon significative avec un risque accru de sibilances (OR : 3,13; IC 95% : 1,05-9,29) et d'infestation par les acariens (OR : 4,18; IC 95% : 1,70-10,2). La présence d'un sous-sol était associée à un risque significativement plus élevé d'asthme (OR : 3,09; IC 95% : 1,30-7,37), de

sibilances (OR : 2,90; IC 95% : 1,08-7,78) et d'atopie (OR : 2,73; IC 95% : 1,16-6,43). L'infestation par les acariens avait tendance à être plus fréquente dans ces maisons. Les maisons sans ventilation mécanique avaient donc tendance à être plus infestées par les acariens et les enfants qui y vivaient avaient un risque plus élevé de sensibilisation et de symptômes respiratoires, en particulier dans les maisons dotées d'un sous-sol. Selon les auteurs, les enfants peuvent passer un temps considérable au sous-sol d'une maison, où le taux d'humidité et les concentrations de microorganismes sont souvent plus élevés.

Bornehag *et al* (2005) ont publié récemment les résultats d'une étude cas-témoins, portant sur le lien entre les taux de ventilation dans les maisons et le risque de symptômes allergiques chez les enfants. Cette étude fait partie de la phase 2 du programme de recherche de Suède *Dampness in Building and Health*, portant au départ sur un échantillon de 14 077 enfants âgés de 1 à 6 ans. L'étude comprend 198 cas et 202 témoins, vivant dans 390 bâtiments d'habitation (323 unifamiliales, 23 en rangée, 44 multifamiliales). Les cas devaient avoir présenté, au questionnaire initial de même qu'au questionnaire de contrôle 18 mois plus tard, au moins 2 épisodes de symptômes de sibilance, de rhinite ou d'eczéma au cours des 12 mois précédents. Les enfants ont été examinés par un médecin et ont subi un prélèvement sanguin pour la mesure des anticorps spécifiques des allergènes communs. Les maisons ont été visitées par un inspecteur. Le taux de ventilation a été mesuré à l'aide d'un gaz traceur (perfluorocarbène). Les résultats montrent une bonne corrélation entre les résultats du questionnaire et ceux de l'examen médical concernant le diagnostic d'asthme, de rhinite et d'eczéma. Plus de 65 % des maisons étaient ventilées de façon naturelle et un peu plus de 10 % étaient dotées d'un système de ventilation mécanique. Les taux moyens de ventilation étaient de 0,36 rah dans les maisons unifamiliales et de 0,48 rah dans les multilogements. Environ 80 % des maisons unifamiliales et 60 % des multilogements ne rencontraient pas la norme de 0,5 rah. Les taux de ventilation étaient plus élevés dans les habitations multifamiliales qui, comparativement aux maisons unifamiliales, comprenait plus fréquemment un système de ventilation mécanique. De l'avis des auteurs, le taux de ventilation était globalement faible. Une association significative entre le taux de ventilation et la fréquence des symptômes a été trouvée dans les maisons unifamiliales mais pas dans les maisons en rangée et multifamiliales. Dans les maisons unifamiliales, une relation dose/effet inverse significative a été trouvée entre le taux de ventilation et la fréquence des symptômes. Toutefois, la relation devient non significative après ajustement pour les variables confondantes. Une association significative a été trouvée entre un faible taux de ventilation et un risque plus élevé de rhinite et d'eczéma diagnostiqués par le médecin. Les chercheurs attribuent les résultats significatifs de leur étude au fait que les taux de ventilation étaient relativement bas, c'est-à-dire, en dessous de 0,5 rah.

À Stockholm, en Suède, Emenius *et al* (2004) ont réalisé une étude cas-témoins auprès de 386 enfants sélectionnés à partir d'une cohorte de naissance de 4 089 enfants. Les enfants ont été suivis pendant 2 ans en rapport avec le développement de sibilances respiratoires persistantes (*recurrent wheezing*). Les auteurs définissent les « sibilances persistantes » comme étant l'occurrence, après l'âge de 3 mois, d'au moins trois épisodes nécessitant l'utilisation de corticostéroïdes (en inhalation) ou accompagnés de symptômes d'hyperréactivité bronchique (en dehors d'un rhume). Les variables suivantes ont été mesurées : taux de ventilation, humidité, température intérieure, concentration de NO₂, âge de l'appartement, caractéristiques de la maison. Les chercheurs ont montré que les facteurs suivants étaient associés à un risque accru de sibilances : construction après 1939 (OR 2,5; IC 95% : 1,3-4,8), maison unifamiliale avec vide sanitaire et plancher de béton (OR : 2,5; IC 95% : 1,1-4,5), humidité absolue > 5,8 g/kg (OR : 1,7 ; IC 95%: 1,0-2,9), présence de signes de condensation chronique sur les

fenêtres (OR : 2,2; IC 95%: 1,1-4,5). Le taux de renouvellement d'air et le type de ventilation n'avaient pas d'effet significatif sur les symptômes respiratoires. Toutefois, les chercheurs ont trouvé un risque accru de sibilances dans les maisons avec vide sanitaire et plancher de béton pourvues d'un ventilateur mécanique d'extraction. Selon les auteurs, ces résultats pourraient être expliqués par la création d'une pression négative à l'intérieur de ces maisons. Les chercheurs ont aussi mis en évidence une corrélation négative entre le taux de renouvellement d'air et le niveau d'humidité à l'intérieur; ils n'ont trouvé aucune corrélation entre les concentrations d'allergènes d'acariens et les taux de renouvellement d'air et le niveau d'humidité.

À Oslo, en Norvège, Oie *et al* (1999) ont réalisé une étude épidémiologique de type cas-témoins à partir d'une cohorte de 3 754 nouveau-nés suivis jusqu'à l'âge de 2 ans. L'objectif de l'étude était d'évaluer le rôle de la ventilation du domicile sur le risque de bronchite. Les chercheurs ont aussi investigué l'interaction avec l'humidité, la fumée de tabac environnementale, le papier peint en textile et les surfaces contenant des produits à base de plastique. Cent-soixante-douze (172) cas de bronchite ont été appariés à 172 témoins. Des mesures du taux de ventilation et de la température ont été faites pendant deux semaines dans les habitations. Les informations concernant les facteurs personnels et les caractéristiques de l'habitation ont été colligées par questionnaire. Trente-sept pour cent (37 %) des habitations avaient une ventilation jugée insuffisante, c'est-à-dire qu'elles ne rencontraient pas la norme de 0,5 rah en vigueur en Norvège. Le risque de bronchite était plus élevé chez les enfants résidant dans des habitations où il y avait des surfaces à base de plastique (OR : 2,67; IC 95 %: 1,55-4,58), du papier peint textile (OR : 1,84; IC 95 %: 1,13-2,99) et des problèmes d'humidité (OR : 2,22; IC 95 %: 1,27-3,88). Le risque de développer une bronchite n'était pas plus élevé chez les enfants résidant dans une maison où la ventilation était moins bonne. En ce qui concerne l'interaction avec les autres contaminants, les chercheurs ont trouvé que la ventilation insuffisante (< 0,5 rah) augmentait de façon significative le risque de bronchite relié aux problèmes d'humidité (OR : 9,6; IC 95 %: 1,5-85,4). Compte tenu de la faible prévalence de l'infestation des maisons par les acariens en Norvège, les chercheurs attribuent cet effet synergique aux COV et aux toxines plutôt qu'aux aérosols biologiques. Plusieurs résultats ne sont pas significatifs dans cette étude et les intervalles de confiance sont très larges. La puissance statistique de l'étude n'est pas discutée par les auteurs.

Norbäck *et al* (1995) ont réalisé une étude cas-témoins à partir de l'échantillon de la population suédoise qui a participé au début des années 1990 à l'étude européenne sur la santé respiratoire (*European Community Respiratory Health Survey*). Un échantillon de 88 hommes de 20 à 45 ans (47 asthmatiques, 41 non-asthmatiques) a été évalué du point de vue clinique. Plusieurs paramètres ont été mesurés dans les habitations : température, humidité, COV, formaldéhyde, CO₂, acariens, moisissures. Les symptômes d'asthme étaient significativement plus fréquents chez les personnes résidant dans des habitations avec une concentration élevée d'acariens et des signes visibles d'humidité excessive et de moisissures. Les chercheurs ont trouvé une association significative entre la présence de dyspnée nocturne et la présence de tapis mur à mur, une concentration élevée de CO₂, de formaldéhyde et de COV. Bien que les concentrations de CO₂ mesurées aient été assez élevées et indiquaient un faible apport en air neuf, les chercheurs n'ont pas trouvé d'association significative entre la fréquence des symptômes et le type de ventilation, qu'elle soit naturelle, mécanique ou d'extraction. Cette étude présente certaines limites reliées au taux de participation relativement faible et au petit nombre de témoins.

Une étude cas-témoins a été réalisée, à Stockholm, par Wickman *et al* (1991), pour investiguer les facteurs de risque de sensibilisation aux acariens. Les participants étaient composés de 53 enfants sensibilisés aux acariens (cas), 54 enfants non sensibilisés mais atopiques et 53 enfants non atopiques. Les allergènes d'acariens ont été mesurés dans la poussière de matelas. L'humidité et la température de la maison ont été mesurées. La présence de ventilation naturelle et de ventilation mécanique a été documentée. Les allergènes d'acariens étaient présents respectivement dans 40 %, 19 % et 23 % des échantillons de poussière de matelas des cas, des atopiques et des non atopiques. Seulement 15 % des échantillons des cas dépassaient la valeur-limite recommandée de 2 µg/g de poussière. Selon les auteurs, la ventilation inadéquate des maisons est apparue comme un facteur de risque de sensibilisation des enfants aux allergènes des acariens.

Les études descriptives (II-3)

L'enquête LARES (Analyse approfondie et examen des conditions d'habitat et de santé en Europe) a été réalisée par l'OMS dans huit villes européennes (Forli, Bonn, Vilnius, Genève, Angers, Bratislava, Ferreira, Budapest), auprès de 8 519 personnes et dans 3 373 logements (Bonney, 2004). Plusieurs variables ont été étudiées : santé mentale, asthme et allergies, bruit, accidents, accessibilité et environnement, moisissures, hygrothermie, insécurité. Les résultats de l'enquête ont mis en évidence une association entre humidité/moisissures et l'asthme (au cours de l'année précédente), les allergies et l'eczéma. On a noté que le tabagisme était moins fréquent dans les logements où il y avait au moins un habitant affecté par l'asthme ou l'allergie. Toutefois, les chercheurs n'ont pas trouvé de lien entre les symptômes recherchés et la ventilation. La présence de moisissures était aussi associée avec une fréquence plus élevée de bronchite chronique et de maux de gorge. La fréquence de symptômes respiratoires était significativement plus élevée chez les occupants insatisfaits du dispositif de chauffage, mentionnant la présence d'une humidité persistante et des signes de condensation.

Une enquête de population a été réalisée en Suède, en 1992-93, à partir d'un échantillon aléatoire de 4 815 logements provenant de 231 immeubles à logements construits avant 1960 (Engvall *et al*, 2003). Cette enquête visait à évaluer l'impact des mesures prises en vertu de la politique d'économie d'énergie appliquée au cours des années 1980. Un questionnaire standardisé auto-administré a été acheminé par la poste aux répondants âgés de 18 ans et plus, choisis au hasard. Sept questions concernaient les symptômes. Le taux de réponse a été de 77 %. Les caractéristiques des logements et des immeubles ont été colligées à partir du registre municipal de Stockholm et à l'aide d'une interview téléphonique des propriétaires. En plus des caractéristiques des logements, on a contrôlé pour l'âge, le sexe, la consommation de tabac et le nombre d'occupants. Les chercheurs ont observé une fréquence moins élevée, statistiquement significative, de symptômes oculaires et nasaux chez les occupants de logements avec un système de ventilation mécanique (OR : 0,29-0,85). La ventilation mécanique d'extraction était associée à moins de symptômes (OR : 0,75-0,92), excepté pour les maux de gorge et la fatigue qui étaient significativement plus fréquents. La ventilation mécanique insufflation/extraction était aussi associée à moins de symptômes (OR : 0,28-0,73), sauf pour la toux et les maux de tête qui étaient plus fréquents. Les chercheurs ont aussi trouvé une association statistiquement significative entre l'histoire de travaux de rénovation majeurs et une fréquence plus élevée de symptômes (OR : 1,09-1,9), de même que pour les travaux d'isolation (OR : 1,22-2,49). Les auteurs concluent que la ventilation mécanique des logements de ces immeubles est bénéfique pour la santé des occupants. En

1996, en Suède, 50 % des logements dans les immeubles à logements ne rencontraient pas la norme de 0,5 rah (0,35 l/s/m²).

Une enquête a été réalisée auprès des parents d'un échantillon de la population suédoise, constitué de 1 115 enfants de 7 à 9 ans, résidant à Göteborg et à Kiruna, villes respectivement du sud et du nord de la Suède (Aberg *et al*, 1996). La prévalence d'asthme, de rhinite allergique et d'eczéma a été analysée en fonction de divers facteurs de risque depuis la naissance. Les données ont été recueillies par questionnaire. Un échantillon d'enfants a été évalué du point de vue clinique. Les principaux facteurs de risque identifiés sont l'histoire familiale d'allergie et d'infections des voies respiratoires supérieures (IVRS). Le degré d'humidité élevé à l'intérieur a été identifié comme un autre facteur de risque significatif et la ventilation mécanique des habitations, comme un facteur protecteur (RR : 0,68; IC 95% : 0,46-1,00), mais seulement dans la région nord de la Suède, où le climat est plus froid et plus sec. Signalons toutefois que l'intervalle de confiance inclut la valeur 1, ce résultat n'étant donc pas significatif.

Les revues (III)

Davies *et al* (2004), un groupe interdisciplinaire de Londres, ont fait une revue de la littérature pour évaluer le niveau de preuve actuel concernant le lien entre la santé respiratoire et le niveau de ventilation dans les habitations. Les auteurs ont révisé les études portant sur le lien entre : 1) la ventilation et deux contaminants : les acariens et les moisissures, 2) ces contaminants et les problèmes respiratoires, 3) la ventilation et les problèmes respiratoires. Les auteurs ont souligné le peu d'études portant sur le lien direct entre la ventilation et les problèmes de santé, en particulier dans les habitations. Par ailleurs, il y a eu plusieurs études portant sur le lien entre les deux composantes de l'équation. En général, il existe un consensus concernant l'existence d'un lien entre le taux de ventilation et la présence de ces contaminants biologiques de même qu'entre l'exposition des occupants à ces derniers et l'apparition de problèmes respiratoires. Toutefois, il s'agit là d'une preuve indirecte. D'après les auteurs, d'autres études sont nécessaires.

Le tableau 3-1 présente un résumé des études portant sur le lien direct entre la ventilation des bâtiments d'habitation et la santé respiratoire des occupants.

Tableau 3-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments d'habitation et la santé (S) respiratoire des occupants

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Engvall <i>et al</i> , 2005	Étude d'intervention (II-1)	Suède. 44 sujets vivant dans un édifice à logements.	Devis quasi-expérimental de type <i>cross-over</i> , à simple insu. Édifice réparti en 2 parties (A et B), dont le taux de ventilation a été réduit de 25-30% alternativement pendant les 2 saisons de chauffe, l'autre partie servant de contrôle. Questionnaire sur les symptômes de SEH et sur perception de la QAI.	Diminution significative de la QAI lors de la période de réduction du taux de ventilation et augmentation de la perception des odeurs. Pas d'augmentation significative des symptômes respiratoires (toux, irritation).	Légère augmentation de l'humidité relative et de la température. Légère augmentation de la concentration de CO ₂ .	Habitations. 0,5 rah représente la norme actuelle de ventilation en Suède. Questionnaire limité concernant les symptômes respiratoires.
Leech <i>et al</i> , 2004	Étude d'intervention (II-1)	Canada. Occupants de 128 maisons R-2000 et de 149 maisons-contrôle.	Questionnaire à 3 et 12 mois : symptômes respiratoires et contrôles. Ventilation mécanique (VRC) dans maisons R-2000.	Amélioration significative des symptômes après 1 an chez résidents de R-2000. Absence d'effet sur les symptômes non-reliés (diarrhées, nausées).		Habitations. Explication la plus plausible : VRC dans R-2000.
Harving <i>et al</i> , 1994a	Étude d'intervention (II-1)	Suède (Aarhus). 25 asthmatiques allergiques aux acariens.	G1 : 14 asthmatiques déménagés dans maisons avec ventilation mécanique (VRC); 11 asthmatiques dans maisons-contrôles. Mesures cliniques 4 et 15 mois après intervention (VRC).	Chez les asthmatiques G1 : amélioration du VEMS; diminution de la consommation de médicaments; diminution de la concentration d'IgE; augmentation du débit de pointe; diminution des symptômes.		Les auteurs attribuent ces effets à la diminution des acariens et des allergènes.

Tableau 3-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments d'habitation et la santé (S) respiratoire des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Hesselmar <i>et al</i> , 2005	Étude de cohorte (rétrospective) (II-2)	Suède (Göteborg). 109 enfants de 12-13 ans.	Suivi de 1991 à 1996. Questionnaire respiratoire. Visite de l'habitation : identification des caractéristiques, prélèvement poussière, humidité, température. Mesure des allergènes. <i>Prick test</i> . Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Risque significativement plus élevé de sensibilisation aux acariens et de symptômes respiratoires (sibilances) chez les enfants vivant dans des habitations avec ventilation naturelle (RR=3,13) plutôt que mécanique. Aussi risque plus élevé d'infestation par les acariens. Risque plus élevé en présence d'un sous-sol.	Appartements moins infestés que maisons.	Puissance limitée (intervalles de confiance larges). Pas d'information sur la jeune enfance et les autres cofacteurs.
Bornehag <i>et al</i> , 2005	Cas-témoins (II-2)	Suède 400 enfants de 3 à 8 ans : 198 cas et 202 témoins; 390 bâtiments : 323 unifamiliales, 23 en rangée, 44 multifamiliales.	Cas : questionnaire au temps 0 et après 18 mois (au moins 2 épisodes de sibilance, rhinite et eczéma, au cours des 12 mois précédents). Visite du bâtiment par inspecteur : mesure du taux de ventilation pendant 1 semaine (perfluorocarbone). Examen médical, anticorps spécifiques aux allergènes communs.	Bonne corrélation entre le questionnaire et l'examen médical. Association significative entre taux de ventilation faible (maison totale et chambre à coucher) et fréquence plus élevée de symptômes dans les maisons unifamiliales. Relation dose/effet inverse significative (brute) entre taux de ventilation et fréquence des symptômes. Relation ajustée non significative. Association significative entre faible taux de ventilation et risque de rhinite et eczéma diagnostiqués par le médecin. Pas de différence significative au niveau du risque selon la présence d'atopie.	Taux de ventilation relativement faible. Unifamiliales : taux moyen 0,36 rah; 80% < 0,5 rah. Multifamiliales : taux moyen 0,48 rah; 60% < 0,5 rah. Taux de ventilation plus faible dans maisons des années 60 et 70.	Résultats significatifs différents des études antérieures de Oie <i>et al</i> , et Emenius <i>et al</i> , attribués au fait que le taux de ventilation est plus bas. Le critère de 0,5 rah semble déterminant au niveau des effets.

Tableau 3-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments d'habitation et la santé (S) respiratoire des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Emenius <i>et al</i> , 2004	Cas-témoins (II-2)	Suède. 386 enfants nouveau-nés.	Suivi pendant 2 ans. Questionnaire concernant « sibilances » persistantes. Mesures environnementales. Taux de ventilation (gaz traçeur); ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Aucun effet du type de ventilation et du rah sur les symptômes respiratoires.	Corrélation négative entre rah et taux d'humidité à l'intérieur. Aucune corrélation entre rah et taux d'humidité et concentration d'acariens.	Habitations.
Oie <i>et al</i> , 1999	Cas-témoins (II-2)	Norvège. 172 cas; 172 témoins.	Suivi jusqu'à 2 ans. Questionnaire sur la bronchite et l'environnement intérieur. Mesure du taux de ventilation (gaz traçeur) et de l'humidité. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Pas d'excès de risque de bronchite dans maisons où la ventilation est moins bonne. Toutefois risque de bronchite =OR : 9,6 (IC 95% :1,5-85,4) si rah < 0,5 + problèmes d'humidité.		Habitations. Faible prévalence d'infestation par les acariens en Norvège. Puissance de l'étude faible.
Norbäck <i>et al</i> , 1995	Cas-témoins (II-2)	Suède. 88 hommes de 20 à 45 ans; 47 cas (asthmatiques) et 41 témoins.	Évaluation clinique. Questionnaire symptômes. Mesures environnement. Taux de ventilation (CO ₂); ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Pas d'association entre symptômes et ventilation.	Association significative entre dyspnée nocturne et tapis mur à mur, concentration élevée de CO ₂ , de formaldéhyde et de COV.	Habitations. Puissance faible.

Tableau 3-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments d'habitation et la santé (S) respiratoire des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Wickman <i>et al</i> , 1991	Cas-témoins (II-2)	Suède. Enfants : 53 cas (sensibilisés aux acariens); 106 témoins non-sensibilisés (53 atopiques; 53 non-atopiques).	Mesures environnement. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Ventilation inadéquate est un facteur de risque de sensibilisation.	Prévalence de l'infestation environ 2 fois plus élevée dans les maisons des enfants sensibilisés.	Habitations. Mesure imprécise de la ventilation.
Bonnefoy, 2004	Étude descriptive de prévalence (Enquête LARES). (II-3)	8 villes européennes. 8 519 personnes; 3 373 habitations.	Questionnaire santé (asthme et allergies) et environnement. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Pas d'association de la fréquence des symptômes et la ventilation.	Association significative entre fréquence bronchite et moisissures. Association significative entre fréquence symptômes respiratoires et humidité + condensation	Habitations. Pas de mesure environnementale objective.
Engvall <i>et al</i> , 2003	Étude descriptive de prévalence. (II-3)	Suède. Enquête de population dans 4 815 habitations.	Questionnaire postal symptômes. Registre municipal sur les habitations. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Prévalence moins élevée de symptômes oculaires et nasaux si présence de système de ventilation mécanique.	50 % des habitations ne rencontraient pas le norme de 0,5 rah.	Habitations.
Aberg <i>et al</i> , 1996	Étude de prévalence. (II-3)	Suède. Échantillon de 1 115 enfants de 7 à 9 ans.	Questionnaire symptômes respiratoires et allergiques. Sous-échantillon évalué au niveau clinique. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Effet protecteur de la ventilation mécanique des habitations (OR : 0,68; IC 95% : 0,46-1,00), seulement dans le nord de la Suède.		Habitations. Effet non significatif Toutefois plausible à cause de climat plus froid et plus sec.

Tableau 3-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments d'habitation et la santé (S) respiratoire des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Davies <i>et al</i> , 2004	Revue (III)	Revue des articles scientifiques concernant les taux de ventilation et les contaminants reliés à l'humidité (<i>moisture related respiratory hazards</i>) et les problèmes respiratoires. De plus, articles sur liens directs entre ventilation et santé.	Modèle qui présente les mécanismes (<i>pathways</i>) impliqués : acariens et moisissures. Liens directs et indirects.	Peu d'études concernant lien direct ventilation/santé. Principalement en milieu de travail. Évidences théoriques présentes. Consensus, d'après les auteurs sur le lien indirect ventilation/acariens/problèmes respiratoires.		Pas d'analyse détaillée de la méthodologie des articles. Présentation des résultats des études. Pas de recommandation. Modèle intéressant.

HEVC : *High efficiency vacuum cleaner* ou aspirateur doté d'un filtre à haute efficacité.

VRC : Ventilateur récupérateur de chaleur.

SEH : Syndrome de l'édifice hermétique.

QAI : Qualité de l'air intérieur.

rah : Renouvellement d'air à l'heure.

RÉSUMÉS DES ÉTUDES SUR LES LIENS INDIRECTS ENTRE LA VENTILATION ET LA SANTÉ DES OCCUPANTS

Les études concernant les acariens

Le lien entre l'exposition aux acariens et la santé des occupants

Plusieurs études ont été réalisées pour évaluer l'association entre l'exposition aux acariens et les problèmes respiratoires, en particulier l'asthme, chez les enfants et les adultes (tableau 9a). Plusieurs de ces études ont aussi porté sur l'association avec l'humidité dans l'habitation.

◆ *Les revues (III)*

L'*Institute of Medicine* (IOM) (2000) a révisé l'ensemble des études concernant le lien entre l'exposition aux acariens et le développement et l'exacerbation de l'asthme. Les critères de Bradford Hill ont été utilisés pour évaluer les résultats de l'ensemble des études : force de l'association, relation dose-effet, plausibilité biologique, cohérence des résultats et temporalité. Le Comité a conclu qu'il y avait assez de preuves pour considérer qu'il y avait une association causale (de cause à effet) entre l'exposition aux acariens et le développement de l'asthme chez l'enfant de même que l'exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles. C'est le plus haut niveau de preuve attendu. Les résultats des études montrent un risque relatif très élevé (de 6 à 12) d'asthme chez les personnes sensibilisées aux acariens.

De leur côté, Pearce *et al* (2000) ont révisé de façon spécifique les études épidémiologiques concernant le lien entre l'exposition aux allergènes et le développement de l'asthme. Les auteurs visaient à évaluer si l'exposition aux allergènes, en particulier l'exposition aux acariens, pouvait être considérée comme la cause primaire de l'asthme. Leur analyse concernant le risque relié à l'exposition aux acariens comprenait cinq études de cohorte de naissance (trois avant l'âge de six ans, et deux après), une étude d'intervention, six études descriptives chez les enfants et neuf études descriptives chez les adultes. Les études de cohorte existantes sont constituées de populations d'enfants à risque sur la base des antécédents familiaux d'asthme. Elles ne sont pas faites à partir d'un échantillon aléatoire de la population générale, ce qui constitue une limite importante, selon les auteurs. Selon eux, l'étude de cohorte de Sporik *et al.* (1990) suggère que l'exposition aux allergènes d'acariens dans l'habitation peut représenter un déterminant important du développement de l'asthme, bien que les résultats n'aient pas été confirmés par les autres études. Contrairement à l'IOM, Pearce *et coll.* concluent que la preuve d'un lien direct entre l'exposition aux allergènes et le développement de l'asthme est faible. D'après eux, la preuve est plutôt indirecte. Ils recommandent que davantage d'études de cohorte de naissance soient réalisées à partir d'échantillons de la population générale.

Korsgaard (1998a; b) a révisé plusieurs études cas-témoins, dont 9 plus importantes, concernant l'association de l'asthme avec l'exposition aux acariens dans les maisons. D'après l'auteur, le risque relatif de développer de l'asthme est de 6,8 lorsqu'on est exposé aux acariens dans la poussière de matelas, à une concentration de 100 acariens par gramme de poussière, ce qui correspond à 2 µg/g. Le risque relatif monte à 7,8 à une concentration de 1000 acariens par gramme. Au Danemark, le risque de développer de l'asthme attribuable à l'exposition aux poussières de matelas est estimé à 68 %. Le

risque relatif de sensibilisation, c'est-à-dire, lorsque le *Prick test* devient positif, est de 5,4 à 2 µg/g de poussière. Korsgaard est d'avis que les stratégies de prévention spécifiques comme la modification de la literie, l'enlèvement des tapis dans la chambre à coucher, le remplacement de l'ameublement et l'utilisation de housses imperméables pour le matelas et les oreillers, se sont avérées plutôt décevantes. Par ailleurs, d'après Korsgaard, les stratégies plus radicales comme le déménagement en haute altitude, l'hospitalisation et la ventilation des maisons semblent plus efficaces aux points de vue environnemental et clinique. D'après l'auteur, la concentration de 100 acariens/g ou 2 µg/g de poussière représente une valeur-limite seuil (correspondant, selon l'auteur, à une *Threshold limit value* ou TLV) acceptable qui permet de prévenir de façon efficace la sensibilisation et le développement de l'asthme dans la population. Cette valeur, dans les pays au climat plutôt froid et sec comme celui du Danemark, correspond, en hiver, à une humidité absolue de 7,0 g de vapeur d'eau par kg d'air sec ou à 45 % d'humidité relative à 20-22°C. Dans les pays plus chauds, l'auteur souligne le danger de créer un climat favorable à la prolifération des acariens en conditionnant l'air des maisons si l'on ne procède pas à une déshumidification suffisante.

Clarisse *et al* (2002) ont révisé 32 études épidémiologiques publiées depuis 1990, portant sur la relation de l'environnement intérieur avec l'asthme et l'atopie. La plupart de ces études ont été effectuées chez des enfants. Une analyse critique détaillée des études a été réalisée. Au niveau des résultats, les auteurs ont regroupé les facteurs de risque environnementaux en deux groupes distincts, selon que l'association des facteurs de risque avec la santé respiratoire est documentée de façon consistante ou non dans la littérature. Le premier groupe comprend l'exposition aux allergènes domestiques, le tabagisme passif, l'humidité du logement et certains types d'entretien de la literie. Le second groupe comprend le cadre de vie des occupants, le mode de chauffage et de cuisson des aliments, la présence d'un humidificateur, le système de traitement de l'air et de ventilation et la présence de tapis à domicile. L'inconsistance des résultats serait en partie reliée au manque de méthodes standardisées de mesure et de prise en compte de la relation entre les différents facteurs soit, par exemple, la relation entre la ventilation, l'humidité et les allergènes domestiques (acariens, moisissures).

Le tableau 3-2a résume les études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé des occupants par le biais des études concernant les acariens et leurs effets sur la santé.

Tableau 3-2a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les acariens et les effets sur la santé respiratoire

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS A – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
IOM, 2000	Revue (III)	Plusieurs pays	Analyse critique de la littérature à l'aide des critères de causalité de Bradford Hill.	Comité d'avis qu'il y a association causale entre exposition aux acariens et développement de l'asthme chez l'enfant et exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles (RR = 6 à 12).		Le Comité souligne qu'il s'agit du plus haut niveau de preuve attendu. Conclusions différentes de celles de Pearce <i>et al</i> (2000) en ce qui concerne le développement de l'asthme (voir IOM 2000, p. 146).
Pearce <i>et al</i> , 2000	Revue (III)	6 études longitudinales incluant 5 cohortes et 1 étude d'intervention randomisée, réalisées chez des jeunes enfants à partir de la naissance, en Grande-Bretagne, en Suède et aux États-Unis. Treize études cas-témoins et dix études descriptives dans des populations (divers pays incluant l'Australie et l'Asie).	Analyse critique de la littérature. Objectif : évaluer l'association entre l'exposition aux allergènes à partir de la naissance et le développement de l'asthme après l'âge de 6 ans. Emphase sur études incluant une mesure objective de l'exposition aux allergènes. Medline à partir de 1980.	Aucune étude longitudinale réalisée dans un échantillon représentatif de la population. Deux cohortes de naissance avec suivi après six ans : une négative et une positive. Plusieurs études cas-témoins négatives. Résultats équivoques des études descriptives.		Selon les auteurs, la preuve directe d'une association avec le développement de l'asthme est faible. Plutôt une preuve indirecte. Besoin d'études de cohorte de naissance jusqu'à l'âge adulte.

Tableau 3-2a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les acariens et les effets sur la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS A – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Korsgaard, 1998a;b	Revue (III)	Études pour la plupart réalisées en Scandinavie.	Révision de 9 études cas-témoins concernant l'association acariens-développement de l'asthme. Révision de 5 études cas-témoins concernant l'association acariens/sensibilisation.	Développement de l'asthme. Exposition poussière de matelas : RR=6,8 si 100 acariens/g (2,2 µg/g) RR=7,8 si 1000 acariens/g Sensibilisation : RR=5,4 si 2,2 µg/g de poussière.	Développement de l'asthme au Danemark relié aux acariens : Risque attribuable=68%.	D'après l'auteur, la ventilation des maisons est une stratégie plus efficace que les autres mesures spécifiques dans la maison. L'auteur recommande 100 acariens/g ou 2 µg/g comme valeur-limite acceptable. Au Danemark, cela correspond à humidité absolue de 7.0 g/kg ou 45% humidité relative à 20-22 °C.
Clarisse <i>et al.</i> , 2002	Revue (III)	32 études épidémiologiques publiées depuis 1990, concernant asthme et atopie/environnement intérieur.	Analyse critique	Associations consistantes : allergènes domestiques, FTE, humidité. Associations non consistantes : chauffage, humidificateur, purificateur d'air, ventilation, tapis.		Les auteurs attribuent l'inconsistance des résultats au manque de mesure standardisée de l'exposition et aux facteurs confondants.

Le lien entre la ventilation, l'humidité et les acariens dans les habitations

Plusieurs études ont porté spécifiquement sur l'association entre la ventilation et l'humidité à l'intérieur de l'habitation (tableau 3-2b).

◆ *Les études d'intervention : essais comparatifs randomisés (I) et non-randomisés (II-1)*

En Grande-Bretagne, Warner *et al* (2000) ont réalisé une étude d'intervention dans 40 maisons d'asthmatiques suivis à la clinique d'asthme de Southampton. Une étude antérieure réalisée à Manchester par Fletcher *et al*, en 1996, n'avait montré aucun effet de la ventilation sur les concentrations d'allergènes d'acariens. L'objectif était d'évaluer l'effet de la ventilation mécanique avec récupération de chaleur et de la purification de l'air avec un aspirateur doté d'un filtre à haute efficacité (HEVC ou *High-Efficiency Vacuum Cleaner*), sur le nombre d'acariens et la concentration d'allergènes d'acariens (*Der p 1*) dans la maison de même que sur les symptômes. Les maisons ont été randomisées en 4 groupes : VRC + HEVC, VRC seul, HEVC seul, aucune installation. Les chercheurs ont surveillé l'environnement et l'état de santé des patients pendant 12 mois après l'installation des appareils. On a mesuré l'humidité absolue, le nombre d'acariens, la concentration de *Der p 1*, la fonction pulmonaire, l'hyperréactivité bronchique et les symptômes. La présence d'un VRC était associée avec une réduction statistiquement significative de l'humidité, du nombre d'acariens et de la concentration d'allergènes *Der p 1* dans les tapis de la chambre. Toutefois, il n'y avait pas de différence significative au niveau des matelas et des sofas. La réduction dans les tapis est plus grande lorsque l'utilisation d'un HEVC est ajoutée au VRC. Au niveau clinique, bien que l'on ait observé une légère amélioration du test à l'histamine, on a pas mis en évidence d'amélioration des symptômes. L'étude comporte certaines limites méthodologiques en ce qui concerne le contrôle des biais d'information, par exemple, absence d'appareils-contrôles (*dummy humidifier*). Une étude plus puissante est nécessaire pour investiguer les effets au niveau clinique.

Arlian *et al* (2001) ont réalisé une étude en Ohio, aux États-Unis, pour évaluer si, dans un milieu au climat tempéré et humide, l'utilisation d'un système d'air conditionné et d'un déshumidificateur à haute capacité (100 pintes/j) pouvaient réduire l'humidité relative à un niveau suffisant pour contrôler la prolifération d'acariens et réduire la concentration d'allergènes dans la poussière des habitations. L'étude a été effectuée dans 71 habitations réparties en 3 groupes : air conditionné et déshumidification (groupe 1), air conditionné seul (groupe 2) et ventilation naturelle (groupe 3 - contrôle). Les fenêtres des habitations des groupes 1 et 2 sont demeurées fermées pendant toute l'expérimentation qui a duré de mai 1998 à octobre 1999, période pendant laquelle les étés ont été particulièrement humides. Les variables suivantes ont été mesurées : humidité relative, température, nombre d'acariens et concentration d'allergènes dans la poussière. L'humidité relative moyenne à l'intérieur des habitations pendant l'été était inférieure à 51 % dans 14 habitations sur 19 du groupe 1 (74 %), 7 sur 26 du groupe 2 (27 %) et 2 sur 26 du groupe 3 (9 %). Au niveau de l'analyse, on a regroupé les habitations en 3 autres groupes : < 51 %; > 51 % avec air conditionné; > 51 % sans air conditionné ni déshumidificateur (groupe contrôle). Les résultats ont montré une diminution importante du nombre d'acariens ($p=0,004$) et de la concentration d'allergènes ($p<0,001$) dans la poussière des habitations où l'humidité relative était inférieure à 51 %. Pendant la même période de 17 mois, les chercheurs ont observé des pics très élevés de la population d'acariens et de la concentration d'allergènes pendant l'été dans les habitations où l'humidité relative était supérieure à 51 %. Après 17 mois, la concentration d'allergènes d'acariens était 10 fois plus basse dans les habitations où

l'humidité relative était inférieure à 51 %. Selon les résultats de cette étude, la plupart des maisons sans déshumidificateur à haute capacité (19/26) n'ont pu maintenir un niveau d'humidité relative inférieur à 51 %. D'après les chercheurs, l'utilisation d'un système d'air conditionné seul sans déshumidificateur n'est pas efficace pour réduire l'humidité. Cette étude comporte certaines limites au niveau de la méthode et de l'analyse. Toutefois, elle suggère que la réduction de l'humidité relative au niveau recommandé pour la prévention des allergies et de l'asthme dans un milieu tempéré et humide nord-américain est possible et que le maintien d'un tel niveau dans l'habitation est suffisant pour contrôler la prolifération d'acariens et les allergènes.

En Grande-Bretagne, à la suite d'une première étude, qui a montré une certaine réduction du niveau d'humidité mais qui n'a pas montré de réduction de la concentration d'acariens, Niven et coll. ont évalué, en 1994-1995, si l'ajout d'un déshumidificateur au VRC dans 10 maisons d'asthmatiques avait un effet sur les niveaux d'allergènes dans la maison, en comparaison avec 10 maisons contrôles pourvues d'un VRC standard (Niven *et al.*, 1999). Les variables suivantes ont été mesurées : température, humidité, concentration d'allergènes dans la poussière des chambres. Les échantillons de poussière ont été recueillis en janvier 1994, à titre de niveau de base, et 3, 6, 9 et 15 mois après la mise en opération du nouveau système en janvier 1995. Durant l'hiver, on a observé une baisse du niveau d'humidité moyen à 37 % dans la chambre à coucher des maisons avec déshumidificateur et à 50 % dans les maisons contrôles en comparaison avec 72 % à l'extérieur. Bien que les niveaux de 45 % d'humidité ou de 7 g/kg aient été atteints, aucun avantage significatif n'a été trouvé dans les maisons avec déshumidificateur par rapport aux maisons contrôles en ce qui concerne la diminution des concentrations d'allergènes, lesquelles ont diminué dans les deux types de maisons. L'ajout d'un déshumidificateur ne semble pas plus efficace. Les chercheurs ont conclu que l'inefficacité de ces derniers en ce qui concerne la réduction des concentrations d'allergènes d'acariens en Grande Bretagne, en comparaison avec la Scandinavie, était reliée aux différences de climat. Le climat beaucoup plus sec en Scandinavie permet de freiner la prolifération des acariens contrairement à la Grande Bretagne où le climat demeure plus humide tout au long de l'année.

En Nouvelle-Zélande, Crane *et al.* (1998) ont fait une étude pour évaluer si l'ajout d'un VRC accompagné d'un chauffage complémentaire pouvait réduire l'humidité et la population d'acariens. Des études antérieures avaient en effet montré une prévalence élevée d'asthme en Nouvelle-Zélande attribuable en bonne partie à l'allergie aux antigènes d'acariens. L'infestation des maisons par les acariens est fréquente et les concentrations d'allergènes sont élevées. Le climat du pays est relativement stable et humide. Trente habitations ayant besoin d'être rénovées et isolées ont été sélectionnées en banlieue de Wellington. Elles ont été divisées en 3 groupes : groupe A (VRC + chauffage électrique d'appoint + isolation), groupe B (isolation), groupe C (aucune intervention). Les variables étudiées étaient la température et l'humidité relative, l'humidité d'équilibre critique (« critical equilibrium humidity ») (degré d'humidité au-dessous duquel les acariens commencent à se déshydrater et à mourir), le taux de renouvellement d'air, les concentrations de *Der p 1* dans la poussière des planchers de la chambre à coucher et du salon de même que du matelas, le nombre d'acariens dans la poussière. Les données ont été colligées avant l'intervention au cours de l'été et l'hiver 1994, et après l'intervention au cours de l'été et l'hiver 1995. Dans les habitations des groupes B et C, l'humidité relative est restée assez stable à environ 65 % alors que dans les maisons du groupe A, on a observé une diminution significative de l'humidité à un niveau stable d'environ 45 % et une hausse de la température. Le pourcentage de jours où l'humidité est inférieure à l'humidité d'équilibre critique a augmenté de façon significative dans le groupe A, c'est-à-dire 39 % en comparaison avec

2,1 % et 0,9 % dans les deux autres groupes. Les chercheurs n'ont pas trouvé de réduction significative de la concentration d'allergènes *Der p 1* et du nombre d'acariens dans les habitations du groupe A. Les chercheurs ont conclu que la réduction d'humidité observée n'était pas suffisante pour provoquer une réduction du nombre d'acariens. Il est probable que le degré d'humidité présent dans certains microhabitats (tapis, moquettes, meubles) soit plus élevé que celui mesuré dans l'air ambiant. Les études en laboratoire ont montré que 3 heures d'humidité élevée sur 24 sont suffisantes pour permettre aux acariens de s'hydrater, de survivre et de proliférer. L'étude de Crane et coll. démontre que contrairement à la Scandinavie, il n'est pas possible en Nouvelle-Zélande, à cause du climat, de réduire l'infestation des maisons par les acariens au moyen d'un VRC et ce, même si le chauffage est augmenté. L'ajout d'un déshumidificateur pourrait peut-être être étudié dans un tel contexte même s'il s'agit d'une mesure coûteuse.

Emenius *et al* (1998) ont réalisé une étude prospective dans 59 maisons en banlieue de Stockholm. L'objectif de l'étude était d'évaluer l'effet du taux de ventilation sur l'humidité, les allergènes d'acariens et les COV. Les maisons à un étage, construites entre 1968 et 1970, étaient originellement toutes ventilées naturellement. Vingt-deux d'entre elles ont été rénovées et équipées d'un système de ventilation mécanique et de ventilateurs d'extraction. Huit maisons avec ventilation naturelle ont été modifiées pour améliorer le renouvellement de l'air. L'étude s'est déroulée de mars 1993 à la mi-1994. Les variables suivantes ont été mesurées au printemps et à la fin de l'hiver : taux de ventilation, température, humidité, concentration d'allergènes d'acariens dans le matelas, COV totaux. Les chercheurs ont montré que le taux de renouvellement d'air était significativement plus élevé dans les maisons équipées de ventilateurs mécaniques et que le taux d'humidité était significativement plus bas dans les maisons avec un taux de renouvellement d'air plus élevé. Parmi les maisons avec ventilateur mécanique, 5/22 avaient un taux de renouvellement d'air à l'heure (rah) inférieur à 0,5 en comparaison avec 24/29 des maisons avec ventilation naturelle (OR : 0,06; IC : 0,01-0,2). Aucune des maisons avec un rah à l'heure supérieur à 0,5 n'avait un indice d'humidité absolue à 7 g/kg, le seuil de prolifération des acariens. D'ailleurs, les auteurs n'ont trouvé dans aucune des 23 maisons où le débit de ventilation était supérieur à 0,5 rah, une concentration d'allergènes supérieure à 2 µg/g dans la poussière, le seuil de sensibilisation chez les allergiques. Les maisons avec ventilation mécanique présentaient une concentration de COV significativement plus basse que les maisons avec ventilation naturelle.

À Southampton, en Grande-Bretagne, Stephen *et al* (1997) ont réalisé une étude dans 40 maisons d'asthmatiques, 20 maisons avec VRC et 20 maisons contrôles. Un questionnaire environnemental a été administré pour la sélection des maisons. Les variables suivantes ont été mesurées dans la chambre à coucher : température, humidité, allergènes d'acariens, polluants intérieurs. Les mesures ont été faites pendant une année, en 1994-1995. Pendant les mois d'hiver, le taux d'humidité absolue dans les maisons avec VRC était de 6,75 g/kg en comparaison avec 7,53 g/kg dans les maisons contrôles ($p < 0,001$). Toutefois, on a peu d'information sur les caractéristiques de base des maisons. Les résultats demeurent limités et il est difficile d'évaluer dans quelle mesure les facteurs confondants ont été contrôlés.

L'étude de Fletcher *et al* (1996) visait à évaluer l'impact de l'utilisation d'un VRC sur les concentrations d'acariens et d'allergènes dans les maisons du Nord de l'Angleterre. L'étude s'est déroulée pendant un an dans 18 maisons classées en 2 groupes (9 dotées de VRC et 9 contrôles). Les acariens ont été mesurés à tous les 3 mois. L'humidité relative et la température intérieure ont été mesurées pendant une semaine avant et après la période hivernale. Un questionnaire environnemental

a été rempli par les occupants. Pour ce qui est des acariens, les chercheurs n'ont pas trouvé de différence significative avant et après l'utilisation d'un VRC. Toutefois, l'humidité relative était inférieure dans les maisons avec VRC par rapport aux contrôles; la condensation était aussi moindre durant la saison hivernale. La température intérieure n'était pas différente. Les chercheurs ont conclu que l'utilisation d'un VRC n'avait pas d'impact significatif à cause des conditions climatiques de la région (hiver humide) et du type de maisons (peu isolées). La diminution d'humidité de 10 % qui a été observée n'était pas suffisante pour diminuer la prolifération des acariens.

Le Conseil de recherche de Saskatoon (1994) a réalisé une étude dans 20 maisons moyennement étanches à l'air (2 à 7 rah à 50 Pa). Les maisons étaient pourvues d'un système de chauffage à air pulsé, alimenté au gaz. Dans 4 maisons, on a installé un système de ventilation mécanique contrôlé par la température extérieure. Les variables suivantes ont été mesurées : formaldéhyde, 26 autres composés organiques volatils, humidité relative, dioxyde de carbone, taux de renouvellement d'air. Les niveaux moyens suivants ont été mesurés : formaldéhyde : 0,034 ppm; COV totaux : 127 µg/m³; humidité relative : 35 %; dioxyde de carbone : 708 ppm; taux de renouvellement d'air : 0,2 rah. Les systèmes de ventilation à régulation extérieure ont permis de réduire la concentration moyenne de dioxyde de carbone de 239 ppm.

À Cambridge, en Angleterre, Htut *et al* (1996) ont réalisé, de décembre 1994 à février 1995, une étude dans deux chambres expérimentales; l'une d'entre elles était dotée d'un VRC; l'autre, sans système, servait de chambre contrôle. Les chambres expérimentales ont été contaminées avec une quantité connue d'acariens. Une chambre en conditions réelles (non expérimentale) a aussi été utilisée. Les VRC généraient des taux de renouvellement d'air de 0,75 rah dans la chambre en conditions réelles et de 3,5 rah dans l'une des chambres expérimentales. L'humidité relative et la température ont été mesurées de même que les acariens et les allergènes. L'humidité relative était significativement plus basse dans la chambre ventilée (< 50 %) de même que la température (17,5 °C). Le nombre d'acariens était significativement plus faible dans le matelas de la chambre ventilée. Toutefois, les concentrations d'allergènes étaient plus faibles dans les matelas des deux chambres expérimentales.

À Aarhus, au Danemark, Harving *et al* (1994b) ont réalisé une étude quasi-expérimentale effectuée dans les maisons de 30 asthmatiques où un VRC a été ajouté comparées à 23 maisons d'asthmatiques sans ventilateur. Les mesures de base avant intervention ont été faites de février à avril 1984 : concentration d'allergène *Der p* dans le matelas et le tapis de la chambre à coucher, taux de renouvellement d'air, humidité absolue et température. Un questionnaire sur les habitudes de vie a été administré. Les asthmatiques du groupe intervention ont ensuite déménagé dans une nouvelle maison avec VRC. Les mesures de suivi ont été faites dans les maisons des deux groupes 4 et 15 mois après le début de l'intervention. Au départ, les concentrations d'acariens étaient élevées dans les deux groupes avec une concentration médiane de 110 et 105 acariens par gramme de poussières dans le matelas. Après 4 mois, la concentration médiane était de 20 acariens par gramme dans les maisons avec VRC alors qu'elle n'a pas changé dans le groupe contrôle ($p < 0,05$). Après 15 mois, la concentration était demeurée basse dans le groupe VRC. Dans la plupart des maisons où la concentration dans le matelas était supérieure à 100 acariens par gramme, la concentration est descendue au-dessous de celle considérée comme la valeur de seuil limite. Le taux de renouvellement d'air médian, mesuré après 4 mois, est passé de 0,4 rah à 1,52 rah dans les maisons avec VRC ($p < 0,001$). Dans ces maisons, l'humidité médiane a diminué de 6,6 g/kg à 5,6 g/kg ($p < 0,01$), alors qu'aucun changement n'a été observé dans le groupe contrôle. Les chercheurs attribuent la réduction de la concentration

d'allergènes dans les matelas et le tapis à l'augmentation de la ventilation par l'ajout d'un VRC. Cette réduction serait expliquée par la diminution de l'humidité. Les auteurs mentionnent certaines limites dans le design de leur étude reliées au fait que le groupe contrôle est demeuré dans les mêmes maisons. Toutefois, les auteurs n'identifient aucun autre facteur relié au comportement ou aux matériaux pouvant expliquer les changements observés.

◆ *Les études de cohorte et les études cas-témoins (II-2)*

Dans le nord-est des États-Unis, Van Strien *et al* (2004) ont réalisé une étude de cohorte pour évaluer l'impact du conditionnement de l'air des logements sur l'exposition aux acariens et le développement de l'asthme chez les jeunes enfants. Plus de 700 habitations du Connecticut et du Massachusetts ont été visitées. Les variables suivantes ont été mesurées : concentrations d'allergènes d'acariens (*Der p 1*, *Der f 1*) dans la poussière de la chambre de l'enfant et le salon, type de plancher et de draperies, présence d'air conditionné, système de chauffage, âge de la maison, habitudes des occupants, autres caractéristiques. De façon générale, les résultats de cette étude ont montré un excès significatif d'allergènes d'acariens dans la poussière du matelas de la chambre d'enfant et la poussière du salon lorsque les maisons n'avaient pas de système d'air conditionné, que la température ambiante était plus basse et qu'il y avait des problèmes d'humidité excessive et de moisissures. Les résultats ont aussi montré que les mesures de prévention habituelles (couverture du matelas, enlèvement des draperies de tissu, élimination des jouets en peluche) avaient une efficacité limitée pour prévenir la prolifération des acariens. Les chercheurs indiquent que les concentrations d'allergènes d'acariens diminuaient environ de moitié avec un système d'air conditionné.

Aux Pays-Bas, Van Strien *et al* (1994) ont réalisé une étude cas-témoins (259 cas; 257 témoins) d'enfants asthmatiques âgés de 6 à 12 ans, pour évaluer l'association entre les symptômes respiratoires et l'exposition à divers contaminants. Dans 516 maisons, les chercheurs ont mesuré les concentrations d'allergènes *Der p 1* (plancher, matelas, tapis) et évalué le lien entre les concentrations retrouvées et une trentaine de caractéristiques de ces maisons. Les résultats ont montré des concentrations relativement élevées d'allergènes. Dans 86 % des habitations, la concentration maximale était supérieure à 2 µg/g de poussière, le seuil de sensibilisation. Dans 55 % des habitations, la concentration maximale dépassait 10 µg/g, le seuil pour déclencher une crise d'asthme chez les personnes allergiques. Les concentrations étaient de 6 à 14 fois plus élevées dans les maisons où il y avait du tapis en comparaison avec un plancher lisse. Les concentrations sur le plancher étaient aussi plus élevées dans les maisons plus vieilles, avec plus d'occupants et où le plancher n'était pas isolé. Les concentrations d'allergènes dans le matelas étaient 2 fois plus faibles dans les maisons où il y avait un système de ventilation mécanique en comparaison avec la ventilation naturelle. Les concentrations étaient corrélées de façon positive avec l'humidité relative dans la chambre, mesurée sur une période de 3 à 6 semaines. Les chercheurs concluent que même si le type de plancher demeure le facteur prépondérant, la concentration d'allergène dans le matelas représente un facteur important. Considérant la réduction observée avec la ventilation mécanique, les chercheurs considèrent que cette dernière devrait être considérée dans la construction des maisons aux Pays-Bas.

◆ *Les études descriptives (II-3)*

Chan-Yeung *et al* (1995) ont réalisé une étude dans 120 maisons d'asthmatiques de Winnipeg (63 maisons) et de Vancouver (57 maisons), deux villes au climat différent, pour déterminer les niveaux d'allergènes d'acariens et explorer les associations avec la saison, l'humidité et certaines caractéristiques de ces maisons (Chan-Yeung *et al*, 1995). L'étude s'est déroulée pendant 1 an (1992-93). Un questionnaire sur les caractéristiques des maisons a été administré et des mesures ont été effectuées à domicile, aux 3 mois, à chacune des saisons. Les variables suivantes ont été mesurées : humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre, concentrations d'allergènes d'acariens (*Der p 1*, *Der f 1*) dans le matelas et sur le plancher. L'humidité relative à l'intérieur comme à l'extérieur était significativement plus élevée à Vancouver qu'à Winnipeg, pour toutes les saisons. La concentration d'allergènes dans les deux villes était relativement peu élevée en comparaison avec d'autres pays comme l'Angleterre ou l'Australie et se rapprochait de celle retrouvée dans les pays scandinaves comme le Danemark et la Suède. On a observé une tendance à la diminution de la concentration durant l'année, dans les deux villes. Aucune association significative n'a été trouvée entre la concentration d'allergènes et l'humidité relative à l'intérieur, après avoir contrôlé pour la ville et la saison. On a trouvé cependant, pour chacune des villes, une corrélation positive significative entre l'humidité relative à l'intérieur et la concentration d'allergènes sur le plancher durant l'hiver, à Winnipeg, et la concentration dans le matelas durant l'été, à Vancouver. Le chauffage à air pulsé était davantage utilisé à Winnipeg, alors que le chauffage par plinthes électriques ou à l'eau chaude était plus fréquent à Vancouver. Près de 75 % des maisons de Winnipeg étaient pourvues d'un système d'air conditionné alors qu'il n'y en avait aucune à Vancouver. À Winnipeg, une proportion plus grande de maisons était pourvue d'humidificateur, de déshumidificateur et de purificateur d'air. Les concentrations d'allergènes étaient plus élevées dans les maisons unifamiliales, les maisons de plus de 20 ans, les maisons où il y avait de nombreux occupants et les maisons avec système de chauffage à air pulsé. On n'a pas trouvé d'association significative entre les concentrations d'allergènes et la présence de signes d'humidité excessive, ou l'utilisation d'équipements de traitement de l'air (air conditionné, purificateur, humidificateur, déshumidificateur). Ces équipements ne sont pas décrits. Les chercheurs attribuent l'absence de corrélation entre la concentration d'allergènes et l'humidité à l'intérieur au fait que l'humidité a d'abord un impact sur la prolifération des acariens, qui peuvent persister longtemps dans l'environnement, et que ce n'est que plus tard que l'impact survient sur les concentrations d'allergènes. Dans cette étude, l'utilisation d'air conditionné dans les maisons de Winnipeg n'a pas d'effet significatif.

Munir *et al* (1995) ont réalisé une étude épidémiologique descriptive pour comparer les concentrations d'allergènes d'acariens dans 130 maisons d'enfants asthmatiques provenant de trois régions climatiques de Suède (nord : Umeå; centre : Linköping; sud : Helsingborg) et évaluer le rôle des caractéristiques des maisons dans les variations de ces concentrations. En Suède, comme dans d'autres pays au climat froid et sec, la présence d'allergènes d'acariens est relativement rare. Cependant, à la fin des années 1970, des chercheurs ont noté une augmentation de la sensibilisation aux allergènes des acariens dans la population suédoise, augmentation possiblement reliée à l'infestation plus grande des habitations par ces derniers. Cette situation était attribuable, selon certains, aux changements intervenus au niveau de la construction des habitations à la suite de la crise de l'énergie. Un questionnaire a permis de recueillir de l'information sur l'habitation, la présence de problèmes d'humidité et de moisissures visibles, le type de ventilation, la consommation de tabac et d'autres facteurs environnementaux. Les variables suivantes ont été mesurées : humidité absolue et relative,

température, renouvellement d'air à l'heure, hypersensibilité cutanée (*Prick test*), concentration d'acariens (*Der p 1*, *Der f 1*) dans les poussières de la chambre de l'enfant, le salon, la cuisine et la salle de bain. Des allergènes d'acariens ont été décelés dans 62 % des maisons : 22 % à Umeå, 63 % à Linköping et presque 100 % à Helsingborg. Les concentrations mesurées étaient significativement plus faibles dans les régions plus au nord avec un climat plus sec. Elles étaient aussi plus élevées dans les maisons avec des problèmes d'humidité, où il y avait au moins un fumeur, et où il n'y avait pas de sous-sol. Les concentrations étaient plus élevées dans les maisons où l'humidité était supérieure à 7 g/kg ou 45 %, et le taux de renouvellement d'air était inférieur à 0,5 rah. Toutefois, il n'y avait pas de différence statistiquement significative des concentrations selon le type de ventilation (naturelle, mécanique, extraction centrale). Pour les chercheurs, l'humidité excessive et la ventilation déficiente représentent les facteurs majeurs qui expliquent l'augmentation du risque d'infestation des maisons par les acariens en Suède.

Sundell *et al* (1995) ont réalisé une étude pour évaluer la relation entre l'infestation par les acariens et la ventilation des maisons de Stockholm. Au cours des années 1970-80, différentes études ont montré une augmentation de l'infestation des maisons par les acariens. Cette situation était possiblement reliée à une humidité accrue causée par une moins bonne ventilation. On considère qu'un taux d'humidité inférieur à 7 g/kg d'air, ce qui correspond à une humidité relative de 45 % à 20-22 °C, ne permet pas une prolifération importante des acariens. La concentration d'allergènes d'acariens a été mesurée dans la poussière des matelas des chambres à coucher. Les autres variables mesurées sont la ventilation, l'humidité, le formaldéhyde et les COV. Un échantillon de 13 maisons unifamiliales très infestées ($\geq 2\ 000$ ng/g) et de 17 maisons peu infestées (≤ 1000 ng/g) a été investigué durant deux semaines en décembre 1989. La concentration d'allergènes dans le matelas et le tapis était associée de façon positive avec l'augmentation de l'humidité et de façon négative avec le taux de renouvellement d'air dans la chambre. Les chercheurs soulignent qu'en ce qui concerne le taux d'humidité, la ventilation de la chambre est aussi importante que la ventilation totale de la maison et que le nombre de personnes résidant dans la maison est un facteur de risque plus élevé que le taux de renouvellement d'air en fonction du volume de la maison. En général, les appartements sont mieux ventilés et le taux d'humidité est plus bas que dans les maisons unifamiliales. Enfin, les chercheurs n'ont trouvé aucune relation entre la concentration d'allergènes et la concentration de formaldéhyde et de COV qui, dans cette étude, ne semble pas être un bon indicateur de la qualité de l'air intérieur.

Wickman *et al* (1994) ont réalisé une étude dans 70 maisons localisées au nord de Stockholm. Il s'agissait de maisons unifamiliales semblables construites par le même entrepreneur entre 1968 et 1970. Vingt-quatre de ces maisons étaient pourvues d'un système de ventilation mécanique. Les concentrations d'acariens et l'humidité absolue ont été mesurées. Les maisons ayant un système de ventilation mécanique affichaient moins fréquemment un niveau d'humidité absolue au-dessus de 7 g/kg, à partir duquel la prolifération d'acariens est plus importante. Les concentrations d'allergènes d'acariens étaient inférieures dans les maisons avec ventilation mécanique. Dans les maisons avec ventilation naturelle et vide sanitaire, les concentrations d'allergènes retrouvées dans les matelas et les oreillers étaient significativement plus basses dans celles qui n'avaient pas de plancher de béton. Les résultats de cette étude suggèrent que dans un climat nordique comme celui de la Suède, l'ajout d'un système de ventilation mécanique peut aider à réduire l'humidité à l'intérieur et la prolifération d'acariens, en particulier pendant l'hiver.

À Zurich, en Suisse, Fehlmann et Warner (1993) ont réalisé une étude dans dix appartements sans ventilation mécanique dans des immeubles à logements et dans une maison unifamiliale avec ventilation mécanique. La moitié des logements étaient situés dans des immeubles construits avant 1973 et l'autre moitié dans des immeubles construits entre 1986 et 1988. Les chercheurs ont mesuré le taux de renouvellement d'air, la concentration de CO₂, la température, l'humidité relative et les comportements des occupants reliés à la ventilation. Les résultats indiquent qu'en l'absence de système de ventilation mécanique, le taux de renouvellement d'air devient rapidement insuffisant, en particulier dans les chambres à coucher, même dans les édifices rénovés si les fenêtres demeurent fermées. Le taux de renouvellement d'air est demeuré optimal dans la maison pourvue d'un système de ventilation mécanique. Cette étude a une portée limitée mais suggère un effet positif de la ventilation mécanique sur les paramètres de qualité de l'air intérieur.

Aux États-Unis, Lintner et Brame (1993) ont réalisé une étude dans un échantillon de maisons, afin de mesurer les concentrations d'allergènes d'acariens (*Der p 1*, *Der f 1*) dans la poussière et de déterminer l'influence des systèmes de contrôle de l'air (ex. air conditionné), du climat régional et des saisons sur ces concentrations. Entre 1989 et 1991, 536 échantillons de poussière (matelas, tapis, draperies) ont été prélevés dans 424 maisons des États-Unis. Les maisons avaient été référées par des allergologues. Aucune information n'est disponible concernant les choix des participants et les caractéristiques des maisons. Sept régions climatiques ont été définies : climat humide intermédiaire de la côte nord-ouest du Pacifique, climat méditerranéen du sud de la Californie, climat sec des régions désertiques, climat semi-aride de la steppe des régions montagneuses, climat continental des grandes plaines, climat humide subtropical des états du sud-est et du golfe, climat continental de la côte est. Les chercheurs ont observé une variation saisonnière importante avec un pic de concentration pendant l'été, pic abrupt en juillet dans le cas du *Der p 1*, et pic plus étalé et tardif en août pour *Der f 1*. Aucune différence régionale significative n'a été trouvée au niveau des variations saisonnières. Les chercheurs n'ont pas trouvé de différence significative entre les concentrations d'allergènes dans les différentes régions. Toutefois, les concentrations relatives de *Der p 1* tendaient à prédominer dans les régions au climat humide alors que celles de *Der f 1* prédominaient dans les régions au climat sec. Les systèmes de traitement de l'air, notamment les systèmes d'air conditionné, avaient un effet significatif ($p < 0,01$) sur la diminution des concentrations d'allergènes des deux espèces de dermatophagoides. Bien que les concentrations aient été plus basses, le *Der f 1* tendait à prédominer dans les maisons avec air conditionné. De plus, les chercheurs ont trouvé une synergie entre l'air conditionné et les saisons, l'effet étant maximal durant l'été. La taille de l'échantillon était relativement petite et ne permettait pas d'évaluer l'effet des humidificateurs et des déshumidificateurs.

À Aarhus, au Danemark, durant les hivers de 1984 à 1986, Harving *et al* (1993) ont réalisé une étude dans 96 maisons de personnes asthmatiques ou atopiques. Cette étude visait à évaluer la prévalence de la contamination des maisons par les acariens. Les variables suivantes ont été mesurées : concentration de *Der p* dans le matelas et le tapis de la chambre, taux de renouvellement d'air, humidité absolue et température. Une corrélation positive entre l'humidité et la concentration d'allergène a été trouvée ($p < 0,01$). Une corrélation négative a été trouvée entre la concentration d'allergène et le taux de renouvellement d'air ($p = 0,02$). La concentration d'allergène était au-dessus du critère proposé de 100 acariens par g de poussière dans 76 % des maisons de personnes allergiques aux acariens comparativement à 48 % des maisons des personnes non-allergiques. Les résultats de cette étude suggèrent que la réduction de la ventilation dans les maisons danoises est associée à un risque accru d'exposition aux acariens.

Dans une autre publication, Harving *et al* (1992) avaient évalué l'environnement intérieur d'un échantillon considéré comme représentatif, de 115 habitations (maisons et appartements) unifamiliales. L'étude a été réalisée de 1984 à 1986, durant la saison d'hiver, entre les mois d'octobre et d'avril. L'âge moyen des habitations était de 33,8 ans. La superficie habitable moyenne était de 104,4 m². Le nombre moyen d'occupants par habitation était de 2,8. Il n'y avait pas de système de ventilation mécanique dans aucune des habitations. Les variables suivantes ont été mesurées : taux de renouvellement d'air, humidité, température, concentrations de particules. Un échantillon de 36 habitations a été utilisé pour mesurer le formaldéhyde et les COV. Le taux de renouvellement d'air médian était de 0,28 rah; 18 % des habitations avaient un taux inférieur à 0,1 rah et 72 %, un taux inférieur à 0,5 rah, soit la norme du code de construction au Danemark. L'humidité relative médiane dans la chambre était de 48 % et l'humidité absolue de 6,9 g/kg. Il y avait une corrélation négative statistiquement significative entre le taux de renouvellement d'air et l'humidité absolue. La concentration médiane de formaldéhyde était de 37 µg/m³, ce qui est en deçà de la valeur du seuil limite à long terme de Santé Canada (60 mg/m³). La concentration médiane de COV était de 0,7 mg/m³. Les chercheurs concluent que la ventilation naturelle est insuffisante dans les habitations du Danemark d'un point de vue santé et que le code de construction nécessite des modifications à cet effet.

◆ *Les revues (III)*

Dans leur revue, Crowther *et al* (2000) arrivent à la conclusion qu'en ce qui concerne les moyens de contrôle, la déshumidification a une influence significative sur le nombre d'acariens et la concentration d'allergènes dans les habitations. Les déshumidificateurs et les ventilateurs à récupération de chaleur (VRC) peuvent être utilisés pour réduire le niveau d'humidité. D'après ces auteurs, les études réalisées en Scandinavie, où le climat est plutôt sec, ont démontré que l'utilisation de VRC produisait une réduction significative des acariens et des allergènes. Toutefois, en Grande Bretagne et en Nouvelle-Zélande, les résultats ont été plus mitigés.

Munir (1998) a fait une revue des études réalisées en Scandinavie sur la sensibilisation de la population aux allergènes d'acariens en rapport avec les niveaux d'exposition dans les habitations. Il a révisé les études en Suède, au Danemark, en Norvège et en Finlande depuis les années 70. En Suède, il a observé une augmentation de la prévalence d'acariens qui est passé de 1,5 % en 1979, à 35 % en 1988 et à plus de 60 % en 1994. Au Danemark, la prévalence d'acariens est beaucoup plus élevée, atteignant 87 % dans les habitations d'Aarhus. La prévalence est beaucoup plus basse en Norvège et en Finlande. Dans l'ensemble de la Scandinavie, la prévalence d'acariens est plus basse dans les régions du nord en comparaison avec les régions du sud. Elle est aussi plus élevée durant l'automne et l'hiver. Au nord, la présence d'acariens est souvent associée à des problèmes d'humidité excessive et de manque de ventilation. Munir souligne que les études réalisées autant en Scandinavie qu'en Grande-Bretagne et en Allemagne, indiquent que la sensibilisation aux acariens peut même survenir à des niveaux inférieurs à 2 µg/g.

En 1994, Colloff, dans son éditorial, discute les résultats obtenus par Wickman qui démontrent l'efficacité de la ventilation mécanique en Scandinavie. Ce dernier rappelle les mécanismes de base de prolifération des acariens. Il souligne qu'il existe un niveau d'humidité relative critique de 70 % et de 73 % pour *Der f* et *Der p*. Au-dessous de ces niveaux, l'acarien commence à se déshydrater et à mourir. Le seuil de 7 g/kg d'humidité déterminé en Scandinavie par Wickman ne s'applique pas

nécessairement de la même manière ailleurs dans le monde. La température ambiante peut avoir une influence. Le niveau d'humidité relative peut être très élevé dans un tapis même si l'humidité absolue semble acceptable. Colloff rappelle aussi la très grande résistance à la dessiccation de *Der f* en comparaison avec *Der p*. Or, la présence de ces deux espèces peut varier passablement d'un endroit à l'autre. L'efficacité de la ventilation mécanique peut ainsi être très limitée dans certaines régions à cause des facteurs climatiques.

Le tableau 3-2b présente un résumé des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants par le biais des études concernant la ventilation et les acariens et/ou l'humidité.

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Warner <i>et al</i> , 2000	Étude d'intervention (I)	Grande- Bretagne (Southampton). 40 habitations d'asthmatiques.	Étude randomisée. 4 groupes : G1 : VRC + aspirateur doté d'un filtre à haute efficacité (HEVC); G2 : VRC; G3 : HEVC; G4 : aucune intervention. Mesure des variables environnementales et cliniques, pendant 12 mois.	G1 et G2 : diminution significative (S) de l'humidité absolue, du nombre d'acariens et de la concentration d'allergènes <i>Der p 1</i> dans le tapis de la chambre. Diminution plus grande avec HEVC. Matelas + sofas : non significatif.		Pas de diminution des symptômes malgré une légère amélioration du test à l'histamine. Puissance faible pour étude des effets cliniques.
Arlian <i>et al</i> , 2001	Étude d'intervention (II-1)	États-Unis (Ohio). 71 habitations. De mai 1998 à octobre 1999.	3 groupes de habitations : G1 : air conditionné (AC) + déshumidification; G2 : AC seul; G3 : ventilation naturelle. Mesure des variables environnementales.	H moy. < 51% : G1: 74% des habitations; G2 : 27%; G3 : 9%.	Diminution significative du nombre d'acariens (p= 0,004) et de la concentration d'allergènes (p< 0,001) dans la poussière si H < 51%. Concentration d'allergènes 10 fois plus basse après 17 mois si H < 51%.	Pics de prolifération d'acariens très importants durant l'été si H > 51%.
Niven <i>et al</i> , 1999	Étude d'intervention (II-1)	Grande- Bretagne. 20 habitations d'asthmatiques.	2 groupes : G1 : 10 maisons avec VRC + déshumidificateur; G2 : contrôles. Mesures environnementales pendant 15 mois après mise en opération du déshumidificateur.	Diminution des concentrations d'allergènes dans G1 et G2. Pas de différence significative en ce qui concerne l'importance de la diminution des concentrations d'allergènes entre G1 et G2.	Baisse de l'H moy. à 37% dans G1 durant l'hiver en comparaison avec 50% dans la chambre à coucher (extérieur : 72%).	Étude qui porte sur l'ajout d'un déshumidificateur au VRC. Les auteurs attribuent l'absence d'impact significatif au climat humide.

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Crane <i>et al</i> , 1998	Étude d'intervention (II-1)	Nouvelle- Zélande (Wellington). 30 habitations.	Habitations ayant besoin d'être rénovées et isolées. 3 groupes : G1 : VRC + chauffage électrique + isolation; G2 : isolation; G3 : aucune intervention. Mesures environnementales avant intervention avant et pendant les étés et hivers 1994 et 1995.	Pas de réduction significative du nombre d'acariens et de la concentration d'allergènes <i>Der p 1</i> dans les habitations G1.	Diminution significative de l'H relative dans les habitations G1 par rapport aux autres groupes, à un niveau stable d'environ 45%. Hausse de la température.	D'après les auteurs, la réduction d'H observée n'est pas suffisante pour affecter la population d'acariens. Possibilité que l'humidité soit plus élevée dans certains microhabitats (matelas, tapis).
Emenius <i>et al</i> , 1998	Étude d'intervention (II-1)	Suède (Stockholm). 59 maisons.	Maisons à 1 étage construites entre 1968 et 1970, toutes à ventilation naturelle, à l'origine. 22 maisons rénovées avec ventilation mécanique et extraction. 8 maisons modifiées pour améliorer le renouvellement d'air. Mesures environnementales au printemps 1993 et à la fin de l'hiver 1994. Taux de ventilation mesuré par gaz traqueur.	Concentration d'allergènes \leq 2 μ g/g (seuil de sensibilisation) dans toutes les maisons où rah > 0,5.	Taux de renouvellement d'air plus élevé avec ventilateur mécanique. Humidité plus basse si taux de renouvellement d'air plus élevé. rah < 0,5 dans 5/22 maisons avec ventilation mécanique vs 24/29 maisons avec ventilation naturelle. Humidité absolue < 7 g/kg (seuil de prolifération des acariens) dans toutes les maisons avec ventilation mécanique. Concentration de COV significativement plus basse dans maisons avec ventilation mécanique.	

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Stephen <i>et al.</i> , 1997	Étude d'intervention (II-1)	Grande-Bretagne (Southampton). 40 habitations d'asthmatiques.	G1 : 20 habitations avec VRC; G2 : 20 habitations-contrôles. Mesure des variables environnementales pendant une année.	H absolue (hiver): G1 : 6,75 g/kg; G2 : 7,53 g/kg, (p < 0,001).		Peu d'information sur les caractéristiques des habitations et le contrôle des facteurs confondants.
Fletcher <i>et al.</i> , 1996	Étude d'intervention (II-1)	Angleterre. 18 habitations du nord.	2 groupes de habitations: G1 : 9 VRC; G2 : 9 contrôles. Mesure des variables environnementales pendant une année.	H dans G1 < H dans G2; Signes de condensation moins fréquents durant l'hiver.	Pas de différence significative au niveau de la concentration des acariens.	Les auteurs avancent l'hypothèse que la diminution de l'humidité n'était pas suffisante pour influencer la prolifération des acariens.
CRS, 1994	Étude d'intervention (II-1)	Canada, Saskatoon	20 maisons moyennement étanches. Essai d'un système de ventilation mécanique à extraction d'air dans 4 maisons. Mesures : COV, humidité, CO ₂ , rah.	Humidité : moy 35% ; min 18% ; max 64 %.	Formaldéhyde : moy. 0,034 ppm. CO ₂ : moy 708 ppm.	

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Htut <i>et al</i> , 1996	Étude d'intervention (II-1)	Angleterre (Cambridge). 3 chambres (2 expérimentales + 1 réelle).	Chambres expérimentales : 1 chambre avec VRC (3,5 rah); 1 chambre contrôle; 1 chambre réelle avec VRC (0,75 rah). Contamination avec une quantité connue d'acariens. Mesure des variables environnementales.	Nombre d'acariens significativement plus faible dans le matelas des chambres avec VRC. Diminution significative à la semaine 8 de la concentration d'allergènes dans le matelas de la chambre avec VRC.	Humidité et température significativement plus basses dans chambres avec VRC ($< 50\%$).	
Harving <i>et al</i> , 1994b	Étude d'intervention (II-1)	Suède (Aarhus). 53 maisons d'asthmatiques.	G1 : 30 maisons avec VRC ajouté; G2 : 23 maisons sans VRC. Mesures environnementales avant intervention + questionnaire sur les habitudes de vie. Déménagement des asthmatiques dans les maisons avec VRC. Mesures de suivi 4 et 15 mois après intervention. Taux de ventilation mesuré par gaz traqueur.	Diminution significative de la concentration d'acariens dans la poussière de matelas dans la maison avec VRC à 4 et 15 mois. Diminution de la concentration d'acariens au- dessous de 100 (seuil de sensibilisation) dans la plupart des maisons avec VRC.	Augmentation significative ($p < 0,001$) du rah passé de 0,4 à 1,52 avec VRC. Diminution significative ($p < 0,01$) de l'humidité absolue passé de 6,6 g/kg à 5,6 g/kg avec VRC.	Limite méthodologique reliée au déménagement des asthmatiques.
Van Strien <i>et al</i> , 2004	Étude de cohorte (II-2)	États-Unis (Connecticut et Massachusetts). Jeunes enfants.	Visite de 700 habitations. Mesure des variables environnementales. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Excès significatif d'allergènes d'acariens dans poussière de matelas de la chambre d'enfant du salon. Facteurs de risque : absence d'air conditionné, basse température, humidité excessive, moisissures.	Mesures préventives spécifiques habituelles : impact limité. Système d'air conditionné : diminue de moitié la concentration d'allergènes.	

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Van Strien <i>et al</i> , 1994	Étude cas-témoins (II-2)	Pays-Bas. 516 enfants âgés de 6 à 12 ans.	259 cas; 257 témoins. Questionnaire. Mesure de la fréquence des symptômes et de l'exposition aux allergènes. Contrôle des caractéristiques des maisons. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Concentration d'allergènes > 2 µg/g dans 86% des maisons; > 10 µg/g dans 55% des maisons. Concentration 6 à 14 fois plus élevée si présence de tapis. Concentration 2 fois plus faible si présence d'un système de ventilation mécanique.		Les chercheurs considèrent que l'ajout de la ventilation mécanique devrait être considérée dans la construction des maisons.
Chan-Yeung <i>et al</i> , 1995	Étude descriptive (II-3)	Canada. 120 maisons d'asthmatiques (Winnipeg : 63; Vancouver : 57).	Questionnaire sur les caractéristiques des maisons. Mesures environnementales aux 3 mois pendant 1 année (1992-1993). Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Concentrations d'allergènes (<i>Der p 1</i> , <i>Der f 1</i>) relativement peu élevées. Pas d'association avec humidité à l'intérieur pour l'ensemble des données. Toutefois corrélation significative positive entre concentration allergènes sur le plancher à Winnipeg durant l'hiver, et dans le matelas durant l'été, à Vancouver. Pas d'association significative entre concentration d'allergènes et présence d'appareils de traitement de l'air (conditionnement, humidification, déshumidification, purification).	Humidité relative plus élevée à Vancouver. Davantage de chauffage à air pulsé et d'air conditionné à Winnipeg. Vancouver : davantage de plinthes électriques et de systèmes à eau chaude.	D'après les auteurs, l'humidité agit d'abord et surtout sur le nombre d'acariens et ensuite sur la concentration d'allergènes.

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Munir <i>et al</i> , 1995	Étude descriptive (II-3)	Suède (Umeå, Linköping, Helsingborg). 130 maisons d'enfants asthmatiques.	Questionnaire sur les caractéristiques de la maison et des comportements des occupants. Mesures environnementales et biologiques. Taux de ventilation mesuré avec gaz traçeur; Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Allergènes présents dans 62% des maisons (Umeå : 22%; Linköping : 63%; Helsingborg : 100%). Pas de différence significative des concentrations selon le type de ventilation. Concentrations plus élevées dans les maisons où l'humidité était supérieure à 7 g/kg ou 45%, et où le rah était inférieur à 0,5.		Selon les auteurs, l'humidité excessive et la ventilation déficiente représentent les facteurs majeurs qui expliquent l'infestation de habitations par les acariens en Suède.
Sundell <i>et al</i> , 1995	Étude descriptive (II-3)	Suède (Stockholm). 30 maisons unifamiliales.	Mesures des variables environnementales et des caractéristiques des maisons. Mesure de la concentration d'allergènes d'acariens dans les matelas. 13 maisons très infestées (> 2000 ng/g); 17 maisons peu infestées (≤ 1000 ng/g). Taux de ventilation mesuré avec gaz traçeur; Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Association négative significative entre les concentrations d'allergènes et les taux de renouvellement d'air et l'humidité absolue dans la chambre.	Le nombre de personnes résidant dans la maison est un facteur de risque plus élevé que le taux de renouvellement d'air. Aucune corrélation entre les concentrations d'allergènes, de formaldéhyde et de COV.	

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Wickman <i>et al</i> , 1994	Étude descriptive (II-3)	Suède (Stockholm). 70 maisons unifamiliales, construites entre 1968 et 1970.	24 maisons avec système de ventilation mécanique. Mesure des acariens et de l'humidité. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Concentrations d'allergènes d'acariens plus faibles dans maisons avec ventilation mécanique.	Fréquence d'humidité absolue supérieure à 7 g/kg moins élevée dans maisons avec ventilation mécanique.	Selon les auteurs, en Suède, l'ajout d'un système de ventilation mécanique peut aider à réduire l'humidité et la prolifération des acariens.
Fehlmann et Warner, 1993	Étude descriptive (II-3)	Suisse. 10 appartements sans ventilation mécanique dans immeubles à logements. 1 maison avec ventilation mécanique.	Mesures du taux de ventilation avec gaz traqueur (N ₂ O) durant 12 heures, de l'humidité relative, du CO ₂ , de la température. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	RAH moyen : fenêtres fermées (0,12±0,1); fenêtre ouvertes (9,4±3,6). CO ₂ dans la chambre fréquemment au-dessus de 1000 ppm.	Résultats optimaux dans maison.	Portée limitée des résultats compte tenu du petit nombre d'appartements et de contrôles.
Lintner et Brame, 1993	Étude descriptive (II-3)	États-Unis. 424 maisons (plusieurs régions climatiques).	Maisons identifiées à partir de la référence d'allergistes. Mesure des concentrations d'allergènes d'acariens dans la poussière. Ventilation mécanique (air conditionné) <i>versus</i> ventilation naturelle.	Pic de concentration durant l'été. Pas de différence significative entre les concentrations selon les régions. Davantage de <i>Der p</i> 1 en climat humide et davantage de <i>Der f</i> 1 en climat sec. Association négative significative (p < 0,01) entre les concentrations d'allergènes et la présence d'appareils de traitement de l'air (air conditionné). Association plus forte durant l'été.		Pas d'information concernant la méthode de choix des participants. Taille de l'échantillon faible. Pas d'information sur les caractéristiques des habitations.

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Harving <i>et al.</i> , 1993	Étude descriptive (II-3)	Danemark (Aarhus). 96 maisons de personnes asthmatiques ou atopiques.	Collecte des données durant l'hiver, de 1984 à 1986. Mesure des variables environnementales et des caractéristiques des maisons.	Corrélation négative significative ($p=0,02$) entre la concentration d'allergènes d'acariens et le taux de renouvellement d'air. Concentration au-dessus du critère de 100 acariens/g dans 76% des maisons de personnes allergiques en comparaison avec 48% chez les personnes non-allergiques.	Corrélation positive significative de la concentration d'allergènes et l'humidité.	D'après les auteurs, la réduction de la ventilation dans les maisons danoises est associée à un risque accru d'exposition aux acariens.
Harving <i>et al.</i> , 1992	Étude descriptive transversale. (II-3)	Danemark. Échantillon représentatif de 115 habitations unifamiliales.	Mesures de l'environnement. Pas de mesure des effets sur la santé. Pas de système de ventilation mécanique dans aucune habitation.	Corrélation négative significative entre rah et humidité absolue. 72 % des habitations avec $rah < 0,5$; rah médian = 0,28.		Habitations. Les auteurs concluent que la ventilation naturelle est insuffisante du point de vue de la santé.
Crowther <i>et al.</i> , 2000	Revue (III)	Études réalisées dans divers pays.	Analyse critique des études concernant l'impact des moyens de contrôle sur les concentrations d'acariens et d'allergènes.	Selon les auteurs, les études réalisées en Scandinavie démontrent que l'utilisation d'un VRC produit une réduction significative des acariens et des allergènes. Résultats mitigés en Grande-Bretagne et en Nouvelle-Zélande.		

Tableau 3-2b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les acariens (A) /l'humidité (H) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – A	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Munir, 1998	Revue (III)	Études réalisées en Scandinavie, Grande-Bretagne, Allemagne, Estonie. Habitations, garderies, écoles Populations d'enfants asthmatiques et atopiques.	Révision des résultats en ce qui concerne la présence d'acariens et la sensibilisation. Comparaisons internationales.	Facteurs environnementaux : humidité excessive, taux de ventilation faible. Augmentation de la prévalence d'acariens parallèle à l'étanchéité des habitations.	Prévalence d'acariens beaucoup plus faible dans les années 70 et dans le sud. Prévalence plus élevée au Danemark. Prévalence plus élevée durant l'automne et l'hiver.	
Coloff, 1994	Éditorial (III)	Référence à l'article de Wickman <i>et al</i> , 1994, et aux autres études.	Analyse critique.			Selon l'auteur, les résultats positifs trouvés par Wickman en ce qui concerne l'efficacité de la ventilation mécanique en Scandinavie, s'expliquent par l'impact de la ventilation sur l'humidité qui influence de façon importante la prolifération des acariens : H relative critique de 70% à 73%. Seuil de 7g/kg pouvant varier selon le climat. Microhabitats (ex.matelas,tapis).

Les études concernant les moisissures

Le lien entre l'exposition aux moisissures et la santé respiratoire

Nous avons analysé les études portant sur l'association entre l'exposition aux moisissures et les effets sur la santé respiratoire (tableau 3-3a).

◆ *Les études de cohorte (II-2)*

Jaakkola. *et al* (2005) ont réalisé, entre 1984 et 1989, une étude de cohorte chez 1 984 enfants finlandais, âgés de 1 à 7 ans. Les variables suivantes ont été étudiées : histoire d'atopie chez les parents, exposition à quatre facteurs environnementaux (histoire de dégât d'eau, présence de signes d'humidité et de moisissures visibles, et perception d'odeurs de moisi dans le logement). L'asthme déclaré par un médecin a été mesuré comme variable dépendante. La collecte des données a été effectuée par questionnaire. Un total de 138 enfants (7,2 %) ont développé de l'asthme au cours de cette période, ce qui représente un taux d'incidence ajusté de 125 nouveaux cas par 10 000 personnes-années (IC 95% : 104-146). Le risque de développer de l'asthme était plus élevé chez l'enfant en présence d'une histoire d'atopie chez les parents (RR=1,52; IC 95% : 1,08-2,13) de même que d'odeur de moisi dans le logement (RR=2,44; IC 95% : 1,07-5,60). Une limite de l'étude est reliée à l'absence de mesure objective de l'exposition aux moisissures.

Bélangier *et al* (2003) ont réalisé, de 1998 à 2000, une étude de cohorte auprès de 849 enfants chez qui ils ont étudié la fréquence d'épisodes de sibilance et de toux, au cours de leur première année de vie. Les mères de certains de ces enfants faisaient elles-mêmes de l'asthme ou de l'allergie. Un questionnaire a été complété par les parents. Les variables environnementales suivantes ont été mesurées : allergènes d'acariens, de blattes, de chat et de chien, dans la poussière, le dioxyde d'azote (NO₂) et les moisissures dans l'air. Chez les enfants de mères asthmatiques, les chercheurs n'ont pas trouvé de risque significatif de symptômes reliés à l'exposition aux différents allergènes. Chez les enfants des mères non asthmatiques, on a trouvé un risque plus élevé de toux relié à l'utilisation de cuisinières au gaz (OR : 1,50; IC 95% : 1,05-2,15) et de poêles à bois (OR : 2,09; IC 95% : 1,12-2,91). La présence de moisissures visibles était associée de façon significative, chez les enfants de mères asthmatiques, avec un risque plus élevé de sibilance (OR : 2,27; IC 95% : 1,27-4,07) et de toux (OR : 1,83; IC 95% : 1,04-3,22), et chez les enfants de mères non asthmatiques, avec un risque isolé plus élevé de toux (OR : 1,55; IC 95% : 1,04-2,31). La concentration de moisissures dans l'air était quant à elle associée de façon significative à un risque plus élevé de sibilance (OR : 1,23; IC 95% : 1,01-1,49). Rappelons toutefois que la sibilance survenant avant l'âge de trois ans est souvent transitoire (*early transient wheezing*), disparaissant en effet avant l'âge de six ans dans 60 % des cas (Martinez *et al*, 1995). Les enfants qui présentent des sibilances persistantes (*persistent wheezing*) jusqu'à l'âge de six ans sont quant à eux plus à risque de développer de l'asthme.

◆ *Les études cas-témoins (II-2)*

Bornehag *et al* (2004a) sont à réaliser en Suède, une étude en quatre phases, chez un échantillon d'enfants de 1 à 6 ans, visant à évaluer les effets de l'exposition à l'humidité excessive dans les habitations sur l'asthme et les symptômes allergiques. La première phase consiste en une étude transversale réalisée par questionnaire chez les parents de 14 077 enfants. Les résultats ont montré une

association significative entre les problèmes de moisissures rapportés dans les habitations et la fréquence de l'asthme, des symptômes allergiques de même que des infections des voies respiratoires, autant chez les enfants que chez leurs parents. La deuxième phase consiste en une étude cas-témoins comprenant 198 cas et 202 contrôles, dans 390 habitations. Les facteurs de risque identifiés par un technicien inspecteur sont l'humidité excessive, un faible taux de ventilation, la concentration élevée d'endotoxines, la présence de *Penicillium* et de phtalates dans la poussière. Les taux de ventilation ont été mesurés à l'aide d'un gaz traceur. L'étude a montré qu'en général, les taux de ventilation étaient faibles. Environ 60 % des habitations multifamiliales et 80 % des habitations unifamiliales ne rencontraient pas le niveau de 0,5 l/s, qui représente le niveau minimal requis en Suède. Toutefois, le risque estimé de symptômes relié à un faible taux de ventilation était diminué après ajustement pour d'autres caractéristiques du bâtiment : âge, type de système, type de fondation et nombre d'étages.

À Nottingham, en Angleterre, Venn *et al* (2003) ont réalisé une étude cas-témoins (193 cas; 223 témoins) chez les enfants de 6 à 8 ans, pour évaluer si l'exposition résidentielle à l'humidité, aux COV, à la formaldéhyde en particulier, à la fumée de tabac environnementale et au NO₂, était associée à une fréquence plus élevée d'épisodes de sibilance. L'étude a été réalisée d'octobre 1998 à mai 1999 et portait sur les symptômes rapportés au cours des 12 mois précédents. Les variables suivantes ont été mesurées: cotinine dans la salive, hypersensibilité cutanée (*Prick test*), humidité (4 catégories) à la surface des murs dans le salon, la cuisine et la chambre à coucher de l'enfant, moisissure visible (3 catégories), concentration de NO₂ dans la cuisine, concentration de COV et de formaldéhyde dans la chambre de l'enfant, débit respiratoire de pointe, symptômes respiratoires quotidiens, consommation de tabac à la maison et présence d'animaux domestiques. Les cas de sibilance persistante ont été validés à l'aide de données sur la consommation de médicaments bronchodilatateurs. Les résultats ont été analysés en fonction du statut atopique et du statut socioéconomique. Une association positive a été trouvée avec le niveau d'humidité dans le salon (OR : 1,32; IC : 1,00- 1,75) mais non avec le niveau mesuré dans la cuisine et la chambre à coucher. Les chercheurs ont aussi trouvé une association positive statistiquement significative entre la présence de moisissures visibles et le risque de sibilance (OR : 5,10 ; IC : 1,07-24,17). Le risque relié aux moisissures dans le salon était plus élevé chez les enfants atopiques que chez les non atopiques (OR : 1,51 vs 1,02) mais non significatif au plan statistique.

◆ *Les études descriptives (II-3)*

Dans le cadre de l'étude ISAAC, la prévalence de l'asthme, de la rhinite et de l'eczéma atopique fut étudiée dans 146 centres de différents pays à partir d'échantillons représentatifs d'enfants de 13-14 ans et de 6-7 ans (Weiland *et al*, 2004). La prévalence des symptômes a été mesurée à l'aide de questionnaires écrits et de questionnaires sur vidéo. Une partie de l'étude a porté sur l'évaluation de l'association entre la prévalence des symptômes et le climat, dans 57 centres situés dans 12 pays de l'Europe de l'Ouest. Les données climatiques de température et d'humidité ont été colligées à partir du *World weather guide*. L'humidité à l'intérieur a été estimée dans chaque centre à l'aide d'un modèle standardisé. Les résultats de cette étude ont montré dans les deux groupes d'âge une augmentation de 2,7 % (IC 95 % : 1,0 %-4,5 %) de la prévalence de l'asthme pour chaque 10 % d'augmentation de l'humidité annuelle moyenne. La prévalence des symptômes d'asthme était associée de façon inverse avec l'altitude et la variation annuelle de la température et l'humidité extérieures. Selon les chercheurs, la différence dans l'exposition des populations aux acariens dans les 12 pays pourrait expliquer les résultats observés.

En 1993, en Suède, une étude épidémiologique transversale a été réalisée par Gunnbjörndottir *et al* (2003) dans le cadre de l'étude européenne sur la santé respiratoire (*European Community Respiratory Health Survey*). Cette étude visait à investiguer la relation entre l'environnement de l'habitation et les symptômes respiratoires. Elle a été effectuée auprès d'un échantillon aléatoire de 1 800 hommes et 1 800 femmes âgées entre 20 et 44 ans. Un questionnaire et des examens cliniques ont été administrés à un échantillon provenant de cette population. Le questionnaire visait à documenter l'environnement résidentiel (indicateurs d'humidité : dégât d'eau, moisissures visibles), la présence d'asthme et de bronchite, de même que la consommation de tabac. Des tests de fonction respiratoire et d'allergie (*Prick test*) ont été faits. Les anticorps totaux et spécifiques ont été mesurés pour les acariens et certaines moisissures. La prévalence de dégât d'eau et de moisissure était respectivement de 7,4 % et 17,3 %. Les chercheurs ont trouvé un excès significatif d'épisodes de dyspnée et de toux chronique chez les personnes qui ont rapporté une histoire de dégât d'eau en même temps que de moisissures au cours des 12 derniers mois. Il n'y avait pas de différence significative lorsque les deux indicateurs étaient présents de façon isolée. Aucune différence significative n'a été trouvée chez les hommes et chez les femmes de même que chez les personnes atopiques et non atopiques. La prévalence d'humidité excessive était de 20 %, ce qui se rapproche des résultats des études antérieures en Suède (17 %, 19 %, 24%), en Finlande (23 %) et aux Pays-Bas (25 %). Au Canada, une étude (Dales *et al*, 1991) a rapporté une prévalence de 38 % d'humidité excessive.

Dans le cadre de l'étude européenne sur la santé respiratoire réalisée dans 38 centres européens, Zock *et al* (2002) ont étudié les associations entre les caractéristiques des habitations (humidité, moisissures, acariens) et l'asthme chez l'adulte (Zock. L'histoire d'un dégât d'eau et la présence de moisissures visibles au cours des 12 mois précédents était associées avec des risques significatifs de sibilances ou *wheezing* non associés à des rhumes (OR : 1,23 ; IC 95% : 1,06-1,44 ; OR : 1,44 ; IC 95% : 1,30-1,60). La présence de moisissures était associée avec un risque plus élevé d'asthme (OR : 1,28 ; IC 95% : 1,13-1,46) et d'hyperréactivité bronchique (OR : 1,14 ; IC 95% : 1,01-1,29). L'association était homogène au sein des différents centres, mais plus forte chez les personnes sensibilisées au *Cladosporium*. Les caractéristiques de l'habitation les plus fortement associées avec l'exposition aux moisissures sont l'histoire de dégât d'eau (OR : 3,23 ; IC 95% : 2,90-3,60), la présence d'un sous-sol humide (OR : 2,10 ; IC 95% : 1,64- 2,68) et un âge de la maison plus élevé que 10 ans (OR : 1,38 ; IC 95% : 1,19-1,60). La présence d'un chauffage central (OR : 0,72 ; IC 95% : 0,64-0,81) et d'un ventilateur d'extraction dans la cuisine (OR : 0,78 ; IC 95% : 0,71-0,85) avait un effet protecteur. L'air conditionné était associé de façon indépendante avec la prévalence de symptômes d'asthme mais pas avec l'hyperréactivité bronchique.

Une étude a été réalisée en Australie, auprès d'un panel de 35 asthmatiques adultes allergiques pour évaluer si les symptômes étaient associés à l'exposition aux moisissures (Dharmage *et al*, 2002). Ceux-ci ont été suivis pendant une année entière au niveau clinique et environnemental. La variation saisonnière du débit de pointe était associée de façon significative avec la sévérité des symptômes et l'usage de médication de même qu'avec la présence de moisissures visibles. Les chercheurs n'ont toutefois démontré aucune association significative entre la variation du débit de pointe des patients et la variation saisonnière des concentrations de spores et d'ergostérol dans l'environnement.

Au Canada, Dales et Miller (1999) ont réalisé une étude chez 403 enfants d'environ 10 ans, résidant dans la ville de Wallaceburg, à l'île-du-Prince-Édouard. Cette étude, réalisée durant l'hiver, visait à évaluer l'association entre les symptômes respiratoires et l'exposition aux moisissures en contrôlant pour les autres facteurs, notamment les acariens et les endotoxines. Les chercheurs ont observé une augmentation de 12 % à 50 % de la prévalence des divers symptômes en présence d'exposition aux moisissures. Les résultats ont été ajustés pour les caractéristiques personnelles de même que pour les concentrations d'allergènes d'acariens et d'endotoxines. Les risques (OR) ajustés de symptômes généraux et d'irritation des voies respiratoires étaient respectivement de 2,25 (IC 95% : 1,26-4,00) et de 1,81 (IC 95% : 1,02-3,24). Ces résultats suggèrent une relation causale entre l'exposition aux moisissures et la survenue de symptômes respiratoires chez les enfants.

◆ *Les revues (III)*

L'*Institute of Medicine* (IOM) (2004) a récemment publié un rapport rédigé par le *Committee on Damp Indoor Spaces and Health*. Ce comité a révisé l'ensemble des études concernant les liens entre les moisissures et les problèmes d'humidité dans les habitations et les bâtiments publics et les problèmes de santé chez les occupants. Les auteurs ont conclu qu'il y avait actuellement des évidences scientifiques démontrant un lien entre ces problèmes environnementaux et la survenue de symptômes d'asthme, chez des asthmatiques, de même que la survenue de toux, de sibilance et de symptômes des voies respiratoires supérieures chez des personnes en bonne santé. Les auteurs concluent qu'il n'y a actuellement aucune évidence concernant un lien avec d'autres problèmes de santé.

Une revue de la littérature scientifique a été faite récemment concernant les effets sur la santé chez les adultes, de l'exposition aux moisissures dans les habitations et les bâtiments publics non-industriels (Jaakkola et Jaakkola, 2004). Les chercheurs estiment la prévalence des problèmes d'humidité excessive selon les pays aux pourcentages suivants : Taiwan (60 %), nord-est des États-Unis (50 %), Canada (38 %), Royaume-Uni et Europe centrale (13 % à 51 %), Scandinavie (4 % à 82 %). Ils ont classifié les études selon 2 types : les études transversales et les études cas-témoins. Les chercheurs ont analysé 20 études au total : 11 études transversales et 4 études cas-témoins réalisées dans des habitations, 4 études transversales et 1 étude cas-témoins réalisée en milieu non-industriel. À la suite de leur évaluation de la littérature, ils en arrivent aux conclusions suivantes :

- il y a un niveau de preuve élevé ou fort que l'exposition aux moisissures dans les habitations augmente le risque d'asthme chez les adultes. Le risque relatif se situe entre 1,3 et 2,2. Certaines études montrent une relation dose/effet;
- il y a de plus en plus d'évidences que l'exposition aux moisissures en milieu non-industriel augmente le risque de sibilance. Le risque relatif se situe entre 1,3 et 2,8;
- une étude cas-témoins récente publiée par les mêmes auteurs (Jaakkola et Jaakkola, 2004) a montré une augmentation du risque d'asthme, avec un risque relatif de 1,5;
- il y a de plus en plus d'évidence que l'exposition aux moisissures augmente la sévérité de l'asthme chez les adultes;
- il y a certaines évidences que la réfection du bâtiment (*remediation*) pour corriger des problèmes de moisissures s'accompagne par la suite d'une amélioration de l'asthme chez les personnes exposées.

Bornehag *et al* (2004b; 2001) ont effectué une revue de la littérature scientifique européenne concernant l'association entre l'humidité dans les bâtiments et les effets sur la santé. Ils ont évalué la preuve d'une association entre l'exposition aux acariens, aux moisissures et aux composés chimiques organiques, et les effets sur la santé. Cette revue inclut des études provenant d'Europe et portant aussi sur les acariens. À partir d'une banque de 547 articles, les auteurs ont analysé en détail 92 articles portant sur l'humidité, dont 40 ont été finalement retenus. Les auteurs concluent que l'humidité constitue un facteur de risque pour la santé, notamment pour les symptômes respiratoires, chez les personnes atopiques et non atopiques, enfants comme adultes, dans les habitations comme dans les bâtiments publics. Toutefois, les auteurs concluent que le facteur explicatif de cette association n'est pas clairement démontré. Il est connu que l'exposition aux acariens augmente le risque de sensibilisation. Le risque relatif (1,4 à 2,0) varie peu à travers le monde, malgré les différences importantes au niveau du climat et du degré d'infestation des bâtiments. D'autres facteurs explicatifs semblent être présents. Les auteurs concluent cependant que l'association entre l'exposition aux moisissures, aux autres microorganismes de même qu'aux contaminants chimiques organiques et les effets sur la santé n'est pas démontrée.

Une revue de la littérature a été réalisée par Fung et Hughson (2003). À la suite de leur analyse, les auteurs ont retenu 5 études cas-témoins, 17 études transversales et 7 études de cas. Ils concluent que les résultats des études scientifiques suggèrent que l'humidité excessive est associée à la prolifération de moisissures et est associée à un excès de symptômes d'irritation, d'allergie et d'infection. Toutefois, les auteurs soulignent que la toxicité reliée à l'inhalation des toxines fongiques n'est pas bien établie. De plus, les méthodes de mesures au niveau environnemental ne sont pas bien développées et ne permettent pas de mettre en évidence de relation dose-effet.

Le tableau 3-3a présente un résumé des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants par le biais des études concernant les moisissures et leurs effets sur la santé.

Tableau 3-3a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les moisissures (M) et la santé respiratoire

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS M-S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Jaakkola <i>et al</i> , 2005	Étude de cohorte (II-2)	Finlande. 1 984 enfants âgés de 1 à 7 ans.	Mesure des variables suivantes : atopie chez parents, exposition à 4 facteurs reliés aux moisissures, asthme diagnostiqué par un médecin.	Développement de l'asthme : Si atopie chez parents : RR=1,52; IC 95% : 1,08-2,13. Si odeur de moisi : RR=2,44; IC 95% : 1,07-5,60.		Pas de mesure objective des moisissures.
Bélanger <i>et al</i> , 2003	Étude de cohorte (II-2)	Etats-Unis. 849 enfants de moins d'un an. Certaines mères asthmatiques.	Questionnaire concernant les symptômes respiratoires avant 1 an. Mesure des variables environnementales.	Si moisissures visibles : A) Si mère asthmatique : Sibillance chez l'enfant: OR= 2,27; IC 95% : 1,27-4,07; toux: OR= 1,83; IC 95%: 1,04-3,22. B) Si mère non-asthmatique : Sibillance : OR 1,23; IC 95%; 1,01-1,49. Toux : OR : 1,55; 1,04-2,31.	Chez les enfants de mères asthmatiques, pas d'association avec exposition aux allergènes.	
Bornehag <i>et al</i> , 2004a	Étude cas-témoins (II-2)	Suède. Étude portant sur 14 077 enfants : 198 cas d'asthme et 202 témoins vivant dans 390 habitations.	Cas-témoins. Questionnaire symptômes rempli par les parents. Caractéristiques de l'habitation. Mesure du taux de ventilation.	Risque plus élevé d'asthme relié à l'humidité excessive, un faible taux de ventilation et une concentration élevée d'endotoxine et de <i>Penicillium</i> dans la poussière.	Environ 60% des habitations multifamiliales et 80% des habitations unifamiliales ne rencontraient pas la norme de 0,5 rah.	
Venn <i>et al</i> , 2003	Étude cas-témoins (II-2)	Angleterre. Enfants de 6 à 8 ans : 193 cas d'asthme et 223 témoins.	Questionnaire de symptômes : épisodes de sibillance rapportés au cours des 12 derniers mois et sibillance persistante. Mesures biologiques et environnementales.	Risque de sibillance persistante : Humidité salon : OR : 1,32 : IC 95% : 1,00-1,75; Moisissures visibles : OR : 5,10; IC 95% : 1,07-24,17.		Pas de mesure du taux de ventilation.

Tableau 3-3a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les moisissures (M) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS M-S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Weiland <i>et al</i> , 2004	Étude descriptive (II-3)	Enquête ISAAC dans 12 pays européens (57 centres). Deux groupes d'enfants de 6-7 ans et 13-14 ans.	Échantillons aléatoires de 3000 enfants par groupe tirés de la population générale. Questionnaires écrits et vidéos. Collecte de données climatiques du <i>World weather guide</i> . Estimation de l'humidité intérieure.	Augmentation de 2,7% (IC 95% : 1,0%-4,5%) de la prévalence de l'asthme pour chaque 10% d'augmentation de l'humidité annuelle moyenne.	Association significative inverse entre la prévalence de l'asthme, l'altitude et la variation annuelle de la température et l'humidité extérieures.	Selon les chercheurs, l'exposition aux acariens dont la prolifération est influencée par l'humidité intérieure pourrait possiblement expliquer les différences observées.
Gunnbjörndottir <i>et al</i> , 2003	Étude descriptive (II-3)	Suède. Population générale. Échantillon aléatoire de 1800 hommes et 1800 femmes de 20 à 44 ans.	Questionnaire respiratoire et environnemental. Examen clinique.	Excès significatif de dyspnée et de toux si présence concomitante d'histoire de dégât d'eau et de moisissures visibles au cours des 12 derniers mois.	Prévalences de dégât d'eau de 7,4%, de moisissures de 17,3% et d'humidité de 20%.	Pas d'excès significatif si les 2 facteurs sont isolés.
Zock <i>et al</i> , 2002	Étude descriptive (II-3)	Étude européenne sur la santé respiratoire. 38 centres. Échantillons aléatoires d'hommes et femmes de 20 à 44 ans.	Questionnaires respiratoire et environnemental administrés par un interviewer.	Association significative entre histoire d'exposition aux moisissures au cours de la dernière année, les symptômes d'asthme et d'hyperréactivité bronchique (OR entre 1,14 et 1,44). Association plus forte chez les sujets sensibilisés au <i>Cladosporium</i> . Corrélation positive entre prévalence d'asthme et l'exposition aux moisissures dans les différents centres. Exposition aux moisissures plus fréquente dans les vieilles habitations ayant subi des dégâts d'eau.		Association significative dans les différents pays difficilement explicable par un biais.

Tableau 3-3a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les moisissures (M) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS M-S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Dharmage <i>et al.</i> , 2002	Étude descriptive (panel) (II-3)	Australie (Melbourne). 35 asthmatiques adultes, allergiques aux moisissures.	Suivi pendant 1 an. 4 visites à domicile : questionnaire des symptômes et de la médication, débit de pointe. Échantillonnage de la poussière et de l'air (<i>Der p 1</i> , ergostérol).	Variation saisonnière significative dans les concentrations de spores et d'ergostérol, de même que du débit de pointe (VDP). VDP associée de façon significative avec sévérité des symptômes et usage de la médication. VDP associée de façon significative avec moisissures visibles. Pas d'association de VDP avec concentration totale de spores, d'ergostérol et de moisissures spécifiques.		La présence de spores est associée avec une exacerbation de l'asthme chez les personnes sensibles.
Dales et Miller, 1999	Étude descriptive (II-3)	Wallaceburg, Île-du-Prince-Édouard. 403 enfants de ± 10 ans.	Questionnaire respiratoire et environnemental. Visite des maisons durant l'hiver. Mesures environnementales : endotoxines, antigènes d'acariens.	Association significative entre prévalence des symptômes et exposition aux moisissures. Association significative persiste après ajustement pour variables confondantes.	Concentrations assez semblables de <i>Der p</i> et <i>Der f</i> . Concentration <i>Der f</i> plus élevée dans maisons avec moisissures.	Résultats ajustés suggèrent association causale.
IOM, 2004	Revue (III)	Comité international. Études de différents pays occidentaux.	<i>Committee on Damp Indoor Spaces and health.</i> Analyse critique de la littérature mondiale existante.	D'après les membres du Comité, les évidences scientifiques établissent un lien entre l'exposition aux moisissures et à l'humidité excessive dans les bâtiments et les symptômes d'asthme chez certains asthmatiques. De plus, il y a un lien entre l'exposition aux mêmes facteurs, la toux, les sibilances et les symptômes des voies respiratoires supérieures chez les personnes en bonne santé.		Les évidences sont suffisantes pour que les autorités de santé publiques recommandent une série de mesures pour prévenir les problèmes de moisissures et d'humidité excessive dans les bâtiments.

Tableau 3-3a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les moisissures (M) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS M-S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Jaakkola et Jaakkola, 2004	Revue (III)	20 études réalisées en Europe, aux États-Unis, au Canada, en Australie, à Taiwan. Adultes. Travailleurs de milieux non-industriels (MNI) et occupants des habitations.	Classification des études transversales et cas-témoins. Analyse critique.	Dans les habitations : risque plus élevé d'asthme (RR : 1,3-2,2). Dans les MNI : risque plus élevé de sibillance (RR : 1,3-2,8); 1 étude a montré risque plus élevé d'asthme (RR : 1,5). De plus en plus d'évidence de risque d'augmentation de la sévérité de l'asthme.	Certaines évidences que la « rémédiation » améliore l'asthme chez les personnes exposées.	
Bornehag <i>et al.</i> , 2004b, 2001	Revue (III)	547 articles provenant d'Europe dont 92 concernant l'humidité.	Analyse critique des articles. 40 articles ont été retenus en rapport avec la fréquence des symptômes respiratoires reliée à l'exposition à l'humidité.	L'humidité constitue un facteur de risque chez les atopiques comme les non-atopiques, dans les habitations comme les bâtiments publics. Pas de quantification du risque.		Le facteur explicatif le plus probable pourrait être les acariens (RR=1.4-2.0).
Fung et Hughson, 2003	Revue (III)	Adultes et enfants. 5 études cas-témoins. 17 études descriptives. 7 études de cas populations diverses : asthmatiques, écoliers, travailleur de garderie, travailleurs édifices à bureau.	Medline. 417 études au départ. Seulement études avec histoire d'exposition aux moisissures.	Suggestion d'une association entre un excès d'H et le développement de moisissures et des problèmes d'irritation, d'allergie et d'infection.		Pas de discussion détaillée et rigoureuse des études elles-mêmes. Pas de bilan global des études. Grande diversité des populations étudiées.

Le lien entre la ventilation et les moisissures dans les habitations

Un nombre limité d'études ont été réalisées pour évaluer l'association entre la ventilation et la présence de moisissures dans les habitations (tableau 3-3b).

◆ *Les études descriptives (II-3)*

À Perth, en Australie, Zhang *et al* (2005) ont réalisé une étude transversale concernant le lien entre les pratiques d'hygiène, incluant la ventilation de la maison, l'humidité et la présence de moisissures, et la prévalence de sibilances et d'asthme chez les enfants. La population étudiée était constituée de 996 enfants de 4 à 12 ans, recrutés dans quatre écoles primaires. La collecte des données a été réalisée à l'aide d'un questionnaire auprès des parents. Les variables environnementales suivantes ont été mesurées : indice de propreté de la maison, indice de ventilation de la maison, présence de plaques d'humidité, de condensation et de moisissures, tabagisme à la maison. Le questionnaire comprenait des questions standardisées concernant l'histoire de sibilance, de crise d'asthme et de prise de médicament pour l'asthme, d'éternuements et de congestion nasale en dehors d'un rhume au cours des 12 mois précédents. Le questionnaire comprenait des questions concernant les antécédents d'asthme des parents et l'âge de la maison. Le taux de réponse a été de 62,5 %. Les chercheurs ont trouvé une association significative inverse entre l'indice de propreté et la présence de moisissures visibles. De plus, ils ont trouvé une association significative inverse entre l'indice de ventilation et la présence de taches d'humidité, de condensation et de moisissures visibles. Les auteurs ont trouvé un risque ajusté de sibilance (OR : 1,16 ; IC 95% : 1,03-1,29) et de rhinoconjonctivite (OR : 1,17 ; IC 95% : 1,04-1,31) plus élevé chez les enfants vivant dans des maisons avec un indice de propreté supérieur. Les chercheurs n'ont pas trouvé de différence significative au niveau du risque en fonction de l'indice de ventilation. Ils évoquent l'hypothèse hygiéniste pour expliquer l'augmentation du risque dans les maisons plus propres. Cette étude présente plusieurs limites au niveau méthodologique : biais de sélection possible au niveau des répondants, mesure subjective des variables environnementales par questionnaire, indice de ventilation reposant sur cinq questions peu spécifiques, absence d'information concernant les modifications possiblement apportées antérieurement par les parents à cause de l'asthme de leur enfant, absence d'information concernant l'exposition aux acariens. Il demeure ainsi possible que l'excès de risque trouvé par les chercheurs soit relié aux efforts de propreté plus accentués chez les parents d'enfants asthmatiques. Quoiqu'il en soit, les résultats suggèrent qu'une plus grande propreté et une meilleure ventilation de la maison se traduisent par un risque moins élevé d'humidité excessive et de moisissures visibles.

Ren *et al* (2001) ont évalué la présence de moisissures dans l'air de 1000 maisons du nord-est des États-Unis. Ils ont mesuré la concentration de spores et analysé les résultats en fonction des caractéristiques du bâtiment documentées par questionnaires. Les chercheurs n'ont pas trouvé d'association avec la ventilation. Toutefois, les concentrations de spores étaient associées de façon significative avec la saison, l'humidité et la présence de chat dans la maison.

Afin d'investiguer la prévalence de moisissures dans les habitations et l'influence des caractéristiques des habitations sur les concentrations, Dharmage et coll. ont réalisé une étude dans 485 habitations de Melbourne, en Australie (Dharmage *et al*, 1999). Ils ont collecté des échantillons de poussières et d'air dans la chambre à coucher. Les concentrations d'ergostérol et de spores ont été mesurées. Un questionnaire a été administré sur les caractéristiques de l'habitation. Cinquante-cinq pour cent (55 %)

des habitations avaient des concentrations de spores excédant 500 ufc/m³. Le *Cladosporium* et le *Penicillium* étaient les principales espèces rencontrées à l'intérieur. La concentration médiane d'ergostérol dans la poussière sur le plancher des chambres était de 3,8 µg/g. La concentration de spores était significativement plus basse dans les chambres pourvues d'un ventilateur au plafond, sans moisissures visibles, fréquemment nettoyées avec un aspirateur, les fenêtres fermées au moment de l'échantillonnage et sans présence d'animal domestique. La présence d'un ou plusieurs chats avait un effet croissant sur les concentrations de spores. L'absence de ventilation et d'aspiration, la présence d'animaux domestiques, de moisissures visibles et de vieux tapis étaient associées significativement avec une augmentation de la concentration de spores dans l'air.

Garrett *et al* (1998) ont réalisé une étude en Australie, dans les habitations de 148 enfants de 7 à 14 ans, dont 36 % étaient asthmatiques. Ils ont surveillé l'environnement pendant une année, incluant la concentration de spores dans l'air. Les auteurs ont trouvé une association significative entre l'augmentation de la concentration de spores et le manque de ventilation naturelle par les fenêtres de même qu'avec le manque de ventilateurs d'extraction.

Une étude a été réalisée par Kodama et McGee (1986) dans 50 habitations d'Honolulu, 25 maisons avec ventilation naturelle et 25 appartements-condominiums situés dans 5 immeubles en hauteur, avec air conditionné et ventilation centrale. On a mesuré et identifié le nombre de bactéries et de moisissures à l'intérieur et à l'extérieur de ces 50 appartements. Aucune différence significative n'a été trouvée au niveau du nombre de contaminants biologiques à l'intérieur et à l'extérieur des maisons ventilées naturellement. Il y avait significativement moins de moisissures, notamment de *Cladosporium*, à l'intérieur qu'à l'extérieur des appartements avec air conditionné mais on y trouvait davantage d'*Aspergillus*. Il y avait aussi significativement plus de bactéries gram positives. Les résultats suggèrent aussi une fréquence plus élevée de plaintes d'irritation des yeux, d'éternuements, de congestion nasale et de toux, dans les appartements avec air conditionné.

◆ *Les revues (III)*

Peat *et al* (1998) ont revu les études publiées entre 1985 et 2000 concernant l'association entre les caractéristiques des maisons et la présence d'humidité excessive et de moisissures de même que de problèmes respiratoires. Parmi la quinzaine d'études, environ la moitié ont montré une association significative entre l'humidité et les moisissures dans les habitations et la présence de symptômes respiratoires (sibilance, toux) chez l'enfant et chez l'adulte (RR = 1,5-3,5). Toutefois, peu d'études ont mesuré l'efficacité sur la santé des interventions pour réduire les moisissures dans les habitations. Par ailleurs, de façon générale, les études suggèrent que dans les pays froids, la ventilation mécanique a un impact important sur les acariens en réduisant l'humidité relative. Cependant, cet impact positif est moins évident dans les pays au climat humide. Aux États-Unis, l'utilisation de systèmes de conditionnement d'air a tendance à réduire les acariens et les allergènes dans les habitations.

Le tableau 3-3b présente un résumé des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants, par le biais des études concernant la ventilation et les moisissures.

Tableau 3-3b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les moisissures

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V-M	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Zhang <i>et al</i> , 2005	Étude descriptive (II-3)	Australie (Perth). 996 enfants de 4 à 12 ans.	Recrutement dans 4 écoles. Questionnaire aux parents. Variables santé: sibilance, asthme, rhinite, rhinoconjonctivite, antécédents asthme parents, tabac passif. Variables environnementales : histoire d'humidité excessive, moisissures, 11 questions sur les pratiques des occupants concernant hygiène et ventilation (indices), âge du bâtiment. T tests et régression logistique. Risques ajustés.	Risque moins élevé de taches d'humidité (OR 0,82; IC 95% 0,70-0,97), de condensation (OR : 0,88; IC 95% : 0,78-0,96) et de moisissures visibles (OR : 0,80; IC 95% : 0,70-0,90) avec indice de ventilation élevé.	Association significative inverse entre indice de propreté et présence de moisissures visibles (P < 0,001). Risques plus élevé de sibilance et de rhinoconjonctivite dans maisons plus propres. Hypothèse hygiéniste ?	Plusieurs limites méthodologiques : non-réponse, pas de visite des maisons, pas de mesure objective du taux de ventilation, pas de mesure des acariens, pas de question sur dégât d'eau. Pas d'information concernant distribution des variables selon l'âge.
Ren <i>et al</i> , 2001	Étude descriptive (II-3)	États-Unis. 1000 maisons du nord-est.	Échantillonnage de l'air de la chambre (spores). Questionnaire concernant les caractéristiques de la maison.	Pas d'association entre la concentration de spores et la ventilation.	Association significative de la concentration de spores avec la saison, l'humidité, la température et la présence d'un chat.	Le questionnaire basé sur les caractéristiques de la habitation se révèle un instrument peu fiable pour estimer l'exposition aux moisissures.
Dharmage <i>et al</i> , 1999	Étude descriptive (II-3)	Australie (melbourne). 485 habitations.	Échantillonnage de l'air et de la poussière de la chambre à coucher (ergostérol, spores). Mesure des caractéristiques de l'habitation. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Concentrations de spores > 500 ufc/m ³ dans 55% des habitations, surtout <i>Cladosporium</i> et <i>Penicillium</i> . L'augmentation de la concentration de spores dans l'air était associée de façon significative à l'absence de ventilation, la présence d'animaux domestiques, de moisissures visibles et de vieux tapis.		

Tableau 3-3b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les moisissures (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V-M	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Garrett <i>et al</i> , 1998	Étude descriptive (II-3)	Australie (Latrobe). 148 enfants de 7 à 14 ans, dans 80 habitations. 36% asthmatiques.	6 visites de mars 1994 à février 1995. Échantillonnage de l'air (spores). Questionnaire : caractéristiques de l'habitation, symptômes. Observation du bâtiment. <i>Prick test</i> . Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Association significative entre l'augmentation des concentrations de spores et le manque de ventilation par les fenêtres. Aussi association avec le manque de ventilateurs d'extraction.	Association significative avec odeur de moisi, dégât d'eau et humidité.	
Kodama et McGee, 1986	Étude descriptive (II-3)	Hawaï (Honolulu). 50 habitations.	25 maisons avec ventilation naturelle. 25 appartements-condos avec air conditionné central. Échantillonnage de l'air (bactéries, spores). Questionnaire symptômes. Comparaison des 2 groupes.	Ventilation naturelle : pas de différence intérieur/extérieur contaminants biologiques. Appartements-condos : moins de moisissures à l'intérieur, moins de <i>Cladosporium</i> , plus d' <i>Aspergillus</i> , plus de gram +. Plus de plaintes pour irritation des voies respiratoires supérieures.		
Peat <i>et al</i> , 1998	Revue (III)	Différents pays. Études entre 1985 et 2000.	Analyse critique des études (15) portant sur l'association entre caractéristiques des maisons et humidité de même que moisissures.	Pas d'association entre ventilation et moisissures.	En général, les études suggèrent que dans les pays froids, la ventilation mécanique diminue les acariens en réduisant l'humidité. Aux États-Unis, l'air conditionné a tendance à réduire les acariens et les allergènes.	Peu d'études ont mesuré l'efficacité des interventions pour réduire les moisissures dans les habitations.

Les études concernant les composés organiques volatils

Le lien entre l'exposition aux composés organiques volatils (COV) et la santé

Quelques études ont été réalisées sur l'association entre l'exposition aux COV en milieu intérieur et la santé respiratoire (tableau 3-4a).

◆ *Les études d'intervention : essai comparatif randomisé (I)*

Pappas *et al* (2000) ont réalisé une étude randomisée pour évaluer les effets respiratoires d'une exposition contrôlée à un mélange de COV dans l'air. En utilisant un devis d'étude « *cross-over* », des adultes ont été exposés pendant deux périodes de 4 heures à des concentrations de 25 mg/m³ et de 50 mg/m³ d'un mélange de COV. Les effets ont été mesurés à l'aide d'un questionnaire, de tests de fonction respiratoire et de lavages nasaux et bronchiques. Les chercheurs ont observé une augmentation significative de la fréquence de symptômes respiratoires avec relation dose-effet. Ils n'ont pas observé de modification au niveau des tests de fonction respiratoire à l'exception d'une diminution du débit expiratoire forcé chez les sujets atopiques exposés à 50 mg/m³ de COV. Aucune modification des paramètres biologiques n'a également été observée.

◆ *Les études cas-témoins (II-2)*

Rumchev *et al* (2004) ont réalisé une étude cas-témoins à Perth, en Australie, pour évaluer l'association entre l'exposition aux COV à domicile et le développement de l'asthme chez l'enfant. Les chercheurs ont sélectionné les cas de 88 enfants traités au département d'urgence pour problèmes respiratoires et libérés avec le diagnostic médical d'asthme. Ils les ont appariés à 104 enfants-témoins du même groupe d'âge, exempts d'asthme, identifiés par le département de santé. Des questionnaires respiratoire et environnemental ont été administrés. On a effectué un échantillonnage de l'air dans l'habitation durant l'été et l'hiver. Dix (10) COV ont été mesurés. Les allergènes d'acariens ont été mesurés dans la poussière. Des mesures de la température et de l'humidité ont été faites. Les enfants ont subi des *Prick tests*. Les chercheurs ont trouvé une association statistiquement significative entre la fréquence d'asthme à l'urgence et l'exposition aux COV à domicile. Pour chaque augmentation de 10 µg/m³ de COV totaux, le OR ajusté était de 1,2 (IC 95% : 1,13-1,27). On a trouvé une association significative de la fréquence de l'asthme avec l'histoire de travaux de peinture récents à domicile. Les mêmes auteurs avaient trouvé une association significative de l'asthme avec l'exposition au formaldéhyde dans une étude antérieure (Rumchev *et al*, 2002).

L'étude cas-témoins de Venn *et al* (2003) déjà rapportée en rapport avec les moisissures, portait aussi sur l'exposition aux COV (Venn). Les chercheurs n'ont trouvé aucune association significative entre l'exposition aux COV totaux, aux COV spécifiques et au formaldéhyde et la sibillance persistante. La fréquence des symptômes respiratoires nocturnes était significativement plus élevée chez les enfants exposés à la formaldéhyde en fonction du quartile (OR : 1,45; IC : 1,06-1,98) et à l'humidité (OR : 2,52; IC : 1,36-4,64) dans la chambre, dans la cuisine (OR : 1,90; IC : 1,03-3,51) et le salon (OR : 1,97; IC : 1,10-3,53). La fréquence de symptômes respiratoires diurnes était aussi significativement plus élevée en fonction de l'exposition à la formaldéhyde par quartile (OR : 1,40; IC : 1,00-1,94) et à l'humidité mais seulement dans le salon (OR : 1,86; IC : 1,02-3,42). Le risque de symptômes

respiratoires associé à l'exposition au formaldéhyde et à l'humidité était significativement plus élevé chez les enfants atopiques (Venn *et al*, 2003).

En Australie, Rumchev *et al*, (2002) ont réalisé une étude chez 192 enfants de 6 mois à 3 ans (88 cas d'asthme et 104 témoins) afin d'évaluer l'association entre l'exposition au formaldéhyde dans la maison et l'asthme. Ils ont mesuré le formaldéhyde dans la chambre et dans la salle de séjour au cours de l'été et de l'hiver. L'asthme avait été diagnostiqué par un médecin à la sortie de l'hôpital. Les chercheurs ont trouvé une augmentation significative du risque mais seulement à une concentration supérieure à 60 µg/m³ (OR : 1,40 ; IC 95% : n.d.).

Jaakkola *et al* (1999) ont réalisé une étude cas-témoins (251 cas ; 251 témoins) chez des enfants de 2 ans provenant d'une cohorte de nouveau-nés à Oslo, en Norvège. L'objectif était d'étudier l'association entre l'exposition au chlorure de polyvinyl sur les planchers dans la maison et de textiles sur les murs et la présence de symptômes d'obstruction bronchique. Les résultats ont montré une association entre la présence de chlorure de polyvinyl (PVC) (OR : 1,89 ; IC 95% : 1,14-3,14) et de textiles (OR : 1,58 ; IC 95% : 0,98-2,54) et la survenue de symptômes. Les résultats ont aussi montré une relation dose effet entre la superficie de chlorure de polyvinyl et le risque.

Garrett *et al* (1999) ont réalisé une étude cas-témoins chez 148 enfants de 7 à 14 ans en Australie afin d'évaluer le risque de développer de l'allergie aux aéroallergènes à la suite d'une exposition au formaldéhyde. Cinquante-trois enfants étaient asthmatiques. Le formaldéhyde a été mesuré dans la maison entre mars 1994 et février 1995 avec des dosimètres passifs. Un questionnaire respiratoire et un *Prick test* ont été administrés. Les chercheurs ont trouvé une association non significative entre l'exposition au formaldéhyde et l'atopie (OR : 1,40 ; IC 95% : 0,98-2,00). Ils n'ont pas trouvé d'association entre l'exposition au formaldéhyde et le risque de symptômes respiratoires.

Norbäck *et al* (1995) ont réalisé une étude cas-témoins à partir de l'échantillon de la population suédoise ayant participé à l'Enquête de la communauté européenne sur la santé respiratoire, au début des années 1990. Un sous-échantillon de 88 hommes de 20 à 45 ans (47 asthmatiques et 41 non-asthmatiques) a été évalué du point de vue clinique. Plusieurs paramètres ont été mesurés dans leur domicile : température, humidité, COV, formaldéhyde, CO₂, acariens, moisissures. Les symptômes d'asthme étaient significativement plus fréquents chez les personnes résidant dans des logements ayant une concentration élevée d'acariens et des signes visibles d'humidité excessive et de moisissures. Les chercheurs ont trouvé une association significative entre la présence de dyspnée nocturne et de tapis sur toute la surface des planchers, une concentration élevée de CO₂, de formaldéhyde et de COV. Bien que les concentrations de CO₂ mesurées aient été assez élevées et indiquaient un faible apport en air neuf, les chercheurs n'ont pas trouvé d'association significative entre la ventilation et les symptômes d'asthme. Cette étude présente certaines limites reliées au taux de participation relativement faible et au petit nombre de témoins.

◆ *Les études descriptives (II-3)*

En Finlande, Jaakkola *et al* (2000) ont réalisé une étude descriptive dans une population de 2 568 enfants âgés de 1 à 7 ans dans laquelle ils ont étudié l'association entre la fréquence des symptômes respiratoires et la présence de matériaux de plastique sur les murs de la maison. Ils ont observé une

association significative entre la fréquence de symptômes des voies respiratoires inférieures et la présence des matériaux : sibilances persistantes (OR : 3,42 ; IC 95% : 1,13-10,36), toux (OR : 2,41 ; IC 95% : 1,04-5,63) et expectorations (OR : 2,76 ; IC 95% : 1,03-7,41). Les risques d'asthme et de pneumonie étaient aussi associés mais de façon non significative.

◆ *Les revues (III)*

Dales et Raizenne (2004) ont publié récemment une revue de la littérature sur l'association entre l'exposition aux COV dans les habitations et la fréquence de l'asthme. Ils visaient en particulier à comparer les résultats des études d'intervention et d'observation. Ils ont révisé 12 études publiées jusqu'en 2002 : 6 d'intervention, avec exposition contrôlée en laboratoire, dont 2 chez les travailleurs, et 6 études d'observation (3 cas-témoins, 3 descriptives). Les études chez les travailleurs démontrent une association significative entre l'exposition au formaldéhyde en milieu de travail et le développement de l'asthme chez les travailleurs. Il s'agit toutefois de niveaux d'exposition de beaucoup supérieurs à ceux rencontrés en milieu résidentiel. Les études d'intervention avec exposition de volontaires en laboratoire, à des concentrations retrouvées potentiellement en milieu résidentiel, n'ont pas montré d'association significative entre l'exposition aux COV et au formaldéhyde, et l'asthme. Soulignons cependant que deux de ces études ont montré une association avec l'exposition aux pyréthrinés de même qu'à certains parfums. Les études d'observation, quant à elles, ont montré une association significative entre l'exposition aux COV en milieu résidentiel et différents indicateurs de l'asthme chez les jeunes enfants. La mesure de l'exposition est variable selon les études. Elle est basée dans la majorité des études sur l'histoire de peinture récente ou de présence de matériaux susceptibles d'émettre des COV.

L'*Institute of Medicine* (IOM) (2000) a révisé les connaissances concernant les COV, le formaldéhyde et la santé. Le comité a révisé une vingtaine d'études et a conclu qu'en ce qui concerne les COV, la preuve était insuffisante pour démontrer un lien entre l'exposition aux COV, et l'exacerbation et le développement de l'asthme. En ce qui concerne l'exposition au formaldéhyde, le comité a conclu que les résultats des études suggéraient un lien avec l'exacerbation de l'asthme chez les personnes susceptibles.

Le tableau 3-4a présente un résumé des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé des occupants, par le biais des études concernant les composés organiques volatils et leurs effets sur la santé respiratoire.

Tableau 3-4a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les composés organiques volatils (COV) et la santé respiratoire

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS COV – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Pappas <i>et al</i> , 2000	Étude d'intervention (I)	États-Unis. Adultes normaux sans hyperréactivité bronchique.	Essai clinique randomisé de type <i>cross-over</i> . Exposition contrôlée d'une durée de 4 hres, en chambre, à des concentrations de 25 mg/m ³ et 50 mg/m ³ d'un mélange de COV. Questionnaire symptômes. Tests de fonction respiratoire. Lavage nasal et bronchique.	Augmentation significative des symptômes respiratoires avec relation dose-effet. Diminution significative du débit expiratoire forcé (25-75) chez les sujets atopiques à la concentration de 50 mg/m ³ .	Pas de modification des paramètres biologiques.	Les chercheurs suggèrent que les sujets atopiques sont probablement plus sensibles. Ils concluent que l'on devrait réduire la concentration de COV en deçà de 25 mg/m ³ en milieu de travail.
Rumchev <i>et al</i> , 2004	Étude cas-témoins (II-1)	Perth (Australie). Enfants de 6 mois à 3 ans. Entre 1997 et 1999.	88 cas d'enfants traités au département d'urgence et libérés avec le diagnostic médical d'asthme. 104 témoins du même groupe d'âge identifiés par le département de santé, sans diagnostic d'asthme. Questionnaires respiratoire et environnemental. Mesure de 10 COV dans l'habitation durant l'été et l'hiver; allergènes d'acariens, température et humidité. <i>Prick test</i> .	Enfants déclarés asthmatiques à l'urgence exposés à des concentrations significativement plus élevées de COV. OR ajusté pour variables socio-économiques, par 10 µg/m ³ d'augmentation = 1,2 (IC 95% : 1,13-1,27).	Concentration médiane de COV totaux : 54,9 µg/m ³ . Peinture récente plus fréquente dans les cas que les contrôles (p < 0,05).	Résultats actuels confirment les résultats d'une étude sur le formaldéhyde publiée par les mêmes auteurs en 2002. Biais d'information et de sélection potentiels dans cette étude. La source des témoins est différente. Diagnostic d'asthme difficile chez les jeunes enfants. Mesure de l'exposition courte (4 heures). Biais possible relié à l'exposition à la peinture au domicile.

Tableau 3-4a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les composés organiques volatils (COV) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS COV – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Venn <i>et al</i> , 2003	Étude cas-témoins (II-1)	Nottingham (Angleterre). Enfants de 9 à 11 ans. Cas de sibilance persistante. 1998-1999.	Échantillon aléatoire de 860 enfants sélectionnés parmi les participants d'une étude antérieure sur la santé et la pollution automobile. 193 cas : sibilance persistante en 1995-96. 223 témoins : pas de sibilance. Visite de la demeure. Questionnaires; Cotinine salivaire; <i>Prick test</i> . Mesures environnementales : humidité, moisissures, NO ₂ , COV dans la chambre, formaldéhyde. Journal des symptômes, débit de pointe.	Augmentation du risque de sibilance persistante associé à l'humidité : OR par catégorie d'exposition : OR=1,32 (IC 95% : 1,00-1,75). Augmentation du risque de symptôme nocturnes associée à l'exposition à l'humidité avec le formaldéhyde : OR par quartile et catégorie d'exposition= 1,45 (IC 95% : 1,06-1,98), particulièrement chez les atopiques (OR= 1,97 (IC 95% : 1,10-3,53)	Aucune association de la fréquence de sibilance persistante avec l'exposition aux COV totaux, au NO ₂ et la cotinine.	Interaction entre l'humidité et le formaldéhyde sur la sibilance.
Rumchev <i>et al</i> , 2002	Étude cas-témoins (II-2)	Australie. Enfants de 6 mois à 3 ans.	88 cas d'asthme diagnostiqués à la sortie de l'hôpital. 104 témoins. Mesure de formaldéhyde, temp. et humidité relative à 2 occasions à l'hiver et l'été 1998-1999 : chambre et séjour. Questionnaire.	Relation positive entre augmentation de concentration de formaldéhyde et augmentation du risque d'asthme. Association significative au-dessus de 60 µg/m ³ (OR ajusté: 1,39; IC 95% n. d.)		

Tableau 3-4a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les composés organiques volatils (COV) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS COV – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Jaakkola <i>et al</i> , 1999	Étude cas-témoins (II-2)	Norvège. Enfants de 2 ans. Échantillon tiré d'une cohorte de nouveaux-nés.	253 cas d'obstruction bronchique; 253 témoins. Cas : au moins 2 épisodes d'obstruction bronchique documentés ou 1 épisode d'une durée de plus d'un mois. Visite des maisons avec évaluation semi-quantitative du chlorure de polyvinyl (PVC) et textiles (planchers et murs).	Chlorure de polyvinyl (PVC) : OR ajusté : 1,89; IC 95% : 1,14-3,14. Textiles : OR ajusté : 1,58; IC 95% : 0,98-2,54. Relation dose-effet entre index d'exposition et risque.		
Garrett <i>et al</i> , 1999	Étude cas-témoins (II-2)	Australie. Enfants de 7-14 ans. 80 maisons.	145 enfants : 57 asthmatiques; 88 témoins. Mesures formaldéhyde avec dosimètres passifs. Questionnaire respiratoire. <i>Prick test</i> .	Pas d'association significative avec atopie (OR : 1,40; IC 95% : 0,98-2,00) et symptômes respiratoires.	Formaldéhyde : conc. médiane = 12,6 ppb; max = 11 ppb.	
Norback <i>et al</i> , 1995	Étude cas-témoins (II-2)	Suède. 88 hommes de 20 à 45 ans tirés de l'Enquête européenne sur la santé respiratoire.	47 cas d'asthme; 41 témoins. Évaluation clinique. Mesures environnementales à la maison.	Association significative entre dyspnée nocturne et augmentation de 10 µg/m3 des concentrations de formaldéhyde (OR : 12,5; IC 95% : 2,0-77,9) et de COV.		
Jaakkola <i>et al</i> , 2000	Étude descriptive (II-3)	Finlande (Espoo). Enfants de 1 à 7 ans.	2 568 enfants. Questionnaire aux parents : santé et environnement. Variables : matériaux de plastiques dans chambre enfant, asthme, symptômes, activités, etc	Symptômes voies respiratoires inférieures/ matériaux plastiques : sibilances persistantes (OR : 3,42 ; IC 95% : 1,13-10,36), toux (OR : 2,41 ; IC 95% : 1,04-5,63) et expectorations (OR : 2,76 ; IC 95% : 1,03-7,41).		Mesure exposition basée sur questionnaire aux parents.

Tableau 3-4a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les composés organiques volatils (COV) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS COV – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Dales et Raizenne, 2004	Revue (III)	Travailleurs et occupants des habitations. Divers pays européens et américains.	Analyse critique des études d'intervention (6) et d'observation (6) portant sur l'association entre l'exposition aux COV et l'asthme. 2 études d'intervention chez les travailleurs.	<p>Études d'intervention : évidences scientifiques démontrant que le formaldéhyde peut provoquer le développement de l'asthme en milieu de travail. Pas d'évidence que le formaldéhyde et les COV connus puissent déclencher de l'asthme chez les occupants des habitations. Cependant, les pyréthrinés et certains parfums peuvent causer de l'asthme chez des personnes sensibles.</p> <p>Études d'observation : Association positive significative entre l'exposition aux COV en milieu résidentiel et les indicateurs de l'asthme chez les jeunes enfants.</p>	Capacité de la ventilation de diluer les concentrations de COV dans les habitations.	Résultats contradictoires des études d'observation (+) et d'intervention (-). Résultats différents en milieu de travail (+) et résidentiel (-) pour l'exposition au formaldéhyde. Facteurs explicatifs possibles : puissance des études, durée d'exposition, facteurs confondants.

Tableau 3-4a Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) des occupants : études concernant les composés organiques volatils (COV) et la santé respiratoire (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS COV – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
IOM, 2000	Revue (III)	Divers pays	Révision de 7 études concernant l'association entre l'exposition aux COV et l'asthme. Révision de 13 études concernant l'exposition au formaldéhyde et l'asthme.	Preuve insuffisante pour démontrer une association entre l'exposition aux COV et l'exacerbation de même que le développement de l'asthme. Preuve limitée ou suggestive d'une association avec l'exacerbation de l'asthme. Preuve insuffisante d'une association avec le développement de l'asthme.		La prudence requiert selon le comité, de réduire l'exposition aux COV dans les habitations dans la mesure du possible. Une stratégie basée sur la réduction à la source, la protection et la prévention, incluant la ventilation, est indiquée.

Le lien entre la ventilation et les contaminants chimiques dans les habitations

Nous avons analysé les études portant sur l'influence de la ventilation sur la concentration de COV à l'intérieur de l'habitation (tableau 3-4b).

◆ *Les études d'intervention : essais comparatifs randomisés (I) et non-randomisés (II-1)*

En 1993-94, dans le cadre du programme de recherche de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, Strikers Associates (1994) ont réalisé en collaboration avec Hydro-Québec une étude dans un échantillon de 30 maisons de Trois-Rivières. L'objectif principal de l'étude était d'évaluer la corrélation entre l'étanchéité (CA/H₅₀)²² du bâtiment et la ventilation naturelle (CA/H). Les objectifs secondaires étaient d'investiguer les effets de la ventilation sur la qualité de l'air et les impacts des habitudes des occupants. La répartition des maisons sélectionnées selon le niveau d'étanchéité correspondait à celle retrouvée au Québec dans le cadre d'un programme nommé Éval-Iso. Les mesures suivantes ont été faites dans les 30 maisons pendant une semaine : taux de renouvellement d'air à l'aide d'un gaz traceur, particules respirables < 2 µm, COV totaux, formaldéhyde, CO₂ et vapeur d'eau. Les mesures suivantes ont été faites en continu dans 8 de ces 30 maisons pendant un an : CO₂, température, pression barométrique, humidité à l'intérieur et à l'extérieur. Les débits de source ont été calculés pour chacun des contaminants. Les variables suivantes ont été contrôlées en ce qui concerne le comportement des occupants : consommation de tabac, ouverture des fenêtres, taux d'occupation, utilisation des ventilateurs d'extraction et de la sècheuse à linge, consommation de bois à foyer et/ou à poêle et nombre de chandelles brûlées. Différents types de ventilation ont été évalués dans ces 8 maisons : turbine, ventilateur d'extraction, ventilateur de recirculation et ventilateur d'extraction avec échange d'air. Les concentrations de contaminants mesurées ont été comparées aux valeurs recommandées par Santé Canada pour les expositions à court terme (ASTER) et à long terme (ALTER). Les résultats ont été comparés à ceux recueillis dans 62 maisons en Ontario. Les taux de ventilation naturelle variaient de 0,08 rah à 0,58 rah (moy. : 0,23 CA/H). L'indice d'étanchéité variait de 1,72 CA/H₅₀ à 11,35 CA/H₅₀ (moy. : 4,77 CA/H₅₀). Les chercheurs ont observé que les débits de source moyens de formaldéhyde et de particules étaient environ 2 fois plus élevés en Ontario mais qu'en général les concentrations moyennes mesurées dans les maisons du Québec étaient plus élevées qu'en Ontario. Des différences au niveau du climat, de l'étanchéité et du volume des maisons pourraient expliquer de tels résultats. Les chercheurs ont calculé les débits de renouvellement d'air minimaux (l/s) pour rencontrer dans chacune des maisons les valeurs-limites recommandées par Santé Canada (1989). Pour le CO₂, ils ont utilisé la valeur de 1000 ppm recommandée par ASHRAE comme valeur-limite au lieu de 3 500 ppm. Les débits minimaux calculés variaient de 4,2 l/s pour le radon à 72,2 l/s pour le CO₂ (1000 ppm). Les chercheurs ont comparé les débits d'air mesurés dans les 30 maisons pendant une semaine à ceux nécessaires pour rencontrer les directives de Santé Canada et ASHRAE pour le CO₂. Quatre-vingt pour cent (80 %) des maisons où les mesures ont été prises pendant le mois de décembre avaient une ventilation naturelle insuffisante. Le pourcentage était de 55 % pour les maisons évaluées pendant les mois de janvier et février, ce qui indique une amélioration de la ventilation naturelle pendant la saison froide. Les chercheurs soulignent que les maisons peu étanches peuvent avoir en général un taux de ventilation naturelle plus élevé que nécessaire pour maintenir une qualité de l'air intérieur acceptable. Toutefois, dans certaines circonstances, la ventilation peut devenir insuffisante.

²² CA/H₅₀ : changement d'air à l'heure à 50 pascals.

◆ *Les études descriptives (II-3)*

Au Canada, une étude a été réalisée par Gilbert *et al* (2006) dans 96 résidences unifamiliales de la ville de Québec. Les objectifs étaient de déterminer les concentrations de NO₂ et de formaldéhyde à l'intérieur en fonction des caractéristiques des habitations et d'identifier les facteurs associés avec des concentrations élevées de ces contaminants. La collecte des données a été réalisée à l'aide d'un questionnaire et de mesures environnementales entre janvier et avril 2005. La moitié des résidences avaient un taux d'échange d'air inférieur à 7,5 L/s/p. Les concentrations de NO₂ et de formaldéhyde variaient de 3,3 à 29,1 µg/m³ et de 9,6 à 90,0 µg/m³ respectivement. Les concentrations de NO₂ étaient associées de façon positive avec le taux d'échange d'air, indiquant l'apport d'une source extérieure, alors que les concentrations de formaldéhyde étaient associées de façon négative. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que les concentrations de formaldéhyde retrouvées dans les résidences sont dues principalement aux émissions des matériaux et du mobilier, et que l'augmentation du taux d'échange d'air peut réduire ces concentrations.

Gilbert *et al* (2005) ont réalisé une étude transversale dans 60 maisons de l'Île-du-Prince-Édouard pour déterminer les concentrations d'aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde et acroléine) dans l'air durant l'hiver 2002. Des questionnaires santé et environnementaux ont été administrés aux occupants et des mesures de ces substances ont été faites à l'aide de dosimètres passifs pendant une période de 24 heures. La température, l'humidité relative et absolue, et le CO₂ ont été mesurés. Les résultats des concentrations mesurées sont les suivants : formaldéhyde : 5,5-87,5 µg/m³ (moy. géom. : 33,2 µg/m³); acétaldéhyde : 4,4-78,1 µg/m³ (moy. géom. : 20,2 µg/m³); acroléine : 0,1-4,9 µg/m³ (moy. géom. : 1,0 µg/m³). L'humidité absolue variait de 3,08 à 7,46 g/m³ (moy. géom. : 4,8 g/m³); la température de 16,3 à 26,1 °C (moy. géom. : 21,2 °C). Les chercheurs ont trouvé une association significative de la concentration de formaldéhyde avec la température et l'humidité de même qu'une association significative de la concentration d'acroléine avec la concentration de CO₂ et l'humidité. L'humidité et le CO₂ représentent des indicateurs du taux de ventilation. Les résultats suggèrent donc une association entre la diminution du taux de renouvellement de l'air dans la maison et l'augmentation des concentrations d'aldéhydes.

Le ministère de l'environnement de la Grande-Bretagne a effectué une enquête dans un échantillon représentatif de 876 habitations en 1998-1999 (Raw *et al*, 2004). Un questionnaire a été administré par un enquêteur sur place concernant les caractéristiques de l'habitation. Les substances chimiques suivantes ont été mesurées : monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, formaldéhyde, composés organiques volatils. Le débit d'air n'a pas été mesuré. La température, l'humidité et les contaminants biologiques ne sont pas présentés. Les concentrations de contaminants étaient en général faibles et respectaient les valeurs-limites recommandées. Les chercheurs concluent que l'influence des sources à l'intérieur des habitations est déterminante pour expliquer les variations, notamment selon les saisons. D'après eux, la ventilation n'apparaît pas comme le premier facteur à considérer dans une stratégie de prévention de l'exposition aux contaminants chimiques. C'est davantage la réduction à la source.

◆ *Les revues (III)*

Sherman et Hodgson (2004), deux chercheurs du Laboratoire Lawrence Berkeley, en Californie, ont examiné l'utilisation du formaldéhyde pour déterminer le niveau de ventilation souhaitable dans les maisons neuves. Se basant sur les concentrations et les taux d'émission de formaldéhyde mesurés dans ce type de maison, de même que sur les valeurs-limites de formaldéhyde recommandées actuellement par l'EPA, Santé Canada et le Département de la santé de la Californie, ces derniers proposent deux valeurs à rencontrer : une valeur-plafond de 100 ppb pour prévenir chez la plupart des occupants les symptômes aigus d'irritation des yeux et de la gorge de même que d'allergie, et une valeur-cible de 50 ppb pour prévenir les effets chroniques et le risque de cancer. Les chercheurs ont déterminé deux taux de ventilation pour rencontrer ces valeurs-limites dans les maisons : un taux minimal de 0,68 m³/m²/h, qui correspond pour une maison nord-américaine-type, à 0,28 rah, et un taux recommandé de 1,06 m³/m²/h, qui correspond à 0,5 rah. Sur le plan statistique, le taux de ventilation minimal (0,28 rah) garantirait la non exposition de 99 % des occupants à une concentration moyenne de formaldéhyde supérieure à 100 ppb. Le taux recommandé (0,5 rah) garantirait, quant à lui, la non exposition de 90 % des occupants de maisons neuves à une concentration moyenne supérieure à 50 ppb. Puisque les valeurs-limites sont en deçà du seuil d'odeur, les chercheurs recommandent que des systèmes de ventilation mécaniques passifs soient utilisés pour s'assurer que le taux de ventilation soit suffisant en tout temps.

Le groupe de travail de l'*Institute of Medicine (IOM)* (2000) a révisé les différentes études portant sur l'influence des taux de ventilation sur les concentrations de polluants à l'intérieur. Selon le groupe de travail, la ventilation d'une habitation peut influencer de façon directe les concentrations de contaminants provenant de l'intérieur en augmentant le taux d'extraction vers l'extérieur et la dilution de ces contaminants. La ventilation peut avoir un impact indirect par le biais du changement du niveau d'humidité dans l'habitation. Le niveau d'humidité influence les concentrations des contaminants biologiques à l'intérieur : acariens, moisissures, et autres. Après avoir révisé les résultats des différentes études portant sur la ventilation réalisées aux États-Unis, le groupe de travail conclut que ni les études transversales ni les études expérimentales ne permettent de déterminer de façon certaine l'influence des taux de ventilation sur les concentrations de polluants intérieurs.

Le tableau 3-4b présente un résumé des études portant sur le lien indirect entre la ventilation et la santé respiratoire des occupants, par le biais des études concernant la ventilation et les composés organiques volatils.

Tableau 3-4b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les composés organiques volatils (COV)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – C	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Strickers Associates, 1994	Étude d'intervention (II-1)	Trois-Rivières. 30 maisons, ventilation naturelle.	1993-1994. Mesures pendant 1 semaine : particules < 2 µm, COV, formaldéhyde, vapeur d'eau. Taux de ventilation mesuré avec gaz traçeur. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle. Mesures en continu pendant 1 an dans 8 maisons : CO ₂ , T°, pression barométrique, humidité. Comportements des occupants.	Débits (l/s) de renouvellement d'air minimaux pour rencontrer les critères de Santé Canada pour le CO ₂ (1000 ppm) : 72,2 l/s; pour le radon : 4,2 l/s.	En décembre, 80% des maisons avaient une ventilation naturelle insuffisante, comparativement à 55% en janvier-février.	Les maisons peu étanches ont en général un taux de ventilation naturelle suffisant pour rencontrer les critères.

Tableau 3-4b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les composés organiques volatils (COV) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – C	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Gilbert <i>et al</i> , 2006	Étude descriptive (II-3)	Canada – Ville de Québec. 96 résidences unifamiliales.	Échantillon sélectionné à partir de 418 résidences. Propriétaires-occupants. Questionnaire concernant les caractéristiques de l'habitation : type, âge, dimensions, systèmes de chauffage et de cuisson, autres équipements, travaux de peintures, achat récent de mobilier, tabac à l'intérieur. Échantillonnage dans la salle de séjour du NO ₂ (dosimètre passif Ogawa - 7 jours), du formaldéhyde (dosimètre passif Umex - 24 heures), de l'humidité relative et de la température (ACR systems – 7 jours), du taux d'échange d'air (perfluorocarbone). Collecte des données entre janvier et avril 2005.	Taux d'échange d'air : 0,1- 0,6 rah; 2,8 – 27,1 L/s/personne; 49/96 résidences < 7,5 L/s/p. Humidité : 16 % – 45 %. Concentrations formaldéhyde : 9,6 – 90 µg/m ³ (moy géom. = 29,5 µg/m ³); 11/96 résidences > 50 µg/m ³ . Conc. NO ₂ corrélée négativement avec conc. formaldéhyde. Conc. NO ₂ corrélée positivement avec rah. Conc. formaldéhyde corrélée positivement avec humidité; Conc. formaldéhyde corrélée négativement avec rah.	Analyses de régression multiple : association positive entre concentration de formaldéhyde et chauffage électrique, nouveau mobilier en bois et travaux récents de peinture et de vernissage ; association négative entre concentration de formaldéhyde et taux d'échange d'air.	L'association négative entre le formaldéhyde et le taux d'échange d'air confirme la contribution importante des sources intérieures.

Tableau 3-4b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les composés organiques volatils (COV) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – C	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Gilbert <i>et al</i> , 2005	Étude descriptive (II-3)	Canada 59 maisons de l'Île-du-Prince-Édouard. Hiver 2002.	Étude transversale au temps 0 d'une cohorte de nouveau-nés pour évaluer les associations des problèmes respiratoires avec l'environnement intérieur. Questionnaires environnement et santé. Inspection par techniciens. Mesures des aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde et acroléine) avec dosimètres passifs pendant + de 24 heures. Mesure de l'humidité absolue, de la température, taux de ventilation (CO ₂).	Formaldéhyde : 5,5-87,5 µg/m ³ (moy. g. : 33,2 µg/m ³). Acétaldéhyde : 4,4-78,1 µg/m ³ (moy. g. : 20,2 µg/m ³). Acroléine : 0,1-4,9 µg/m ³ (moy. g. : 1,0 µg/m ³). Humidité absolue: 3,08-7,46 g/m ³ (moy. g. : 4,8 g/m ³). Temp. : 16,3-26,1 °C (moy. g. : 21,2 °C). Association significative de conc. de formaldéhyde avec temp. et humidité. Association significative de conc. d'acroléine avec conc. de CO ₂ et humidité.	20% des maisons avec conc. de formaldéhyde supérieures à la valeur-cible à long terme de 60 µg/m ³ .	Les concentrations de CO ₂ et l'humidité sont des indicateurs du taux de ventilation (<i>surrogate</i> ou <i>proxy</i>), ce qui suggère une association significative des taux d'aldéhydes avec le renouvellement de l'air.
Raw <i>et al</i> , 2004	Étude descriptive (II-3)	Grande-Bretagne. 876 habitations.	Questionnaire par un enquêteur sur les caractéristiques de l'habitation. Mesure de composés chimiques dans l'air : COV, CO, NO ₂ , formaldéhyde. Taux de ventilation (CO ₂). Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	La ventilation n'apparaît pas comme un facteur déterminant.	Concentrations faibles.	Débit d'air non mesuré. Pas de mesure des contaminants biologiques, de la T ⁰ et de l'humidité.

Tableau 3-4b Études portant sur le lien indirect entre la ventilation (V) et la santé (S) respiratoire des occupants : études concernant la ventilation et les composés organiques volatils (COV) (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – C	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Sherman et Hodgson, 2004	Revue (III)	Laboratoire Lawrence Berkeley. Maison neuve nord-américaine type.	Modélisation en laboratoire des émissions et des concentrations de formaldéhyde dans l'air d'une maison unifamiliale type. Estimation des concentrations retrouvées dans l'air en fonction des taux de ventilation. Utilisation des valeurs-guides de l'EPA, de Santé Canada et du Département de la santé de la Californie.	Valeur-plafond (100 ppb) : taux minimal requis = $0,68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ (équivalent à 0,28 rah). Valeur-cible (50 ppb) : taux minimal requis = $1,06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ (0,5 rah)	0,28 rah = 99% des occupants exposés à < 100 ppb. 0,5 rah = 90% des occupants exposés à < 50 ppb.	Les chercheurs soulignent que pour atteindre les valeurs-guides de formaldéhyde, le taux minimal de ventilation mécanique ne doit pas être sous le contrôle des occupants.
IOM, 2000	Revue (III)	États-Unis. Plusieurs études.	Analyse critique des études. Critères de Bradford Hill.	Si augmentation de la ventilation : -augmentation faible mais significative des particules (Ozkaynak <i>et al</i> , 1996); -diminution de la formaldéhyde dans les maisons (Turk <i>et al</i> , 1987; Offermann <i>et al</i> , 1982); -diminution des particules dans les écoles (Turk <i>et al</i> , 1997); -diminution du formaldéhyde et des COV dans les édifices à bureaux (Menziez <i>et al</i> , 1993).	Modèle mathématique pour estimer l'impact du taux de ventilation : -grosses particules : peu d'impact; -petites particules : impact majeur; -gaz : impact modéré.	Le comité est d'avis que les études ne permettent pas de déterminer de façon concluante l'effet de la ventilation sur les contaminants chimiques. Le comité est d'avis que la preuve est actuellement insuffisante pour conclure à un lien direct; toutefois, suggestions théoriques et empiriques.

ANNEXE 4

**RÉSUMÉS DES ÉTUDES DANS LES BÂTIMENTS
PUBLICS ET LES ÉDIFICES À BUREAUX**

ANNEXE 4 – RÉSUMÉS DES ÉTUDES DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS ET LES ÉDIFICES À BUREAUX

Les études d'intervention : essais comparatifs randomisés (I) et non-randomisés (II-1)

Au Danemark, Wargocki *et al* (2000) ont réalisé une étude expérimentale dans un édifice à bureaux pour évaluer l'effet d'une augmentation du taux de ventilation sur la perception de la QAI, les symptômes et la productivité. Trente travailleuses ont été sélectionnées et affectées à un bureau de 36 m² pour effectuer des tâches habituelles. Les travailleuses ont été exposées de façon aléatoire, l'après-midi pendant cinq heures, à trois taux de ventilation différents : 3, 10 et 30 l/s/p, ce qui correspondait à 0,6, 2 et 6 rah. Un questionnaire a été administré pour mesurer la perception de la QAI et les symptômes. Des mesures objectives de la performance ont été faites. Les chercheurs ont mis en évidence une association significative entre la diminution de l'insatisfaction de la QAI, de l'intensité des odeurs, de la sensation de sécheresse de la bouche et de la gorge, et de la difficulté de concentration, et l'augmentation du taux de ventilation. Les travailleuses ressentaient une plus grande fraîcheur de l'air et se sentaient en général mieux. Leur performance pour effectuer les tâches mesurées augmentait en moyenne de 1,7 % à chaque fois que le taux de ventilation doublait.

Au Canada, Menzies *et al* (2003) ont réalisé une étude expérimentale dans trois édifices à bureaux de Montréal, pour évaluer si l'irradiation par les rayons UV de certaines parties des systèmes de ventilation avec conditionnement de l'air contenant de l'eau, réduisait le niveau de contamination par des microorganismes et la fréquence des symptômes chez les travailleurs. Il s'agissait d'une étude à double insu de type « case-crossover ». L'étude était étalée sur 48 semaines consécutives. Le système d'irradiation était inactif pendant une période de 12 semaines suivie d'une période d'irradiation de 4 semaines. Un questionnaire concernant les symptômes a été administré. Les endotoxines et les bactéries ont été mesurées dans l'air et sur les surfaces à six reprises. Les résultats montrent que l'irradiation est associée à une diminution de 99 % des concentrations de microorganismes et d'endotoxines sur les surfaces internes du système de ventilation. Chez les travailleurs, les chercheurs ont trouvé une diminution significative des symptômes liés au travail (OR=0,8; IC 95%=0,7-0,99), des symptômes respiratoires (OR=0,6; IC 95%=0,4-0,9) et des symptômes au niveau des muqueuses (OR=0,6; IC 95%=0,6-0,9). La diminution des symptômes au niveau des muqueuses était plus grande chez les travailleurs atopiques et chez ceux qui n'avaient jamais fumé. Chez ces derniers, la diminution des symptômes respiratoires liés au travail et des symptômes musculosquelettiques était aussi plus grande. Selon les chercheurs, la diminution des symptômes serait vraisemblablement attribuable à la réduction des divers contaminants biologiques habituellement retrouvés dans les systèmes de ventilation.

Smedje et Norbäck (2000) ont réalisé une étude d'intervention dans 57 écoles primaires et secondaires de Suède de 1993 à 1995. Cent-une (101) classes ont été sélectionnées au hasard. Cette étude visait à évaluer les effets de l'ajout d'un nouveau système de ventilation sur la QAI et sur les symptômes respiratoires des élèves. Différentes mesures environnementales ont été faites dans les écoles au début de l'hiver. Les symptômes ont été recueillis à l'aide du questionnaire standardisé de l'Enquête européenne sur la santé respiratoire (*European Community Respiratory Health Survey*). Un total de 2 034 élèves de 1^{ère}, 4^e et 7^e années ont été invités à participer à l'étude. En 1995, le questionnaire a été administré à 1 476 de ces élèves qui étaient restés dans la même école depuis 1993. Un nouveau

système de ventilation a été installé dans sept écoles qui ne rencontraient pas la norme de 0,5 rah (mesurée par gaz traceur). Une réévaluation des mêmes paramètres a donc été faite après deux ans. Les chercheurs ont observé une augmentation significative du rah et du débit d'air par personne par seconde. Ils ont aussi observé une diminution significative de l'humidité et des concentrations de COV, de formaldéhyde, de particules respirables et de moisissures dans l'air. La prévalence des symptômes d'asthme a augmenté de façon significative chez les élèves entre 1993 et 1995. Toutefois, les chercheurs ont observé une diminution significative de l'incidence des symptômes d'asthme chez les 143 élèves provenant d'écoles possédant un nouveau système de ventilation en comparaison avec les 1 333 élèves provenant des écoles contrôles. Les résultats de cette étude indiquent que l'ajout du système de ventilation a eu un impact positif sur la QAI et les symptômes d'asthme.

Les études descriptives (II-3)

Nafstad *et al* (2004) ont réalisé une étude descriptive dans 175 garderies, à Oslo, en Norvège, auprès de 942 enfants de 3 à 5 ans. Cette étude visait à évaluer le lien entre la symptomatologie respiratoire des enfants et les caractéristiques du bâtiment. Un questionnaire respiratoire et environnemental a été complété de même qu'une grille d'évaluation du bâtiment à la suite d'une visite des lieux par un ingénieur. Les chercheurs n'ont trouvé aucune association entre la fréquence des symptômes et le type de ventilation. Toutefois, ils ont observé un excès d'humidité dans 51 % des garderies. Cet excès était associé avec le type de ventilation. L'humidité excessive était deux fois moins fréquente dans les garderies où il y avait un système de ventilation mécanique.

Des chercheurs ont analysé les absences-maladies de 3 720 travailleurs d'une grande entreprise du Massachusetts, localisés dans 115 locaux répartis dans 40 bâtiments distincts (Milton *et al*, 2000). Les chercheurs ont mesuré le taux de ventilation classé en 2 catégories : modéré (25 cfm ou 12 l/s/p) et élevé (50 cfm ou 24 l/s/p). Les auteurs ont trouvé une association significative entre un faible taux de ventilation et une augmentation des absences-maladies. Chez les travailleurs de bureau, le risque relatif était de 1,52 (IC 95% : 1,22-1,92) avec un faible taux de ventilation.

Mendell *et al* (1996) ont réalisé une étude transversale dans 12 édifices à bureaux de la Californie, dont 3 étaient ventilés naturellement, 3 avaient un système de ventilation mécanique (sans air conditionné) et 6 avaient en plus un système d'air conditionné. Un questionnaire sur les symptômes a été administré à 880 travailleurs. Les chercheurs ont trouvé un excès significatif de symptômes chez les travailleurs des édifices avec ventilation mécanique et air conditionné. Le risque de problèmes cutanés (peau sèche et démangeaison) était plus élevé dans les édifices avec ventilation mécanique et air conditionné (OR : 6,0; IC 95 % : 1,7-21,0). Le risque de problèmes des voies respiratoires inférieures était plus élevé avec la ventilation mécanique (OR : 2,9 : IC 95 % : 0,7-11,0) et avec l'air conditionné (OR : 4,0; IC 95 % : 1,1-15,0). L'hypothèse avancée par les chercheurs pour expliquer cette différence était la dissémination de contaminants, principalement biologiques, par les conduits du système.

Les revues (III)

Une révision de la littérature scientifique a été réalisée pour déterminer si les problèmes de qualité de l'air et différentes caractéristiques des écoles étaient associés à la performance des élèves (Mendell et

Heath, 2005). Les auteurs concluent que les résultats des études suggèrent qu'un taux de ventilation plus faible des écoles est associé à une diminution de la performance académique des étudiants. Les résultats ne permettent pas d'affirmer que ce taux soit associé à l'absentéisme chez les travailleurs.

Seppänen et Fisk (2004) ont révisé les résultats des études scientifiques concernant les effets sur la santé (maladies infectieuses, syndrome de l'édifice hermétique, productivité, perception, allergies et asthme) de la ventilation dans les milieux de travail non-industriels et les habitations.

Les auteurs font les constats suivants :

- Dans les édifices, l'augmentation du taux de ventilation diminue le risque de maladies infectieuses des voies respiratoires et d'absences-maladies chez les travailleurs;
- L'augmentation du taux de ventilation jusqu'à 10 l/s/p diminue de façon significative l'incidence des symptômes chez les occupants et améliore la perception de la qualité de l'air. L'augmentation du taux jusqu'à 20 l/s/p réduit l'incidence encore davantage mais de façon moins significative;
- L'augmentation de la ventilation augmente de façon significative la productivité et améliore la perception de la qualité de l'air chez les travailleurs;
- En comparaison avec la ventilation naturelle, le conditionnement de l'air, avec ou sans humidification, est associé à une fréquence accrue de symptômes;
- Dans les habitations des pays nordiques, un taux de renouvellement d'air inférieur à 0,5 rah augmente le risque de problèmes de santé respiratoires chez les occupants.

Daisey *et al* (2003) ont révisé la littérature scientifique sur la ventilation, les contaminants et les symptômes reliés à la qualité de l'air dans les écoles. Plus de 300 articles publiés jusqu'en 1999 ont été révisés. Pour ce qui est de la ventilation, les auteurs ont comparé les résultats des études à la norme ASHRAE 62-1999 qui recommande un débit de 8 l/s/p (15 cfm/p), ce qui équivaut à un peu plus de 0,3 rah. Les résultats montrent que le débit varie beaucoup et que plusieurs écoles ne rencontrent pas la norme de l'ASHRAE. Il en va de même pour les concentrations de CO₂ dont la recommandation de 1 000 ppm est dépassée assez fréquemment. Pour ce qui est des COV totaux, les résultats varient beaucoup et peuvent dépasser 1 à 2 mg/m³, ce qui indique la présence de sources importantes et un taux de ventilation faible. Des concentrations de formaldéhyde nettement supérieures au critère de 0,05 ppm ont été trouvées dans des classes mobiles, concentrations suffisantes pour occasionner des symptômes d'irritation de la peau et des muqueuses. Les concentrations d'allergènes retrouvées dans certaines écoles étaient suffisantes pour occasionner des problèmes d'allergie. Peu d'études ont porté sur les effets de la QAI sur la santé, en rapport avec la ventilation. Deux études, rapportées par Daisey et coll. (Myhrvold *et al*, 1996 et Potting *et al*, 1987), dont les résultats sont l'objet de résumés de communication à l'International Society for Indoor Air Quality (ISIAQ), suggèrent un lien entre les concentrations de CO₂ et certains symptômes d'irritation et de fatigue. Compte tenu des limites méthodologiques de ces études, les auteurs réfèrent à la revue réalisée par Seppänen et coll. en 1999 sur le même sujet.

Seppänen et Fisk (2002) ont fait une revue critique des études portant sur l'association entre le type de système de ventilation dans les édifices à bureaux et la fréquence des symptômes du syndrome de l'édifice hermétique (« sick building syndrome »). Les systèmes étudiés sont des systèmes intégrés de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air ou CVCA (« Heating, ventilating, air-

conditioning system »). Le conditionnement correspond au refroidissement et à la déshumidification de l'air; certains systèmes peuvent aussi humidifier l'air au besoin. Douze études ont été retenues dans l'analyse; onze ont été réalisées en Europe du Nord et une aux États-Unis. Ces études regroupent 467 édifices et 24 000 travailleurs. En comparaison avec la ventilation naturelle, la présence d'un système d'air conditionné, avec ou sans humidification, était associée avec une augmentation significative des symptômes, qui variait de 30 % à 200 %. Certaines études ont mis en évidence une augmentation significative des symptômes dans les édifices avec air conditionné en comparaison avec les édifices avec système de ventilation mécanique seul (sans conditionnement de l'air). Les résultats suggèrent aussi une association entre la ventilation mécanique et l'augmentation des symptômes en comparaison avec la ventilation naturelle. Bien que tous les facteurs confondants n'aient pas été totalement contrôlés dans ces études, les auteurs concluent que l'augmentation retrouvée ne peut être expliquée par le hasard. Ils avancent sept hypothèses : émission de polluants par le système lui-même, polluants introduits de l'extérieur, taux de renouvellement d'air plus faible dans le système mécanique, recirculation de polluants, effet psychologique relié à la fermeture des fenêtres, effets psychologiques reliés à la connaissance (biais d'information) et plus grande vélocité de l'air. Les auteurs indiquent que la première hypothèse, soit l'émission de polluants par le système mécanique, leur semble plus probable.

Un groupe scientifique multidisciplinaire européen (European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting – EUROVEN) a tenu une réunion de consensus portant sur l'effet de la ventilation, naturelle ou mécanique, avec ou sans conditionnement de l'air, sur les symptômes chez les travailleurs des milieux non industriels (Wargocki *et al*, 2002a). Le groupe a fait une revue critique de la littérature. D'une liste de 250 articles scientifiques, ils ont tiré 105 articles pertinents qui ont été révisés au niveau de la méthode et du contenu. Les auteurs ont retenu 30 articles considérés comme concluants en rapport avec la question de recherche. Ces dernières comprenaient 9 études réalisées aux États-Unis, 21 en Europe dont 17 dans les pays nordiques. Ces études ont été réalisées dans plus de 1 000 édifices (édifices à bureaux, écoles, prisons, résidences pour personnes âgées, maisons) et concernaient 65 000 occupants. La plupart de ces études ont été réalisées pendant l'hiver. Les résultats de celles-ci indiquent que l'augmentation du taux de ventilation améliore la perception de la qualité de l'air chez les occupants, diminue la fréquence et la sévérité des symptômes du syndrome de l'édifice hermétique, réduit le taux d'absentéisme et améliore la productivité au travail. Seulement deux études se sont révélées négatives, dont celle de Menzies *et al*, 1993. Neuf (9) des 30 études suggèrent que le risque de syndrome de l'édifice hermétique est plus élevé dans les édifices où l'air est conditionné en comparaison avec les édifices avec ventilation naturelle ou mécanique. Les auteurs soulignent qu'un taux de ventilation inférieur à 25 l/s/p augmente le risque de syndrome de l'édifice hermétique et de réduction de la productivité. De plus, les auteurs concluent que dans les maisons des pays nordiques, un taux de renouvellement d'air inférieur à 0,5 rah augmente la prolifération des acariens. D'après les auteurs, la ventilation insuffisante des maisons peut être un facteur qui augmente le risque d'allergie. Le taux de 25 l/s/p est beaucoup plus élevé que celui de 10 l/s/p proposé dans les revues de littérature précédentes et supérieur aux recommandations des organismes de réglementation comme l'ASHRAE, par exemple. Ils attribuent les résultats des études expérimentales comme celle de Menzies et coll. à une augmentation insuffisante du taux de ventilation pour être en mesure d'observer des effets. Soulignons que Menzies et Bourbeau (1998), à la suite d'une revue des connaissances scientifiques concernant les problèmes de santé au travail dans les édifices à bureaux, en sont arrivés eux aussi à la conclusion qu'il était plus prudent de maintenir le débit d'air au-dessus de 10 l/s/p. Les auteurs

rappellent que les résultats des études indiquent qu'un entretien inadéquat du système contribue lui aussi à une augmentation du risque de syndrome de l'édifice hermétique.

Seppänen *et al* (1999) ont analysé 21 études réalisées dans plus de 350 édifices (à bureaux pour la plupart), et chez plus de 30 000 travailleurs. Les variables suivantes ont été mesurées : taux de ventilation, concentrations de CO₂ et symptômes du syndrome de l'édifice hermétique. Les limites des études ont été identifiées en rapport avec les facteurs confondants : impact possible de la fermeture des fenêtres sur le taux de ventilation, type de système de ventilation, système d'humidification, tapis et surfaces de textile, température, humidité et âge de l'édifice. L'absence de standardisation de la méthode de mesure du taux de ventilation est aussi soulignée. Les auteurs concluent que presque toutes les études ont mis en évidence une augmentation significative de la fréquence des symptômes lorsque le taux de ventilation est inférieur à 10 l/s/p. Les chercheurs ont mis en évidence une relation dose/effet jusqu'à 20 l/s/p entre le taux de ventilation et la fréquence des symptômes de même que la perception d'une bonne qualité de l'air.

Mendell *et al* (1993) ont révisé 32 études réalisées entre 1984 et 1992. La prévalence plus élevée des symptômes était associée de façon significative avec le conditionnement de l'air, le stress et les problèmes d'allergie et d'asthme. Un taux de ventilation inférieur à 10 l/s/p était associé de façon significative avec une fréquence plus élevée de symptômes.

Le tableau 4-1 présente un résumé des études portant sur le lien direct entre la ventilation des bâtiments publics des édifices à bureaux et la santé des occupants.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Wargocki <i>et al</i> , 2000	Étude d'intervention (I)	Danemark. 30 travailleuses dans 1 bureau.	Exposition aléatoire pendant 5 heures à 3 taux de ventilation (0,6, 2 et 6 rah). Questionnaire symptômes et perception de la QAI. Mesure objective de la performance.	Association significative entre augmentation rah et diminution de l'insatisfaction à la QAI, de la sécheresse de la bouche et de la gorge et de la difficulté de concentration. Association significative avec augmentation de la performance.		Édifice à bureaux. Bureau expérimental.
Menzies <i>et al</i> , 2003	Étude d'intervention (II-1)	Canada. 3 édifices à bureaux. Travailleurs.	<i>Case-crossover</i> . Double-insu. Irradiation du système de ventilation (eau stagnante). Questionnaire symptômes respiratoires. Mesures environnement.	Diminution significative de la fréquence des symptômes respiratoires, plus grande chez travailleurs atopiques et non-fumeurs.	Association significative entre irradiation et diminution de 99% des microorganismes et endotoxines sur les surfaces internes.	Édifices à bureaux. Effet vraisemblablement relié à la diminution des contaminants microbiologiques.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V-S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Smedje <i>et</i> Norbäck, 2000	Étude d'intervention (II-1)	Suède (Uppsala). 39 écoles. Échantillon aléatoire de 2 034 élèves de première année (615), 4 ^e année (657) et 7 ^e année (762). Âge moyen : 13 ans.	Évaluation de base en janvier-mai 1993 : questionnaire-santé respiratoire et évaluation environnementale des écoles (98 classes) : temp., humidité, CO ₂ , COV, moisissures, formaldéhyde, etc. Taux de ventilation mesuré avec gaz traqueur; Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle. Intervention : installation de nouveaux systèmes de ventilation mécanique dans les écoles qui ne respectaient pas la norme de 0,5 rah. Réévaluation au début de 1995 avec questionnaires et mesures environnementales. Comparaison avant-après. Comparaison incidence cumulative (2 ans) des symptômes chez 143 élèves provenant des écoles-interventions par rapport à 1 333 élèves-contrôles.	Augmentation significative de la prévalence des allergies et des symptômes d'asthme de 1993 à 1995. Diminution significative de l'incidence d'un (OR : 0,3; IC 95% : 0,1-0,8) ou plusieurs symptômes d'asthme (OR : 0,5; IC 95% : 0,2-0,97) chez les élèves provenant d'une école avec un nouveau système de ventilation par rapport aux contrôles.	Augmentation significative du taux de renouvellement d'air dans les écoles-interventions. Diminution significative de l'humidité, du formaldéhyde, des COV, des particules respirables et des moisissures totales dans l'air.	L'installation d'un nouveau système de ventilation est associée à une amélioration de la QAI et une réduction de l'incidence des symptômes d'asthme chez les élèves.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Nafstad <i>et al</i> , 2004	Étude descriptive (II-3)	Norvège (Oslo). 942 enfants de 3 à 5 ans, dans 175 garderies.	Visite par un ingénieur. Questionnaire et grille d'observation sur le bâtiment, incluant la ventilation. Questionnaire sur les symptômes respiratoires rempli par les parents. Questionnaire sur l'environnement et les comportements à la maison. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Pas d'association significative entre type de ventilation et fréquence des symptômes.	Humidité excessive dans 51% des garderies. Association significative entre le système de ventilation et la prévalence d'humidité excessive; presque 2 fois moins avec ventilation mécanique.	Puissance statistique limitée. Pas de mesure objective des contaminants.
Milton <i>et al</i> , 2000	Étude descriptive (II-3)	Massachusetts. 3 720 travailleurs de Polaroid.	Analyse des absences-maladies. Classification selon les taux de ventilation modéré (12 l/s/p) et élevé (24 l/s/p).	Association significative de l'augmentation des absences-maladies avec taux de ventilation plus faible. Travailleurs de bureaux : RR : 1,52; IC 95% : 1,22-1,92).		Milieu de travail diversifié. 115 locaux et 40 bâtiments distincts.
Mendell <i>et al</i> , 1996	Étude descriptive de prévalence (II-3)	Californie. 12 édifices à bureaux. 880 travailleurs.	3 édifices ventilés naturellement; 3 avec ventilation mécanique et 6 avec air conditionné. Questionnaire symptômes. Ventilation mécanique <i>versus</i> ventilation naturelle.	Excès significatif de symptômes dans édifices ventilés mécaniquement et avec air conditionné.		Édifices à bureaux. Hypothèse : dissémination de contaminants par les conduits.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Mendell et Heath, 2005	Revue (III)	Une trentaine d'études dont 9 écoles; effets mesurés chez les élèves. Plus d'une vingtaine d'études dans des édifices à bureaux et des laboratoires.	Analyse critique. Performance académique des élèves. Taux de ventilation dans les écoles.	Les auteurs suggèrent qu'un taux de ventilation plus faible est associé à une diminution de la performance des élèves. Aucune association avec absentéisme des adultes.		Écoles. Instruments de mesure non précisés.
Seppänen et Fisk, 2004	Revue (III)	12 études retenues : 11 en Europe du nord et 1 aux États-Unis. 467 édifices. 24 000 travailleurs.	Type de ventilation des édifices : naturelle vs CVCA. Fréquence SEH.	Association significative entre CVCA et SEH. Certaines études suggèrent une association entre ventilation mécanique seule et SEH.		Édifices à bureaux. Hypothèse principale : dissémination de contaminants.
Daisey <i>et al</i> , 2003	Revue (III)	Pays divers	Révision de 300 articles. Norme ASHRAE 62-1999 (8 l/s/p ou 0,35 rah).		Plusieurs écoles ne rencontrent pas la norme 1000 ppm de CO ₂ dépassé fréquemment. Concentrations de COV totaux et d'allergènes suffisantes pour causer respectivement des symptômes d'irritation et d'allergie.	Écoles. Peu d'études sur la ventilation et la santé.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Seppänen et Fisk, 2002	Revue (III)	Pays divers	Analyse critique de 12 études.	Association significative d'une diminution du risque de maladies infectieuses des voies respiratoires et des absences-maladies chez les travailleurs. Association significative avec augmentation de la productivité. Amélioration significative de la perception. Fréquence plus élevée de symptômes avec conditionnement de l'air.		Milieux de travail non-industriels. Habitations. Diminution significative modérée des symptômes jusqu'à 10 l/s/p et significative plus faible jusqu'à 20 l/s/p. D'après les auteurs, dans les pays nordiques, un taux de renouvellement d'air < à 0,5 rah augmente le risque de problèmes respiratoires chez les occupants.
Wargocki <i>et al.</i> , 2002a	Revue (III)	Projet EUROVEN. Études réalisées aux États-unis et en Europe, principalement dans les pays nordiques. 1000 édifices; 65 000 occupants.	Analyse critique de 105/250 articles; 30 articles considérés comme concluants. Fréquence du SEH. Type et taux de ventilation.	De façon significative, l'augmentation du taux de ventilation améliore la perception de la QAI, diminue la fréquence et la sévérité du SEH, réduit l'absentéisme et améliore la productivité.		Édifices à bureaux, écoles, habitations. Selon les auteurs, un taux de ventilation < à 25 l/s/p augmente le risque de SEH. Un taux < à 0,5 rah augmente l'infestation par les acariens dans les habitations en milieu nordique.
Seppänen <i>et al.</i> , 1999	Revue (III)	350 édifices; 30 000 travailleurs.	Analyse critique de 21 études. Mesures environnementales. Questionnaire symptômes SEH.	Toutes les études ont montré une augmentation significative des symptômes lorsque le taux de ventilation est < à 10 l/s/p. Relation dose/effet jusqu'à 20 l/s/p.		Édifices à bureaux. Absence de standardisation de la méthode de mesure du taux de ventilation. Quelques facteurs confondants moins bien contrôlés.

Tableau 4-1 Études portant sur le lien direct entre la ventilation (V) des bâtiments publics et édifices à bureaux et la santé (S) des occupants (suite)

AUTEURS	TYPE D'ÉTUDE	POPULATION	MÉTHODES	RÉSULTATS V – S	AUTRES RÉSULTATS	COMMENTAIRES
Mendell, 1993	Revue (III)	Travailleurs	Analyse critique de 32 études réalisées entre 1984 et 1992. Questionnaire symptômes. Mesure du taux de ventilation.	Association significative de la prévalence plus élevée des symptômes avec l'air conditionné, le stress et la présence d'allergies et d'asthme. Prévalence plus élevée si taux de ventilation < 10 l/s/p.		Édifices à bureaux

