

RAPPORT DE RECHERCHE



L'humidité dans les maisons à ossature de bois au Canada : Problèmes, recherche et pratiques de mise en oeuvre de 1975 à 1991



LA SCHL : AU CŒUR DE L'HABITATION

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est l'organisme national responsable de l'habitation au Canada, et ce, depuis plus de 60 ans.

En collaboration avec d'autres intervenants du secteur de l'habitation, elle contribue à faire en sorte que le système canadien de logement demeure l'un des meilleurs du monde. La SCHL aide les Canadiens à accéder à un large éventail de logements durables, abordables et de qualité, favorisant ainsi la création de collectivités et de villes dynamiques et saines partout au pays.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, veuillez consulter le site Web de la SCHL à l'adresse suivante :
www.schl.ca

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone, au 1-800-668-2642, ou par télécopieur, au 1-800-245-9274.

De l'extérieur du Canada : 613-748-2003 (téléphone);
613-748-2016 (télécopieur).

La Société canadienne d'hypothèques et de logement souscrit à la politique du gouvernement fédéral sur l'accès des personnes handicapées à l'information. Si vous désirez obtenir la présente publication sur des supports de substitution, composez le 1-800-668-2642.

**L'HUMIDITÉ DANS LES MAISONS À
OSSATURE DE BOIS AU CANADA :
PROBLÈMES, RECHERCHE ET PRATIQUES
DE MISE EN OEUVRE DE 1975 À 1991**

Rédigé pour :

LA DIVISION DE LA RECHERCHE
SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE
LOGEMENT
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Présenté par :

Morrison Hershfield Limited
Ingénieurs-conseils
1980, chemin Merivale
Nepean (Ontario)
K2G 1G4

Téléphone : (613) 727-9802
Télécopieur : (613) 727-8165

Date :

Le 1^{er} septembre 1992

Consultant principal :

Grant Wilson

Directeur de projet de la SCHL :

A.J. Houston
Division de la recherche

NOTE: ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:
MOISTURE IN CANADIAN WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION: PROBLEMS,
RESEARCH AND PRACTICE FROM 1975 TO 1991

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, organisme de logement du gouvernement fédéral, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation. Cette loi a pour but d'améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tous les aspects du logement, de la croissance et du développement urbains.

Aux termes de la partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à effectuer des recherches sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et dans d'autres domaines connexes, ainsi qu'à en publier et à en diffuser les résultats. Par conséquent, la SCHL se voit donc conférer par la loi la responsabilité de faire connaître l'information susceptible de favoriser l'amélioration des conditions d'habitation et de vie. La présente publication s'inscrit dans le large éventail de documents d'information que publie la SCHL à l'aide de fonds fédéraux.

Le consultant tient à remercier les nombreuses personnes qui ont contribué à la rédaction de ce document soit par le processus d'entrevue ou de révision et en particulier, MM. Robert Platts, John Timusk, Don Onysko et Mark Bomberg.

La présente recherche a été financée par la SCHL. Toutefois, les opinions exprimées sont celles des auteurs et n'engagent aucunement la Société.

L'HUMIDITÉ DANS LES MAISONS À OSSATURE DE BOIS AU CANADA :

PROBLÈMES, RECHERCHE ET PRATIQUES DE MISE EN OEUVRE DE 1975 À 1991

RÉSUMÉ

Introduction

L'habitation de faible hauteur s'est en un siècle développée grâce à une vaste gamme de produits et techniques de construction axée sur l'utilisation du bois. Cette façon de faire a donné lieu, pour l'époque, à des habitations essentiellement sans ennui. L'approche évolutionniste a rehaussé la nature conciliante de l'ossature de bois et sa capacité de résister en toute sécurité aux cycles saisonniers d'humidification et d'assèchement.

De 1975 à 1991, d'appréciables progrès ont permis de relever, de saisir et de solutionner les problèmes d'humidité des maisons à ossature de bois. Cette évolution reposait sur les connaissances considérables déjà acquises. Elle a été rendue possible par l'important soutien financier qu'ont consenti divers organismes fédéraux à l'égard de la recherche, du développement et de la diffusion de la technologie.

Le présent rapport fait la synthèse des recherches variées effectuées par des organismes, dont la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), des universités et le secteur privé, en plus de brosser un tableau complet des précédentes améliorations de la performance face à l'humidité. L'intérêt pour la future recherche en conception et utilisation de bâtiments éconergétiques est apparu, en partie après avoir consulté la collectivité internationale.

Objectifs

- o Rassembler et revoir la documentation produite depuis 15 ans dans cette sphère d'étude et dresser le rôle des organismes fédéraux dans ce domaine.

- o Fournir le contexte dans lequel ces activités fédérales ont été rendues possibles et cerner la valeur des réalisations.
- o Traiter du comportement du bâtiment résidentiel de faible hauteur et de son effet général sur l'humidité.
- o Évaluer la contribution du secteur de la construction d'habitations aux réalisations relevées.
- o Traiter des avantages que les programmes de démonstration et d'enseignement correspondants tant des secteurs fédéral que privé ont apportés à la diffusion de la technologie.
- o Cerner les orientations que les chercheurs canadiens poursuivent actuellement dans le but de réaliser des habitations à ossature de bois éconergétiques et exemptes d'ennuis.

Exposé

Le présent rapport indique comment la recherche sur l'humidité a été effectuée par plusieurs organismes publics, de concert avec l'industrie de la construction et de la rénovation d'habitations. L'étude relève que, même si chaque organisme s'est acquitté de son propre mandat, les travaux étaient quand même assez bien coordonnés par suite de l'établissement de liens de communication tant officiels qu'officieux. Des mécanismes officiels, visant à assurer cette coordination, faisaient appel à divers comités du Groupe interministériel de recherche et d'exploitation énergétiques (PERD) organisés par Énergie, Mines et Ressources (ÉMR) et différents comités directeurs dans le cadre de certains projets d'envergure auxquels participaient d'autres organismes et les secteurs d'activité concernés. Des rencontres particulières avec des spécialistes ont également été organisées, notamment lorsque la SCHL a invité des groupes d'experts en science du bâtiment à étudier les problèmes d'humidité constatés dans la région de l'Atlantique en 1981 et en 1983. La participation collective à des comités de codes et de normes ainsi qu'à des comités techniques

de l'Association canadienne des constructeurs d'habitations (ACCH) a permis d'établir des communications officielles et officieuses.

Le rapport livre une évaluation des travaux relevés. Il les place dans une perspective historique très vaste, à long terme, et, grâce à un débat de portée internationale, désigne les points de recherche à approfondir. De plus, au moyen d'annexes, le rapport cerne les travaux et la contribution des établissements d'enseignement, des chercheurs du secteur privé, des consortiums de l'industrie et des spécialistes du bâtiment de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches (IRC du CNRC) et de la SCHL.

Résultats

Avant la crise énergétique des années 1970, peu de recherches systématiques avaient été entreprises en vue de mieux comprendre les effets de l'humidité sur l'habitation à ossature de bois. Le raffermissement subséquent de l'étanchéité à l'air (dans le but de réduire les déperditions de chaleur) et le mouvement vers un style de vie aisé ont contribué à accroître la production d'humidité à l'intérieur des maisons canadiennes. Ces facteurs ont motivé des modifications à la conception et à la construction des maisons à ossature de bois. Par contre, de nombreux aspects essentiels de la science du bâtiment et des bonnes méthodes de construction classiques ont été laissées pour compte. L'évolution considérable qui s'est échelonnée entre 1975 et 1991 a contribué à relever, à saisir et à solutionner les problèmes d'humidité des maisons à ossature de bois. Le rapport souligne que l'évolution repose sur les connaissances considérables déjà acquises. L'étude a permis de constater qu'il y aurait avantage à disposer de meilleures possibilités de communications officielles et d'établissement de priorités et de plans de recherche, mettant en cause les chercheurs.

Conclusions

Chaque organisme poursuit son propre mandat, mais les travaux sont assez bien coordonnés par suite de l'établissement de liens de communication officiels et officieux.

La SCHL et ÉMR assurent cette coordination en créant des comités directeurs pour un certain nombre de projets d'envergure, faisant appel à divers organismes gouvernementaux et aux secteurs d'activité concernés.

La participation collective à des comités de codes et de normes, et à des comités techniques de l'ACCH, garantit des modes de communication tant officiels qu'officiels.

Malgré les efforts cités précédemment, de plus amples occasions de communications officielles sont requises, tout comme l'établissement des priorités pour toute nouvelle recherche traitant de l'humidité.

PRÉFACE

Depuis 100 ans, les Canadiens constatent que la construction à ossature de bois allie efficacité et abordabilité. Au cours des cinquante dernières années est apparu un type de sous-sol qui augmente la surface utilisable globale d'une maison à ossature de bois sans en compromettre l'abordabilité. On ne remet pas en doute sa durabilité, mais on a toutefois établi que l'humidité cause des problèmes dans un faible pourcentage des maisons, se traduisant notamment par le gauchissement du bardage, l'effondrement du toit plat, l'infiltration d'humidité dans le sous-sol et, plus rarement, le pourrissement de la charpente. Comme en fait foi le présent rapport, la recherche a contribué à solutionner ces problèmes antérieurs.

Les tentatives actuelles d'améliorer l'efficacité énergétique des maisons canadiennes, en partie en rendant l'enveloppe étanche à l'air, soulèvent d'autres préoccupations concernant les conséquences des taux d'humidité relative supérieurs dans les surfaces habitables et de la condensation d'humidité à l'intérieur des murs. Les exigences interreliées et parfois conflictuelles visant à éviter les problèmes d'humidité, à économiser l'énergie, à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur et à minimiser les coûts de construction, montrent bien la complexité de ces problèmes d'humidité. Aujourd'hui, nous avons une meilleure compréhension des problèmes d'humidité au Canada et la recherche qu'il a fallu entreprendre pour circonscrire le problème, comme l'indique le présent document, témoigne de l'énormité de la tâche. Il a autant fallu effectuer des études scientifiques de base que des enquêtes sur les pratiques de mise en oeuvre.

La plupart des matériaux et des éléments de construction au Canada, en raison de leur faible coût, offrent une bonne valeur. Par contre, vu la nature d'un grand nombre de ces matériaux, par exemple le bois ou la fibre de bois, leur performance thermique et hygrothermique varie considérablement; par exemple, la résistance à la diffusion de la vapeur des papiers de construction et des panneaux de copeaux agglomérés peut varier d'au moins un ordre de grandeur. Lorsque la variabilité des propriétés des matériaux de construction

s'ajoute à celle de la main-d'oeuvre, du type de construction, des conditions d'humidité et de la charge thermique causées par l'usage, ainsi qu'aux variations climatiques, qu'il s'agisse des conditions maritimes ou arctiques et de celles qu'on retrouve au centre du continent, les problèmes auxquels sont confrontés les spécialistes du bâtiment au Canada sont mis en perspective.

Le présent document décrit les domaines actuels d'incertitude et les nouveaux travaux de recherche qui pourraient maintenant être entrepris à partir de la base de connaissances constituée jusqu'à présent.

Les secteurs d'activité qui ont pendant longtemps fourni le bois et les produits connexes au marché de l'habitation exportent déjà de plus en plus de biens et services canadiens. Ces secteurs d'exportation ont tout le potentiel pour grandir. L'un des obstacles à cette expansion demeure l'acceptation de la construction à ossature de bois dans des parties du monde où la construction en maçonnerie traditionnelle, malgré son coût élevé, est perçue comme plus durable. Le résumé sur les problèmes d'humidité livré ici, ainsi que la possibilité de réduire l'utilisation de l'énergie «de production» qu'offre la construction à ossature de bois, aideront tous les autres pays qui éprouvent un besoin urgent de logement à évaluer leurs options.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION
 2. HISTORIQUE
 3. ÉVOLUTION DES PROBLÈMES D'HUMIDITÉ, 1975-1990
 - 3.1 Répercussions des programmes d'économie d'énergie
 - 3.2 Premiers problèmes d'humidité
 - 3.3 Résumé des résultats de la recherche, 1975 - 1990
 - 3.4 Changements dans les matériaux et les pratiques de mise en oeuvre, 1975 - 1991
 - 3.5 Documentation et diffusion de la technologie, 1975 - 1991
 - 3.6 Modifications apportées aux codes et aux normes, 1975 - 1990
 - 3.7 Jalons dans les activités de recherche sur l'humidité
 - 3.8 Communications techniques et coordination de la recherche et du développement sur l'humidité
 4. RÔLE GLOBAL DE LA SCHL, 1975 - 1990
 5. PROBLÈMES D'HUMIDITÉ COURANTS
 - 5.1 Science et technologie
 - 5.2 Pratiques de mise en oeuvre et de rattrapage
 - 5.3 Besoins de formation et d'éducation
 - 5.4 Motivations au changement
 - 5.5 Encouragement à l'innovation
- ANNEXE A :** Travaux de recherche de la SCHL
sur l'humidité, 1975 - 1991

- ANNEXE B :** Résumé des travaux de recherche D'ÉMR sur l'humidité,
- ANNEXE C :** Travaux de recherche du CNRC sur l'humidité,
1975 - 1991
- ANNEXE D :** Travaux de recherche de Forintek Canada sur l'humidité,
1975 - 1991
- ANNEXE E :** Travaux de recherche en humidité de
l'université de Toronto, 1975 - 1991
- ANNEXE F :** Autres travaux de recherche sur l'humidité,
1975 - 1991
- ANNEXE G :** Les exigences de protection contre l'humidité dans le
Code national du bâtiment du Canada
- ANNEXE H :** Liste des personnes interrogées
- ANNEXE I :** Débat entourant la recherche sur l'humidité au
Canada
- ANNEXE J :** Bibliographie
- ANNEXE K :** Acronymes et abréviations

1. INTRODUCTION

Le présent rapport porte principalement sur les activités entourant les problèmes d'humidité relevés dans les maisons à ossature de bois au Canada de 1975 à 1991. Ces activités comprennent notamment la définition des problèmes, la recherche et le développement quant aux causes et aux solutions, les modifications apportées d'une part aux matériaux et aux pratiques de mise en oeuvre et d'autre part aux codes et aux normes. De la recherche considérable a été réalisée sur les problèmes d'humidité et les codes et pratiques de mise en oeuvre ont subi des modifications au cours de cette période. La recherche a été menée en grande partie par la SCHL. Le présent rapport vise à examiner les problèmes qui ont motivé la recherche, les résultats obtenus, les modifications apportées aux matériaux, aux pratiques de mise en oeuvre, aux codes et le rôle global de la SCHL, de même qu'à définir les problèmes d'humidité courants.

Les problèmes de tenue en service des bâtiments face à l'humidité existent depuis la construction des tout premiers abris. Leur nature et leur étendue dépendent fortement du climat, des détails d'exécution prédominants et des conditions régnant à l'intérieur. Ils se manifestent le plus souvent par la dégradation des matériaux de l'enveloppe du bâtiment ou de la qualité de l'air intérieur.

Depuis toujours, on construit des bâtiments pour se protéger des intempéries, notamment des précipitations. On s'attend à ce que l'enveloppe du bâtiment tolère l'exposition à cette humidité. Les bâtiments doivent également être conçus et exploités de façon à tenir compte des effets de la vapeur d'eau contenue dans les infiltrations d'air extérieur et à prévenir les problèmes causés par la condensation, à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment, de la vapeur d'eau contenue dans les exfiltrations d'air intérieur. On s'attend également à ce que le sous-sol, le vide sanitaire et la dalle sur le sol puissent empêcher l'infiltration d'humidité souterraine. Toutes ces sources sont à l'origine des problèmes d'humidité des constructions à ossature de bois contemporaines.

Les activités de recherche et de développement des principaux organismes nationaux au cours de la période de 1975 à 1990, la SCHL, ÉMR, le CNRC et Forintek, sont passées en revue aux annexes A à D, les travaux du Centre for Building Science de l'université de Toronto à l'annexe E et les travaux de certains autres organismes à l'annexe F. Les références sur lesquelles se fonde cette revue se trouvent dans la bibliographie (annexe J). De plus, on a demandé l'avis des personnes dont le nom apparaît à l'annexe H. Les modifications apportées aux dispositions de protection contre l'humidité du Code national du bâtiment font l'objet de l'annexe G.

La section 3 du présent rapport débute par un résumé des programmes d'économie d'énergie qui ont eu des répercussions importantes sur la construction et la rénovation des maisons lors de cette période. Puis sont résumés les problèmes d'humidité éprouvés à l'époque et les résultats de la recherche et du développement relativement à la performance des maisons et aux pratiques de mise en oeuvre, suivis d'un résumé des nouveaux matériaux et du nouvel équipement de même que des modifications apportées aux codes et aux normes. La section 3 se termine par une description de la communication et de l'interaction entre les principaux organismes nationaux effectuant des travaux de recherche sur l'humidité.

Le rôle global de la SCHL pendant cette période est décrit à la section 4 du rapport. La section 5 expose certains problèmes d'humidité actuels relativement à la science et à la technologie, à la construction et à la rénovation, aux besoins de formation et d'éducation, aux motivations du changement et aux processus favorisant l'innovation.

Afin de mettre le présent rapport en perspective, la section 2 propose une revue de l'évolution des maisons à ossature de bois au Canada et du développement jusqu'à 1975 de la science du bâtiment et des pratiques de mise en oeuvre par rapport à la protection de l'enveloppe du bâtiment contre l'humidité.

2. HISTORIQUE

Depuis les cent dernières années, la construction à ossature de bois prévaut sur toutes les autres formes de charpente des bâtiments résidentiels de faible hauteur au Canada [1][2]. Importée des États-Unis à destination du Canada vers 1870, la technique de la charpente à claire-voie préconise la pose de poteaux continus de 2 po x 4 po (25 mm x 51 mm) depuis la lisse d'assise de la fondation jusqu'à la sablière du toit. Le revêtement extérieur se compose de planches de 1 po (25 mm) d'épaisseur nominale et de 8 po (200 mm) ou plus de largeur, recouvertes d'une ou plusieurs couches de papier de construction. Le bardage en bois horizontal, le bardeau, le stucco ou la brique s'emploient couramment comme revêtement extérieur. Les premières versions de la construction à claire-voie font souvent appel à un revêtement intérieur de planches et de papier de construction qui peut être fini de plâtre appliqué sur un lattis de bois. Plus tard, le plâtre sur lattis de bois s'utilise généralement sans aucun autre revêtement intérieur. Au fil des années, la charpente à claire-voie fait place à la charpente à plate-forme. Ce dernier type se distingue par des poteaux continus entre chaque étage, la lisse étant appuyée sur les solives de plancher et la sablière supportant les solives de plancher, ou le plafond et la charpente du toit.

Pendant un grand nombre d'années, il est inhabituel de prévoir un matériau de remplissage quelconque dans la cavité entre les poteaux, bien qu'on utilise à l'occasion la sciure ou même des déchets de maçonnerie pour assurer un certain effet isolant. En 1922 [3], la valeur des matériaux isolants dans les murs est démontrée dans des «bâtiments» d'essai à l'université de la Saskatchewan (des bâtiments semblables servent à la même fin à l'université de Trondheim en Norvège). Parmi les matériaux utilisés, on retrouve la sciure et les copeaux de bois comme remplissage et une gamme de nattes et de matelas isolants fabriqués à partir de matériaux comme la paille, les algues marines et les fibres minérales, retenus entre deux couches de papier. L'utilisation de l'isolant thermique s'accroît au cours des années 30 et les problèmes causés par l'accumulation d'humidité dans les murs et les combles pendant la saison de chauffage commencent à se manifester.

Rowley et ses collègues à l'université du Minnesota mesurent les caractéristiques thermiques des matériaux de construction, y compris l'isolant, et commencent à étudier le mouvement de l'humidité et la condensation dans l'enveloppe du bâtiment dans des conditions hivernales simulées en laboratoire [4][5]. Ils concluent que, l'hiver, le mécanisme principal du mouvement de l'humidité dans les murs à ossature de bois isolés est la diffusion de la vapeur d'eau par les matériaux de construction [6] causée par la pression de la vapeur d'eau plus élevée à l'intérieur qu'à l'extérieur. La condensation se forme à l'intérieur du bâtiment lorsque la température sur un plan de la construction descend sous le point de rosée de l'atmosphère sur le même plan. On peut limiter ou éviter la condensation en plaçant du côté chaud de l'isolant les matériaux ayant une résistance élevée à la transmission de la vapeur d'eau (pare-vapeur) et du côté froid les matériaux ayant une faible résistance. Pour les toits en pente, la ventilation des combles à l'air libre, préférablement aux débords de toit et au sommet, permet d'assurer une faible résistance à la transmission de la vapeur d'eau du côté froid de l'isolant.

Au Canada, Babbitt [7] mesure les coefficients de transmission de la vapeur d'eau des matériaux de construction et élabore des concepts semblables à partir de la théorie de la diffusion. En 1940, plusieurs organismes de recherche aux États-Unis mesurent aussi la perméabilité à la vapeur d'eau et étudient les caractéristiques de diffusion de la vapeur d'eau des éléments de l'enveloppe du bâtiment. Parmi ces organismes, on retrouve notamment le U.S. Forest Products Laboratory [8] et la Engineering Experiment Station du Pennsylvania State College [9][10] (aujourd'hui une université). Le concept de la diffusion comme premier mécanisme de la transmission de l'humidité à l'origine de la condensation de la vapeur dans les enveloppes du bâtiment en hiver, et l'utilisation d'un pare-vapeur pour contrer le phénomène, est fermement implanté et généralement accepté par les chercheurs et les principaux fabricants de matériaux de construction. Avec la flambée de la construction des maisons d'après-guerre, vers 1946, l'isolant thermique et des sortes de pare-vapeur (souvent le revêtement en papier couvrant les isolants en matelas) sont d'usage courant dans la construction de maisons neuves à ossature de bois ainsi que le recours à la ventilation du vide sous toit.

Fondée en 1945, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) assume la responsabilité des maisons construites en vertu de la Loi nationale sur l'habitation. Elle établit des normes minimales de construction des maisons et un processus visant à déterminer l'acceptabilité de matériaux et de systèmes pour fins d'emploi dans les bâtiments financés aux termes de la LNH. La Division des recherches en bâtiment (DRB) du Conseil national de recherches du Canada (CNRC), mise sur pied en 1947, affecte des ressources importantes au soutien technique de la SCHL et à la préparation du Code national du bâtiment du Canada (CNBC).

Les normes d'habitation de la SCHL pendant cette période traduisent les principes de protection contre la condensation connus à l'époque. En 1950, l'Office des normes du gouvernement canadien (ONGC) publie les normes 9-GP-2 et 9-GP-3 touchant les papiers de construction à utiliser respectivement comme revêtement et membranes pare-vapeur. Les normes prescrivent une perméance maximale de 0,75 perm pour les pare-vapeur et une perméance minimale de 3 perms pour les papiers de revêtement. On considère à l'époque que ces papiers ont pour fonction de minimiser les fuites d'air à l'intérieur et à travers les murs causées par l'effet du vent et de fournir une seconde ligne de défense (après le parement) contre la pénétration de la pluie. Un certain nombre de papiers de construction couramment utilisés comme membranes de revêtement ne respectent pas l'exigence de perméance minimale de sorte que pour pallier à ce problème certains fabricants ménagent de petites perforations dans leur membrane. Toutefois, dans certains cas, ces petites perforations compromettent la capacité de la membrane à réussir l'essai de pénétration d'eau.

On reconnaît depuis longtemps que l'infiltration et l'exfiltration d'air par l'enveloppe du bâtiment représentent un élément important de la charge de chauffage et les méthodes de calcul qui en tiennent compte pour dimensionner les appareils de chauffage sont bien établies. La «méthode des fissures» entre autre, qui est encore aujourd'hui largement utilisée, suppose que la plupart des fuites se produisent par les fissures autour des fenêtres et des portes. L'évaluation des fuites d'air est basée sur les fuites d'air mesurées à partir des fenêtres et des portes soumises à diverses conditions de pression de vent. On sait aussi à l'époque que l'effet de tirage naturel dans les bâtiments élevés peut modifier la différence de pression de part et d'autre de l'enveloppe du

bâtiment en hiver et ainsi influencer les fuites d'air par les fissures. Toutefois, l'humidité qu'enregistrent en hiver les bâtiments commerciaux et publics est généralement très peu élevée de sorte que la condensation à l'intérieur de l'enveloppe non isolée ne pose pas de problème.

En 1950, Hutcheon note que l'exfiltration d'air par le plafond peu étanche d'un bâtiment connu sous le nom de Quonset constitue une cause importante de la condensation de vapeur d'eau qui se forme en hiver au vide sous toit. Néanmoins, son article précurseur en 1953 sur les principes de conception [11] n'établit pas le mouvement de l'air comme un facteur de transmission de la vapeur d'eau dans l'enveloppe. Cependant, de nombreux éléments de preuve au cours des années qui suivent amènent les membres de la Division des recherches en bâtiment (DRB) du CNRC à conclure que le mouvement de l'air est le facteur dominant qui entraîne en hiver la formation de condensation à l'intérieur de l'ossature.

L'étude des facteurs qui influencent la condensation entre les vitrages de fenêtres doubles non scellées effectuée en 1957-1958 [12] représente l'une des recherches clés. Des calculs basés sur les mesures des caractéristiques du mouvement de l'air et de la vapeur d'eau par les voies des fuites d'air autour des châssis intérieurs bien ajustés montrent que la transmission de la vapeur d'eau assurée par le mouvement de l'air est deux fois plus élevée que par la diffusion dans des conditions de température et d'humidité hivernales types même lorsque le plan de pression neutre est à mi-hauteur de la fenêtre, c'est-à-dire dans des conditions où l'exfiltration d'air se produit seulement sur la moitié supérieure de la fenêtre et lorsque la différence de pression d'air maximale causée par la poussée aérostatique sur cette hauteur ne représente qu'une fraction d'un Pascal. Lorsque le niveau de pression neutre se trouve au bas de la fenêtre, la transmission de vapeur par fuites d'air calculée est dix fois plus élevée que celle par diffusion. Des calculs s'appuyant sur des mesures semblables des caractéristiques du mouvement de l'air et de la vapeur par des orifices de ventilation d'un diamètre de 1/4 po (6,4 mm) dans la partie supérieure et inférieure du châssis, entre la lame d'air de la fenêtre et l'extérieur, montrent que le mouvement de vapeur d'eau par diffusion est négligeable comparativement au mouvement d'air produit par la poussée aérostatique agissant sur la moitié de la hauteur de la fenêtre (c'est-à-dire à une différence de pression d'air d'une fraction d'un Pascal).

Ces résultats représentent alors une révélation pour le chercheur imbu des principes de la diffusion. La surface de fuite équivalente totale du vitrage intérieur est inférieure à un dixième d'un pouce carré, étalé sur un périmètre de fenêtre de 10 pieds (3,05 m). Cela montre alors que la quantité d'humidité transportée par l'exfiltration d'air est de loin supérieure à celle transportée par diffusion, même en présence de très petites fissures et de différences de pression d'air très faibles.

D'autres preuves pertinentes sont établies à la même époque. Des études à l'université de l'Illinois par Bahnfleth et autres [13] portent sur des mesures montrant les niveaux de pression neutre en hiver dans deux habitations équipées d'appareils de chauffage à combustible. Au cours de l'hiver de 1958-1959, des observations de l'effet des poussées aérostatiques sur le tirage de la cheminée dans un bungalow [14] mènent à conclure que le niveau de pression neutre se situe à proximité de la hauteur du plafond lorsque l'appareil de chauffage fonctionne et à environ deux pieds plus bas lorsque l'appareil de chauffage ne fonctionne pas. C'est donc dire que le vide sous toit, à tout le moins, est probablement plus susceptible de subir des hausses importantes du taux d'humidité relative en raison de l'exfiltration d'air par les fissures du plafond. Alors qu'on ne dispose pas encore à l'époque de données sur l'étanchéité à l'air des plafonds, l'existence de joints autour des coffrets électriques du plafond et autour des colonnes de plomberie est aussi bien connue. Dans un Digest de la construction au Canada (CBD) sur les pare-vapeur [15], Handegord souligne la vulnérabilité des vides sous toit. Dans une étude précédente, Handegord [16] avait d'ailleurs constaté l'influence marquée du transfert de chaleur par convection dans le vide entre les poteaux en présence de joints au haut et au bas de l'isolant thermique et d'une lame d'air sur l'une ou l'autre face. Joy à l'université de l'État de Pennsylvanie constate par la suite que l'humidité peut aussi contourner le pare-vapeur.

Pendant la période de 1958 à 1961, Wilson du CNRC préside le Comité technique ASHRAE sur l'infiltration et la ventilation, qui mène une étude sur les fuites d'air par les portes d'entrée de bâtiments de grande hauteur [17]. L'évidente influence de l'effet de tirage naturel dans le bâtiment incite Wilson à réviser en conséquence le chapitre sur l'infiltration et la ventilation dans l'édition 1961 du ASHRAE Fundamentals Handbook. Un article qui paraît en 1961

dans la série des Digests de la construction au Canada [18] constitue vraisemblablement le premier énoncé sans équivoque publié en Amérique du Nord sur l'importance des fuites d'air par rapport à la condensation. Cet article introduit également le principe de la surface de fuite équivalente. Issu de Scandinavie, un article [19] traitant de l'effet des fuites d'air sur la migration d'humidité dans les constructions à ossature de bois, basé sur des études de bâtiments agricoles, paraît la même année.

À partir de 1961, les études qu'effectue sur le terrain la DRB du CNRC [20][21] mettent à jour d'autres preuves de problèmes d'humidité dans les enveloppes de bâtiments à multiples étages. Lorsque le CNRC lance sa série de séminaires en science du bâtiment, d'abord par des exposés intra-muros au personnel de Travaux publics Canada en 1963, les chercheurs mettent l'accent sur la prévention des fuites d'air pour éviter les problèmes d'humidité dans les bâtiments élevés. On accorde aussi une attention accrue à la mise au point de solutions de conception visant à prévenir les fuites d'air et à tenir compte d'autres préoccupations fondamentales. Les fortes différences de pression d'air s'exerçant sur les murs extérieurs de bâtiments élevés sont corroborées par d'ultérieures études sur le terrain [22][23][24].

Bien que les intervenants en science du bâtiment connaissent maintenant bien les principes en cause, les problèmes d'humidité attribuables à l'exfiltration font toujours partie du quotidien.

De 1955 à 1965, un grand nombre de modifications sont apportées aux pratiques de mise en oeuvre des maisons à ossature de bois. Les revêtements intérieurs d'enduit sur lattis de plâtre cèdent leur place aux plaques de plâtre, en général de 1/2 po (12 mm), recouvertes d'un papier. Les revêtements en planches de bois à rainures et languettes ou à feuillures sont en grande partie remplacés par des panneaux de contreplaqué et de fibre. Les revêtements en panneaux de copeaux font leur apparition au cours de cette même période. Dans de nombreuses régions du pays, les bardages en planches de bois sont en grande partie remplacés par des bardages d'aluminium et de bois composites. Des panneaux de soffites en aluminium remplacent le contreplaqué. Des fermes de bois, habituellement constituées de membrures en 2 po x 4 po (38 mm x 89 mm), remplacent dans une grande mesure les solives de plafond et les chevrons

conventionnels en 2 po x 6 po (38 mm x 140 mm). Le contreplaqué se substitue dans une grande mesure aux supports de revêtement de sol en planches de bois. On commence à utiliser le polyéthylène en feuille comme pare-air/pare-vapeur et comme étanchéité à l'humidité sous les dalles. Les matelas d'isolant en fibre de verre sans revêtement de papier (maintenus par friction) font leur apparition.

Les sérieux problèmes d'humidité causés par la condensation dans les constructions résidentielles à ossature de bois construites au cours de la décennie 1955-1965 ne se manifestent pas fréquemment (du moins dans les régions du sud du Canada), sauf qu'on note (cause de nombreuses plaintes) la formation de condensation excessive sur les surfaces intérieures des fenêtres, particulièrement sur les châssis et les cadres métalliques et la surface intérieure des vitrages extérieurs des doubles fenêtres ouvrables.

Au début des années 1960, la DRB du CNRC entreprend de nombreux essais en laboratoire sur les caractéristiques de la température de surface intérieure de divers arrangements de cadres et châssis de fenêtres, dans le cadre du programme d'évaluation des matériaux de la SCHL. On reconnaît que la convection dans la lame d'air, ainsi que la conception du cadre et du châssis sont des facteurs importants [25][26][27]. Le principe de l'indice de température servant à définir un aspect de la résistance thermique est introduit (référence 26). Par la suite, on inclut dans une norme de l'ONGC, qui était alors en préparation, une exigence relative à la température de surface des fenêtres. Des études sur la performance des fenêtres, y compris l'étude des facteurs propices à la condensation, sont poursuivies par Sasaki [28].

Pendant cette même période, la DRB du CNRC effectue des essais sur les caractéristiques des fuites d'air de diverses fenêtres [29][30], qui mènent à la formulation d'exigences de résistance dans les normes sur les fenêtres de l'ONGC et à une augmentation généralisée de l'étanchéité à l'air des fenêtres. Cette méthode d'essai développée au Canada sert de base à la procédure de l'ASTM qui est maintenant largement utilisée. En vue de prévenir la condensation entre les vitrages des doubles fenêtres, les normes d'étanchéité à l'air de l'ONGC doivent être satisfaites par le châssis intérieur seulement. Des considérations fondamentales montrent que, dans des conditions ordinaires d'humidité à

l'intérieur des maisons, la ventilation de la lame d'air à l'extérieur est efficace pour prévenir la condensation entre les vitrages de doubles fenêtres uniquement si le châssis intérieur est très étanche et que les différences de pression d'air entre l'intérieur et l'extérieur sont faibles [29][31].

Les doubles vitrages scellés en usine offrent l'avantage d'éliminer la condensation sur l'intérieur du vitrage extérieur. Jusqu'à la fin des années 1950, ces vitrages ne sont fabriqués que par deux entreprises importantes qui imposent un contrôle de la qualité rigoureux. De nouveaux matériaux d'étanchéité se répandent largement, ce qui encourage un grand nombre de petites entreprises à se tailler une place sur le marché. Il est toutefois difficile, à l'époque, de réaliser en production un joint hermétique suffisamment durable pour assurer une résistance satisfaisante pendant au moins cinq ans (la période de garantie normale à l'époque). On attire l'attention de la SCHL sur un grand nombre de défaillances : surtout la condensation entre les vitrages et «l'efflorescence» de la surface du verre causée par l'alcali dans le verre. Un programme de recherche conduit à la mise au point de méthodes d'essai pour prédire la performance probable [32][33] et à la mise au point d'une norme ONGC (maintenant CAN 2-12.8). On reconnaît dans ce cas que la transmission de la vapeur d'eau est principalement causée par les fuites d'air à travers de très petits passages, due à l'effet de pompage engendré par les changements de température et de pression atmosphérique.

Les cas de défaillance du scellement hermétique des vitrages sont grandement réduits en raison des essais d'homologation exigés par la SCHL. La conductance thermique généralement élevée de l'intercalaire donne toutefois lieu à une température de rive intérieure plus basse que celle qu'on retrouve dans les doubles fenêtres non scellées logées dans des châssis de bois [34]. On accorde aujourd'hui énormément d'attention à l'exécution des rives du vitrage en vue d'assurer une meilleure performance.

Comme indiqué précédemment, les problèmes de condensation dans les enveloppes de construction résidentielle à ossature de bois sont relativement peu fréquents dans le sud du Canada au cours des années 60, en partie à cause de taux d'humidité relative intérieure généralement modérés en hiver [35]. Ces

niveaux dénotent un taux de ventilation naturelle assez élevé découlant en partie de la présence d'appareils de chauffage ventilés [36]. Lorsque l'appareil de chauffage fonctionne, des taux de ventilation assurant trois renouvellements d'air par heure ou plus sont possibles dans des conditions hivernales moyennes. L'effet du fonctionnement de l'appareil de chauffage sur le niveau du plan de pression neutre, noté précédemment [14] est corroboré [36]. Les données sur l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des maisons ne sont pas encore disponibles, mais en 1964 des essais de dépressurisation au moyen d'un ventilateur sont effectués sur deux maisons (référence 36). Les résultats qui incluent des données pour quatre autres maisons sont publiés plus d'une décennie plus tard [37]. Ces résultats montrent entre autres une surface de fuite équivalente relativement élevée pour le plafond de quatre des maisons, s'échelonnant de $0,02 \text{ m}^2$ à $0,045 \text{ m}^2$ environ.

Les constructions résidentielles à ossature de bois qui offrent généralement une performance adéquate dans le sud du Canada présentent des problèmes d'humidité beaucoup plus nombreux face aux rigueurs de l'hiver dans le nord du Canada. Les vides sous toit ventilés sont particulièrement vulnérables [38]. On sait que le problème découle d'une trop grande exfiltration d'air et des limites du vide sous toit à pouvoir éliminer l'humidité dans des conditions de basse température. Des mesures prises dans des habitations d'Ottawa, par la DRB du CNRC en 1950 (qui n'ont malheureusement jamais fait l'objet d'un rapport), révèlent des hausses importantes de la température de l'air du vide sous toit pendant la journée, conséquence du chauffage solaire, même par temps froid. Ce phénomène améliore l'efficacité de la ventilation du vide sous toit. Les conditions de chauffage solaire périodique et des températures extérieures au-dessus du point de congélation ne se présentent pas aussi fréquemment dans les zones au nord du 60^{e} parallèle et les techniques de construction axées sur l'étanchéité à l'air ne sont pas encore beaucoup perfectionnées.

Pendant cette période, Hydro Ontario ainsi que d'autres services publics d'électricité provinciaux font la promotion du chauffage à l'électricité. Le chauffage à l'électricité présuppose une isolation thermique supérieure à ce qui est normalement prévu dans les maisons chauffées autrement. Vers la fin des années 60, des problèmes de condensation, principalement sur les surfaces de fenêtres et dans les vides sous toit, sont signalés dans certaines habitations

chauffées à l'électricité. Une étude de Hydro Ontario [39] établit que les maisons plus étanches ont tendance à conserver des taux d'humidité plus élevés et que la condensation dans les vides sous toit coïncide avec des taux d'humidité intérieure élevés. C'est la première utilisation à grande échelle des essais d'étanchéité à l'air par dépressurisation au moyen d'un ventilateur. La surface équivalente de fuite des 20 maisons chauffées à l'électricité s'échelonne de 0,10 à 0,36 m², ce qu'on considère aujourd'hui comme des fuites modérées à très importantes. L'humidité relative intérieure (à 21 °C en mars) se situe entre environ 46 % et 26 % (valeurs de surface de fuite équivalente respectivement les plus basses et les plus élevées).

On reconnaît en général que les problèmes de condensation sont causés par de faibles taux de ventilation et d'importantes différences de pression d'air d'exfiltration à travers les plafonds dans les maisons sans appareil de chauffage ventilé à l'air libre. On observe des conditions de condensation beaucoup plus graves dans des maisons chauffées à l'électricité d'une collectivité du Nord [40]. On conclut qu'il est nécessaire d'apporter beaucoup plus de soin à la mise en oeuvre de l'étanchéité à l'air dans de telles conditions.

Au début des années 70, des problèmes de condensation excessive sont signalés dans les toits plats de bâtiments à ossature de bois qui sont habituellement dotés d'orifices de ventilation à l'avant-toit communiquant avec le vide au-dessus de l'isolant. Il s'agit dans la plupart des cas de maisons en rangée chauffées à l'électricité. Des études sur le terrain effectuées dans la région d'Ottawa par la DRB du CNRC [41] indiquent que la condensation se manifeste souvent dans le vide entre les solives où le mouvement d'air est limité et où il peut se produire des fuites d'air depuis l'intérieur, par exemple à l'intersection des cloisons et du plafond. Des mesures de la pression d'air confirment la possibilité d'exfiltration dans le vide entre les solives. La pressurisation du vide au-dessus de l'isolant thermique par ventilation mécanique (avec de l'air extérieur) permet de renverser efficacement la direction du mouvement. On conclut que dans le cas des nouvelles constructions, la méthode la plus efficace consiste à augmenter l'étanchéité à l'air du plafond.

Des problèmes semblables se manifestent dans des maisons en rangée chauffées à l'électricité à Montréal et, en conséquence, la SCHL publie un Bulletin des constructeurs sur les pratiques de mise en oeuvre des toits plats et cathédrale. Subséquemment, le CNBC 1977 prescrit des exigences spéciales pour les toits à pente faible (ou sans vide sous toit) lorsque l'isolant est mis en oeuvre au-dessous du support de couverture. Ces exigences prescrivent la mise en place de pannes par-dessus les solives et une surface de ventilation répartie uniformément sur au moins 1/150 de la surface de plafond, afin d'améliorer la ventilation du vide sous toit. De façon générale, les pare-vapeur doivent se prolonger sur le dessus des murs intérieurs pour former une protection continue contre la vapeur d'eau et les dégagements autour des cheminées et des conduits d'évacuation doivent être obturés. Dans le cas des toits à pente faible, les joints du pare-vapeur (chevauchements) doivent se produire seulement par-dessus des éléments de charpente ou des calages et les trous de passage des canalisations de services doivent être scellés.

Le CNBC 1977 prescrit également un système de ventilation mécanique d'extraction ayant une capacité d'au moins 100 pieds cubes (47 L/s) par minute lorsque l'habitation n'est pas équipée d'un appareil de chauffage à combustion. Cette exigence est retirée du CNBC 1985 puisque les systèmes de ventilation mécanique deviennent obligatoires dans toutes les habitations. Les exigences particulières visant les toits à pente faible demeurent à peu près les mêmes dans le CNBC 1990.

Au cours des années 1960 et 1970, la DRB du CNRC se penche également sur les cas de défaillance des membranes d'imperméabilisation et d'humidification de l'isolant sur le platelage des toits plats et s'applique aussi à mettre au point des règles de l'art [42][43]. La documentation ne manque pas sur ce sujet, mais n'est pas examinée ici étant donné que les toits de ce type ne sont pas très courants dans les constructions résidentielles à ossature de bois.

Au cours de cette même période, on déploie beaucoup d'efforts à la DRB du CNRC pour définir et diffuser les principes fondamentaux de la conception de l'enveloppe du bâtiment comme un tout intégré. Il faut à la fois empêcher la condensation et l'infiltration de la pluie. Le principe de l'écran «pare-pluie

ouvert», qui se fonde en grande partie sur les principes mis de l'avant par des chercheurs norvégiens, est promue comme option préférable à l'imperméabilisation des faces du bâtiment [44][45]. Il faut accorder une attention particulière à l'étanchéité à l'air et à la répartition des pressions de l'air à l'intérieur du mur, tout comme pour minimiser l'exfiltration d'air. On vise alors à appliquer ces principes à la conception et à la construction de bâtiments à étages multiples.

L'évacuation de l'eau qui s'infiltré dans les joints des murs extérieurs est une caractéristique de conception depuis longtemps. L'idée consiste à concevoir les murs de façon à permettre au condensat qui pourrait s'accumuler, comme la glace, de s'évacuer en fondant [46]. Le concept de l'emmagasinement de quantités acceptables d'humidité condensée dans les composants de murs extérieurs par temps froid, qui se dissipe par temps plus clément, s'inscrit dans la théorie de la régulation de l'humidité depuis bien des années. Les protocoles d'évaluation en laboratoire de la prévention de la condensation dans les murs à ossature de bois, établis au Pennsylvania State College pour le compte de la U.S. Housing and Home Finance Agency à la fin des années 40, prévoient une limite d'augmentation de la teneur en eau des revêtements d'ossature en bois. Platts attribue la bonne résistance à l'humidité des constructions en panneaux de contreplaqué isolés dans le Grand Nord à l'absence de fuites d'air, à la capacité du revêtement extérieur d'emmagasiner un niveau acceptable d'humidité (transmise de l'intérieur par diffusion pendant l'hiver) et au rejet de cette humidité par diffusion pendant l'été [47]. Le stockage saisonnier d'humidité, transmis de l'intérieur par diffusion, constitue également un facteur de régulation de l'humidité à considérer lors de la conception du toit [48][49].

Dans les années 1960 et 1970, des séminaires et des documents sur les pratiques de mise en oeuvre insistent sur l'étanchéité à l'air pour prévenir la condensation. Le principe du pare-air, bien distinct du pare-vapeur, est mis en pratique. La continuité du pare-air, sa résistance aux surcharges de vent, et l'importance moindre d'assurer la continuité du pare-vapeur sont mises en évidence.

Dans un document de 1973, Latta [50] résume la théorie et les principes de conception mis de l'avant à l'époque. Pour prévenir la condensation en hiver,

le pare-air joue un rôle de premier plan. On considère qu'il est essentiel de placer le pare-air en contact avec l'isolant. De cette façon, on s'assure qu'il ne se crée pas de vides d'air de part et d'autre de l'isolant thermique, qui favoriseraient un échange d'air par convection (et par conséquent d'humidité et de chaleur) à travers l'isolant thermique [51]. On recommande de placer le pare-air du côté chaud de l'isolant plutôt que du côté froid afin de minimiser les contraintes dues aux changements de température et d'éviter la possibilité de condensation sur le pare-air froid. La diffusion est perçue comme un mécanisme d'importance secondaire (bien qu'il faille en tenir compte) dans la transmission de l'humidité relativement à la prévention de la condensation. Une analyse des gradients de pression de vapeur d'eau en régime permanent et le mouvement vers et depuis les plans de condensation potentiels dans des conditions hivernales, basée sur la théorie de la diffusion, est recommandée pour déterminer le potentiel d'assèchement des éléments qui pourraient s'humidifier.

État de la science du bâtiment en 1975

En 1975, l'importance fondamentale de l'exfiltration d'air par rapport à la condensation dans l'enveloppe du bâtiment est bien établie en science du bâtiment. L'influence de l'effet de tirage est bien connue et la grande susceptibilité des vides sous toit et des surfaces murales supérieures aux problèmes de condensation est reconnue. La ventilation des vides sous toit et des vides sanitaires non chauffés est une pratique établie depuis longtemps. Par ailleurs, on sait que les plafonds et vides sous toit réalisés suivant des techniques classiques n'ont pas une performance convenable dans le Grand Nord et qu'ils requièrent un pare-air plus efficace.

Les principes de protection contre la pénétration de l'eau de pluie sont bien établis, tout comme les exigences d'étanchéisation des façades et des écrans pare-pluie. Les techniques de jointoiment ont aussi bien évolué. La pratique toutefois laisse souvent choir les principes. Les détails d'exécution des joints et des solins dans les maisons à ossature de bois laissent souvent à désirer.

Depuis 1965, la partie 4 du CNBC, Règles de calcul, prescrit les exigences visant à prévenir les fuites d'air et la diffusion de la vapeur d'eau. La partie 9, Maisons et petits bâtiments, ne fait pas encore explicitement référence à l'élimination des fuites d'air mais fait appel à un pare-vapeur pour protéger toute la surface des murs, y compris les revêtements d'ossature, en plus d'exiger sa continuité à l'intersection des cloisons intérieures et des plafonds et murs extérieurs. Tant la partie 4 que la partie 9 évoquent la possibilité d'un problème lorsque des matériaux ayant une résistance élevée à la transmission de la vapeur d'eau sont placés du côté extérieur du matériau offrant la résistance thermique la plus grande. La partie 4 prescrit de ménager un vide d'air (ou une autre méthode efficace) ventilé à l'air libre pour dissiper la vapeur d'eau. La partie 9 requiert un pare-vapeur de type 1 qui offre une résistance plus élevée à la transmission de la vapeur d'eau par diffusion. En rétrospective, son utilisation ne contribue pas beaucoup à réduire l'accumulation d'humidité en hiver puisque la diffusion de l'humidité s'effectue surtout par exfiltration d'air.

En 1977, la partie 9 préconise de poser des coupe-froid au pourtour des trappes d'accès du vide sous toit et de sceller le jeu autour des cheminées et des orifices de ventilation à l'entrée des combles et des vides sous toit. Des ouvertures pour les autres services doivent être ménagées de façon à ce que le pare-vapeur soit bien ajusté. Des mesures particulières touchent l'étanchéisation et la ventilation du comble des toits à pente faible et des plafonds cathédrale. La probabilité accrue d'humidité relative plus élevée et de problèmes de condensation dans les maisons chauffées à l'électricité est connue. En conséquence, la partie 9 préconise l'installation d'appareils de ventilation mécanique d'extraction dans les maisons qui ne sont pas chauffées par un appareil à combustion.

Les exigences de protection contre l'humidité des sous-sols n'ont pas changé depuis des années. La protection type assurée par des émulsions bitumineuses ou du bitume fluidisé n'a probablement pas beaucoup plus d'effet que de peindre les parois extérieures en noir. La protection intérieure, assurée par une membrane de polyéthylène de 0,002 po ou deux couches de bitume, requise en cas de pose d'un revêtement intérieur, se révèle sans doute plus efficace. La dalle du sous-sol doit, soit reposer sur une couche granulaire, soit être pourvue en-dessous d'une membrane de polyéthylène de 0,006 po ou encore d'un matériau de couverture en rouleau de 45 lb.

3. ÉVOLUTION DES PROBLÈMES D'HUMIDITÉ

1975 - 1990

3.1 Répercussions des programmes d'économie d'énergie

À partir de 1975, ce qui influence le plus la recherche en bâtiment, la technologie et les pratiques de mise en oeuvre pendant plus d'une décennie, c'est la crise de l'énergie, conséquence des augmentations du prix du pétrole amorcées en 1974 par le cartel de l'OPEP. En vertu des programmes gouvernementaux mis en place par la suite en vue de garantir les approvisionnements et l'autosuffisance, la consommation d'énergie des bâtiments (existants et neufs) est la principale cible des mesures d'économie d'énergie. La conversion de l'utilisation du mazout à d'autres sources d'énergie constitue également une priorité.

Le gouvernement fédéral mandate Énergie, Mines et Ressources Canada (ÉMR) pour mettre en oeuvre sa politique énergétique. Résultat: établissement de nouvelles directions et création de nouveaux programmes dotés de budgets importants. Les principaux programmes touchant les bâtiments résidentiels sont résumés à l'annexe B. Le gouvernement fédéral accorde aux programmes énergétiques l'une des plus hautes priorités et s'attend à ce que tous les organismes relevant de lui répondent en conséquence, sous la direction générale d'ÉMR. À ÉMR, le personnel est recruté en fonction de son esprit d'initiative et de son engagement à l'égard des objectifs en matière d'énergie, et se voit conférer des responsabilités et pouvoirs considérables. La plus grande partie du personnel ne possède pas de connaissances étendues en science du bâtiment ni dans les pratiques de mise en oeuvre. Généralement orienté vers les résultats, le personnel est prêt à prendre des risques en vue d'atteindre les objectifs fixés.

Le Conseil national de recherches du Canada se voit confier la responsabilité principale de mettre en oeuvre la recherche et le développement dans le domaine de l'énergie, et consentir les fonds nécessaires. Le CNRC établit une nouvelle division de l'énergie pour gérer le programme dans une large mesure impartie aux universités, aux organismes

de recherche provinciaux, à l'industrie et à des consultants privés. Certaines recherches sont entreprises par le biais de virements de fonds aux divisions opérationnelles du CNRC. La Division des recherches en bâtiment, par exemple, réalise d'importants projets énergétiques en assurant notamment le soutien technique pour la préparation des Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments (sous la direction du Comité associé du Code national du bâtiment). On recrute du personnel, tout en y engageant à fond de train un bon effectif de chercheurs expérimentés.

Le Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes (PITRC) est mis sur pied par la SCHL en 1981, en vertu d'ententes contractuelles avec ÉMR qui conserve la responsabilité de mettre en oeuvre la recherche, les normes et la diffusion technologique connexes. ÉMR lance également le Programme R-2000 (appelé à l'origine le Programme de la maison à haut rendement énergétique) tout en conservant les mêmes fonctions précitées.

La SCHL ne joue pas un rôle de premier plan dans le programme d'énergie national. Il lui incombe toujours d'évaluer l'acceptabilité des matériaux aux termes de la LNH et de veiller à la qualité générale des logements financés en vertu de cette loi. La SCHL commence à s'approprier des capacités de recherche intra-muros, y compris en science du bâtiment, et à confier de la recherche à des tiers, tout en s'en remettant moins aux services de la DRB du CNRC.

La mousse isolante d'urée-formaldéhyde (MIUF) constitue l'un des produits autorisés dans le cadre du Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes. Les effets néfastes signalés à l'égard de la santé des occupants des maisons isolées à la MIUF amènent Santé et Bien-être Canada à interdire l'utilisation de la MIUF. Le ministère de la Consommation et des Corporations ajoute la MIUF à sa liste de produits dangereux afin de mettre en vigueur cette interdiction. Une recherche approfondie sur le problème est amorcée par Consommation et Corporations Canada, principalement par l'entremise du CNRC. On prétend que la valeur marchande des maisons isolées à la MIUF a chuté en raison de la mauvaise presse.

Des poursuites en justice sont intentées par les propriétaires qui veulent obtenir compensation.

La SCHL se trouve dans une position peu enviable, en raison des doubles responsabilités que lui confèrent le Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes et son programme d'évaluation des matériaux de construction. Certains expriment l'avis que cette situation a précipité la décision de transférer la gestion de l'évaluation des nouveaux produits au CNRC (CCMC) ainsi que l'exploitation de compétences internes en matière de recherche. D'autres perçoivent également que le personnel technique de la SCHL avait une attitude quelque peu négative à l'égard des programmes d'économie d'énergie lancés par ÉMR, en se concentrant sur les problèmes potentiels, notamment sur les questions liées à l'humidité et à la qualité de l'air intérieur. Certaines des préoccupations, particulièrement en ce qui avait trait au rattrapage énergétique, semblent s'être justifiées.

3.2 Premiers problèmes d'humidité

Au début des années 1980, un certain nombre de préoccupations sont soulevées quant aux problèmes d'humidité risquant de découler de l'adoption de mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments résidentiels. On indique que :

- la réduction de l'effet de tirage par suite de l'utilisation d'un appareil de chauffage à haute efficacité, ou son élimination en raison du recours au chauffage à résistance électrique se traduit par un taux de ventilation naturelle moindre et, par conséquent, risque d'accroître le niveau d'humidité à l'intérieur.
- la réduction ou l'élimination de la section efficace du conduit de fumée abaisse le plan d'équilibre de pression et, par conséquent, augmente les risques d'exfiltration d'air par le plafond et les surfaces supérieures des murs.

- l'étanchéisation à l'air et l'augmentation de l'isolation thermique réduisent les fuites d'air et, par conséquent, font augmenter le degré d'humidité à l'intérieur.
- l'amélioration de l'étanchéité à l'air augmente les risques de refoulement des gaz de combustion des appareils de chauffage. Cela présente un risque pour la santé et une source potentielle d'augmentation de l'humidité à l'intérieur.
- l'abaissement de la température de l'air intérieur pendant la nuit augmente la probabilité et la quantité de formation de condensation sur les surfaces intérieures.
- l'augmentation de la condensation sur les surfaces intérieures augmente les risques de prolifération de moisissure et de problèmes de santé connexes.
- même si l'étanchéité à l'air réduit l'exfiltration d'air globale, il peut rester certains points de fuite. Le risque de condensation interstitielle est plus élevé à ces endroits à cause du degré d'humidité intérieure supérieur.
- le relèvement de l'isolation thermique réduit la température des éléments de l'enveloppe extérieure et, par conséquent, augmente la possibilité de condensation.
- certaines méthodes d'isolation thermique, par exemple l'utilisation de revêtements isolants à faible perméabilité, peuvent nuire à l'assèchement de l'ossature murale.

Bien qu'on conteste peu le fait que les mesures d'économie d'énergie contribuent à accroître la probabilité de certains problèmes d'humidité, on se questionne sur l'étendue et la nature de l'augmentation et sur ce qu'il faut faire pour minimiser le risque. L'étude pancanadienne de la SCHL (référence 5, annexe A) fournit certaines preuves de l'ampleur des

problèmes d'humidité (imputables ou non aux mesures d'économie d'énergie) et constitue le point de départ des études subséquentes.

3.3 Résumé des résultats de la recherche, 1975 - 1990

De nombreuses activités de recherche et de développement sont entreprises au Canada entre 1975 et 1990. On résume ces activités ou on s'y réfère aux annexes A, B, C, D, E et F. De la recherche est de plus entreprise par l'industrie du bâtiment, des organismes provinciaux et des universités. Dans les pages qui suivent, on tente de résumer les résultats par rapport aux techniques de construction.

- il est confirmé que les maisons sans conduit de fumée sont plus susceptibles de présenter des niveaux d'humidité intérieure plus élevés en hiver et de subir des problèmes d'humidité que celles avec un conduit de fumée, toutes autres conditions étant semblables.
- à l'exception de la région de l'Atlantique et, dans une certaine mesure, de la côte de la Colombie-Britannique, la fréquence de sérieux problèmes d'humidité dans les maisons à ossature de bois classique du sud du Canada est relativement faible.
- les problèmes d'humidité tirant leur origine de l'intérieur coïncident habituellement avec un degré élevé d'humidité relative à l'intérieur.
- la prolifération de moisissure sur les parois intérieures de l'enveloppe des bâtiments n'est pas inusitée lorsque l'humidité intérieure est élevée, particulièrement aux endroits où le chauffage est relativement inefficace ou que la résistance thermique de l'enveloppe est faible. La réduction périodique de la température intérieure peut empirer le problème.
- les sérieux problèmes d'humidité émanant de sources intérieures, que subissent en hiver les maisons traditionnelles du sud du Canada, peuvent habituellement être prévenus en maintenant l'humidité intérieure à un niveau raisonnable, comme l'indique l'étendue de la

condensation sur les fenêtres doubles, et en scellant de l'intérieur les principales voies de fuites d'air aboutissant dans les murs et le vide sous toit.

- le degré excessif d'humidité intérieure en hiver peut être évité en étanchant les sources évidentes d'humidité à l'intérieur et en assurant l'apport d'air frais nécessaire. Dans les maisons étanches, la ventilation mécanique est habituellement de rigueur. Les taux de ventilation requis pour la régulation de l'humidité sont habituellement inférieurs à ce qu'il faut pour assurer la qualité de l'air intérieur lorsqu'on porte attention, comme il se doit, à enrayer l'humidité intérieure à la source.
- bien que les colonnes de ventilation passive puissent augmenter significativement les taux de ventilation naturelle en hiver, la valeur concrète de leur application répandue pour réguler l'humidité est contestable. Le débit d'extraction de ces colonnes de ventilation peut largement varier selon la fluctuation de la température extérieure et du vent, sans compter que le bruit risque, à l'occasion, de poser problème.
- les sous-sols peuvent constituer une source d'humidité significative en hiver; ainsi, l'humidité du sol peut, dans certaines conditions, être transmise par les murs et la dalle de plancher, et accompagner l'infiltration de gaz souterrains par les joints et les fissures. Les taux de production d'humidité au sous-sol sont difficiles à évaluer et n'ont pas été bien déterminés, mais ils passent déjà pour varier considérablement.
- l'importance des sources d'humidité dans les maisons en hiver peut varier considérablement. L'apport du stockage intérieur de l'humidité printanière, estivale et automnale à la quantité d'humidité en hiver n'a pas été évalué.
- la possibilité de dissipation de l'humidité (assèchement) dans les éléments du bâtiment, du printemps jusqu'à l'automne, est

significativement moindre dans certaines régions des provinces de l'Atlantique que dans d'autres régions du sud du Canada, sauf peut-être pour la région côtière de la Colombie-Britannique.

- la teneur en eau du bois de charpente utilisé dans la région de l'Atlantique est vraisemblablement au-dessus de la limite reconnue de 19 % et peut dépasser la limite de saturation des fibres.
- la teneur en eau du bois de charpente utilisé dans d'autres régions du Canada se trouve le plus souvent à 19 % ou moins.
- la teneur en eau du bois mis en oeuvre humide dans les murs finis restera probablement au-dessus des niveaux souhaitables pendant de longues périodes dans la région de l'Atlantique et pourra entraîner des dommages, selon les propriétés du revêtement d'ossature et du parement. Dans d'autres régions du sud du Canada, sauf possiblement les régions côtières de la Colombie-Britannique, le bois humide atteindra vraisemblablement une teneur en eau acceptable en peu de temps, selon le type de mur. L'utilisation de bois humide se traduit par le soulèvement des têtes de clous fixant les plaques de plâtre et par l'affaiblissement de l'étanchéité à l'air à l'endroit des clous extérieurs, ce qui augmente les risques de problèmes d'humidité par exfiltration d'air.
- les revêtements d'ossature et les parements peu perméables à la vapeur d'eau réduisent le taux de dissipation d'humidité des matériaux de charpente. En pareils cas, il convient de minimiser la quantité d'humidité qui sera emmagasinée lors des mois d'hiver, spécialement là où il existe peu de possibilités d'assèchement du printemps jusqu'à l'automne, dans la région de l'Atlantique et dans le Nord, par exemple.
- la mise en oeuvre du parement sur des fourrures peut grandement accélérer la vitesse d'assèchement d'une charpente murale humide dans la région de l'Atlantique lorsqu'il est fait usage d'un revêtement d'ossature ayant une faible résistance à la transmission de la vapeur d'eau, mais n'a pas d'effet significatif sur la vitesse d'assèchement

s'il est fait usage d'un revêtement à haute résistance, du moins lorsque le compartiment d'air ménagé par les fourrures est obturé en partie supérieure du mur et qu'un bardage relativement étanche est utilisé.

- les revêtements d'ossature isolants peuvent réduire efficacement la condensation en hiver dans les cavités murales isolées lorsque leur utilisation réduit considérablement la durée au cours de l'hiver pendant laquelle la température de la paroi interne du revêtement d'ossature se trouve sous la température du point de rosée intérieur.
- les murs à ossature de bois isolés semblent pouvoir s'accommoder de quantités relativement fortes d'humidité dans l'air se déplaçant de l'intérieur vers l'extérieur dans les zones tempérées du Canada en hiver, pourvu que des mesures suffisantes permettent d'emmagasiner le condensat pendant les périodes de gel et d'évacuer l'eau pendant les périodes de dégel.
- l'échange d'air entre les cavités des murs à ossature de bois et le milieu intérieur, dû à l'effet de pompage engendré par la fluctuation de la vitesse du vent ou de la température extérieure, devrait vraisemblablement être faible comparativement aux débits d'air dus aux poussées aérostatiques s'exerçant entre la cavité et le milieu intérieur, ou aux débits d'air dus aux différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur causées par le vent et l'effet de tirage à l'intérieur du bâtiment. L'effet de pompage ne risque donc pas de contribuer grandement à la formation de condensation dans les murs en hiver.
- les bardages dérivés du bois doivent posséder des caractéristiques qui permettent de minimiser leur sensibilité à l'humidité et être mis en oeuvre de façon à réduire le plus possible l'effet de sources d'humidité tant intérieures qu'extérieures. Le climat de la région de l'Atlantique impose des conditions de service particulièrement rigoureuses aux bardages sensibles à l'humidité.

- il est confirmé que la défaillance répétée de la peinture des bardages de bois mis en oeuvre et finis de façon courante est assez répandue dans la région de l'Atlantique.
- les problèmes d'humidité d'origine extérieure se produisent souvent dans la région de l'Atlantique en raison du peu de soin apporté aux détails d'exécution et de mise en oeuvre du bardage et des solins.
- les sérieux problèmes de condensation au vide sous toit ne sont pas très répandus dans le sud du Canada et se produisent surtout dans les maisons enregistrant un taux d'humidité intérieure trop élevé et dénuées d'un conduit de fumée.
- la ventilation des combles des toits de construction classique ne permet pas d'obtenir la performance voulue dans le Nord canadien en raison des difficultés d'atteindre un degré d'étanchéité à l'air convenable, du problème de la neige balayée par le vent, de la durée de l'hiver pendant laquelle la condensation peut se produire et des faibles possibilités d'assèchement du printemps à l'automne. Un toit cathédrale étanche, sans vide d'air ventilé, offre généralement une performance acceptable.
- si les murs de sous-sol en béton doivent être isolés et finis de l'intérieur dans les quelques mois suivant leur construction, il faut prévoir des mesures particulières pour assécher le béton et empêcher l'humidité de l'intérieur de se transmettre aux parois intérieures du béton.
- certains procédés d'isolation extérieure des murs de fondation procurent des avantages éprouvés sur le plan de la protection contre l'humidité.
- l'isolant en fibre de verre pour usage extérieur sous le niveau du sol possède des caractéristiques d'orientation des fibres et de composition granulométrique variable avantageuses qui limitent l'infiltration de l'humidité du sol, assure l'écoulement efficace de

l'eau et limite l'absorption d'eau de sorte que sa résistance thermique n'est pas réduite de beaucoup.

- il faut songer aux répercussions sur l'humidité et la durabilité d'isoler les parois intérieures des murs de fondation existants, surtout les murs de fondation en brique d'argile ou en pierre. Les risques de dommages imputables au mouvement et à la concentration des sels dans les matériaux de fondation sont à surveiller.
- les comptes rendus de dommages structuraux causés par l'adhérence due au gel du sol aux murs de sous-sols chauffés, isolés à l'intérieur, n'ont pas été vérifiés. En principe, de tels dommages ne devraient pas se produire dans la plupart des murs; les murs en blocs de béton avec des vides d'air communicants peuvent constituer une exception.
- les enveloppes superéconergétiques, satisfaisant aux normes d'étanchéité à l'air de la maison R-2000 (maximum de $1 \frac{1}{2}$ renouvellement d'air par heure à 50 Pa ou surface équivalente de fuite normalisée d'au plus $0,7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$), réalisées dans le sud du Canada, semblent exemptes de problèmes d'humidité d'origine interne en hiver lorsque le niveau de ventilation mécanique nécessaire pour assurer la qualité de l'air intérieur est prévu.
- il convient d'assurer un niveau d'étanchéité à l'air correspondant à $1 \frac{1}{2}$ renouvellement d'air par heure à 50 Pa grâce à la mise en oeuvre d'un pare-air/pare-vapeur de polyéthylène bien hermétique ou de plaques de plâtre étanches à l'air. Une membrane de polyoléfine filée-liée (POFL) appliquée sur le mur extérieur, ou un produit équivalent, peut aussi conférer au mur le niveau exigé d'étanchéité à l'air, en supposant que l'échange d'air entre les cavités murales et l'intérieur est restreint comme il se doit.
- la membrane de polyéthylène qui n'est pas fabriquée comme il se doit de résine vierge peut avoir une durée utile trop courte pour être acceptable.

- il faut que les couches extérieures des murs à ossature de bois résistent avec suffisamment d'efficacité aux fuites d'air afin de protéger l'isolant thermique des cavités murales contre les fuites d'air locales dues à l'effet du vent. Bien que ce soit l'une des fonctions du papier de construction traditionnel, les modes de pose types ne donnent généralement pas les résultats voulus. Une membrane de POFL pontée aux joints et bien appuyée pour pouvoir résister aux surcharges dues au vent s'avère efficace.
- l'étanchéité à l'air des maisons en série d'un ensemble résidentiel de Winnipeg se rapproche des normes R-2000. Le taux moyen de fuite d'air des maisons des autres régions du pays est environ deux fois plus élevé, sauf à Vancouver où il l'est environ quatre fois plus. Le taux moyen de fuite d'air des maisons à travers le Canada accuse une réduction d'environ 30 % de 1982 à 1989.
- les appareils de chauffage à combustion ventilés par aspiration naturelle risquent de rejeter des gaz si la maison subit une dépressurisation (par rapport à l'extérieur) d'environ 5 Pa par temps doux en hiver. Ce niveau de dépressurisation est susceptible de se produire dans des maisons assez étanches par suite de la mise en marche de ventilateurs d'extraction types. Il est donc prudent d'utiliser un appareil de chauffage tolérant des limites de dépressurisation plus élevées (par exemple, 20 Pa) ou de ménager une prise d'air de compensation pour les ventilateurs d'extraction de sorte que la dépressurisation soit maintenue à l'intérieur des limites du système d'évacuation à l'air libre.
- les propriétés des matériaux, les poussées et les mécanismes de transport influant sur la teneur en eau des murs à ossature de bois en fonction du temps sont très complexes et, par conséquent, il est bien difficile de prédire précisément les changements de teneur en eau des éléments de murs complets au cours d'un cycle climatique annuel. Il reste à établir dans quelle mesure les modèles informatiques qu'on est en train de mettre au point pourront fournir des résultats utiles.

- le potentiel du principe du mur dynamique relativement aux économies d'énergie qui peuvent être réalisées par la ventilation et le rayonnement solaire incident a été démontré, du moins pour les conditions climatiques du sud de l'Ontario. La mise au point de systèmes visant à exploiter ce potentiel, applicables de façon économique et efficace par l'industrie du bâtiment, demeure un défi.

3.4 **Changements dans les matériaux et les pratiques de mise en oeuvre, 1975 - 1991**

La «Saskatchewan Conservation House» démontre qu'il est possible de construire des enveloppes étanches en mettant soigneusement en oeuvre une pellicule de polyéthylène continue et en accordant une attention spéciale à l'étanchéité des chevauchements et des points de pénétration. Cette méthode est largement exploitée avec succès dans le cadre du Programme R-2000. La technique du pare-air constitué de plaques de plâtre étanches a été mise au point par la suite, et il est démontré qu'elle assure le niveau d'étanchéité requis par les normes R-2000 (la protection contre la diffusion de la vapeur d'eau étant garantie par d'autres éléments). En exploitant ces pratiques de mise en oeuvre, on a abondamment recours à des mastics de calfeutrage, à des produits de scellement et à des joints d'étanchéité. Une foule de produits de calfeutrage, de produits de scellement et de coupe-froid servent également à rendre les maisons existantes étanches à l'air. Des coffrets en polyéthylène enveloppent maintenant couramment les boîtiers électriques des murs extérieurs afin de ne pas compromettre la continuité du pare-air.

Les membranes de polyoléfine filée-liée, qui se posent de plus en plus du côté extérieur du revêtement d'ossature, offrent une protection contre les fuites d'air causées par le vent à travers l'isolant placé entre les poteaux d'ossature. Elles peuvent ainsi jouer le rôle de pare-air mural si elles sont suffisamment bien assujetties pour résister aux surcharges dues au vent. Comme en fait foi l'annexe A, l'étanchéité de l'enveloppe s'est généralement accrue au cours de la dernière décennie et la tendance se poursuivra compte tenu des exigences correspondantes qui seront encore plus explicites dans le CNBC 1990. On connaît également une augmentation

importante des niveaux d'isolation thermique. De l'isolant R-20 (RSI 3,52) et des poteaux d'ossature murale de 2 po x 6 po (38 mm x 140 mm) sont maintenant d'usage courant. L'isolant R-40 (RSI 7,0) au vide sous toit devient également la norme. L'usage des revêtements d'ossature isolants en fibre de verre (recouverts de POFL), en mousse de polystyrène extrudé ou expansé, se répand beaucoup.

Les appareils de chauffage à combustion à haute efficacité s'utilisent de plus en plus. Ils sont habituellement dotés de systèmes d'évacuation améliorés pouvant tolérer de plus grands niveaux de dépressurisation de la maison que les appareils de chauffage à évacuation par aspiration naturelle.

Le Programme R-2000 prône l'installation d'un système de ventilation mécanique et ses normes de performance énergétique favorisent le recours à un ventilateur-récupérateur de chaleur. La technologie de la ventilation des bâtiments résidentiels connaît un essor considérable depuis l'avènement des éditions de 1985 et de 1990 du CNBC rendant obligatoire l'installation de systèmes de ventilation mécanique dans toutes les maisons, et la mise en application de la norme CSA F326 sur la ventilation des habitations.

Un certain nombre d'améliorations sont apportées aux techniques de construction des sous-sols, dont bon nombre se retrouvent dans le CNBC 1990 : prévoir un remblai granulaire et une membrane de polyéthylène de 0.006 po avant de mettre en place la dalle de plancher; sceller la dalle au pourtour du mur contigu à l'aide d'un mastic souple et tous les points de pénétration de façon à prévenir l'infiltration de vapeur d'eau et de gaz souterrains; et faire en sorte que l'avaloir contre le refoulement à l'intérieur de la vapeur d'eau et des gaz souterrains.

Des matériaux isolant la paroi extérieure des murs de sous-sol s'utilisent de plus en plus. Certains assurent par gravité l'évacuation de l'eau du sol jusqu'au drain de fondation. Il existe également un modèle breveté de membrane d'imperméabilisation cannelée prévue à cette fin. D'autres améliorations à la protection des murs de sous-sol contre l'humidité, à l'étanchéisation à l'air et aux méthodes d'isolation sont anticipées, par

suite des études en cours et de l'intérêt grandissant de l'industrie à vouloir améliorer cet aspect de la performance des maisons (pour éviter les demandes de règlement en vertu des programmes de garantie qui portent souvent sur les défauts d'étanchéité des sous-sols). Les systèmes de ventilation du radon, des gaz souterrains et de la vapeur d'eau, qui autrement s'infiltreraient par les fissures et ouvertures des murs et de la dalle du sous-sol, permettent d'évacuer l'humidité qui s'évapore des murs de sous-sols finis et isolés des maisons neuves.

Certaines améliorations remarquables touchent les techniques de construction des maisons dans le Nord, notamment les méthodes d'étanchéisation à l'air. De plus, l'utilisation de membranes d'étanchéité en POFL ou de produits équivalents est maintenant courante. Les problèmes de condensation et de pénétration de la neige au vide sous toit sont en grande partie résolus en utilisant des plafonds cathédrale entièrement isolés (sans combles) pourvus de pare-vapeur/pare-air efficaces et sans orifices de ventilation.

3.5 Documentation et diffusion de la technologie, 1975 - 1991

La documentation des progrès de la science et de la technologie ainsi que la diffusion de l'information scientifique et technique peuvent mettre en jeu une série d'objectifs et prendre diverses formes. Au premier niveau, ces activités nécessitent la production de rapports et d'exposés scientifiques et techniques, généralement destinés à un commanditaire ou à un groupe d'homologues. La présentation et la défense d'exposés scientifiques et techniques devant un groupe d'homologues constitue une autre forme de diffusion d'information technique. Un grand nombre de documents cités dans les annexes A, B, C, D, E et F entrent dans cette catégorie. Il s'agit, dans certains cas, de rapports présentés au client qui ne sont pas offerts au public ou mis à la disposition des bibliothèques techniques publiques. Les intervenants de la science du bâtiment peuvent toutefois se les procurer sur demande.

Dans le cas d'un grand nombre de projets de la SCHL et d'ÉMR, un comité consultatif est mis sur pied pour examiner les progrès et les résultats.

Il constitue un autre mécanisme de diffusion de la technologie. Parfois, des experts en science du bâtiment sont conviés à des réunions spéciales dans le but d'échanger des idées sur les priorités de recherche (voir annexes A, D et I). Les réunions des comités tenues à des fins semblables dans le cadre du Programme pour la recherche et le développement énergétiques, fournissent un autre moyen de communication.

Les codes et les normes représentent d'autres types de documents techniques qui, outre leurs fonctions de réglementation et de normalisation, participent à la diffusion technologique. Les modifications apportées aux dispositions prévues dans le CNBC relativement à l'humidité sont examinées à l'annexe G et résumées à la section 3.6. Le CNBC et les codes du bâtiment provinciaux correspondants influent grandement sur les méthodes de construction et sur la diffusion de la technologie auprès des intervenants, c'est-à-dire les constructeurs, les fabricants, les concepteurs et les agents du bâtiment.

Les codes insistent sur ce qu'il faut faire plutôt que sur les raisons et les méthodes. Un commentaire du CNBC, figurant en annexe, commence à expliquer les raisons et les méthodes à employer. Les normes ont une fonction semblable de diffusion technologique en informant le fabricant, l'organisme d'essai, le rédacteur de devis et l'installateur. Le commentaire qui fait maintenant partie de certaines normes (par exemple CSA F326) expose le bien-fondé de diverses dispositions du document. L'élaboration de codes et de normes constitue également un mode de diffusion de l'information parmi les intervenants.

Les codes du bâtiment se veulent un ensemble de dispositions minimales visant à préserver la santé et la sécurité des occupants. Néanmoins, les constructeurs d'habitation trouvent en général que la partie 9 du CNBC énonce des techniques de construction acceptables. Répétons-le, les codes ne décrivent habituellement pas en détail la façon de construire. À cet effet, la SCHL a produit un certain nombre de documents qui tendent précisément à instruire et à former les constructeurs. Quant aux problèmes d'humidité dans les logements, la SCHL, de concert avec l'Association canadienne des constructeurs d'habitations (ACCH), a publié :

- Principes de construction visant à prévenir l'accumulation d'humidité dans les murs des nouvelles maisons à ossature de bois des régions de l'Atlantique du Canada.
- Les problèmes d'humidité.

Le premier document marque l'aboutissement des travaux du groupe de travail mixte SCHL/ACCH sur les problèmes d'humidité dans les régions de l'Atlantique du Canada, étant lui-même un exemple remarquable d'échange d'information sur les méthodes de construction. Le deuxième document porte sur une gamme de problèmes d'humidité et de solutions, et constitue l'un des documents utilisés à des fins pédagogiques dans une série d'ateliers dispensés à l'intention des constructeurs par l'ACCH. Les documents et les ateliers de la SCHL favorisent l'approche systémique lors de la conception et de l'exploitation des maisons.

Comme le mentionne l'annexe B, ÉMR publie dans le cadre du Programme R-2000 une série de documents portant sur les pratiques de mise en oeuvre et propose aux constructeurs des cours dispensés par l'ACCH. ÉMR publie également des documents sur les règles de l'art relativement à l'isolation et à la régulation des fuites d'air destinés au secteur du rattrapage énergétique et offre des cours par l'entremise de l'Association nationale pour la conservation de l'énergie (ANCE). ÉMR appuie aussi la rédaction d'un manuel de conception et d'installation des systèmes de ventilation et offre des cours par l'entremise de l'Institut canadien du chauffage, de la climatisation et de la réfrigération (HRAI). Les cours de formation parrainés par ÉMR mettent l'accent sur l'effet de l'interaction de l'enveloppe du bâtiment, des systèmes mécaniques et des occupants sur divers aspects de la performance d'une maison (concept de la «maison considérée comme un système»).

Le CNRC traite en profondeur les aspects fondamentaux des problèmes d'humidité et les principes de conception dans ses séries de séminaires en science du bâtiment et ses ateliers «Regard sur le bâtiment». Ces activités s'adressent dans l'ensemble aux intervenants intéressés à l'application de la science du bâtiment.

Il faut noter qu'un certain nombre d'organismes provinciaux jouent un rôle significatif pendant cette période, tant dans la préparation de documents sur les règles de l'art que dans la promotion de la diffusion de l'information relative aux problèmes d'humidité dans les bâtiments.

Bien que le besoin de communication d'information sur les règles de l'art et les nouvelles technologies se fasse encore sentir, l'étendue de la diffusion de la technologie, y compris celle touchant aux problèmes d'humidité, aux secteurs de la construction et de la rénovation des maisons depuis dix ans, n'a probablement jamais eu autant d'ampleur pendant cette période.

3.6 Modifications apportées aux codes et aux normes, 1975 - 1990

L'annexe F résume les modifications apportées aux dispositions en matière d'humidité prévues dans le Code national du bâtiment du Canada depuis sa création en 1941 jusqu'à 1990. Ce qui retient surtout l'attention dans l'édition de 1990, ce sont les dispositions beaucoup plus nombreuses. Depuis 1975, les principales modifications apportées sont les suivantes :

1977

- l'intégration au sein de la partie 9 d'exigences supplémentaires visant à améliorer la ventilation des toits à faible pente et cathédrale.
- des dispositions supplémentaires visant à empêcher le plus possible les fuites d'air intérieur de parvenir au vide sous toit.
- une disposition requérant l'installation d'un système de ventilation mécanique d'extraction dans les maisons qui ne sont pas équipées d'un appareil de chauffage à combustion ventilé.
- des renvois aux valeurs minimales de résistance thermique recommandées dans les Normes de construction résidentielle de 1977.

1980

- la partie inférieure des toits à comble brisé n'a pas besoin d'être ventilée, contrairement à la partie supérieure qui doit l'être comme pour tout autre vide sous toit.
- la suppression des références, dans les codes précédents, aux surfaces à isoler (entre des surfaces chauffées et non chauffées, entre des surfaces chauffées et l'extérieur, et au pourtour des dalles sur le sol en béton; il n'est plus nécessaire d'isoler les murs de sous-sol en maçonnerie ou en béton, y compris le vide entre les solives, encloisonnant une surface non finie), probablement à cause de la publication des Mesures d'économie d'énergie en 1978.
- la suppression du renvoi aux valeurs minimales de résistance thermique recommandées dans les Normes de construction résidentielle de 1977 (voir ci-dessus).
- l'isolant thermique des murs préfabriqués en usine doit être mis en oeuvre de façon à ne pas se déplacer au cours du transport.
- le pare-vapeur n'a pas besoin de se prolonger sur les éléments d'ossature si le revêtement intérieur de finition est constitué de panneaux assujettis à tous les éléments d'ossature au moyen d'un adhésif en plus des dispositifs de fixation habituels.
- toutes les habitations doivent être équipées d'un système de ventilation mécanique capable d'assurer $\frac{1}{2}$ renouvellement d'air par heure (retrait de l'exigence d'installer un ventilateur d'extraction dans les maisons sans appareil de chauffage à combustion ventilé).

1985

- l'ajout de sous-sections distinctes à la partie 5 sur la protection contre la diffusion de vapeur d'eau ainsi que sur la protection contre les infiltrations et les exfiltrations (auparavant il était question de pare-vapeur et de pare-air continu).
- le retrait de l'exigence de fixer des pannes transversales sur le dessus des solives de toit cathédrale ayant une pente de 1 pour 6 ou supérieure, lorsqu'un dégagement de 75 mm ou plus est prévu entre l'isolant thermique et le support de couverture; la moitié de la surface ventilée exigée (1/300 de la surface de plafond) doit se trouver près du bord inférieur et l'autre moitié à proximité du faîte.
- lorsque la pente des toits cathédrale est inférieure à 1 pour 6, la surface ventilée doit représenter 1/150 de la surface de plafond, les orifices de ventilation répartis uniformément.
- l'isolant thermique du plafond doit être mis en oeuvre de façon à ne pas bloquer les orifices de ventilation.
- tous les joints du pare-vapeur doivent être étanches ou chevaucher sur 100 mm les éléments d'ossature.
- les trous de passage des canalisations de service pratiqués dans le pare-vapeur doivent être rendus étanches.
- une nouvelle annexe décrit l'importance des infiltrations et exfiltrations et la nécessité de les éviter, y compris autour des points de pénétration des canalisations de service, aux intersections mur-plancher-plafond et vis-à-vis le jeu causé par le retrait du bois d'oeuvre.

1990

- la suppression de l'exception permise dans les codes précédents pour la ventilation des vides sous toit de bâtiments à un étage protégés par un pare-vapeur de type 1.
- de nouvelles sous-sections distinctes sur «la protection contre les infiltrations et les exfiltrations» et la «protection contre la diffusion de vapeur d'eau».
- les murs, plafonds et planchers isolés doivent former une étanchéité continue de façon à empêcher que l'air intérieur ne s'infilte dans les vides des murs et des planchers ou dans les combles ou vides sous toit.
- le renvoi à une nouvelle norme de l'ONGC pour le polyéthylène.
- les matériaux d'étanchéité à l'air doivent posséder les caractéristiques nécessaires pour assurer une protection contre l'exfiltration d'air due aux différences de pression causées par le tirage naturel, les installations mécaniques et le vent.
- si l'étanchéité à l'air est constituée d'un matériau en panneaux, tous les joints doivent être rendus étanches pour empêcher les fuites d'air (comme selon le procédé d'étanchéité à l'air des plaques de plâtre).
- si l'étanchéité à l'air est constituée par un matériau en feuilles souples, tous les joints doivent être rendus étanches ou se chevaucher sur au moins 100 mm et être bien maintenus en place.
- si l'étanchéité à l'air est constituée par un matériau dont la perméance à la vapeur d'eau est inférieure au maximum permis pour les pare-vapeur de type 2, elle doit être mise en oeuvre dans un endroit où la température ne descendra pas au-dessous du point de rosée de l'air intérieur lorsque la température extérieure est 10° C au-dessus de la température de calcul de janvier à 2,5 % (on n'indique pas de température du point de rosée intérieur).

- l'étanchéité à l'air doit se prolonger au-delà de la ligne de jonction des murs intérieurs et des murs extérieurs, des plafonds et des planchers pour lesquels une étanchéité à l'air est exigée.
- les ouvertures découpées dans l'étanchéité à l'air doivent être rendues étanches pour maintenir son intégrité.
- tous les logements doivent être équipés d'un système de ventilation mécanique capable d'assurer 0,3 renouvellement d'air par heure.
- l'annexe présente de l'information supplémentaire sur la protection contre les fuites d'air.
- toute dalle en béton sur le sol doit être protégée contre l'eau (sauf si un tuyau de drainage est mis en oeuvre sous la dalle).
- la protection contre l'eau doit être constituée d'une membrane de polyéthylène d'au moins 0,15 mm (retrait du renvoi au matériau de couverture en rouleau de 45 lb).
- les joints entre la dalle et les faces intérieures des murs adjacents doivent être étanchés au moyen de mastic souple.
- toutes les ouvertures pratiquées dans une dalle de plancher pour passer des tuyaux ou d'autres objets doivent être rendus étanches à la vapeur d'eau et aux gaz souterrains.
- tous les orifices d'évacuation d'eau d'une dalle de plancher doivent être conçus de façon à empêcher les remontées de vapeur d'eau et de gaz souterrains tout en permettant l'écoulement de l'eau.
- les murs de maçonnerie qui ne sont pas protégés contre l'humidité sur leur face intérieure doivent comporter une rangée d'éléments de maçonnerie pleins ou un solin au niveau de la dalle de fondation ou au-dessous.

- l'isolant de fibre minérale ou le remblai de pierres concassées utilisé contre la face extérieure du mur de fondation doit se prolonger jusqu'à la semelle afin de faciliter l'écoulement des eaux souterraines jusqu'au système de drainage.
- l'annexe renseigne sur les moyens de contrer l'infiltration des gaz souterrains.
- tous les murs et les planchers qui séparent des locaux chauffés du sol extérieur doivent être isolés suffisamment pour empêcher la formation de condensation du côté intérieur en hiver.

Le CNBC se veut un modèle de recueil d'exigences minimales en matière de salubrité, de sécurité-incendie et de solidité structurale. Néanmoins, en ce qui touche la construction proprement dite de maisons à ossature de bois, la partie 9 est généralement considérée par l'industrie comme un guide des règles de l'art. Les praticiens en science du bâtiment font parfois la remarque que la partie 9 ne reflète pas toujours fidèlement l'état des connaissances. En revoyant les dispositions relatives à la protection contre l'humidité, il semble maintenant que la partie 9 ait réagi en grande partie face aux nouvelles connaissances ainsi qu'à l'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques à l'intérieur de son cycle de révision quinquennal. Le CNBC a été lent à reconnaître explicitement la nécessité d'une protection contre l'exfiltration d'air à travers l'enveloppe, même si de nombreuses dispositions adoptées depuis 1970 poursuivaient implicitement ce même objectif. Les mesures d'étanchéité à l'air n'ont pas été incorporées dans la partie 9 avant la parution du CNBC 1990, même si les notes explicatives du CNBC 1985 en faisaient état. Depuis la parution du CNBC 1965, la partie 4 (et subséquemment la partie 5) s'est attaquée à la question.

De 1975 à 1990, des nouvelles normes influent sur la protection contre l'humidité dans les habitations :

- CAN/CGSB-149.10-M86, Détermination de l'étanchéité à l'air des enveloppes de bâtiment par la méthode de dépressurisation au moyen d'un ventilateur.

- CAN/CSA-C439-88, Méthodes d'essai pour l'évaluation des performances des échangeurs de chaleur.
- CAN/CSA-C260-M90, Rating the Performance of Residential Mechanical Ventilating Equipment.
- CAN/CSA-C444-M87, Installation Requirements for Heat Recovery Ventilators.
- CAN/CSA-F326-M91, Residential Mechanical Ventilation Systems.
- CAN/CGSB 51.33-M80, Pare-vapeur en feuille pour bâtiments.
- CAN/CGSB-51.34-M86, Pare-vapeur en feuille de polyéthylène pour bâtiments.

3.7 Jalons dans les activités de recherche sur l'humidité

Le terme jalon implique un point de repère déterminé par des progrès notables réalisés dans la poursuite d'un objectif. L'importance du jalon dépend donc de la perception que chacun se fait de l'objectif, du but du cheminement et de son importance. La caractérisation des jalons revêt par conséquent un aspect plutôt subjectif.

Un certain nombre de personnes interviewées ont indiqué que le Programme R-2000 avait exercé pendant cette période le plus d'influence sur les techniques de construction des maisons à ossature de bois, dont celles liées à la protection contre l'humidité. Le programme a eu pour effet d'établir une nouvelle norme de construction de maisons éconergétiques se caractérisant par peu de fuites d'air et l'absence de problèmes de condensation. Les systèmes mécaniques de ventilation contrôlée y maintiennent une qualité d'air et une humidité relative tout aussi acceptables que l'écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

Beaucoup de constructeurs ont appris à construire des maisons conformes aux exigences du programme R-2000. Le Programme, bien entendu, reposait largement sur les acquis et sur les connaissances techniques toujours en

évolution. Ceci n'enlève en rien au fait qu'on a réussi à rassembler tous les éléments techniques et organisationnels pour mettre sur pied un programme de développement fructueux.

En ce qui concerne la compréhension de l'importance relative des problèmes d'humidité dans les maisons existantes et de certains des principaux facteurs en cause, l'enquête nationale de la SCHL (référence 5, annexe A) est perçue comme un jalon. L'étude a confirmé les nombreux problèmes d'humidité dans les provinces de l'Atlantique par rapport au reste du Canada. L'étude a également conclu que les maisons ainsi touchées étaient habituellement exposées à des taux d'humidité relative intérieure élevés en hiver et que cette situation risquait plus de se produire dans les maisons dépourvues d'un conduit de fumée. L'étude a indiqué la façon de réduire la probabilité de problèmes d'humidité tirant leur origine à l'intérieur des constructions à ossature de bois classiques.

Les études régionales que la SCHL a réalisées dans les bâtiments d'essai (références 20, 34, 38, annexe A) constituent probablement aussi un jalon en ce sens qu'elles ont démontré des écarts appréciables des taux d'assèchement des ossatures murales au printemps et en été liées aux différences climatiques, ainsi que des écarts dans la perméance à la vapeur des revêtements d'ossature. Cela soulève la question de l'acceptabilité des méthodes de mise en oeuvre adoptées en fonction du climat régional et de la pertinence des dispositions de protection contre l'humidité du CNB. Les auteurs de l'étude ont également eu la chance d'identifier la teneur en eau initiale du bois de charpente comme cause possible des méfaits de l'humidité dans les régions connaissant des conditions d'assèchement peu favorables.

Le programme de recherche que la SCHL a consacré au refoulement des gaz des appareils de chauffage à combustion dotés d'un conduit d'évacuation, dû à la dépressurisation de la maison sous l'effet d'appareils d'extraction de l'air, bien que parfois à la périphérie du problème d'humidité, pourrait être vu comme un jalon étant donné son importance pour la conception des systèmes de ventilation et d'extraction mécaniques des maisons.

En ce qui a trait à la protection contre l'humidité des sous-sols isolés, les travaux, effectués à l'université de Toronto, qui visaient à adapter au climat canadien la technologie scandinave de mise en oeuvre de l'isolant thermique à l'extérieur, pourraient être considérés comme un jalon. De la même façon, les travaux portant sur l'application des principes de la science du bâtiment à la protection contre l'humidité et ses effets de dégradation connexes, lors de l'adoption de mesures de rattrapage à l'égard des sous-sols existants, sont remarquables. Les travaux sur l'adhérence due au gel ont permis d'éliminer une importante préoccupation quant à la possibilité de dommages causés par le soulèvement dû au gel découlant de la mise en oeuvre d'isolant thermique sur les parois intérieures des murs de fondation de sous-sols chauffés.

Il y a eu de nombreuses autres études sur l'humidité pendant cette période, comme l'indiquent, par exemple, les annexes A, B, C, D, E et F. En rétrospective, certaines pourraient s'imposer comme importants jalons. Par exemple, il est encore trop tôt pour juger de la portée du travail sur le modèle informatique d'humidité entrepris indépendamment par le CNRC et la SCHL ou de la recherche qui s'effectue à l'Alberta Home Heating Research Facility. Des études menées par l'université de Toronto sur l'utilisation de pare-air extérieurs en POFL et sur le mur dynamique pourraient très bien être vues comme des jalons en l'an 2000. Comme on l'indiquait au début, la signification d'un jalon dépend de l'objectif du cheminement.

Quant aux codes, la partie 9 du CNBC 1990 pourrait être perçue comme un jalon en raison de ses dispositions sur l'étanchéité à l'air, les systèmes de ventilation mécanique et la protection des sous-sols contre l'infiltration d'humidité et des gaz souterrains.

3.8 Communications techniques et coordination de la recherche et du développement sur l'humidité

La présentation d'exposés à des conférences d'organisations à vocation scientifique et technique et leur publication dans des comptes rendus constituent le mode principal d'échange d'information entre les scientifiques et les ingénieurs. L'échange d'information sur la recherche

en matière d'humidité se fait, par exemple, lors des conférences biennales sur la science et la technologie du bâtiment de la Société canadienne de génie civil, des conférences du National Building Thermal Envelope Coordinating Committee et des conférences de l'ASHRAE et de l'ASTM. Bien que ce soit une particularité essentielle de la diffusion des connaissances, les travaux sur lesquels l'exposé se fonde ont souvent été achevés une année ou plus auparavant.

L'apport technique de tiers n'est donc pas possible avant, pendant et immédiatement après l'achèvement d'un projet de recherche. Le comité de recherche technique de l'ACCH constitue une exception intéressante, puisque les réunions périodiques portent sur des problèmes courants et les exposés sur les travaux en cours. Ils revêtent une importance particulière sur le plan de la construction de maisons. Les conseils canadiens de l'enveloppe du bâtiment, mis sur pied dans plusieurs villes ces dernières années, font également exception à la règle en ce sens que leurs réunions sont relativement officieuses et que les exposés portent habituellement sur des travaux en cours ou assez récents.

La participation à l'élaboration de normes fournit également un autre moyen important de communication entre les chercheurs et les praticiens. Dans certains cas, la responsabilité de la recherche nécessaire pour résoudre un problème technique incombe à un ou plusieurs des organismes gouvernementaux touchés (par exemple SCHL, CNRC, ÉMR).

Comme nous l'avons déjà mentionné, une bonne partie de la recherche sur l'humidité s'est effectuée, par le passé, par des organismes du gouvernement fédéral. Il n'est pas superflu d'examiner ici les moyens officiels et officieux de communication et de coordination techniques qui existaient entre les organismes. Les principaux organismes engagés dans la recherche et le développement sur l'habitation étaient surtout la SCHL, ÉMR et le CNRC, mais Forintek Canada y a aussi joué un rôle de premier plan. Entreprise conjointe du secteur privé et du gouvernement, Forintek tire une grande part de ses ressources financières des travaux qu'elle effectue pour le compte d'organismes fédéraux.

Une part des fonds affectés à la recherche sur l'humidité a été obtenue du Groupe interministériel de recherche et d'exploitation énergétiques (PERD). Il fallait un mécanisme de coordination du processus d'attribution des fonds étant donné qu'il était nécessaire de présenter des demandes de subventions de recherche à un groupe d'homologues. Cependant, cela ne représentait qu'un petit pourcentage des fonds consacrés à la recherche sur l'humidité.

La SCHL a mis sur pied des comités consultatifs techniques pour un certain nombre de ses projets de recherche qui comptaient des représentants du CNRC, d'ÉMR et de Forintek. Les réunions de ces comités donnaient l'occasion de s'informer du projet et d'offrir périodiquement des commentaires sur son évolution et son achèvement. Le groupe de travail SCHL/ACCH sur les problèmes d'humidité dans les provinces de l'Atlantique (comité directeur) faisait également appel à la participation des représentants d'organismes des gouvernements fédéral et provinciaux ainsi que de constructeurs de la région. Les communications à grande échelle par voie de réunions et de distribution de rapports ont marqué ses travaux.

Un certain nombre de projets importants d'ÉMR faisaient également appel à des comités consultatifs. Des représentants de la SCHL, du CNRC, d'associations de l'industrie, et des universités siégeaient au comité consultatif du Programme R-2000. Les comités consultatifs se réunissaient périodiquement au cours des projets MAPP et VAPP (voir annexe B).

Au total, il y a eu de très nombreuses communications entre les responsables des activités de recherche et ils ont eu amplement l'occasion d'exprimer leurs points de vue lors de certains projets spécifiques.

Dans l'ensemble, les décisions portant sur les priorités de recherche et les cadres de référence ont été prises à l'interne par la direction des divers organismes. Il y avait bien entendu des exceptions lorsqu'un organisme (par exemple le CNRC) entreprenait des travaux de recherche pour un autre en vertu d'un contrat (par exemple la SCHL, ÉMR). On s'attendait normalement à ce que les projets de recherche poursuivent les objectifs de

l'organisme et il était donc tout indiqué que les décisions soient prises à l'interne.

On a suggéré que les organismes responsables d'importants programmes de recherche sur l'humidité bénéficieraient davantage de réunions organisées régulièrement dans le but de discuter des résultats de la recherche en cours, d'échanger des opinions sur les problèmes et les priorités, et d'échanger de l'information sur les plans de recherche. Par exemple, la réunion spéciale parrainée par la SCHL à Kingston en 1983 (voir annexe A) et la réunion parrainée par Forintek à Ottawa en 1991 ont été convoquées afin de traiter des priorités de la recherche (voir annexe D). Cependant, de telles réunions ont été tenues rarement et à de longs intervalles.

Les possibilités d'une coopération accrue dans les domaines d'intérêt mutuels pourraient aussi être le sujet de telles réunions. Diverses perspectives pourraient se dégager, compte tenu que les organismes ont des priorités et des échéances différentes et les individus des points de vue divergents sur ce qu'il y a à faire et comment le faire, sans compter qu'ils sont parfois motivés par des objectifs personnels. En vue d'accroître la probabilité d'obtenir des résultats concrets de ces réunions, il faudrait penser sérieusement à la planification et à la gestion du processus en consolidant l'expérience acquise lors de l'élaboration de ce sommaire.

4. RÔLE GLOBAL DE LA SCHL 1975 - 1990

Les travaux de recherche de la SCHL sur les problèmes d'humidité pendant cette période sont explicités à l'annexe A, mais résumés brièvement ici.

À la fin des années 70 et au début des années 80, les travaux sont grandement motivés par le signalement de problèmes d'humidité dans les provinces de l'Atlantique, notamment le flambage des bardages. Une importante enquête nationale conclut qu'environ 1 % des maisons au Canada ont subi des dommages structuraux causés par l'humidité, tandis qu'environ 10 % éprouvent des problèmes d'humidité tels que la condensation sur les fenêtres et la prolifération de moisissure sur les faces intérieures. Ces problèmes se manifestent beaucoup plus souvent dans les provinces de l'Atlantique que dans les autres, de sorte qu'on déduit que les conditions climatiques sont en partie à l'origine de ces problèmes, notamment les conditions peu propices à l'assèchement saisonnier des composants muraux.

Pour acquérir une meilleure compréhension des facteurs qui influent sur le cycle annuel de teneur en eau des matériaux muraux, des bâtiments d'essai qui comportent des spécimens de mur à ossature de bois sont construits dans trois provinces de l'Atlantique. Ces bâtiments sont pourvus de différents revêtements d'ossature, avec et sans fourrures derrière le bardage. On observe une teneur en eau initiale très élevée du bois d'oeuvre. Cela mène à une étude de la teneur en eau initiale du bois d'oeuvre dans la région de l'Atlantique et par la suite, à une étude nationale.

Les bâtiments d'essai des provinces atlantiques affichent des vitesses d'assèchement assez lentes des éléments de charpente, particulièrement des revêtements d'ossature ayant une faible perméance à la vapeur d'eau, les cavités de certains murs attestant la prolifération de moisissure. Des bâtiments d'essai semblables construits par la suite en Ontario et en Alberta témoignent d'une vitesse d'assèchement beaucoup plus rapide, sans prolifération de moisissure.

Parallèlement aux études des bâtiments d'essai, un modèle informatique en différences finies est mis au point pour prédire les changements de teneur en eau des éléments muraux. Il est destiné à modéliser bon nombre des mouvements d'humidité se produisant tant dans la cavité formée par les fourrures que dans le mur isolé, mais non le mouvement d'air s'effectuant à travers le mur, puisqu'on n'est pas parvenu à s'entendre sur un moyen facile de le modéliser. La comparaison des prévisions avec les mesures des bâtiments d'essai donne des résultats encourageants mais porte à conclure qu'il faut disposer de meilleures descriptions des caractéristiques de transfert de l'humidité et d'un modèle plus complexe. Un modèle révisé qui préconise une approche aux éléments finis est conçu et devra subir des essais de vérification.

L'enquête nationale de 1982 sur les problèmes d'humidité et d'autres études sur le terrain entreprises par la suite, indiquent que les maisons qui manifestent le plus de problèmes enregistrent aussi des niveaux très élevés d'humidité relative à l'intérieur. À partir de cette constatation, on mène des études sur l'origine de l'humidité qui indiquent que l'humidité emmagasinée dans les matériaux intérieurs en été et que l'humidité du sol peuvent constituer d'importantes sources l'hiver. Les auteurs d'une recherche parrainée par Énergie, Mines et Ressources Canada, ont exploité les résultats de la SCHL afin de doter le secteur du rattrapage énergétique d'une procédure pour évaluer à partir de quel niveau d'étanchéisation à l'air des maisons les problèmes d'humidité risquent de commencer à se manifester. La SCHL étudie également la question de l'humidité des vides sanitaires et la formation de condensation en été dans les sous-sols isolés de maisons neuves. La SCHL appuie la démonstration d'un système breveté de ventilation des gaz souterrains, du radon et de la vapeur d'eau s'infiltrant dans le sous-sol par les murs de fondation et la dalle de plancher. Des travaux sont entrepris sur l'efficacité de la ventilation des vides sous toit pour prévenir la formation de condensation en hiver.

Une autre série de projets de la SCHL s'intéresse aux exigences de conception des murs pour réduire les fuites d'air et de ce fait, le transport d'humidité par exfiltration, et la pénétration de la pluie en appliquant les principes de l'écran pare-pluie. Des essais visent à établir la perméabilité à l'air des éléments muraux et l'étanchéité à l'air de spécimens de murs à

ossature de bois variant par leur pare-air et leurs détails d'exécution. D'autres études portent sur l'évaluation de pare-air pour les constructions en maçonnerie et les exigences structurales des pare-air. Les préoccupations soulevées au sujet de la stabilité à long terme des pellicules de polyéthylène, très souvent utilisées comme pare-vapeur et pare-air dans les murs à ossature de bois de bâtiments peu élevés, sont à l'origine d'études sur la tenue en service du polyéthylène et sur les mesures visant à en prolonger la durée utile. La norme correspondante est donc révisée comme il se doit.

Un programme d'ordinateur et une ligne de conduite sur la teneur en eau des matériaux sont mis au point pour permettre de déterminer les exigences d'étanchéité à l'air des constructions à ossature de bois en vue d'éviter l'humidification excessive causée par l'exfiltration d'air. Les variables correspondent aux revêtements d'ossature et aux bardages, aux propriétés thermiques, au climat, aux conditions hygrothermiques internes et aux facteurs influant sur les différences de pression imputables aux poussées aérostatiques. Une étude récente a permis de recueillir des données sur l'étanchéité à l'air de maisons construites depuis peu dans tout le Canada.

Un certain nombre d'études parallèles sont menées sur la performance (y compris la résistance à l'humidité) de bâtiments résidentiels de grande hauteur dotés de murs-rideaux à ossature d'acier et sur l'élaboration des règles de l'art en construction de bâtiments de grande hauteur. L'examen sur le terrain d'ossatures murales en acier recouverts d'un placage de maçonnerie révèle des problèmes de corrosion, d'humidification et de contamination fongique. Des études en cours portent sur l'application des pratiques de mise en oeuvre recommandées à un important projet de bâtiment, lequel sera suivi d'un contrôle de la performance, de la détermination des fuites d'air, du mouvement et de la qualité de l'air dans plusieurs tours d'habitation du pays. L'étanchéité à l'air d'un bâtiment est déterminée avant et après les travaux de rattrapage. Les objectifs consistent à établir de bonnes techniques de mise en oeuvre et de rattrapage des bâtiments résidentiels de grande hauteur.

Les activités de la SCHL à la fin des années 70 et au début des années 80 attirent l'attention du secteur de la construction de maisons sur les problèmes d'humidité des bâtiments résidentiels à ossature de bois dans la région de

l'Atlantique. Visant à résoudre le problème des bardages sensibles à l'humidité, la proposition de les fixer par-dessus des fourrures et de ventiler les cavités ne reçoit cependant pas l'assentiment de certains constructeurs en raison de l'insuffisance des preuves pour étayer cette exigence.

La situation donne lieu à la mise sur pied du Groupe de travail mixte de la SCHL et de l'ACCH sur les problèmes d'humidité dans la région de l'Atlantique, mandaté pour en chercher la nature, les causes et des solutions. Le groupe de travail offre un mécanisme de participation au secteur régional de la construction de maisons et aux offices municipaux d'habitation. L'examen des problèmes par le groupe de travail permet de tirer des conclusions qui varient quelque peu avec celles des consultants en science du bâtiment qui se sont penchés sur la question des bardages. Ces derniers font ressortir l'importance du transfert d'humidité depuis l'intérieur, tandis que le groupe de travail insiste sur la pénétration d'eau depuis l'extérieur, en raison du peu de soin apporté aux détails d'exécution et à la mise en oeuvre des bardages et des solins. Les deux sources contribuent sans doute au mouillage, tout comme le degré d'humidité relative élevé, dans un certain nombre de maisons observées.

Les travaux effectués sur les bâtiments d'essai des provinces atlantiques, parrainés par le groupe de travail, permettent de déterminer une autre source d'humidité dans les constructions neuves : le bois d'oeuvre humide. Une enquête subséquence sur la teneur en eau du bois de charpente dans les provinces atlantiques, parrainée par le groupe de travail, montre la très forte teneur en eau de la plupart du bois livré sur les chantiers. Cette constatation mène la SCHL à effectuer une étude nationale des taux d'humidité de l'ossature des maisons construites [D10]. Il ne peut toutefois pas être établi que le bois d'oeuvre mouillé représente une cause des problèmes ayant soulevé à l'origine des préoccupations à l'égard de la performance des bardages sensibles à l'humidité dans les provinces de l'Atlantique.

L'étude des bâtiments d'essai de la région de l'Atlantique vise à mieux comprendre les facteurs influençant le taux d'assèchement du bois d'oeuvre des ossatures murales déjà humidifié par toute autre cause (condensation pendant l'hiver, par exemple). L'étude est d'ailleurs décrite à l'annexe A. Les

principales variables s'entendent du revêtement d'ossature et des membranes de revêtement, de même que de la présence ou de l'absence d'une cavité ventilée derrière le bardage. L'isolant thermique mis en oeuvre entre les poteaux d'ossature est une variable secondaire. Tous les panneaux muraux comportent un pare-air/pare-vapeur en polyéthylène bien étanche apposé sur la face intérieure des poteaux, de sorte que tout échange d'humidité avec l'intérieur ne peut se faire que par diffusion. Les murs donnant au nord et au sud sont constitués d'une série identique de panneaux.

Tous les panneaux sont parés d'un bardage en vinyle mis en oeuvre soit directement contre le revêtement d'ossature, soit sur des fourrures verticales dans le cas de la série identique. Le bardage de vinyle choisi à l'origine dispose d'orifices de ventilation appréciables à chacun des joints horizontaux. Il est décidé (en fonction de la modélisation informatique) qu'il suffit, pour ventiler le vide d'air entre les fourrures, de laisser le bas de la cavité ouvert à l'air libre et d'en bloquer le haut. Il semble avantageux, en pratique, d'en fermer la partie supérieure pour éviter de ventiler la cavité dans le vide sous toit, par le soffite. Malheureusement, le bardage mis en oeuvre ne comporte qu'une faible section de ventilation, de sorte que l'échange d'air entre la cavité et l'extérieur est probablement de beaucoup inférieur à ce qu'on avait escompté. Cet état de fait n'est découvert qu'une fois les essais bien avancés.

La principale série de tests tend à déterminer le temps nécessaire pour que le bois d'oeuvre, initialement humide en mars, puisse parvenir à une teneur en eau de 19 % au cours du printemps et de l'été. Le bois d'oeuvre utilisé a une teneur initiale en eau supérieure à 30 % (en poids) et d'habitude plus élevée encore.

Comme en fait foi l'annexe A, les taux d'assèchement respectifs semblent dépendre principalement de la perméabilité à la vapeur d'eau du revêtement d'ossature. Les fourrures peuvent améliorer la vitesse d'assèchement des revêtements d'ossature ayant une perméance relativement élevée (qui s'assèchent plus rapidement de toute façon), mais n'a apparemment pas d'effet appréciable sur la vitesse d'assèchement des revêtements ayant une perméance relativement faible. Ainsi, il semble qu'il soit particulièrement important

d'éviter l'utilisation de bois d'oeuvre à teneur en eau trop élevée dans la région de l'Atlantique, qu'il s'agisse de la teneur en eau initiale du bois d'oeuvre ou de l'accumulation d'humidité en hiver, lorsqu'on met en oeuvre des revêtements d'ossature relativement imperméables. Malgré la similarité des résultats obtenus des panneaux aux trois endroits (St. John's, Charlottetown et Fredericton), ceux de St. John's s'assèchent généralement moins bien.

Des observations subséquentes sur des panneaux muraux semblables dotés d'un revêtement d'ossature en bois, initialement humides au mois d'août, révèlent un assèchement assez lent pendant l'hiver suivant, particulièrement pour le mur nord. Il aurait été intéressant de connaître la vitesse d'assèchement au printemps et à l'été d'un revêtement d'ossature en bois humide lors de la mise en oeuvre et de déterminer si la vitesse d'assèchement était modifiée par une cavité bien ventilée derrière le bardage. Il aurait été approprié de savoir si la ventilation améliorée des vides d'air créés par les fourrures exercerait un effet appréciable sur le taux d'assèchement de l'un ou l'autre des panneaux.

Le fait d'étendre l'étude des bâtiments d'essai à Waterloo, puis à Edmonton démontre que, pour dissiper l'excès d'humidité du bois d'oeuvre, les conditions printanières et estivales sont beaucoup plus favorables là que dans la région de l'Atlantique, et qu'il est plus probable que la teneur en eau initiale du bois d'oeuvre des maisons neuves se trouve à un niveau plus acceptable (bien qu'une teneur initiale en eau élevée demeure une possibilité). Il y a donc moins de risque que des problèmes d'humidité se manifestent dans les murs à ossature de bois. Ces observations sont également compatibles avec les autres preuves obtenues. Les études confirment également que certains systèmes constructifs qui affichent une performance adéquate dans une zone climatique du Canada peuvent ne pas offrir une aussi bonne tenue en service dans une autre.

L'étude des bâtiments d'essai permet certes de mieux comprendre le processus d'assèchement des murs, mais l'une des premières questions qui a mené à la mise sur pied du Groupe de travail de la SCHL et de l'ACCH sur les problèmes d'humidité dans la région de l'Atlantique, soit le problème des bardages sensibles à l'humidité et l'efficacité de recourir à des fourrures, ne semble pas être tout à fait réglée. L'étude révèle que les fourrures, selon la disposition retenue, ne favorisent pas particulièrement l'assèchement du bois

d'oeuvre mouillé. L'étude n'établit pas non plus si l'aménagement d'une cavité bien ventilée procure de bien meilleures conditions pour le bardage sensible à l'humidité ou le revêtement d'ossature sous-jacent, lorsque la source d'humidité est l'exfiltration d'air en hiver, ou la pluie poussée par le vent.

Certains expriment l'avis que le problème des bardages sensibles à l'humidité n'existe plus parce que ceux qui affichent des problèmes de flambage et d'autres types de défaillances ne s'utilisent plus. D'autres croient que les produits et les modes de pose se sont améliorés de sorte que la performance du bardage dans la région de l'Atlantique est maintenant acceptable. Il y a aussi ceux qui prétendent que, même si les défaillances de bardage sont moins courantes, des problèmes dissimulés causés par l'excès d'humidité du revêtement d'ossature et de la charpente peuvent encore être très répandus (voir annexe F).

La SCHL passe pour avoir adopté un point de vue particulièrement critique des répercussions des programmes d'économie d'énergie sur les dommages causés par l'humidité et la qualité de l'air intérieur au sein du parc résidentiel existant. Dans une grande mesure, les questions semblent être réglées, en partie grâce à la transposition des résultats de la recherche effectuée par la SCHL et d'autres organismes. De la même façon, la SCHL a soulevé un certain nombre de questions techniques au cours de l'élaboration du Programme R-2000. Encore une fois, on semble avoir réussi à solutionner ces problèmes. Régler les problèmes d'humidité des maisons R-2000 a permis d'acquérir des connaissances qui touchent plus généralement la construction résidentielle à ossature de bois.

Un bon nombre d'intervenants en science du bâtiment estiment particulièrement utile le rôle qu'a joué la SCHL dans la coordination de la recherche et du développement. Les problèmes d'humidité ont été abordés dans le contexte de l'approche systémique de la maison. La SCHL a maintenu un programme d'envergure sur les problèmes d'humidité et a fourni aux intervenants des mécanismes de communication par l'entremise de comités consultatifs et de son processus d'impartition, ainsi que par sa participation aux comités consultatifs d'autres organismes. Par ailleurs, le rôle du CNRC dans ce processus de coordination et de communication par rapport à l'industrie de la construction semble, pour certains, avoir décliné au cours de la dernière décennie (du moins

en ce qui a trait aux problèmes d'humidité). On estime que le CNRC cherche davantage à approfondir sa compréhension du mouvement d'humidité dans les matériaux et ensembles de construction, qu'à faire ressortir les aspects de la mise en oeuvre. D'autres pensent que le programme de recherche de la SCHL en matière d'humidité aurait pu tirer avantage d'une plus grande participation d'experts de l'extérieur lors de sa planification.

La SCHL a aussi fourni du bon matériel de formation et de bons formateurs pendant cette période. La mise en oeuvre des cours de formation dispensés par l'entremise de l'ACCH n'a pas connu, semble-t-il, autant d'efficacité, peut-être en raison de l'ampleur du volontarisme nécessaire. Par contre, la mise en oeuvre du programme de formation R-2000, encore une fois par l'entremise de l'ACCH, a été couronnée de succès.

5. PROBLÈMES D'HUMIDITÉ COURANTS

5.1 Science et technologie

En construction résidentielle, il y aura toujours des questions de science et de technologie relatives à l'humidité. La perception des enjeux dépend du rôle, de la connaissance, de la philosophie et des intérêts de chacun. Par exemple :

1. La tenue en service inadéquate des bardages sensibles à l'humidité a d'abord et avant tout motivé l'enquête sur les problèmes d'humidité dans les provinces atlantiques en 1982, la publication du Bulletin des constructeurs T-6 préconisant de fixer le bardage sur des fourrures (exigence retirée par la suite) et la mise sur pied du Groupe de travail SCHL/ACCH sur les problèmes d'humidité dans la région de l'Atlantique. Les experts partagent maintenant largement l'idée que la source première causant l'humidification des murs est l'exfiltration d'air intérieur, sous l'effet du vent et des poussées aérostatiques dans la maison. Le Groupe de travail a choisi d'aborder les problèmes d'humidité dans un cadre plus général, plutôt que de se consacrer aux bardages sensibles à l'humidité. Lors de leurs visites sur les lieux, les membres ont fait ressortir les problèmes découlant de l'infiltration d'eau par l'extérieur, résultat de la piètre qualité d'exécution (en plus de la formation de condensation et de moisissure sur les surfaces intérieures). Lors de l'étude des bâtiments d'essai, le Groupe de travail s'est principalement préoccupé des facteurs influençant la vitesse d'assèchement du bois d'oeuvre initialement humide.

Certains consultants en science du bâtiment (voir annexe F) partagent l'avis que le problème d'humidité le plus grave à Terre-Neuve est le pourrissement du revêtement d'ossature et de la charpente, mais que ce n'est pas causé particulièrement par le type de bardage utilisé. Ils s'inquiètent du fait que le problème persiste, même masqué par la mise en oeuvre d'un nouveau bardage.

- Les problèmes de bardages sensibles à l'humidité dans les provinces de l'Atlantique ont-ils été résolus (c'est-à-dire les bardages de bois qui y sont actuellement fabriqués et mis en oeuvre offrent-ils une tenue en service adéquate)? Si c'est le cas, quels changements apportés aux matériaux, aux pratiques de mise en oeuvre, à l'exploitation et/ou à l'entretien sont à l'origine du redressement de la situation? Dans le cas contraire, quels sont les changements à apporter?
 - Les autres problèmes d'humidité des murs (par exemple, les revêtements d'ossature et le bois d'oeuvre humides) identifiés lors de l'enquête de 1982 ont-ils été résolus? Dans l'affirmative, comment? Sinon, quelles sont les mesures à adopter?
 - Les maisons à ossature de bois qui se construisent actuellement dans les provinces de l'Atlantique sont-elles suffisamment protégées de l'humidité provenant de l'intérieur et de l'extérieur et contre l'humidité de la construction, dans la mesure où elle nuit à la performance des murs? Sinon, quelles sont les pratiques de mise en oeuvre à recommander?
 - Quelles sont les nouvelles pratiques de mise en oeuvre nécessaires, s'il s'en trouve, pour éviter les problèmes causés par le bois d'oeuvre initialement humide? Par exemple, devrait-on exiger l'utilisation de bois d'oeuvre blanchi sec (S-DRY) ou spécifier des modes d'exécution pour garantir l'assèchement sur place dans un délai acceptable?
2. Un certain nombre d'experts ont recommandé de mettre en oeuvre le bardage par-dessus des fourrures pour résoudre les problèmes d'humidité des murs à ossature de bois de la région de l'Atlantique. Le Groupe de travail SCHL/ACCH n'a pas soutenu cette mesure à moins que d'autres recherches en prouvent le bien-fondé. L'étude des bâtiments d'essai de la région de l'Atlantique a révélé que l'aménagement d'une cavité très peu ventilée derrière le bardage

n'accélère pas de façon notable l'assèchement du bois d'oeuvre initialement humide (surtout en présence d'un revêtement d'ossature à faible perméance à l'humidité). L'étude n'a pas établi si l'aménagement d'une cavité bien ventilée améliorerait considérablement les conditions de tenue en service du revêtement d'ossature et du bardage sensibles à l'humidité.

Certains consultants en science du bâtiment (voir annexe F) font valoir que les fourrures verticales ménageant, derrière un bardage horizontal, un vide d'air qui débouche à l'air libre au haut et au bas du mur, peuvent effectivement atténuer en hiver les effets nuisibles des exfiltrations d'air humide sur le revêtement d'ossature et la charpente murale et susciter de meilleures conditions de tenue en service pour le bardage sensible à l'humidité.

- Existe-t-il au Canada des cas où les fourrures derrière le bardage en bois améliorent la performance et la facilité d'entretien du bardage?
 - Existe-t-il au Canada des cas où les fourrures derrière le bardage, ou toute autre mesure favorisant l'évacuation d'eau et la ventilation, constituent une caractéristique nécessaire (ou du moins, très souhaitable) pour minimiser l'infiltration de pluie et/ou favoriser l'assèchement des éléments extérieurs du mur? Dans l'affirmative, quels sont-ils?
 - Existe-t-il au Canada des cas où les fourrures derrière le bardage horizontal servent à atténuer les méfaits de l'humidité sur le revêtement d'ossature et la charpente?
3. Le bardage en bois peint est encore assez répandu comme revêtement des maisons existantes de la région de l'Atlantique. Des observations fortuites au cours de l'étude des problèmes d'humidité ont permis d'établir que le problème d'adhérence de la peinture était généralisé et qu'il fallait souvent repeindre. Le problème d'adhérence de la

peinture au bardage de bois et l'effet de l'application d'un nouvel apprêt au revers du bardage n'ont pas fait l'objet d'étude.

- Existe-t-il des moyens pratiques de réduire la fréquence des problèmes de peinture du bardage en bois dans la région de l'Atlantique et ailleurs?
- Quelle est l'efficacité d'appliquer une couche d'apprêt au revers du bardage en bois pour favoriser la durabilité du bardage et de la couche de peinture exposée?
- Le remplacement du bardage en bois peint par un autre produit représente-t-il la solution préférable? Dans l'affirmative, quelles sont les mesures de rattrapage appropriées et sont-elles généralement suivies?

4. Platts indique que l'utilisation d'un papier de revêtement à faible perméance contribue à certains problèmes d'humidité observés dans les murs de maisons de la région de l'Atlantique en entravant l'assèchement pendant l'hiver de l'humidité emmagasinée du printemps à l'automne, et y note des conditions relativement peu propices à l'assèchement. Timusk propose, entre autres mesures correctives, de poser un pare-air perméable à la vapeur (par exemple, une membrane POFL) derrière le bardage. Cela aurait également l'avantage d'empêcher le vent de réduire l'efficacité de l'isolant et de refroidir les surfaces intérieures, particulièrement aux angles. Pendant de nombreuses années, la partie 9 du CNBC a énoncé des exigences détaillées concernant les papiers de revêtement, destinées à prévenir les infiltrations de vent et de pluie, en plus de permettre l'assèchement des éléments muraux le printemps et l'été. Par ailleurs, la perméance des revêtements d'ossature et des bardages n'est soumise à aucune limite, sauf celle que pourraient spécifier les normes correspondantes.

- Les méthodes courantes de mise en oeuvre des revêtements d'ossature/papiers de revêtement suffisent-elles pour empêcher

l'air de parvenir jusqu'à l'isolant ou d'en sortir sous l'effet du vent?

- Faut-il mener des études sur leur efficacité?
- L'utilisation de membranes de revêtement contre-indiquées ou de matériaux de revêtement à faible perméance entraîne-t-elle des problèmes d'humidité? Faut-il prévoir des dispositions particulières (par exemple, étanchéité à l'air, évacuation de l'eau, perméance du pare-vapeur) lorsqu'un revêtement à faible perméance est employé?

5. Timusk propose, au nombre des mesures correctives, de mettre en oeuvre un revêtement d'ossature isolant pour solutionner les problèmes d'humidité des murs des maisons de la région de l'Atlantique.

Handegord (Prediction of the Moisture Performance of Walls - ASHRAE Transactions 1985, Vol. 91, Pt. 2) a analysé les effets avantageux du revêtement d'ossature isolant qui augmente l'hiver la température à la jonction du revêtement d'ossature et des poteaux (normalement le plan de condensation) et y réduit la condensation des exfiltrations d'air. Dans les climats susceptibles à la condensation, il propose de prévoir à cet endroit une certaine résistance à la diffusion de la vapeur et aux fuites d'air de sorte que la condensation ne puisse se former à l'intérieur du revêtement isolant. Si l'on soupçonne la formation d'une très grande quantité de condensation, il recommande de prendre des dispositions pour assurer l'évacuation de l'eau. Dans le cadre d'études effectuées en laboratoire à l'université de Toronto (voir annexe E), où de l'air intérieur humide avait été injecté dans la cavité murale isolée à la fibre de verre, la quantité de condensation qui s'était accumulée dans la cavité (surtout à la jonction du revêtement d'ossature) était environ la même pour l'isolant en polystyrène qu'en fibre de verre lorsque la membrane POFL était mise en oeuvre du côté chaud de ce dernier type d'isolant. En inversant la position de la membrane de POFL, la plus grande partie de la condensation se formait à l'intérieur du revêtement isolant en fibre de verre et très peu dans la cavité. On a conclu que la dernière

disposition était avantageuse en présence de bardages sensibles à l'humidité étant donné que le revêtement d'ossature est en mesure aussi bien d'emmagasiner l'humidité que de l'évacuer inoffensivement dans des conditions plus favorables. Lorsque des fentes étroites furent pratiquées dans le polystyrène sur la largeur de l'espace entre les poteaux, au haut et au bas, et à deux autres niveaux, la condensation de l'isolant des cavités n'a pas diminué, mais celle du revêtement d'ossature a augmenté à cause de l'accumulation de givre dans les fentes. L'étude des bâtiments d'essai de la région de l'Atlantique a révélé que la vitesse d'assèchement du bois d'oeuvre initialement humide était beaucoup plus basse en présence de revêtements d'ossature à faible perméance (par exemple le polystyrène extrudé) qu'en présence de revêtements en fibre de verre. Les différences des taux d'assèchement des deux matériaux mis en oeuvre dans les bâtiments d'essai du sud de l'Ontario et de l'Alberta étaient apparemment négligeables.

- Les pratiques de mise en oeuvre actuelles permettent-elles d'utiliser un revêtement d'ossature isolant à faible perméance? Faut-il prévoir des dispositions spéciales pour leur utilisation dans la région de l'Atlantique?
- Où vaut-il mieux placer la membrane POFL en cas d'utilisation d'un revêtement d'ossature isolant en fibre de verre s'il n'y a pas de pare-air efficace du côté extérieur (si les joints de la membrane POFL ne sont pas pontés ou en l'absence d'un autre pare-air à cet endroit) ou si un pare-air distinct s'y trouve?
- Une membrane de revêtement supplémentaire est-elle nécessaire si les joints de la membrane POFL mise en oeuvre sur le revêtement isolant en fibre de verre sont pontés (c'est-à-dire est-ce que la membrane de POFL pontée répond à toutes les exigences des membranes de revêtement)?
- Existe-t-il des cas où l'utilisation d'un revêtement isolant obligerait à prendre des dispositions pour évacuer l'eau?

6. La programme R-2000 et d'autres opérations ont démontré la possibilité de réaliser des murs à ossature de bois relativement étanches à l'air en faisant appel principalement à un pare-air/pare-vapeur en polyéthylène, à des plaques de plâtre hermétiques ou à une membrane extérieure de POFL. Les sources d'humidité intérieures, a-t-on observé, n'ont causé aucun problème d'humidité aux murs. La maison R-2000 est équipée d'un système de ventilation qui, conçu pour fonctionner continuellement, fournit environ 0,3 renouvellement d'air par heure, taux normalement suffisant pour éviter de la soumettre à un degré trop élevé d'humidité relative intérieure. Généralement équilibré, le système n'influe à peu près pas sur les différences de pression agissant sur l'enveloppe du bâtiment de sorte qu'il contribue peu aux infiltrations ou aux exfiltrations.

La norme CSA F326 touchant la ventilation mécanique des habitations autorise un apport supérieur au débit extrait équivalent à 0,12 L/s par m² de l'enveloppe. Cette valeur se fonde sur des estimations de l'apport d'air excédentaire introduit par les conduits d'air extérieurs raccordés aux plénums de reprise, technique fréquemment utilisée dans différentes régions du Canada. On suppose qu'une fraction seulement de cet air s'infiltré dans les cavités des murs ou du plafond et que le reste est rejeté directement à l'extérieur par la cheminée, les conduits d'extraction ainsi que les fissures autour des portes et des fenêtres. La limite de pressurisation de la maison est fixée à 10 Pa, niveau accessible uniquement dans les maisons très étanches (surface de fuite équivalente d'environ 0,004 m² pour une petite maison et de 0,034 m² pour une grande maison) moyennant un taux d'apport excédentaire inférieur à l'équivalent de 0,12 L/s par m².

Comme mentionné, certains experts ont soutenu que l'exfiltration d'air intérieur était principalement à l'origine des problèmes d'humidité observés dans les murs des habitations de la région de l'Atlantique. Des preuves circonstanciées ont certainement motivé ce raisonnement. Platts a noté qu'à St. John's le vent enregistrait en moyenne une vitesse plus élevée lorsqu'il soufflait de l'ouest, entraînant donc une exfiltration par les murs faisant face à l'est. Il a observé que

ces murs présentaient le plus souvent des zones mouillées (situation qui n'a pas été signalée dans les relevés d'enquête de 1982). Les problèmes se manifestaient plus fréquemment dans les maisons sans conduit de fumée, puisque l'exfiltration se produisait généralement en partie supérieure des murs. Une analyse superficielle des valeurs éoliennes pour St. John's suggère que l'exfiltration due au vent à laquelle sont soumis les murs faisant face à l'est, d'octobre à mars, pourrait équivaloir à une pressurisation continue de la maison de l'ordre de 3,5 Pa, compte tenu de l'écran local de protection du vent. Une analyse semblable des murs est de maisons situées à Toronto indique une pressurisation correspondante d'environ 1,4 Pa. Cela montre que l'exfiltration totale due au vent que subissent les murs est pourrait être environ 80 % plus élevée à St. John's qu'à Toronto, à valeurs de surface de fuite équivalente semblables. À ces deux endroits, la poussée aérostatique moyenne s'établit à environ 0,75 Pa par mètre pour la période. Ainsi, la différence des poussées aérostatiques moyennes agissant sur la partie supérieure des murs et sur le plafond des maisons sans conduit de fumée est d'environ 1 Pa.

L'enquête de 1982 signale que les maisons infestées d'humidité présentent un degré d'humidité relative intérieure plus élevé que la moyenne et qu'elles sont dans une proportion assez forte chauffées à l'électricité. L'analyse du questionnaire établi par le Groupe de travail SCHL/ACCH révèle que pratiquement toutes les maisons infestées d'humidité de l'échantillon enregistraient un degré d'humidité intérieure supérieur à 40 % lors de l'enquête et qu'environ la moitié n'étaient pas équipées d'une cheminée. Un très fort pourcentage de répondants rapportent la présence de moisissure à l'intérieur ou la formation de condensation (vraisemblablement sur les fenêtres), alors que plus du tiers des répondants de Terre-Neuve font état de problèmes de bardage ou de peinture, et/ou d'humidité au vide sous toit.

Platts conclut que très peu de maisons présentant un taux d'humidité relative modéré éprouvent des problèmes d'humidité et que partout dans le sud du Canada les problèmes d'origine intérieure des maisons existantes peuvent dans une très grande mesure être résolus en faisant

en sorte que le degré d'humidité n'entraîne pas de formation excessive de condensation sur les parois intérieures des fenêtres à double vitrage (voir annexe B), à condition d'éviter les fuites importantes du pare-air ou de corriger la situation.

Maintenir le degré intérieur d'humidité relative de façon à éviter la formation de condensation excessive sur les parois intérieures des fenêtres semble constituer la limite supérieure logique. Cependant, l'amélioration de la performance thermique des fenêtres, dont la température des chants des vitrages isolants, accroît leur marge de tolérance à l'humidité relative. Alors que la limite supérieure d'humidité relative recommandée à St. John's et à Toronto est d'environ 45 %, suivant les prescriptions du MAPP, elle pourrait être substantiellement plus élevée si l'on tenait compte des caractéristiques thermiques des fenêtres hautement performantes et pourrait donc être remise en question en tant que guide pour éviter les problèmes éventuels de condensation dans les murs et au vide sous toit.

- À quelles différences de pression moyenne équivalente dues au vent, à l'effet de tirage naturel de la maison et au fonctionnement des systèmes mécaniques, particulièrement celles causant l'exfiltration, seront vraisemblablement soumis les murs et le plafond des habitations à ossature de bois de diverses régions du Canada au cours de l'hiver? Quels sont les ratios d'humidité intérieure de calcul en hiver pour les différentes régions du Canada aujourd'hui et pour la prochaine décennie? Quels critères d'étanchéité à l'air des composants types, existants et nouveaux, des murs et du plafond se prêtent à ces conditions?
- Les critères d'apport d'air excédentaire autorisé par rapport à l'air extrait dans la norme CSA F326 sont-ils raisonnables pour les constructions résidentielles actuelles et pour les maisons R-2000?

7. Beaucoup d'efforts ont été consacrés à comprendre les principes du mur dynamique et à obtenir des données sur sa performance, à l'université de Toronto. Fiberglass Canada a tenté d'introduire un système basé sur ce concept, mais y a apparemment renoncé. Au moins un constructeur de maisons en série a réalisé une habitation destinée à exploiter les possibilités du mur dynamique. Le potentiel d'efficacité énergétique que semble promettre le concept (voir annexe E) excite l'imagination.
- Comment la performance du système est-elle influencée par les variantes climatiques au Canada?
 - Quels sont les avantages et les limites de l'approche basée sur la dépressurisation globale de la maison? Est-elle susceptible de gagner la faveur des constructeurs et des propriétaires de maison?
 - Cette approche se prête-t-elle mieux à la préfabrication en usine de l'enveloppe?
 - Existe-t-il des échangeurs de chaleur appropriés (par exemple pour le chauffage de l'eau chaude domestique)?
 - Se trouve-t-il des brevets existants ou à venir susceptibles de restreindre l'accès au système et de limiter l'affectation de fonds publics à la recherche et au développement?
 - Quel niveau de priorité faut-il accorder aux activités supplémentaires de recherche et de développement?
8. On compte de nombreux cas de problèmes d'humidité dans les vides sous toit ventilés au fil des ans, même si dans la majorité des maisons du sud du Canada le vide sous toit semble offrir une performance satisfaisante. Les problèmes découlent de taux d'humidité intérieure élevés, de la déficience du pare-air, d'une ventilation inappropriée et de l'augmentation de la différence de pression d'air (par exemple, dans les maisons chauffées à l'électricité, les habitations à niveaux

multiples). Le Code national du bâtiment a raffermi au cours des années les dispositions relatives au mouvement de l'air et de la vapeur d'eau et il semble probable que l'étanchéité à l'air des plafonds se soit accrue en même temps que l'étanchéité des maisons en général.

La performance du vide sous toit ventilé des habitations du nord du Canada laisse à désirer, du moins tel qu'il est exécuté. Les méthodes courantes de mise en oeuvre faisant appel à un toit cathédrale doté d'un pare-air efficace mais sans espace ventilé semblent remporter plus de succès.

- Le vide sous toit ventilé aurait-il une performance adéquate dans le nord du Canada s'il était réalisé selon les normes d'étanchéité à l'air de la maison R-2000, en présumant que les orifices de ventilation empêchent l'infiltration de neige?
- Est-il possible d'empêcher l'infiltration de neige très fine qu'on retrouve dans cette région?
- La performance à l'humidité des toits dotés de vides sous toit ventilés tels que mis en oeuvre actuellement est-elle adéquate dans toutes les régions du sud du Canada? Pourraient-ils tolérer une augmentation de l'humidité relative intérieure (par exemple, de 10 %)? Les exigences de ventilation actuelles sont-elles logiques?
- Les toits cathédrale qui se construisent actuellement dans le nord du Canada ont-ils une tenue en service adéquate? Cette technique de construction pourrait-elle être avantageusement exploitée dans le sud du Canada?
- La défaillance de la principale membrane de couverture risque-t-elle d'avoir des conséquences plus graves dans le cas de vides sous toit non ventilés?

9. Les problèmes d'humidité au sous-sol figurent parmi les motifs de plainte les plus courants des propriétaires de maison. Il peut s'agir de fuites d'eau souterraine ou de ruissellement pluvial par les fissures des murs du sous-sol ou à la jonction du mur et du plancher, de la diffusion d'humidité par la dalle de plancher et les murs de même que de l'infiltration de gaz souterrains. Des exigences récentes du CNBC semblent régler, du moins en partie, certains de ces problèmes.

Isoler la face intérieure des murs de sous-sol emprisonne l'humidité de la construction dans le mur de béton isolé et favorise la condensation de l'air du sous-sol en été (voir annexe A). La condensation peut aussi se manifester sur la paroi interne de béton. On peut éviter ces problèmes dans une large mesure en adoptant de bonnes techniques d'isolation extérieure. La majorité des constructeurs préfèrent toutefois effectuer les travaux d'isolation par l'intérieur en raison du coût moins élevé. La protection contre l'humidité pose un défi puisque la température du mur de fondation en contact avec le sol reste la plupart du temps inférieure à la température du point de rosée intérieur. La direction du transfert de la vapeur d'eau par diffusion se fera presque toute l'année de l'intérieur vers le mur de fondation. Toute infiltration d'air intérieur y augmentera le transfert d'humidité. Assurer l'étanchéité à l'air et mettre en oeuvre un bon pare-vapeur donneront lieu à un transfert d'humidité minime. Néanmoins, l'eau se condensera lentement à la surface et s'y accumulera à moins que le mur de fondation ne l'absorbe. Si l'humidité de construction du mur s'est dissipée et qu'il ne se trouve pas d'eau libre à l'extérieur, le mur absorbera probablement l'humidité depuis l'intérieur et la transmettra au sol. La quantité d'eau transmise sera infime, environ $(0,01 \text{ lb/pi}^2)$ ($0,49 \text{ kg/m}^2$) par année en présence d'un pare-vapeur en polyéthylène de 0.004 po (0,1 mm). Condensée, cette quantité d'eau correspond à une couche d'eau d'environ 0,05 mm d'épaisseur. Quoi qu'il en soit, l'humidité relative à la surface voisinera les 100 % la plupart du temps à moins que le mur ne soit en contact avec un sol relativement sec.

Le CNBC requiert la mise en oeuvre d'une membrane d'étanchéité sur la paroi intérieure du mur de fondation jusqu'au niveau du sol une fois le sous-sol fini. On veut ainsi éviter que l'ossature entre en contact direct avec l'humidité du mur de fondation, qu'il s'agisse d'humidité de construction ou qu'elle soit absorbée par la suite. Cette méthode a le désavantage de gêner l'absorption d'humidité transmise de l'intérieur lorsque l'humidité du mur de fondation est en équilibre avec celle du sol.

L'installation d'un déshumidificateur au sous-sol (ou la climatisation centrale) est nécessaire dans de nombreuses régions du Canada pour éviter la condensation (et la prolifération de moisissure) sur les parois intérieures des murs de sous-sol en contact avec le sol et sur le plancher du sous-sol, sans compter qu'elle permet de réduire également le risque de transfert de vapeur d'eau dans les murs de sous-sol isolés.

- Si les exigences et les techniques d'isolation des parois intérieures des murs de sous-sol en béton, décrites dans le CNBC, sont suivies à la lettre, ainsi que les autres exigences, les problèmes d'humidité seront-ils évités dans une grande mesure? Sinon, quelles méthodes adopter? Est-il avantageux de placer la membrane d'étanchéité sur la face intérieure du mur de fondation comme le prescrit le CNBC, la plupart du temps, parfois ou jamais?
 - Le bois d'oeuvre utilisé pour la finition du mur doit-il être traité sous pression?
 - Existe-t-il des documents décrivant les règles de l'art pour éviter les problèmes d'humidité en aménageant le sous-sol?
10. Des travaux ont porté au début des années 1980 sur la rédaction de Mesures d'efficacité énergétique dans les habitations du Nord. On a également commencé à ébaucher un document relatif à la construction dans le Nord (voir annexe C). Aucun de ces documents n'a été terminé.

- A-t-on besoin de documents décrivant en détail les règles de l'art en construction de maisons à ossature de bois dans le nord du Canada?
11. La SCHL et le CNRC préparent actuellement des modèles informatiques visant à prévoir le comportement à l'humidité des éléments de l'enveloppe de bâtiment. L'Alberta Home Heating Research Facility s'occupe également de mettre au point des modèles pour prévoir les conditions hygrothermiques des murs et vides sous toit.
- Quels sont les problèmes d'humidité et les aspects conceptuels de l'enveloppe qui nécessitent de meilleures méthodes de prévision du comportement?
 - Quelles sont les particularités requises des modèles informatiques pour effectuer ces prévisions? Quelles limites entravent actuellement la mise au point de tels modèles? Quels sont les coûts et délais estimatifs à prévoir pour mettre au point de tels modèles?
 - L'utilisation des modèles en cours d'élaboration permettra-t-elle d'effectuer des études paramétriques capables de bien évaluer les limites des conditions intérieures/extérieures dans lesquelles les diverses configurations de mur offriront une performance satisfaisante? Sera-t-il possible de recommander des modifications aux méthodes de construction d'après les résultats de ces études?
 - Existe-t-il d'autres méthodes pour obtenir l'information nécessaire en moins de temps et/ou à moindre coût?

On a avancé que la recherche et le développement en science du bâtiment avaient été largement réactifs dans le passé. D'une certaine façon, ils le sont par définition. Ils s'intéressent toujours (ou doivent le faire) à l'acquisition de nouvelles connaissances ou à

l'amélioration de la compréhension d'une méthode, d'un procédé ou d'un produit en vue de remplir un besoin perçu ou d'exploiter une occasion perçue. Par contre, la recherche et le développement ne sont pas par définition seulement motivés par le désir de faire progresser les connaissances.

Il se pourrait que la recherche entreprise pour résoudre un problème immédiat soit jugée plus réactive que celle qui vise à développer les connaissances qui contribueront à solutionner un éventail plus large de problèmes ou à trouver une solution plus générale. Dans le même ordre d'idées, la recherche et le développement axés sur la façon d'améliorer un produit ou processus existant pourraient être considérés comme plus réactifs que la recherche menée en vue de créer un produit destiné à un usage prévu. Chaque cas de la première prémisse nécessite habituellement une perspective à plus long terme et présuppose habituellement un plus grand risque (par exemple les résultats de la recherche pourraient être redondants ou arriver trop tard ou trop tôt pour revêtir une signification pratique; de la même façon le produit pourrait ne pas être commercialisable pour diverses raisons). En revanche, il est possible d'en retirer une plus grande rétribution (un meilleur rendement du capital investi).

L'ampleur de la recherche à entreprendre pour résoudre des problèmes immédiats plutôt que pour fournir des connaissances plus fondamentales, ou des outils plus puissants, d'application peut-être plus vaste (ou l'ampleur du développement consacré à l'amélioration progressive des produits existants plutôt qu'à la création de produits nouveaux semble dépendre de la mission de l'organisme et de la nature des problèmes ou des défis à relever. La formulation ou la compréhension de la mission et des buts est de rigueur pour déterminer rationnellement les objectifs courants et élaborer les plans pour les réaliser.

Pour la plupart des organismes, la recherche et le développement ne représentent pas une fin proprement dite, mais tendent à appuyer des objectifs plus larges. Même pour un organisme comme l'IRC du CNRC, la

recherche ne constitue pas une fin en soi mais s'effectue dans le cadre d'une mission et d'objectifs précis. Les universités peuvent représenter un cas particulier, en ce sens où le but ultime de la recherche vise à priori à fournir des occasions de perfectionnement du savoir.

Se lancer dans des programmes et des projets qui poursuivent des objectifs à long terme ou sont consacrés à de nouvelles activités de développement, entraîne plus de risques et exige la formulation d'objectifs clairs. La planification professionnelle et la gestion permanente sont essentielles pour goûter au succès ou pour diminuer les risques. Habituellement les fonds disponibles sont limités, par rapport à la demande, de sorte que le problème initial consiste à faire les bons choix. Malheureusement, les projets à court terme ou à long terme peuvent être mal exécutés.

- Quels sont les organismes tout indiqués pour effectuer de la recherche à court et à long terme?
- Les organismes publics qui s'occupent de recherche et de développement en bâtiment doivent-ils accorder une plus grande priorité aux enjeux à long terme? Doivent-ils se consacrer davantage à la création de concepts, de produits et de processus nouveaux?
- Quels processus, inutilisés actuellement, pourraient servir à déterminer les priorités de recherche et de développement et à planifier et gérer les projets?
- Quels sont les buts à long terme perçus comme dignes de considération en ce moment?
- Quels sources de financement existent ou pourraient être créées?

5.2 Pratiques de mise en oeuvre et de rattrapage

L'étanchéité à l'air moyenne des maisons de série a augmenté considérablement lors de la dernière décennie, alors que des maisons de Winnipeg s'approchent du taux maximal de 1,5 renouvellement d'air par heure à 50 Pa prévu par le programme R-2000, mais, en même temps, elle laisse beaucoup à désirer, surtout dans les régions de Toronto, d'Ottawa et à Vancouver. Les pratiques de mise en oeuvre doivent relever le défi d'améliorer l'étanchéité à l'air des maisons dans ces régions et ailleurs au pays. Une enquête récente a permis d'établir que la surface de fuite normalisée moyenne pour 20 maisons de Winnipeg était de $0,91 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, alors que pour les maisons de Toronto (30 maisons), d'Ottawa (20 maisons) et de Vancouver (20 maisons) elle s'établissait respectivement à 1,92, 2,07 et 2,87. Les dix maisons de St. John's ne faisaient pas vraiment meilleure figure, avec $1,75 \text{ cm}^2/\text{m}^2$.

Les agents du bâtiment requièrent maintenant l'installation d'un système de ventilation mécanique dans toutes les maisons. Bien que des progrès considérables aient été réalisés à cette fin grâce à l'utilisation des ventilateurs-récupérateurs de chaleur, particulièrement dans les maisons R-2000, les industries de la fabrication et de la construction résidentielle ont à faire face au défi de mettre au point et d'installer des systèmes efficaces, fiables et économiques pour la majorité des maisons.

La question des émanations de gaz de combustion provenant d'appareils sensibles à la dépressurisation des maisons n'est pas encore entièrement résolue. L'utilisation d'appareils de chauffage à combustion à tirage naturel dans des maisons étanches équipées de divers dispositifs d'évacuation servant à diverses fins semble constituer un anachronisme. En même temps, recourir à des dispositifs d'évacuation à haute capacité sans ménager de prise d'air de compensation pose également un problème. La résolution de ce problème constitue un défi pour les autorités compétentes des codes, les fabricants et les constructeurs.

Les scieries et les marchands livrent aux constructeurs, particulièrement dans la région de l'Atlantique, du bois d'oeuvre dont la teneur en eau est trop élevée. Il appartient à tous les intervenants de s'assurer que le bois utilisé dans la construction est suffisamment sec à l'achèvement du gros oeuvre.

La forte humidité des sous-sols demeure l'un des motifs de plainte les plus courants chez les propriétaires de maisons neuves. Il existe maintenant des systèmes et des matériaux qui, utilisés à bon escient, contribueront largement à éviter ce problème. Le défi d'améliorer cet aspect des pratiques de mise en oeuvre incombe au secteur de l'habitation.

Il se construit encore des maisons qui n'éliminent pas bien les effets néfastes de la pluie et de la neige sur l'enveloppe. Les règles de l'art sont pourtant généralement connues. L'industrie doit construire des maisons témoignant du soin apporté aux détails d'exécution des solins et à l'évacuation d'eau, en plus de mettre en oeuvre des parements qui minimisent l'infiltration d'eau et le mouillage des matériaux sensibles à l'humidité.

La qualité d'exécution des entrepreneurs en travaux de rattrapage varie grandement. On espère que les divers secteurs d'activité sont en mesure d'offrir aux propriétaires l'assurance qu'ils peuvent compter sur des avis judicieux et une main-d'oeuvre compétente. Les fournisseurs de produits utilisés par le secteur du rattrapage, comme l'isolant thermique, les mastics de calfeutrage, les revêtements d'ossature isolés, les pare-air, les bardages, les fenêtres et le matériel de ventilation, pourraient agir avec plus de responsabilité en veillant à ce que leurs produits servent comme il se doit, et en reconnaissant les effets de leurs produits sur d'autres aspects de la performance de la maison.

5.3 Besoins de formation et d'éducation

Depuis 15 ans, l'industrie du bâtiment a dû apporter certaines modifications aux matériaux, aux appareils et aux pratiques de mise en oeuvre. La formation des membres de l'industrie et la publication de

documents sur les «règles de l'art», soutenues par la SCHL et ÉMR, ont facilité cette adaptation. Le besoin de formation et de documentation appropriées se fait toujours sentir. Dans les domaines touchant la régulation de l'humidité, les besoins de formation et d'éducation touchent l'amélioration de l'étanchéité à l'air, la régulation de l'humidité dans les sous-sols, les pratiques de mise en oeuvre pour empêcher l'humidification sous l'effet de la pluie et de la neige, ainsi que le traitement des eaux de ruissellement, la sélection et l'installation d'appareils de ventilation et d'extraction, de même que la teneur en eau acceptable du bois d'oeuvre.

À mesure que s'accroissent les coûts de l'énergie et les préoccupations au sujet du réchauffement de la planète, il semble évident que la tendance vers la construction de maisons davantage éconergétiques se poursuivra et que les normes de performance comparables au programme R-2000 deviendront la règle. Cela nécessitera des programmes permanents d'instruction et de formation.

Malgré l'investissement consenti dans les travaux de rattrapage énergétique vers la fin des années 70 et au début des années 80 (par le biais du Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes, par exemple), il reste un grand nombre de maisons présentant une valeur d'isolation thermique de R7 (RSI 1,2) ou moins dans les murs et de R10 (RSI 1,8) au plafond. Voilà certes une excellente occasion d'en relever la résistance thermique. Il faut instaurer des programmes pour garantir l'exécution appropriée des travaux. On a grandement investi dans l'élaboration de normes et de directives de rattrapage énergétique et dans le matériel de formation. Celles-ci devront vraisemblablement être dépoussiérées et actualisées au besoin dans le but de documenter les cours de formation sur le rattrapage énergétique.

En bout de ligne, le propriétaire doit prendre la décision de réparer, de rénover sa maison ou d'en améliorer l'efficacité énergétique. Le nombre d'options ne cesse d'augmenter. La publication de documents informatifs et faciles à comprendre guidera certainement les propriétaires dans leurs choix et augmentera la probabilité d'obtenir un travail satisfaisant. De la

documentation semblable, qui orienterait les acheteurs de maisons neuves, aurait également du mérite.

5.4 Motivation au changement

L'augmentation des coûts de l'énergie et des préoccupations environnementales revêtira vraisemblablement de l'importance au cours de la prochaine décennie, tout comme les appels renouvelés pour une utilisation efficace de l'énergie et le recours à des sources d'énergie exerçant moins d'effet sur le réchauffement de la planète. Tout porte à croire que continuera l'amélioration de l'efficacité énergétique aussi bien des maisons neuves qu'existantes.

On se préoccupera aussi vraisemblablement de plus en plus de la qualité de l'air intérieur, ce qui pourrait influencer sur les matériaux utilisés, les techniques de ventilation et les méthodes de nettoyage et d'entretien des maisons.

La hausse des coûts d'habitation pourrait engendrer le besoin de convertir les grandes maisons en collectifs et d'en accroître la densité d'occupation. Cette situation contribuerait à augmenter la production d'humidité et de polluants.

La réduction des tarifs et l'abaissement des autres barrières commerciales (par exemple, zone de libre-échange, ALENA, GATT) motiveront sans doute le changement. Certains changements immédiats au sein de l'industrie des produits de bâtiment semblent avoir été négatifs, avec la cessation des activités de recherche et de développement de certaines entreprises multinationales basées aux États-Unis et le déplacement vers les États-Unis des activités de recherche et développement et de fabrication de certaines entreprises établies au Canada. Avec la mondialisation du commerce, il se peut, d'une part, que les grandes entreprises soient moins portées à fabriquer des produits pour satisfaire le marché canadien, mais, d'autre part, on puisse avoir droit à un éventail plus vaste de produits étrangers parmi lesquels il faudra sélectionner les plus appropriés et les adapter à l'environnement canadien. Cette situation obligerait, bien sûr, les

entreprises canadiennes à se disputer la faveur du consommateur dans un marché mondial et les gouvernements à susciter un milieu propice à l'essor des entreprises.

5.5 Encouragement à l'innovation

Le besoin persiste de déployer des efforts pour améliorer l'efficacité énergétique, la qualité du milieu intérieur, la sécurité, l'utilité, la durabilité et l'abordabilité de l'habitation au Canada. Cela fait généralement appel à l'innovation, dont l'innovation technologique.

On pense habituellement que l'innovation dans les produits manufacturés est favorisée par des systèmes économiques qui minimisent les contrôles inutiles, encouragent la concurrence et récompensent le succès. D'autre part, on s'attend à ce que ce contexte motive les entreprises à prendre des risques, à entreprendre de la recherche et du développement tant du point de vue du produit que de la production et à faire une mise en marché dynamique. Bien que ce contexte puisse suffire à favoriser la production de meilleurs aspirateurs par exemple, il risque vraisemblablement de ne pas exercer d'influence marquée sur le secteur de l'habitation à ossature de bois.

Dans les années 60, à la suite du succès remporté par le programme spatial des États-Unis, qui employait l'approche systémique et le «concept de performance» dans son programme de développement, on a pensé qu'une approche semblable pourrait susciter de l'innovation au sein du secteur du logement. Si les exigences du bâtiment étaient exprimées en termes de performance plutôt qu'en termes prescriptifs, le secteur serait libéré de contraintes inutiles et répondrait par des modèles de maisons et des méthodes de construction novateurs. L'important programme de démonstration, appelé «Operations Breakthrough», lancé par la U.S. Federal Housing Administration, sollicitait des appels de propositions pour divers types de logements à différents endroits. Le National Bureau of Standards (maintenant le National Institute of Science and Technology (NIST)) a été chargé de mettre au point les caractéristiques de performance qui représentait véritablement une entreprise de taille. On en a appris

beaucoup sur les besoins de critères de performance et de méthodes d'évaluation de la performance, et un certain nombre de programmes novateurs ont été mis de l'avant et mis en oeuvre, mais il n'est pas évident que ce programme ait eu une influence marquante sur l'ensemble des secteurs d'activité. Nous n'alléguons pas que la formulation d'exigences en termes de performance ne constitue pas un objectif souhaitable mais plutôt que la performance seule n'est apparemment pas une motivation suffisante pour amener l'innovation dans le secteur du bâtiment.

Il semble que l'introduction de changements importants et l'amélioration de la performance des constructions résidentielles exigent un engagement de la part du secteur public, la formulation de buts, la création de la technologie nécessaire en association avec le secteur privé et des programmes conjoints de mise en oeuvre des secteurs public et privé. Dans le processus, on pourra devoir compter sur de nouvelles normes obligatoires, des modifications aux codes du bâtiment, de nouveaux manuels de conception et de construction et de nouveaux programmes d'éducation et de formation. Ce type d'effort concerté est nécessaire pour résoudre efficacement les problèmes d'humidité décrits dans le présent rapport.

Certains ont exprimé l'avis que des améliorations à nos pratiques de mise en oeuvre des bâtiments résidentiels à ossature de bois permettront d'encourager les ventes à l'exportation des entreprises canadiennes, par exemple au Japon et dans les autres pays de l'Extrême-Orient et de l'Europe de l'Est. Certaines améliorations pourront servir aux entreprises qui visent de tels marchés d'exportation. Il faudra toutefois évaluer les débouchés précis des entreprises canadiennes avant que la recherche et le développement financés par des deniers publics soient justifiés sur la base de l'amélioration des possibilités d'exportation. Peut-être faudra-t-il améliorer la communication entre les organismes publics chargés de favoriser la concurrence et la recherche de débouchés commerciaux pour l'industrie canadienne du bâtiment (dont le secteur des services) et les organismes responsables de l'attribution et de l'utilisation de la recherche et du développement d'initiative publique. Un objectif consisterait à permettre d'inclure la recherche de débouchés commerciaux

sur les marchés étrangers comme un facteur de l'établissement des priorités de recherche et de développement. Il doit se trouver bien entendu des industries canadiennes viables, capables d'exploiter les résultats de la recherche et du développement dans la mise au point de produits et services destinés au marché mondial.

ANNEXE A

TRAVAUX DE RECHERCHE DE LA SCHL SUR L'HUMIDITÉ

1975 - 1991

Travaux de recherche de la SCHL sur l'humidité
1975 - 1991

Depuis sa création, la SCHL s'intéresse aux moyens pratiques d'éviter les problèmes d'humidité dans les habitations financées en vertu de la LNH. Les Normes de construction résidentielle, destinées à refléter les règles de l'art en construction, sont d'abord publiées à l'interne par la SCHL, puis par le Comité associé du Code national du bâtiment (par la suite à la partie 9 du CNBC). Les problèmes de performance des maisons sont portés à l'attention du Bureau national de la SCHL par le personnel des bureaux régionaux et, au besoin, des directives spéciales (énoncées par exemple dans les Bulletins des constructeurs) visent à les solutionner. Les nouveaux produits et systèmes font l'objet d'une évaluation de la part du personnel technique de son siège social et leur acceptation est fonction des résultats obtenus. Les inspecteurs des bureaux extérieurs veillent à ce que les maisons soient construites conformément aux normes et directives appropriées et que seuls les produits répertoriés entrent dans leur construction. Des avis quant aux méthodes d'évaluation et à la résolution des problèmes sont dispensés par les organismes de recherche tels que la Division des recherches en bâtiment, le CNRC ou le Laboratoire des produits forestiers (maintenant devenu Forintek). De nombreuses questions techniques d'intérêt national se règlent au moyen du processus d'intervention de la SCHL.

Des changements dans l'organisation de ses opérations techniques, amorcés vers les années 1975, ainsi que dans ses rapports avec les organismes de recherche, amènent la SCHL à adopter une approche plus proactive à l'égard de la recherche et du développement techniques. Cela coïncide avec une augmentation marquée des subventions à la recherche et au développement dans le domaine de l'énergie et du bâtiment, par l'entremise d'ÉMR et d'organismes provinciaux responsables de l'énergie. La situation a notamment pour effet de susciter chez les consultants privés du Canada des compétences en recherche et développement appliqués au bâtiment.

Depuis 1975, la Société met sur pied une imposante structure interne appelée à planifier et à gérer les contrats touchant la recherche et l'application pratique de la technologie du bâtiment. L'effectif de la SCHL

formule la notion d'«approche systémique de la maison» destinée à expliquer les interactions de la maison et de ses composantes avec les milieux intérieur et extérieur, et à saisir les problèmes en découlant et les symptômes corollaires. La notion est appliquée aux études consacrées aussi bien aux problèmes d'humidité que d'évacuation des gaz de combustion. La Société commence vers la fin des années 1970 à confier à contrat de nombreux travaux de recherche sur l'humidité. Une première étude sur les conditions d'humidité dans les maisons neuves [1], effectuée par Scanada Consultants Ltd., conclut que de 5 à 10 % subissent des problèmes de condensation perceptibles. Les problèmes s'observent dans toutes les régions. De plus, l'étude fait ressortir qu'il y a plus de cas de condensation murale que par le passé et que les maisons chauffées à l'électricité, sans conduit de fumée, risquent plus d'en subir.

Cette étude est suivie d'une enquête sur les problèmes d'humidité des maisons à Terre-Neuve [2], qui conclut que de 20 à 30 % des maisons chauffées à l'électricité, dénuées de conduit de fumée et dotées de bardages sensibles à l'humidité, sont endommagées par l'humidité. L'humidification est attribuable à l'exfiltration d'air plutôt qu'à l'infiltration de pluie balayée par le vent. Des études supplémentaires par les fabricants de bardage touchés sont également entreprises. Un rapport interne, produit en 1981 [3], résume les problèmes perçus à l'époque. Il s'agit surtout du flambage du bardage rigide horizontal à recouvrement et de la saturation du support fibreux de certains types de bardages en aluminium. On croit que les problèmes sont exacerbés par l'utilisation d'appareils de chauffage sans conduit de fumée, l'étanchéité à l'air de la construction, l'accroissement de la valeur d'isolation thermique, et l'ouverture moins fréquente des fenêtres pour économiser l'énergie. On estime que de 2 000 à 6 000 logements éprouvent des problèmes. Aussi est-il proposé de mener une enquête dans le but de déterminer l'étendue du problème et des études visant à analyser la théorie de l'exfiltration comme source d'humidité ainsi que les exigences de conception et de matériaux convenables pour les maisons à ossature de bois à Terre-Neuve.

L'Association canadienne des fabricants de parements, frises et gouttières recommande de poser le bardage sensible à l'humidité sur des fourrures. On propose d'établir l'efficacité de ce mode de pose plutôt que de cesser d'utiliser le bardage en question. La SCHL suggère de fermer les cavités

ménagées par les fourrures au haut du mur pour empêcher l'air de parvenir jusqu'aux soffites. Les fabricants appuient certes le recours à des fourrures comme mesure immédiate, mais ils estiment que la solution ultime consiste plutôt à abaisser l'humidité intérieure par la ventilation, l'élimination à la source et la réduction de l'exfiltration.

En 1982, la SCHL parraine une importante recherche sur les problèmes causés par l'humidité dans les maisons financées en vertu de la LNH [5]. La partie 1 comprend une analyse des résultats d'une enquête téléphonique pancanadienne tendant à déterminer l'étendue des problèmes d'humidité et une enquête portant sur 201 maisons ainsi touchées dans le but d'y établir la nature des problèmes et les données d'occupation du bâtiment. Les problèmes observés sont classés comme suit :

- flambage et voilement du bardage et autres problèmes de bardage
- teneur en eau élevée du revêtement d'ossature
- moisissure à l'intérieur de la maison
- teneur en eau élevée des matériaux à l'intérieur du mur
- niveaux élevés de condensation sur les fenêtres et dommages causés aux cadres de fenêtre
- moisissure et humidité élevée dans le vide sous toit

Les particularités des maisons à problèmes comparées au parc résidentiel moyen révèlent :

- une forte densité d'occupation (4,1 par rapport à 2,9)
- une humidité relative élevée (49 % par rapport à 35 %)
- un pourcentage élevé des maisons chauffées à l'électricité (81 %)
- des maisons relativement neuves (1975 par rapport à des maisons plus anciennes)

L'analyse des données indique que :

- les problèmes de bardage et de revêtement d'ossature semblent être liés aux conditions climatiques qu'on retrouve principalement à Terre-Neuve, soit aux conditions peu propices à l'assèchement au printemps, aux basses températures durant la saison d'assèchement, à de fortes précipitations balayées par le vent et au peu d'énergie solaire.

- la formation de moisissure sur les surfaces intérieures semble être favorisée par des niveaux élevés de production d'humidité interne (probablement la température élevée du point de rosée de l'air intérieur). Le problème, constate-t-on, se produit souvent dans les régions très exposées au vent, semblant indiquer un refroidissement causé par l'infiltration d'air extérieur dans la cavité murale.
- la formation de condensation sur les fenêtres est observée dans les régions très froides et dans les secteurs où l'on fait usage de fenêtres à simple vitrage. On ne retrouve pas à Terre-Neuve une fréquence élevée de problèmes de condensation sur les fenêtres (données en contradiction avec d'autres études sur le terrain selon lesquelles la condensation se forme massivement sur les fenêtres de presque toutes les maisons problèmes à Terre-Neuve). Il se peut que la condensation sur les fenêtres soit tellement répandue qu'elle n'ait pas été signalée comme problème.
- la teneur élevée en eau du mur semble découler du climat, en particulier par temps froid. La teneur en eau plus élevée des éléments au deuxième étage porte à croire que l'exfiltration est à l'origine du problème.
- pour se proliférer au vide sous toit, la moisissure a besoin de chaleur et d'humidité. La teneur élevée en eau des éléments d'ossature des combles est en corrélation avec le temps froid, le faible apport d'énergie solaire et la pluie balayée par le vent, conditions qu'on retrouve à Terre-Neuve. Les deux types de problèmes, constate-t-on, sont associés à l'insuffisance de la ventilation des combles.

Les données sont analysées en vue de prévoir la fréquence des problèmes causés par l'humidité. Suivant l'âge moyen des maisons du fichier de données, leur probabilité d'occurrence dans les logements individuels et collectifs de Terre-Neuve se situe à environ 30 %, alors que dans le reste du Canada, elle varie habituellement de moins de 0,5 % à environ 2 %, sauf en Colombie-Britannique, où le pourcentage touchant les logements collectifs voisine les 9 %.

La partie 2 du rapport, rédigée par J. Timusk, évalue les données à partir des principes de la science du bâtiment et offre des solutions possibles :

- réduire l'humidité à l'intérieur
- recourir à de meilleurs pare-air pour les plafonds et les murs (et mettre en oeuvre, de préférence, un pare-air perméable à la vapeur d'eau sur la paroi extérieure des poteaux)
- faire usage de revêtements d'ossature isolants
- poser le bardage sur des fourrures (écran pare-pluie)
- mieux éliminer l'humidité au sous-sol

La partie 3 de l'étude se penche sur la faisabilité de compter sur une colonne de ventilation passive pour réduire l'humidité intérieure et élever le plan neutre des maisons chauffées à l'électricité à Terre-Neuve. L'étude conclut que cette mesure ne réussit pas à abaisser suffisamment le taux d'humidité relative et qu'elle entraîne une hausse importante du coût du chauffage. De plus, cette technique se révèle parfois bruyante. La ventilation mécanique avec récupération de la chaleur est considérée comme une meilleure solution mais qui exige un coût en capital élevé. Les déshumidificateurs offerts dans le commerce ne sont pas efficaces lorsque le taux d'humidité est inférieur à 50 %.

En août 1982, la SCHL publie le Bulletin des constructeurs T-4 préconisant de poser le bardage horizontal ou en panneau, en produits de bois, en plastique ou en métal sur des fourrures, à Terre-Neuve.

En décembre 1983, la SCHL parraine une réunion d'experts techniques dans le but d'analyser les résultats de l'étude des problèmes causés par l'humidité dans les maisons financées en vertu de la LNH [5] et d'envisager les priorités d'études dans un avenir prochain. Deux avenues de recherches sont proposées : la performance des colonnes de ventilation passive ou des conduits de fumée actifs équivalents, et les caractéristiques d'assèchement de différentes coupes de murs.

En novembre 1983, R.E. Platts, l'un des participants à la réunion, présente un exposé intitulé «Wet Walls in Canadian Houses: Problems,

Solutions, Policy» [6], basé sur les travaux effectués pour la SCHL [1][2][4][5] et les secteurs d'activité. Il soutient fermement que le problème touche principalement la région côtière (particulièrement Terre-Neuve), qu'il met en cause les maisons sans conduit de fumée et que les endroits humides se situent généralement vis-à-vis une rupture d'étanchéité ou un joint sur la face intérieure du mur. Il note des taux d'infiltration plus faibles dans les maisons sans conduit de fumée et, par conséquent, des taux d'humidité intérieure plus élevés. Comme leur plan neutre se situe plus bas, l'exfiltration se produit en partie supérieure des murs. Il invoque également que les zones humides apparaissent plus fréquemment sur les murs faisant face à l'est, ce qui correspond au côté à l'abri (exfiltration) des vents dominants, souvent en partie supérieure des murs, sous le soffite. Il conclut que l'humidité provient principalement de l'air intérieur. Les conditions défavorables à l'assèchement au printemps et en été constituent un autre facteur important. Les papiers de revêtement résistants à la vapeur (le feutre de couverture s'utilise souvent) diminuent encore plus les possibilités d'assèchement. La nappe d'eau souterraine également élevée favorise des taux d'humidité plus élevés dans les sous-sols des habitations. Il recommande d'utiliser du papier de revêtement perméable à la vapeur, de poser le bardage sur des fourrures et d'installer un ventilateur d'extraction ou une colonne de ventilation passive.

Bien que la logique de ses arguments rallie l'assentiment général, certains croient qu'à Terre-Neuve les effets de la pluie balayée par le vent ne doivent pas être mis de côté entièrement. Les vents dominants soufflent du nord, du nord-est, de l'est et du sud-est, indiquant que les murs face à l'est risquent d'être fortement mouillés. Cela contribue tout au moins à mouiller les bardages sensibles à l'humidité et à en réduire la vitesse d'assèchement.

En 1983, la SCHL et l'Association canadienne des fabricants de parements, frises et gouttières envisagent la possibilité de rendre obligatoire la pose du bardage sur des fourrures ailleurs qu'à Terre-Neuve. Le Bulletin des constructeurs T-6 de la SCHL, qui paraît en mai 1984 et doit entrer en vigueur en septembre, prescrit de fixer le bardage sur des fourrures dans toutes les provinces de l'Atlantique. L'ACCH s'oppose alors à l'exigence proposée, faisant valoir que la nécessité et l'efficacité des fourrures n'ont pas été démontrées

et que leur mise en oeuvre ajoute inutilement aux coûts de construction. Le Bulletin T-6 est donc retiré par la suite et le Groupe de travail mixte SCHL/ACCH formé en février 1985 reçoit le mandat d'étudier les causes des méfaits de l'humidité dans les provinces atlantiques et de trouver des solutions, en insistant tout particulièrement sur l'à-propos de fixer le bardage sur des fourrures. L'une des premières tâches du Groupe de travail est de participer à créer et à revoir un document à caractère consultatif [10] que la SCHL publie par la suite.

Le Groupe de travail [21] entreprend de visiter des maisons endommagées par l'humidité, ainsi que des maisons tant neuves que soumises à des travaux de réhabilitation, lors de ses réunions à St. John's, Charlottetown, Fredericton et Halifax. Il entreprend également de constituer une base de données sur les problèmes d'humidité par l'entremise du bureau régional de l'Atlantique de la SCHL à St. John's et supervise un projet de recherche qui comporte des observations sur la performance à l'humidité des murs des bâtiments d'essai construits à Fredericton, Halifax et St. John's. Le Groupe de travail commande aussi une enquête sur la teneur en eau initiale du bois d'oeuvre utilisé dans les maisons neuves de la région de l'Atlantique lorsqu'il devient évident que l'humidité peut jouer un rôle important.

Par suite des visites sur place, le Groupe de travail conclut que :

- l'infiltration d'eau depuis l'extérieur attribuable à des détails d'exécution laissant à désirer, à une mauvaise mise en oeuvre du bardage et des solins et au manque d'entretien périodique expliquent fréquemment les dommages que l'humidité cause aux murs.
- un grand nombre de maisons visitées affichent de la moisissure et de la condensation sur les parois intérieures des murs extérieurs et enregistrent des températures relativement basses dans les zones touchées.

En guise de conclusion générale, le nombre d'habitations endommagées par l'humidité en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard et au Nouveau-Brunswick semble être moins élevé qu'à Terre-Neuve.

Dans la foulée de la tentative de créer une base de données sur les maisons problèmes, seulement 117 questionnaires sont remplis, la plupart provenant de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse. Dans cet échantillon, 79 % des maisons ont été construites après 1970; 88 % sont des maisons unifamiliales; 53 % n'ont pas de cheminée; 67 % comportent des ventilateurs d'extraction; dans 93 % des cas, le taux d'humidité intérieure rapporté est supérieur à 40 %. À Terre-Neuve, 95 % des maisons échantillonnées manifestent des problèmes de moisissure ou de condensation à l'intérieur, 11 % montrent des signes de détérioration de la charpente ou du revêtement d'ossature, 36 % des problèmes de bardage ou de peinture et 38 % des problèmes au vide sous toit. Les pourcentages correspondants pour la Nouvelle-Écosse sont respectivement de 80 %, 6 %, 24 % et 37 %.

L'objectif de l'étude des bâtiments d'essai [19], [20] et [21] consiste à comparer la performance à l'humidité de différents murs exposés à des conditions climatiques réelles afin de mieux comprendre les principes régissant l'assèchement et d'obtenir un aperçu des matériaux et des méthodes de mise en oeuvre se prêtant à la construction de maisons en climat froid, humide, et particulièrement de l'effet de fixer le bardage sur des fourrures. Des bâtiments d'essai identiques sont réalisés aux trois endroits.

L'extérieur de tous les panneaux est revêtu d'un bardage de vinyle horizontal. Le comité directeur décide, paraît-il, que l'enjeu principal consiste à déterminer si le recours à des fourrures favorise l'assèchement des composants muraux intérieurs (éléments de charpente et revêtement d'ossature) et non à établir de façon spécifique s'il se traduit par une meilleure performance du bardage dérivé du bois. On pense à faire usage de tels bardages dans une seconde ronde d'essais, mais elle n'est jamais concrétisée. Cinq différents murs sont utilisés, dont trois sont exécutés avec et sans fourrures. Le vide d'air formé par les fourrures est fermé au haut, mais ouvert au bas. En pratique, il vaut mieux, croit-on, bloquer les vides d'air pour ainsi réduire le mouvement d'air humide risquant de parvenir aux orifices de ventilation des soffites. En vue de ventiler suffisamment les vides d'air à l'extérieur, un bardage de vinyle comportant une surface de ventilation importante, à tous les joints horizontaux, est retenu. La simulation informatique indique que la ventilation d'un tel

bardage suffit. Malheureusement, le bardage utilisé présente une surface de ventilation faible, de sorte que la ventilation du vide d'air est grandement inférieure à ce qui a été prévu. Les essais sont déjà bien avancés lorsque le Groupe de travail le découvre.

Trois des cinq murs comportent des matelas isolants en fibre de verre, un autre de l'isolant cellulosique pulvérisé sous forme liquide et le dernier du polystyrène expansé. Les revêtements d'ossature sont constitués des matériaux suivants : panneau de copeaux avec papier de revêtement imprégné de bitume, panneau semi-rigide de fibre de verre recouvert d'une membrane de polyoléfine filée-liée, panneau de mousse de polystyrène extrudé recouvert d'une membrane POFL et d'un papier de revêtement imprégné de bitume, et panneau de polystyrène expansé avec papier de revêtement imprégné de bitume.

Un pare-air/pare-vapeur en polyéthylène de 0.004 po bien scellé recouvre les chants de tous les panneaux de même que la surface intérieure des poteaux pour réduire le plus possible l'échange d'humidité entre les panneaux, ainsi que le mouvement d'air et de vapeur d'eau entre l'intérieur et l'extérieur. Le choix délibéré de mettre en oeuvre un pare-air/pare-vapeur serré vise à limiter la transmission de vapeur d'eau à travers la membrane par diffusion. Enfin, des plaques de plâtre recouvrent les parois intérieures de tous les panneaux.

Des panneaux d'essai identiques de chaque type sont posés côtés nord et sud aux trois endroits. La température intérieure est maintenue à 20° C et l'humidité relative à plus de 60 % pendant la saison de chauffage. Compte tenu de l'efficacité du pare-air/pare-vapeur mis en oeuvre, il est peu probable que l'humidité relative puisse exercer un effet significatif sur la performance à l'humidité. On s'attend à ce que la quasi-élimination du mouvement d'air à travers le mur (entre l'extérieur et l'intérieur) réduise grandement la possibilité d'infiltration de la pluie.

Les éléments d'ossature doivent être conditionnés à une teneur en eau d'au moins 25 à 30 %, mais cela n'est pas nécessaire étant donné que le bois d'oeuvre offert aux trois endroits présente des valeurs bien supérieures (situation qui motive l'enquête sur la teneur en eau du bois d'oeuvre). L'eau contenue dans le bois d'oeuvre constitue la principale source d'humidité du bâtiment. L'étude

visé en premier lieu à déterminer le délai nécessaire pour ramener la teneur en eau au maximum acceptable de 19 %. Les données sont recueillies de mars 1986 à août 1987.

Les panneaux d'essai de trois des huit types de construction s'assèchent à 19 % pendant la période de contrôle. Les panneaux des trois autres types, sauf un, atteignent 19 % au cours de la même période. Dans un autre cas, la teneur en eau de seulement trois des panneaux atteint 19 % et dans le huitième cas, aucun des panneaux n'y parvient, même s'ils s'assèchent tous quelque peu. Les panneaux d'essai avec revêtement d'ossature plus perméable à la vapeur d'eau s'assèchent plus rapidement que ceux dont le revêtement est moins perméable. La perméabilité du revêtement d'ossature semble déterminer le plus la vitesse d'assèchement et la teneur en eau finale du bois d'oeuvre. Dans la plupart des panneaux qui sont restés longtemps mouillés, le bois d'oeuvre et le revêtement d'ossature dérivé du bois exhibent des traces de prolifération de moisissure. Le Groupe de travail conclut alors que les fourrures, d'après l'agencement testé, n'exercent aucun effet appréciable sur la vitesse d'assèchement ou sur la teneur en eau finale que le bois d'oeuvre et les matériaux de revêtement atteignent pendant la période de contrôle. Un membre du Groupe fait valoir que, même si l'effet des fourrures ne peut pas être considéré comme important, les résultats d'essai indiquent généralement une amélioration remarquable du taux d'assèchement par rapport à des panneaux semblables dépourvus de fourrures. La formation fréquente de condensation sur l'arrière du bardage de vinyle amène le Groupe de travail à croire que les fourrures derrière le bardage peuvent contribuer à prévenir l'accumulation d'humidité dans le bardage et les matériaux de revêtement dérivé du bois.

L'enquête sur la teneur en eau du bois de charpente dans les provinces atlantiques [26] tend à déterminer l'étendue de l'utilisation de bois d'oeuvre ayant une teneur en eau élevée. La teneur en eau de poteaux d'ossature murale provenant de dix-sept scieries réparties dans trois provinces est mesurée à trois différentes occasions au cours de l'année. Les poteaux se trouvent dans des maisons en construction. Dans 90 % des cas, leur teneur en eau est supérieure à 19 % et celle de 54 % de ces poteaux supérieure au point de saturation des fibres. La charpente de certaines de ces maisons est déjà en

place depuis deux mois de sorte qu'il ne reste qu'à achever le gros oeuvre. La rareté de bois d'oeuvre sec, conclut-on, ajoute beaucoup aux charges d'humidité des murs des habitations des provinces atlantiques.

Au cours du mois d'août 1987, des revêtements d'ossature en bois de 19 x 140 mm couverts d'une membrane POFL remplacent les revêtements en fibre de verre de deux panneaux situés côtés nord et sud du bâtiment d'essai d'Halifax. Le bardage en vinyle est mis en oeuvre contre le revêtement d'ossature de l'une des paires de panneaux et sur des fourrures dans l'autre paire. Tous les autres panneaux restent les mêmes. Le contrôle de l'humidité se poursuit jusqu'à la fin de mars 1988 [22].

La teneur en eau initiale du revêtement de bois des deux panneaux muraux situés côté nord dépasse largement 30 % alors que celle des deux panneaux faisant face au sud se trouve juste en-dessous de 30 %. Le revêtement des panneaux avec et sans fourrures du côté nord enregistre une teneur en eau supérieure à 20 % à la fin de mars. Les panneaux pourvus de fourrures semblent s'assécher un peu plus rapidement. Le revêtement du mur sud atteint environ 15 % à la fin de mars. Les fourrures ont peut-être même ralenti quelque peu l'assèchement du revêtement du côté sud (sans doute à cause de l'effet de refroidissement du vide d'air sur le revêtement lors du rayonnement solaire).

Des bâtiments d'essai sont ensuite construits à Edmonton [35] et Waterloo [39] pour obtenir des preuves de la performance à l'humidité des murs de constructions résidentielles dans d'autres climats. Certains panneaux muraux utilisés aux deux endroits sont des répliques de ceux utilisés dans les provinces atlantiques. Dans le cas des panneaux où le bardage est fixé à des fourrures, les cavités formées sont laissées ouvertes en haut et en bas, offrant une aire de ventilation fort appréciable, peu importe l'étanchéité à l'air du bardage. Cela porte quelque peu à contester la compabilité de leur performance avec des panneaux muraux semblables des bâtiments d'essai de la région atlantique. D'autres bardages traduisent les pratiques de mise en oeuvre régionales. Les recherches démontrent que le climat à ces endroits assure des conditions beaucoup plus propices à l'assèchement que celui des provinces atlantiques. Une enquête de la SCHL (voir annexe D) permet également de constater que le bois d'oeuvre offert à ces endroits a généralement une

teneur en eau bien plus faible que le bois des provinces de l'Atlantique. Le délai d'assèchement des murs est par conséquent considérablement moindre. Quant aux bâtiments d'essai de la région de l'Atlantique, il a fallu jusqu'à deux ans pour que la teneur en eau des éléments d'ossature des panneaux à isolant cellulosique pulvérisé humide (teneur en eau de 150 % par poids) soit ramenée à 19 % (de loin le délai le plus long pour tous les panneaux mis à l'essai). À Edmonton, l'ossature des murs comportant ce genre d'isolant avec une teneur en eau initiale de 50 % par poids, parvient à 19 % en deux ou trois mois. En plus du climat, la teneur en eau initiale moins élevée de l'ossature et de l'isolant favorise l'assèchement. Des mesures dans une maison typique d'Edmonton de la teneur en eau des murs isolés au moyen de cellulose pulvérisé humide indiquent que l'ossature recouvre en l'espace de six mois la teneur en eau qu'elle affichait avant la mise en oeuvre de l'isolant [32].

À Waterloo, le bois d'oeuvre est préconditionné à une teneur en eau supérieure à 19 %. Les panneaux se composent de dix systèmes muraux différents, de trois types de revêtement isolant et de trois types de revêtement non isolant. Ils sont tous dotés d'un pare-air/pare-vapeur de polyéthylène conforme aux exigences du CNBC, recouvert de plaques de plâtre. Le parement est constitué de bardage en vinyle et de brique. La température intérieure est maintenue à 20° C et l'humidité relative à 50 % pendant la saison de chauffage. Les observations recueillies en onze mois permettent de conclure que la teneur en eau du bois d'oeuvre doit atteindre 19 % dans les 90 jours et un équilibre entre 9 et 12 % en cinq mois ou moins. À la fin de la période, les cavités murales ne montrent aucun signe de prolifération de moisissure. La vitesse d'assèchement augmente généralement en fonction de la perméabilité à la vapeur du revêtement d'ossature.

L'Institut de recherche en construction du CNRC [25] effectue, pour le compte de la SCHL, une expérience révélatrice portant sur trois systèmes de murs dans ses installations d'essai. Les cavités murales sont toutes isolées à l'aide de fibre de verre et la face intérieure des panneaux recouverte de polyéthylène et de plastique méthacrylique (Plexiglass) transparent. Les revêtements sont constitués de panneaux rigides en fibre de verre, en mousse de polystyrène extrudé et en panneaux de copeaux. Dans tous les cas, la pose du bardage en

contreplaqué de 5 mm sur des fourrures verticales de 20 mm ménage un vide d'air ventilé à l'air libre au haut et au bas.

L'expérience vise principalement à déterminer la performance à l'humidité des panneaux en présence d'un taux connu d'exfiltration d'air dans la cavité murale. Le bâtiment d'essai est donc pressurisé continuellement à 10 Pa par rapport à l'extérieur et des orifices sont ménagés à l'intérieur, dans le haut de l'espacement entre poteaux permettant ainsi de contrôler le mouvement d'air qui, après avoir traversé le parement intérieur et le polyéthylène parvient jusque dans la cavité murale. Des orifices de ventilation de 140 x 235 mm sont pratiqués dans le bas du revêtement d'ossature de tous les panneaux muraux ainsi que dans le haut de tous les deux espacements entre poteaux de deux systèmes muraux de sorte que les orifices assurent la principale résistance au mouvement d'air. Deux sections d'orifices sont pratiquées pour chaque panneau mural, assurant un débit d'environ 0,12 L/s et 0,7 L/s (représentant respectivement une déperdition de chaleur d'environ 0,5 et 3 fois celle qui s'effectue par conduction dans la cavité dans des conditions d'absence de débit).

La période d'observation s'échelonne de janvier à mars. L'inspection de la cavité à travers le plastique transparent ne révèle jamais de signe de formation de condensation. La teneur en eau des lisses basses des murs revêtus de fibre de verre et de panneaux de copeaux ne change pas pendant toute la période (demeurant entre 9 et 12 %), tandis que celle des panneaux revêtus de mousse de polystyrène montre certains écarts, atteignant parfois plus de 20 % dans certains cavités. Aucune explication sûre ne justifie cette situation. Dans tous les systèmes muraux, l'inspection du vide entre le revêtement d'ossature et le bardage, après une vague de froid, révèle de fortes quantités de givre en partie supérieure. Par temps doux, il n'y en a pas. La teneur en eau des panneaux de copeaux passe à environ 20 % en poids; les revêtements en fibre de verre et en mousse de polystyrène demeurent exempts d'humidité. Par les orifices de ventilation extérieurs, très peu de condensation s'observe à la surface de l'isolant en fibre de verre des cavités. Les résultats évoquent la possibilité que, pour certains murs, les fourrures en formant des compartiments favorisant l'emmagasinage du condensat gelé et l'évacuation ultérieure de l'eau,

préviennent les effets dommageables de l'humidité dans l'air d'exfiltration, du moins en cas de dégel périodique du givre.

Au cours de 1984-1985, la SCHL parraine des travaux visant à tester la performance des pare-air en polyéthylène. L'une des études [9] s'intéresse à l'effet de diverses méthodes de mise en oeuvre de l'isolant sur la capacité d'assurer et de maintenir l'étanchéité à l'air aux joints. Cette étude soulève certaines questions quant à l'efficacité des produits d'étanchéité typiques utilisés pour étancher les joints de chevauchement. Le programme R-2000 compte grandement sur la performance du polyéthylène employé comme pare-air, mais des études préliminaires sur la durabilité contestent sérieusement la durée en service. La SCHL entreprend des études supplémentaires [7], [12] qui mènent ultimement à la révision de la norme de l'ONGC dans le but de garantir des caractéristiques de durabilité acceptables.

La recherche des causes de l'humidification des murs extérieurs à Terre-Neuve et de solutions tout indiquées met en évidence les limites des méthodes de prévision de la performance à l'humidité des éléments muraux extérieurs de différents systèmes, exposés à diverses conditions intérieures et extérieures. La SCHL entreprend par conséquent de perfectionner des méthodes de prévision [11], [13], [14], [20] et ses efforts aboutissent au programme informatique WALLDRY [24]. Elle lance ensuite une recherche dans le but de comparer les prévisions de WALLDRY avec les données recueillies dans les bâtiments d'essai de la région de l'Atlantique [31].

Au cours de cette recherche, il est déterminé que certaines corrections doivent être apportées aux lectures de la teneur en eau originales. L'analyse des données corrigées confirme que la perméabilité à la vapeur du revêtement d'ossature détermine la vitesse d'assèchement de la charpente. Les panneaux dotés de revêtements à perméabilité plus élevée s'assèchent plus rapidement que les autres. L'effet des fourrures sur l'assèchement des panneaux dotés d'un revêtement à faible perméabilité n'est pas significatif (d'après la disposition retenue). Par ailleurs, les panneaux ayant une perméabilité à la vapeur élevée montrent une diminution du délai d'assèchement lorsque des fourrures assurent le support du bardage en vinyle. Il est également démontré que les panneaux faisant

face au sud s'assèchent plus rapidement que ceux face au nord.

La comparaison des prévisions de WALLDRY avec les courbes de teneur en eau mesurées permet de modifier les caractéristiques d'humidité présumées des poteaux de bois. Après quoi, les valeurs mesurées de plus de la moitié des panneaux concordent de façon assez juste. On découvre certaines anomalies dans les prévisions de la teneur en eau des panneaux ayant une résistance élevée à la diffusion de la vapeur d'eau (faible perméabilité), de même que dans les prévisions de transfert calorifique découlant de l'exposition au rayonnement solaire et des conditions nocturnes, et au changement des conditions de convection en surface (vent). Certaines améliorations significatives sont par la suite apportées et le programme WALLDRY 2 doit maintenant bientôt subir des essais de vérification. Le nouveau programme WALLFEM permettant de prévoir le transfert de chaleur et d'humidité en deux dimensions, se trouve maintenant à l'étape de la planification.

L'enquête nationale sur les problèmes d'humidité [5] relève un degré d'humidité relative intérieure élevé dans la plupart des maisons problématiques. Elle mène donc des études visant à déterminer les taux de production d'humidité apparente à court terme dans les maisons, en utilisant les valeurs mesurées d'infiltration d'air ainsi qu'un ratio d'humidité intérieure et extérieure [8][16]. L'importance des sources d'humidité apparente augmente habituellement en fonction du taux de renouvellement d'air et de la baisse du ratio d'humidité extérieure. L'échelle des valeurs est élevée, passant de 1 kg/jour à 140 kg/jour lors de la première étude. La seconde, par contre, donne certaines valeurs négatives, les valeurs positives pouvant s'élever jusqu'à 76 kg/jour. Les valeurs les plus élevées dépassent grandement celles attribuables aux habitudes des occupants. Les résultats d'essais à court terme soulèvent des questions quant à l'influence de l'emmagasinement de l'humidité et de l'importance des sources d'humidité sous le niveau du sol. Une recherche porte d'ailleurs sur les techniques d'échantillonnage des gaz souterrains [17].

Un certain nombre de recherches de la SCHL sont consacrées à l'élimination de l'humidité dans les sous-sols et les vides sanitaires. Une étude du vide sanitaire de maisons pour personnes à faible revenu [15] permet de

déterminer des conditions risquant d'entraîner des ratios d'humidité élevés et une forte quantité d'humidité à l'endroit de la solive de rive et de la lisse d'assise. Il est essentiel de prévoir de façon appropriée le drainage de l'eau, la mise en oeuvre d'une membrane d'étanchéité sur le mur de fondation, ainsi que la pose d'une membrane couvre-sol à faible perméabilité. La ventilation à l'air libre au printemps et au début de l'été peut constituer une source d'humidité nette.

Une étude [18] porte sur les cas d'humidité excessive constatés sur les parois intérieures des murs de fondation isolés de maisons neuves à Winnipeg au cours du printemps et de l'été. Avant l'occupation des neuf maisons problèmes, les murs sont isolés sur leur pleine hauteur et pourvus d'un pare-vapeur en polyéthylène. Il est déterminé que la température des parois intérieures des murs de sous-sol de nombreuses maisons à Winnipeg tombe sous la température du point de rosée de l'air du sous-sol (et à l'extérieur) pendant les périodes chaudes de l'année. Dans le cas des maisons neuves, l'isolant du sous-sol est mis en oeuvre avant que le béton ne rejette son surplus d'humidité et que la vitesse d'assèchement ne soit gênée par l'isolant et le pare-air/pare-vapeur. Souvent le pare-air n'empêche pas l'air du sous-sol de circuler entre l'isolant et le béton, causant une accumulation d'eau à la surface qui mouille l'isolant et le bois d'oeuvre, particulièrement la lisse basse, et se retrouve en flaques sur le plancher. Pour remédier à la situation, il faut ouvrir le mur, enlever l'isolant et laisser le béton exposé pendant de nombreux mois pour le faire sécher avant de tout remettre en place. L'état du béton observé dans les maisons anciennes est sec et peut absorber le condensat qui se manifeste périodiquement. Il est conclu que pour éviter le problème dans les maisons neuves, il faut laisser se dissiper l'excédent d'humidité du béton avant de poser le revêtement mural intérieur et disposer le pare-air/pare-vapeur de manière à prévenir la circulation d'air, ou bien isoler le mur par l'extérieur, accordant ainsi au béton toute liberté de sécher de l'intérieur.

La SCHL appuie le projet de démonstration du système breveté ECHO destiné à ventiler les gaz souterrains, dont le radon, et la vapeur d'eau transmise par les murs et la dalle de sous-sol. Ce système peut aider à évaporer l'humidité du béton des murs de fondation nouvellement finis.

Une autre recherche [27] relève les avantages de recourir aux panneaux extérieurs de drainage isolants pour améliorer la performance à l'humidité des murs de sous-sol. La SCHL contribue au projet [42] parrainé par l'association des constructeurs d'habitations de l'Ontario (OHBA), lequel vise à déterminer des systèmes pratiques de construction et d'isolation sous le niveau du sol, susceptibles d'éviter les problèmes d'humidité et de réduire la consommation d'énergie. La SCHL parraine aussi des études concernant la régulation des eaux pluviales et la protection des sous-sols contre les inondations [43].

La SCHL entreprend aussi une autre série de projets portant sur les exigences de conception de mur destinées à réduire les fuites d'air et, par conséquent, le transport d'humidité par exfiltration d'air. Des essais sont menés en vue d'établir la perméabilité à l'air des composants des murs à ossature de bois, l'étanchéité à l'air de spécimens de mur à ossature de bois faisant appel à une gamme de pare-air et de détails d'exécution, et la capacité des pare-air à résister aux charges dues au vent [23], [41]. Des méthodes et des exigences de performance sont également élaborées de façon à permettre d'évaluer les pare-air pour d'autres types de mur [36] [40].

L'établissement d'un programme d'ordinateur et de directives tendant à limiter la teneur en eau a pour objectif de déterminer les exigences d'étanchéité à l'air de divers types de murs afin d'éviter leur forte humidification par l'air d'exfiltration [28]. Les variables s'entendent des revêtements d'ossature et des bardages, des propriétés thermiques, du climat, des conditions hygrothermiques intérieures et des facteurs agissant sur les différences de pression causées par les poussées aérostatiques.

La SCHL participe en 1989 à une enquête pancanadienne sur l'étanchéité à l'air de 194 maisons neuves [34]. Les résultats sont comparés à ceux d'une étude semblable de 200 maisons effectuée par ÉMR en 1982-1983. Les deux montrent une vaste plage de valeurs d'étanchéité à l'air s'échelonnant entre 0,98 et 11,3 renouvellements d'air par heure à une différence de pression de 50 Pa. À l'instar de l'enquête précédente, en moyenne, les maisons les moins étanches se trouvent à Vancouver et les plus étanches, à Winnipeg. Partout au pays, l'étanchéité moyenne est égale ou supérieure à ce que la première étude

démontre et, dans l'ensemble, les fuites d'air accusent une réduction d'environ 30 % en six ou sept ans. Cette situation entraîne sur le plan des études techniques des répercussions sur la régulation des exfiltrations, de la condensation et de l'humidité, ainsi que sur la qualité de l'air intérieur. La SCHL parraine un certain nombre de recherches relatives à la conception et à l'utilisation de systèmes de ventilation mécanique dans les habitations [44]. Ces systèmes sont tout indiqués pour régir l'humidité intérieure et d'autres aspects de la qualité de l'air intérieur.

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe de tours d'habitation n'est pas laissée pour compte [33] [38]. En effet, les études menées en ce sens documenteront les possibilités de problèmes d'humidité imputables à l'exfiltration. Actuellement, l'étanchéité à l'air de l'un des bâtiments est déterminée avant et après l'étanchéisation. Des études portent également sur la performance, y compris à l'humidité, des bâtiments résidentiels de grande hauteur exploitant la technique des murs-rideaux à ossature d'acier, et sur la mise au point de bonnes pratiques de mise en oeuvre [38]. L'examen sur place de murs à ossature d'acier recouverte d'un placage de maçonnerie [29] permet de déceler la corrosion de montants, l'humidification de murs et des traces de contamination fongique. Des études en cours s'intéressent à l'application des pratiques de mise en oeuvre recommandées à un important projet immobilier qui fera après coup l'objet d'un contrôle de performance. L'objectif global consiste à établir de bonnes pratiques de construction ou de réhabilitation des bâtiments résidentiels de grande hauteur.

ANNEXE B

TRAVAUX DE RECHERCHE D'ÉMR SUR L'HUMIDITÉ

1975 - 1991

Annexe B

Résumé des travaux de recherche d'ÉMR sur l'humidité

Poursuivant, depuis 1975, la sécurité des approvisionnements énergétiques au Canada et, plus récemment, la réduction des polluants contribuant au réchauffement du globe, ÉMR s'engage dans d'importants programmes axés sur l'utilisation efficace de l'énergie et la réduction de la consommation du mazout pour le chauffage des bâtiments. Voici les principaux programmes d'économie d'énergie à vocation résidentielle :

- le Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes (PITRC) favorisait le rattrapage de l'isolation thermique et de l'étanchéité à l'air des maisons existantes par voie de subventions accordées aux propriétaires participants.
- le Programme canadien de remplacement du pétrole (PCRP) incitait les propriétaires de maisons chauffées au mazout à recourir à un appareil utilisant un autre combustible, encore grâce au versement de subventions.
- les Programmes énergétiques domiciliaires (PED), qui assuraient le soutien technologique aux programmes PITRC et PCRP et aux secteurs d'activité engagés dans le rattrapage énergétique des bâtiments résidentiels (une partie fut dispensée à un moment donné dans le cadre du Programme de transfert de la technologie de l'énergie dans les bâtiments (TTEB).
- le Programme de la maison à haut rendement énergétique ou le Programme de la maison R-2000 offrait des normes de performance, le soutien technique et un mécanisme de diffusion de l'information destinés à conférer aux maisons une efficacité énergétique supérieure, de concert avec l'industrie de la construction résidentielle.

ÉMR lance de nombreux autres programmes ayant exercé une influence sur la technologie du logement, dont Enerdemo qui appuie les projets de démonstration des techniques d'éconergie. Le Programme du Groupe interministériel de recherche et d'exploitation énergétiques verse des fonds importants à certains organismes

fédéraux voués à la cause de la recherche et du développement énergétiques, dont une partie est consacrée aux problèmes d'humidité dans les habitations.

Les groupes d'ÉMR, responsables de l'efficacité technique avec laquelle le programme PITRC est mis en oeuvre, secondent l'ONGC dans la rédaction d'un manuel d'isolation des maisons existantes à des fins d'économie d'énergie et d'autres manuels d'utilisation de la cellulose, de la laine minérale et de l'uréthane. L'ONGC gère un programme de certification des entrepreneurs en isolation dans le cadre du PITRC, en plus de rédiger un manuel de pose du bardage isolant. ÉMR soutient l'établissement d'un manuel sur l'art d'assurer l'étanchéité à l'air des maisons existantes. Le document, rédigé à l'origine par le Saskatchewan Research Council (SRC), est finalement publié par l'ONGC. Des méthodes d'essai et des exigences complémentaires touchant les coupe-froid et les mastics de calfeutrage et d'étanchéité intérieurs sont préparées par le SRC pour être finalement publiées par l'ONGC.

Le personnel technique de la SCHL, du CNRC et d'ailleurs s'inquiète de l'attention insuffisante accordée aux répercussions possibles des programmes d'économie d'énergie et de remplacement du pétrole sur les problèmes d'humidité dans les maisons. Une première initiative lancée par ÉMR dans le but d'analyser la question donne lieu à un rapport [1] qui tente d'évaluer les risques de méfaits de l'humidité par suite de l'adoption de mesures d'économie d'énergie et de la conversion à des systèmes de chauffage sans conduit de fumée.

D'après les preuves recueillies à l'époque, on estime le nombre de cas de méfaits causés par l'humidité, après la conversion à des installations de chauffage suscitant peu ou pas d'effet de tirage naturel, à 130 000 maisons en 30 ans, ou 4 300 maisons par année (en supposant l'adoption d'aucune mesure neutralisante). Ces chiffres reposent sur l'hypothèse que, pendant cette période, les mesures de conversion touchent 4,25 millions de maisons, et que toutes les autres mesures de rattrapage énergétique endommagent un peu moins de 2 900 maisons par année, soit un total de 7 200 maisons problèmes par année. Ce nombre équivaut à 2,6 % du parc résidentiel.

La solution paraît assez simple : mettre en oeuvre des mesures d'étanchéité à l'air efficaces au moment du rattrapage énergétique, assurer le contrôle de

l'humidité intérieure au moyen de stratégies de ventilation appropriées. Le rapport propose de soumettre des maisons déjà légèrement sursaturées d'humidité à des études destinées à déterminer l'incidence de diverses mesures sur les problèmes d'humidité.

Un autre rapport [2] résume l'expérience d'un important entrepreneur en étanchéisation à l'air relativement aux problèmes d'humidité de maisons du sud de l'Ontario. Il s'agit principalement du fort taux d'humidité au vide sous toit et de la formation de condensation sur les fenêtres. L'isolant de fibre cellulosique semble rendre le vide sous toit moins susceptible à des problèmes d'humidité; les maisons construites avant 1970 (avant que le Code du bâtiment de l'Ontario ne stipule la mise en oeuvre d'un pare-vapeur continu sur les sablières) courent plus de risques, à l'instar des maisons occupées par certains groupes ethniques qui leur imposent des charges élevées d'humidité. Environ 1 % des maisons inspectées nécessitent des réparations, le plafond, le toit, les solives et les appuis de fenêtres étant endommagés par l'humidité. Dans plus de 50 % des maisons inspectées, on signale des périodes de forte condensation sur les fenêtres.

En 1985, ÉMR lance une importante étude [3] sur les moyens d'éviter les problèmes d'humidité lors du rattrapage énergétique des maisons individuelles canadiennes. L'objectif consiste à mettre au point une procédure pratique permettant à l'entrepreneur spécialisé de prédire, pour une maison spécifique située à un endroit particulier, l'étendue des travaux de rattrapage énergétique à effectuer sans occasionner une quantité appréciable de condensation de vapeur d'eau sur les surfaces intérieures ou à l'intérieur des murs ou du vide sous toit. Pour la maison présentant une marge de rattrapage insuffisante ou connaissant déjà des problèmes d'humidité, la procédure doit prédire la nature et l'étendue des mesures correctives ou préventives pour éviter les problèmes. C'est ainsi qu'on obtient une procédure prescriptive d'évaluation de l'humidité («Moisture Assessment Prescriptive Procedure») ou procédure MAPP.

L'approche de la procédure MAPP se fonde sur le principe que les problèmes de condensation dans les maisons peuvent être évités dans une grande mesure si leur degré d'humidité moyen en janvier ne dépasse pas la valeur «critique» correspondant à la formation de condensation près de la rive inférieure des

fenêtres à double vitrage, à la température extérieure et à la vitesse de vent moyennes de janvier établies pour la région, et qu'il ne dépasse préférablement pas une valeur «préventive» correspondant à la formation de condensation près de la rive inférieure, à la température minimale quotidienne et à la vitesse de vent moyenne de janvier. L'exigence prépondérante est d'empêcher d'importantes quantités d'air de parvenir dans les cavités de l'enveloppe ou d'y éviter l'emprisonnement d'humidité. Les températures de surface des fenêtres correspondant à ces deux situations sont calculées en fonction de conditions climatiques données et les degrés d'humidité relative à 21° C sont déterminées pour les deux températures de point de rosée. La procédure MAPP offre ainsi un moyen d'évaluer l'humidité relative moyenne à l'intérieur en janvier, en prévoyant les taux de fuite d'air moyens en janvier, d'après la surface de fuite équivalente de la maison, et l'importance des sources d'humidité moyennes suivant les habitudes de vie des occupants et l'humidité au sous-sol. La procédure permet également d'estimer la hausse d'humidité relative attribuable aux différentes mesures de rattrapage énergétique et/ou à la baisse de d'humidité relative découlant de l'adoption de mesures de protection contre l'humidité. Pour ce faire, elle doit prévoir l'effet des diverses mesures de rattrapage énergétique sur la surface de fuite équivalente de la maison, fondé en grande partie sur des études antérieures d'ÉMR [4]. Lors de l'élaboration de la procédure MAPP, les données recueillies à propos des maisons endommagées par l'humidité à St. John's, Toronto, Ottawa, Winnipeg et Vancouver visent à justifier les fondements mêmes de la procédure.

Après l'élaboration de la procédure MAPP, ÉMR commande une étude sur le terrain devant juger de la validité de la procédure [5]. Des données sont recueillies pour environ 20 maisons réparties dans chacune des quatre régions représentées par Vancouver, Winnipeg, Toronto et Ottawa, de même que Halifax. Une proportion relativement élevée du degré estimatif d'humidité relative intérieure, basée sur la procédure MAPP, se trouve en deçà de 10 % des valeurs mesurées. On suggère de fignoler un peu mieux les procédures afin d'améliorer la concordance des données. Les problèmes d'humidité dans le vide sous toit ou les murs des maisons à l'essai ne sont pas suffisamment nombreux pour confirmer la corrélation avec les taux d'humidité de référence de la procédure MAPP.

ÉMR appuie également l'élaboration d'une procédure de détermination des besoins supplémentaires de ventilation mécanique pour préserver la qualité de l'air intérieur après les travaux d'étanchéité à l'air. Au départ, la démarche a pour objectif de seconder le groupe de travail de l'ONGC sur les exigences de ventilation après l'opération de rattrapage. Elle consiste à soutenir les travaux du CNRC destinés à établir l'à-propos de différents modèles mathématiques de prédiction des taux de fuite d'air dans la maison, en fonction de la surface de fuite équivalente et des données climatiques [6] (ces travaux ont un rapport avec la procédure MAPP puisqu'ils tendent à prédire le taux de fuite d'air dans la maison). Par la suite, ÉMR finance la mise au point d'une «procédure prescriptive d'évaluation de la ventilation («Ventilation Assessment Prescriptive Procedure») ou la procédure VAPP établissant les besoins de ventilation après le rattrapage en matière d'étanchéité à l'air.

ÉMR soutient les secteurs d'activité intéressés au rattrapage énergétique [7], [8], [9] dans l'élaboration d'un certain nombre de cours de formation. Les cours se fondent sur l'approche systémique de la maison (formulée par la SCHL), qui tient compte de l'interrelation entre la performance des divers sous-systèmes. Ainsi, tous les cours comportent un volet sur l'évaluation de l'humidité. L'un [7] porte sur l'application des procédures MAPP et VAPP au complet.

Le Programme R-2000 constitue la grande initiative d'ÉMR en construction de maisons éconergétiques des années 80. Le programme s'inspire de la technologie appliquée en 1977 à la Saskatchewan Conservation House [10] (mais sans les capteurs solaires actifs). La maison témoin comporte une valeur d'isolation thermique très élevée pour l'époque et un pare-air/pare-vapeur en polyéthylène bien étanche. Les fuites d'air de la maison, à 50 Pa, correspondent à 1,3 renouvellement d'air par heure, soit environ trois fois moins que les maisons traditionnelles. La maison est également équipée d'un ventilateur-récupérateur de chaleur air-air assurant la ventilation mécanique continue tout en réduisant les coûts de chauffage.

En 1980, le gouvernement de la Saskatchewan et ÉMR (grâce à une subvention Enerdemo) appuient l'Energy Showcase Project en Saskatchewan, projet de 14 maisons calqué sur la maison témoin et d'autres. L'un des documents [11]

produits à la suite de cette opération décrit les exigences à respecter pour doter d'un pare-air étanche l'enveloppe fortement isolée d'un bâtiment à ossature de bois. Le Conseil provincial de la Saskatchewan de l'Association canadienne de l'habitation et du développement urbain (ACHDU) et le gouvernement de la Saskatchewan subventionnent la publication. ÉMR en publie une quatrième édition en 1983.

Le Programme R-2000 est annoncé en 1980. La technologie repose à l'origine sur l'expérience du projet Showcase. Un comité consultatif technique se compose de représentants de l'ACCH, de la SCHL, du CNRC et du SRC. Des directives concernant les pratiques de mise en oeuvre sont élaborées sous la direction du comité, l'expertise technique étant assurée par le CNRC et le SRC à partir de l'expérience de la Saskatchewan. Les stratégies techniques de protection contre l'humidité consistent à :

- mettre en oeuvre un pare-air efficace
- recourir à la ventilation pour contrôler l'humidité intérieure (et la qualité de l'air)
- adopter de bonnes pratiques de mise en oeuvre pour éviter les ponts thermiques
- éliminer la transmission d'humidité au sous-sol par la mise en oeuvre de polyéthylène sous la dalle.

Un polyéthylène hermétique sert d'abord à la fois de pare-air et de pare-vapeur. La notion de protection contre l'humidité fait toutefois appel à des fonctions distinctes pour contrer les fuites d'air et retarder la transmission de vapeur d'eau. Les maisons comportant une pellicule de polyéthylène hermétique sont reconnues pour conserver leur étanchéité à l'air au fil du temps. L'étanchéité mettant à contribution des plaques de plâtre fait l'objet, à Edmonton, d'une démonstration subventionnée par ÉMR, en vertu d'une entente de développement économique et régional (EDER), tandis que la SCHL subventionne une opération semblable à Ottawa. Fiberglas Canada fait la démonstration du revêtement d'ossature en fibre de verre avec pare-air d'oléfine filée-liée, bénéficiant du soutien d'ÉMR pour en éprouver la performance.

En 1985, l'ACCH entreprend, avec l'appui d'ÉMR, la mise en application du Programme R-2000 qui prévoit des normes de performance et un cours de formation rigoureux à l'intention des constructeurs participants. Les maisons achevées doivent faire obligatoirement l'objet d'une inspection et de tests. Les tests d'étanchéité à l'air visent à s'assurer que les maisons ne donnent pas lieu à un taux de fuite d'air supérieur à 1,5 renouvellement d'air par heure à 50 Pa et à déterminer les taux de ventilation.

Le programme comporte une phase de contrôle étendu de la performance de quelque 300 maisons, dont la mesure de l'humidité intérieure et d'autres aspects de la qualité de l'air. Des travaux de recherche et de développement poussés ont pour but de résoudre les problèmes techniques et d'assurer le soutien technique nécessaire. Ils permettent notamment d'appuyer l'élaboration de normes traitant de l'humidité [12], [13], [14], [15]. L'Institut canadien du chauffage, de la climatisation et de la réfrigération (HRAI) reçoit également de l'aide pour préparer un manuel de conception et d'installation de systèmes de ventilation mécanique résidentiels [16] et des cours de formation. Les premiers travaux sur la dégradation du polyéthylène sont entrepris chez ORTECH.

Le projet de démonstration de maisons à haute efficacité énergétique Flair/Flair Mark XIV de l'ACCH, est lancé en 1985 [17]. L'opération porte sur 20 maisons situées à Winnipeg. L'objectif consiste à démontrer et à évaluer la performance d'enveloppes de bâtiment éconergétiques faisant appel à divers arrangements de pare-air et à divers types d'installations mécaniques (mettant l'accent sur la ventilation), ainsi qu'à transmettre les connaissances acquises au secteur du logement. Les maisons sont achevées au printemps de 1986. Le projet est appuyé par ÉMR et géré par l'ACCH. Il est désigné projet Mark XIV parce qu'il comporte un certain nombre de priorités de recherche établies par le comité de recherche technique de l'ACCH. Le contrôle de la performance se poursuit jusqu'au printemps de 1989 : il tend notamment à évaluer le changement de l'étanchéité à l'air avec le temps, la performance de la ventilation et les habitudes d'utilisation, ainsi que la variation de la teneur en eau du bois d'oeuvre. Tous les systèmes de murs atteignent des niveaux d'humidité acceptables et les conservent. Aucun problème d'humidité n'est relevé.

Le nombre de maisons R-2000 n'est pas très élevé, mais le programme exerce une influence considérable sur les techniques de construction des maisons neuves. L'ACCH identifie un noyau de constructeurs classiques, disposés à participer au programme. Quelque 4 000 constructeurs sont formés aux nouvelles pratiques de mise en oeuvre [18]. Un certain nombre de concepts du Programme R-2000 sont adoptés par les secteurs d'activité concernés et de plus en plus intégrés aux codes et aux normes. Le programme démontre la faisabilité de réaliser une enveloppe de bâtiment étanche à l'air et de compter sur des installations de ventilation fiables. Il montre de plus que des maisons éconergétiques peuvent se réaliser tout en évitant les problèmes d'humidité et de qualité de l'air intérieur.

ANNEXE C
TRAVAUX DE RECHERCHE DU CNRC SUR L'HUMIDITÉ
1975 - 1991

Annexe C

Travaux de recherche du CNRC sur l'humidité

1975 - 1991

La Division des recherches en bâtiment (maintenant l'Institut de recherche en construction) du Conseil national de recherches effectue depuis sa création en 1947 des travaux de recherche sur l'humidité (voir la section Historique du présent rapport). Des travaux sur la performance des toits plats isolés ont débuté à la fin des années 60 et se sont poursuivis depuis à la Station régionale des Prairies à Saskatoon [1] à [12]. Ce programme s'est révélé, au Canada, la principale source d'information sur les aspects de l'humidité concernant les toits plats. Nous ne tenterons pas ici de les passer en revue.

Le projet Mark XI de l'ACHDU, lancé à Ottawa en 1977 [13], comporte quatre maisons à deux étages, présentant un plan d'aménagement semblable. L'une a une enveloppe traditionnelle pour l'époque, l'ossature murale en poteaux 2 po x 4 po incorporant de l'isolant R-20, le plafond R-20 et les murs de sous-sol R-7. L'ossature murale en 2 po x 4 po est pourvue de fourrures de 2 po x 2 po à l'intérieur avec un polyéthylène de 0.004 po entre les deux. Le service électrique est contenu dans l'espace créé par les fourrures de façon à ne pas rompre le polyéthylène. La continuité du pare-air/pare-vapeur est assurée à la jonction du plancher et de la fondation, du mur du second étage et du plafond ainsi qu'à l'intersection des cloisons intérieures avec les murs extérieurs et le plafond. La valeur nominale d'isolation thermique est de R-20 pour les murs et de R-32 pour le plafond.

La performance énergétique de l'enveloppe et de l'installation de chauffage constitue l'intérêt premier de ce projet. Cependant, la performance à l'humidité de l'enveloppe est contrôlée et jugée satisfaisante. Des observations sont également faites au sujet de la transmission d'humidité depuis la dalle du sous-sol. On cherche à prédire le taux de renouvellement d'air requis en hiver à partir de la vitesse d'évaporation mesurée de l'eau pour maintenir le niveau d'humidité relative. Une approche semblable est adoptée ultérieurement dans les études de la SCHL destinées à prédire l'importance des sources d'humidité dans la maison à partir des taux de fuite d'air mesurés.

Les taux de renouvellement d'air font l'objet de mesures étendues, conduisant à l'élaboration d'un modèle permettant de prédire à l'égard de maisons individuelles les taux de renouvellement d'air naturel à partir des valeurs connues de la surface de fuite équivalente et des données climatiques [14]. La méthode tient également compte des effets de la ventilation mécanique et du conduit de fumée du générateur de chaleur. La validité de la méthode est corroborée dans des études subséquentes parrainées par ÉMR [15].

Le projet Mark XI fournit un autre exemple de l'étanchéité à l'air que le pare-air/pare-vapeur en polyéthylène permet d'atteindre dans les maisons à ossature de bois en portant attention aux détails d'exécution et à la mise en oeuvre de la membrane. Une autre méthode d'étanchéisation à l'air est également proposée [16] : exploiter l'effet combiné du revêtement intérieur en plaques de plâtre de même que des éléments d'ossature adjacents et des mastics et garniture d'étanchéité appropriés. Le système est perfectionné [17] et des études de performance sont ultérieurement entreprises par la SCHL et ÉMR. Des techniques d'étanchéisation à l'air sont également évaluées en laboratoire [18], [19].

Un certain nombre de documents sur les pratiques de mise en oeuvre et de séminaires en science du bâtiment portant sur la performance à l'humidité sont produits pendant cette période; les références [20], [21] et [22] en sont des exemples. Un important livre sur les principes fondamentaux de la science du bâtiment, notamment sur les questions touchant l'humidité, grandement utilisé comme document de référence, est publié [23]. Des travaux de recherche sont effectués en vue de la rédaction, par ÉMR, des Mesures d'efficacité énergétique dans les habitations du Nord, mais elles ne sont pas achevées. De la même façon, la rédaction d'un document, pour le compte de la SCHL, faisant état des pratiques de mise en oeuvre dans le Nord, est entreprise en association avec la SCHL et le ministère des Affaires indiennes et du Nord. Il n'est toutefois pas encore terminé. Actuellement, une importante contribution est faite à la préparation d'un manuel de l'ASTM sur l'humidité dans les bâtiments [24], [25], [26].

La SCHL parraine, dans des bâtiments d'essai, des études visant à déterminer la performance à l'humidité de murs à ossature de bois isolés soumis à une exfiltration d'air régularisée [29]; vous trouverez de l'information

supplémentaire à l'annexe A. Une analyse porte également sur l'effet relatif de différents mécanismes de mouvement d'air sur la transmission d'humidité dans l'enveloppe du bâtiment [28]. Conclusion : seul un échange d'air par convection entre l'intérieur et la cavité de l'enveloppe, et le mouvement d'air à travers l'enveloppe sous l'effet d'une différence de pression globale, peuvent entraîner de fortes quantités d'humidité dans la cavité. L'air extérieur traversant la cavité entraîne un effet d'assèchement marqué, réduit cependant dans les régions très froides ou présentant un ratio d'humidité de l'air ambiant très élevé. L'effet de pompage dû aux poussées du vent ou aux changements de température de l'air ambiant n'a que de faibles possibilités de transmettre l'humidité.

Des études approfondies sont effectuées [29] à [47] et se poursuivent sur le comportement hygrothermique des matériaux et composants de bâtiment. Les objectifs globaux consistent à :

- mettre au point des outils expérimentaux et analytiques pour aider les chercheurs à évaluer le comportement hygrothermique et
- établir des directives pour concevoir des enveloppes de bâtiment sans problèmes de performance à l'humidité.

Des travaux de recherche sont entrepris en collaboration avec un groupe de chercheurs du centre de recherche technique de Finlande (VTT) au cours des deux dernières années dont les objectifs spécifiques consistent à :

- mettre au point des méthodes expérimentales permettant de déterminer les propriétés du transport de l'humidité des matériaux de construction et
- sonder la possibilité d'appliquer le programme informatique en deux dimensions mis au point au VTT pour l'analyse hygrothermique des bâtiments résidentiels.

Le CNRC met au point un appareil à rayons gamma pour déterminer la répartition de l'humidité dans les matériaux de construction. Les matériaux étudiés à ce jour sont : le pin blanc, l'épinette, les panneaux de fibre de bois, les plaques de plâtre, l'isolant phénolique, l'isolant en fibre de verre

et l'isolant cellulosique. La répartition de l'humidité transitoire dans des spécimens d'essai de ces matériaux est déterminée à diverses étapes des processus de transmission. La durée de l'expérience varie de quelques heures (plaques de plâtre) à quelques semaines (épinette et pin). Les données sont analysées en vue d'obtenir des coefficients de diffusion d'humidité totale des matériaux de construction. Deux techniques différentes sont utilisées pour l'analyse : la méthode de transformation de Boltzmann et la méthode d'optimalisation.

À l'exception des isolants cellulosique et en fibre de verre, les analyses permettent d'établir des ensembles acceptables de valeurs pour la diffusion d'humidité totale respective des matériaux en fonction de la concentration d'humidité. Afin de déterminer les caractéristiques de transmission d'humidité des isolants en fibre de verre et cellulosique, d'autres expériences sont tentées, notamment sur le drainage, l'évaporation des spécimens entièrement saturés et le mouvement d'humidité en présence d'un gradient thermique.

Les analyses de ces données concernant la fibre de verre donnent un ensemble uniforme de valeurs pour les propriétés telles que la diffusivité de la vapeur, la conductivité hydraulique et la courbe de pression d'aspiration. La mise au point d'une méthode expérimentale de détermination du «coefficient de diffusion d'humidité thermique» est également en cours.

Le modèle informatique TCCC2D mis au point au VTT sert lors de plusieurs calculs où les études sont consacrées aux murs de bâtiments résidentiels types au Canada. L'analyse porte, en particulier, sur l'effet de l'exfiltration de l'air intérieur par les cavités murales. L'exposition du mur aux conditions climatiques canadiennes de trois différents endroits (Ottawa, Winnipeg et Vancouver) pendant une année est simulée. La simulation donne lieu à des informations intéressantes. La différence de comportement du même type de mur, à trois endroits différents au Canada, indique la nécessité d'établir des directives de conception pour les trois régions.

ANNEXE D

TRAVAUX DE RECHERCHE DE FORINTEK CANADA SUR L'HUMIDITÉ

1975 - 1991

Travaux de recherche de Forintek Canada sur l'humidité 1975 - 1991

Organisme sans but lucratif du secteur privé, Forintek Canada Corp., qui bénéficie du soutien de l'industrie et des gouvernements fédéral et provinciaux, est fondé dans le but d'entreprendre de la recherche et du développement sur les produits du bois. Ces dernières années, Forintek participe aux activités des divers comités canadiens s'intéressant à la régulation de l'humidité dans les maisons à ossature de bois et effectue un certain nombre d'études consacrées particulièrement aux matériaux dérivés du bois. La visite d'étude de la Norvège et de la Suède en 1983 [1], en collaboration avec le U.S. Forest Products Laboratory, permet de recueillir de précieuses données sur les problèmes et pratiques de mise en oeuvre de ces pays. Entre autres problèmes remarqués, citons le voilement du bardage rigide mis en oeuvre contre un isolant imperméable et la manifestation de condensation dans le vide sanitaire par temps doux au printemps, en raison de l'effet de refroidissement du sol.

Le contrôle de la teneur en eau de l'ossature de bois de deux murs d'essai [2] exposés côté extérieur aux conditions climatiques et côté intérieur à des conditions de 23° C et de 50 % d'humidité permet de tirer des conclusions provisoires quant à l'importance de l'étanchéité à l'air de la membrane de revêtement. Le mur 1 comporte un papier de revêtement standard posé sur des panneaux de copeaux avec deux joints à chevauchement de 100 mm et un bardage rigide à chevauchement horizontal fixé sur des fourrures verticales. Le mur 2 est semblable, sauf qu'il comporte une membrane de revêtement en POFL n'ayant qu'un seul joint à chevauchement de 305 mm de largeur et un bardage rigide fixé directement aux poteaux sans fourrures. Les deux murs comportent une intersection plancher-mur et une prise électrique qui traverse le pare-air/pare-vapeur intérieur en polyéthylène.

On observe que l'augmentation de la teneur en eau à divers endroits de l'ossature de bois est plus élevée dans le mur 1 que dans le mur 2 en hiver. On présume que l'humidité provient généralement de l'intérieur même si les murs sont vraisemblablement susceptibles de subir des infiltrations d'air la plupart du temps. Il est conclu que les différences de comportement face à l'humidité

sont sans doute attribuables aux fuites d'air moins élevées par les joints de la membrane de revêtement du mur 2.

L'analyse des problèmes d'humidité des murs à ossature de bois [3] permet de tirer des conclusions sur la recherche recommandée, se rapportant surtout à l'étanchéité à l'air des murs et comment elle subit l'influence de facteurs associés aux caractéristiques et à l'assemblage de produits à base de bois.

Les objectifs généraux proposés concernent :

- les effets de la teneur en eau du bois d'oeuvre sur l'étanchéité à l'air de divers matériaux de revêtement et la détermination des surfaces de fuite équivalentes des éléments,
- la détermination de l'effet de l'isolant en vrac sur l'étanchéité à l'air des cavités murales,
- la modélisation de l'accumulation d'humidité dans les murs influencée par la construction et l'environnement.

L'étude des solutions au soulèvement des fermes de toit [4] permet également de proposer des moyens d'assurer l'étanchéité à l'air à la jonction des cloisons intérieures au moment de procéder à la pose flottante des plaques de plâtre murales.

De très nombreuses mesures sont prises afin de déterminer la perméabilité à la vapeur d'eau de panneaux de copeaux de diverses épaisseurs fabriqués par six scieries [5]. La méthode par voie humide est adoptée pour la plupart des essais, bien que quelques spécimens d'une scierie soient également mis à l'essai à l'aide de la méthode par voie sèche et une variante de la méthode par voie humide inversée. Il est recommandé d'utiliser les résultats de l'essai selon la méthode par voie humide pour les études de modélisation. La performance du panneau de copeaux de 11 mm à l'essai selon la méthode par voie sèche s'inscrit dans la gamme de la limite supérieure normalement associée à un pare-vapeur. La perméabilité à l'imprégnation représente habituellement le double ou le triple

de la valeur obtenue lors de l'essai selon la méthode par voie sèche.

Une étude est entreprise en collaboration avec le CNRC sur l'étanchéité à l'air de deux murs à ossature de bois isolés à l'aide de mousse de polyuréthane injectée [6]. L'un des murs est couvert d'un revêtement en panneaux de copeaux de 11,1 mm, et l'autre d'un revêtement isolant en polystyrène expansé de type 1 de 25 mm. Les deux types de revêtement comportent trois joints verticaux sur une largeur de 3 mètres. Les mesures des fuites d'air sont prises à 75 Pa, après avoir appliqué des différences de pression pouvant atteindre 1 000 Pa à différents intervalles au cours d'une période de trois mois, en vue de déterminer la vitesse d'assèchement de l'ossature et l'effet du retrait sur les taux de fuite. L'étanchéité à l'air des deux murs est relativement élevée, mais le mur en panneaux de copeaux a environ le tiers des fuites du mur avec revêtement de polystyrène. Les taux de fuite changent relativement peu alors que la teneur en eau du bois d'oeuvre passe des valeurs initiales de l'ordre de 20 à 30 % aux valeurs finales. Les deux murs s'assèchent à un rythme semblable pour atteindre la plage de 14 à 16 %. Il est conclu qu'en pratique il est prudent de laisser la teneur en eau du bois atteindre un niveau raisonnable avant de mettre en oeuvre l'isolant de polyuréthane. En rétrospective, il est intéressant de connaître les fuites d'air des joints du revêtement avant la mise en oeuvre de l'isolant.

Une série d'essais visent à déterminer les fuites d'air d'un type de bardage rigide à chevauchement horizontal [7] pour simuler par ordinateur l'assèchement des murs. La vitesse d'assèchement des couches extérieures des murs est influencée tant par leur perméabilité à la vapeur d'eau que leurs fuites d'air. Les fuites d'air par les joints de recouvrement du bardage utilisé dépendent de l'écart laissé par les clous et de l'étanchéité vis-à-vis la languette qui appuie chaque rang sur celui d'en-dessous. La languette comporte des orifices de ventilation afin d'augmenter les fuites d'air à cet endroit. Il est découvert que les clous tant à tête ronde qu'à tête plate assurent l'écart nécessaire, même si les clous à tête ronde sont plus susceptibles d'être surenfoncés. Les orifices de ventilation ne contribuent pas grandement aux fuites d'air, comparativement aux imperfections du point de contact de la languette et du rang d'en-dessous. Pour ce bardage, les taux de fuite d'air

par mètre de longueur de joint, à une différence de pression de 75 Pa, s'établissent en moyenne à 0,52 L/s, valeur nettement inférieure à celles obtenues par d'autres pour divers types de bardage.

Une étude porte sur l'effet d'assèchement du bois de charpente sur l'étanchéité à l'air des joints de l'ossature murale [8]. Les résultats poussent à conclure que l'assèchement du bois d'oeuvre peut entraîner une augmentation importante des fuites d'air aux joints. Le soulèvement des clous a rapport à la longueur d'enfoncement. Le retrait du bois varie grandement selon l'orientation des anneaux de croissance et la proximité de la moelle.

Plus récemment, vingt-quatre murs d'essai pleines dimensions, réalisés avec deux types de joints pour le revêtement extérieur en panneaux, ont fait l'objet de tests d'étanchéité à l'air [9] qui ont permis de déterminer l'effet de l'assèchement de l'ossature sur les fuites d'air, de l'état vert à une teneur en eau de 19 %. Six autres murs pleines dimensions ont été mis à l'essai dans le but d'établir l'influence du retrait du bois sur les fuites d'air au raccordement des murs et du plancher d'une construction à plate-forme. Les résultats ne sont pas encore connus.

Une enquête nationale menée par voie de questionnaire auprès de propriétaires de maisons cherche à évaluer la performance en service des fondations en bois traité. Les participants expriment un taux de satisfaction généralement élevé. Quelques-uns signalent des odeurs de moisi et des infiltrations d'eau. Les résultats de l'enquête portent à conclure qu'il faut accorder une meilleure attention aux pratiques de mise en oeuvre recommandées, particulièrement à l'écoulement des eaux du terrain.

Les niveaux d'humidité des murs de constructions véritables font l'objet d'une étude nationale parrainée par la SCHL [10]. Elle permet de mesurer la teneur en eau de plus de 6 000 poteaux, dans 515 maisons du pays, juste avant la mise en oeuvre de l'isolant et du pare-vapeur. Il est déterminé que la plupart des régions utilisent surtout des poteaux de 38 mm x 140 mm pour l'ossature murale. Seuls les constructeurs de Toronto et de Vancouver marquent leur prédominance pour les éléments de 38 mm x 89 mm. Ceux des régions des Prairies font surtout usage de bois S-DRY, et ceux des régions de l'Atlantique de bois

S-GRN. Le bois S-DRY a souvent une teneur en eau inférieure à la limite de 19 % prescrite par le CNBC, mais un pourcentage important en montre une plus élevée, atteignant parfois plus de 30 %, soit la valeur de saturation des fibres. La teneur en eau de 82 % des lisses d'assise en bois S-GRN dépasse 19 % et dans 35 % des cas, elle est supérieure à 30 %. Le degré d'assèchement pendant la construction est souvent insuffisant, de sorte que 77 % des constructeurs signalent des cas de soulèvement des clous et de fissuration des plaques de plâtre. Il est recommandé aux constructeurs d'accorder plus d'attention à la teneur en eau du bois et à l'industrie du bois d'effectuer un meilleur contrôle de la qualité du bois S-DRY.

Récemment, Forintek a mis sur pied un groupe de travail chargé d'examiner, pour le compte du secteur des produits du bois, la performance à l'humidité des systèmes de construction [11]. Bien qu'il y ait des échanges individuels et coordonnés relativement fréquents entre les membres de la collectivité des chercheurs, il n'en va pas généralement de même pour les échanges entre les chercheurs et le secteur des produits du bois. Le groupe de travail est mandaté pour débattre de ces échanges. Il a passé en revue des travaux de recherche effectués récemment par la SCHL, le CNRC et Forintek. Ses recommandations en matière de recherche touchent les domaines suivants :

- déterminer les meilleurs moyens de gérer la teneur en eau à l'intérieur de l'ossature du bâtiment, par exemple :
 - démontrer diverses techniques de construction en collaboration avec l'ACCH
 - étudier les aspects économiques de meilleures techniques de construction faisant appel à du bois S-DRY et S-GRN
 - étudier les avantages d'utiliser du bois S-DRY pour les lisses murales et de meilleures pratiques de mise en oeuvre plutôt que de faire usage de lisses traitées
- déterminer l'étendue et la gravité des problèmes de plaques de plâtre associés à différentes teneurs en eau du bois, par exemple :

- les poteaux S-GRN
- les poteaux avec une teneur en eau de 19 %
- les poteaux avec une teneur en eau de 15 %.

ANNEXE E

**TRAVAUX DE RECHERCHE EN HUMIDITÉ
À L'UNIVERSITÉ DE TORONTO
1975 - 1991**

Travaux de recherche en humidité à l'université de Toronto

Le centre de la science du bâtiment de la faculté des sciences appliquées et de génie de l'université de Toronto s'intéresse aux problèmes d'humidité depuis plus d'une décennie.

S'inspirant d'une étude sur les recherches et les méthodes scandinaves axées sur la régulation de la chaleur et de l'humidité dans les sous-sols [1], un important programme pancanadien de recherche et de développement, parrainé par l'ACHDU et la SCHL, est instauré. Quelque 16 sous-sols de démonstration sont réalisés par des constructeurs dans tout le pays, mettant en oeuvre divers types d'isolant (fournis par quatre fabricants) sur l'extérieur des murs de fondation. Le contrôle de la performance se fait sous la direction de l'université de Toronto. Les résultats de l'étude se retrouvent dans un document de l'ACHDU [2] indiquant les avantages d'isoler par l'extérieur, la quantité d'isolant à utiliser et les types qui conviennent, ainsi que les modes de mise en oeuvre.

Un document complet sur l'isolation des sous-sols existants [3] est produit à l'intention de ceux qui doivent entreprendre la réhabilitation de bâtiments. Il aborde, dans un langage compréhensible, les principes de physique de la chaleur et de l'humidité ainsi que les aspects de la durabilité pour de nombreux types de sous-sols susceptibles d'être rencontrés, en plus de la mise en place d'isolant thermique à l'intérieur ou à l'extérieur, de l'isolation et des détails d'exécution assurant la protection contre l'humidité, de même que de l'économie d'énergie.

Un exposé présenté en 1982 [4] résume les questions techniques associées à la prévention des pertes de chaleur et au contrôle de l'humidité dans les murs de sous-sol. Il met l'accent sur l'opportunité de pourvoir la paroi extérieure d'une couche de drainage convenable de façon à maintenir la pression atmosphérique (et à éviter les pressions hydrostatiques) à cet endroit, et fait également valoir qu'isoler les murs de sous-sol par l'extérieur assure des conditions hygrothermiques avantageuses pour le contrôle de l'humidité. L'utilisation d'isolant en fibre de verre pour atteindre ces objectifs est débattue, basée sur l'expérience scandinave et les recherches à l'université de

Toronto [5]. Les matériaux isolants en fibre peuvent constituer une couche auto-filtrante ménageant une coupure de capillarité et favorisant le drainage. La teneur en eau de l'isolant se maintient habituellement en-dessous de 1 % en poids, de sorte que le matériau conserve sa résistance thermique, et il n'y a que très peu de pénétration de limon dans la couche de surface extérieure en contact avec le sol. La paroi extérieure du mur en béton demeure habituellement au-dessus de la température du sol, si bien que l'humidité relative à la surface est inférieure à 100 % et la teneur en eau du béton réduite d'autant.

Le drainage de l'isolant en fibre de verre est décrit en détail dans un autre exposé [6]. Celui-ci démontre qu'en autant que l'orientation prédominante de la fibre est dans le plan du panneau, l'eau qui s'infiltré dans un panneau en position verticale reste dans le plan dans lequel elle s'infiltré. Il n'y a pas de mouvement capillaire mesurable dans le sens normal du panneau et, si la répartition du diamètre de la fibre de verre et la densité de l'emballage sont connues, l'équation de Young et LaPlace peut servir à prédire la montée capillaire parallèle au plan du panneau. Dans les panneaux mis à l'essai, la montée capillaire n'est pas suffisante pour affecter l'isolant des fondations.

Dans certains essais, l'isolant en laine de roche est mis en contact avec un sol saturé d'eau. L'eau dans le sol ne pénètre pas l'isolant, y compris l'isolant en laine de roche, de plus de quelques millimètres et le taux d'écoulement sur les faces des panneaux d'isolant est plus que suffisant pour les fins de drainage du sol. Cependant, lorsque de l'eau est introduite dans la partie supérieure des panneaux de laine de roche, elle ne reste pas dans le plan d'infiltration mais se déplace dans le sens normal du plan du panneau dans toutes les directions pour mouiller un volume conique sous le point d'entrée. La laine de roche a des fibres courtes, fines et serrées sans anisotropie discernable dans l'orientation de la fibre et semble présenter une capillarité importante dans toutes les directions. L'absence de pénétration d'eau dans la laine de roche lors des essais de drainage du sol est attribuée au traitement hydrofuge de la surface du panneau. L'absence de capillarité normale avec le panneau, comme le démontrent les spécimens de fibre de verre, semble constituer une caractéristique souhaitable.

Une des préoccupations soulevées en rapport avec l'isolation des sous-sols, particulièrement l'isolation par l'intérieur, se veut le risque accru d'adhérence due au gel et de dommage causé par le soulèvement dû au gel du sol avoisinant. L'adhérence due au gel est le mécanisme par lequel les déplacements causés par le soulèvement dû au gel sont transmis aux murs de sous-sol par l'effet de la friction et de l'adhérence de la glace dans le sol. L'isolant intérieur abaisse la température du mur du sous-sol et du sol adjacent, entraînant la température sous le point de congélation à l'interface du sol et du sous-sol dans de nombreuses régions du Canada. Des études sur le terrain ne montrent pas de cas de problème de gel causé par l'isolation thermique des sous-sols chauffés [7]. En revanche, on sait que le gel cause des dommages aux murs de fondation des sous-sols non chauffés et des garages.

Les travaux de recherche [8] effectués à l'université de Toronto visent à acquérir une meilleure connaissance des lois de la physique pour expliquer l'absence apparente de problèmes sur place. On présume que la force de l'adhérence due au gel est affectée par la direction du mouvement de l'humidité dans le sol en réponse aux gradients thermiques [9]. Hypothétiquement, la direction du mouvement d'humidité en hiver se fait à l'opposé du mur de sous-sol vers le sol même dans les murs isolés, et ce phénomène réduit la force de l'adhérence due au gel. Même lorsqu'il y a gel, le mouvement de la vapeur des cristaux de glace en contact avec le mur cause une dessiccation progressive et affaiblit le lien. Dans les sous-sols non chauffés, l'humidité se déplace dans la direction du sol vers le mur, augmentant ainsi la force de l'adhérence due au gel.

Le personnel du centre de la science du bâtiment participe à l'étude parrainée par la SCHL sur les problèmes causés par l'humidité dans des logements LNH [10] (voir annexe A). Un certain nombre de modifications sont proposées pour éviter les types de problèmes observés, particulièrement dans la région de l'Atlantique. L'une de ces modifications concerne l'utilisation de revêtements isolants [11]. Une étude en laboratoire [12] des murs isolés à l'aide de matelas de fibre de verre et pourvus d'un revêtement isolant en polystyrène et en fibre de verre, dans lequel de l'air humide intérieur (20° C et 50 % HR) est introduit dans chaque cavité entre les poteaux à un débit fixe de 0,18 L/s, indique que l'accumulation d'eau dans la cavité et le revêtement dépend de la température

extérieure et des caractéristiques de perméabilité à la vapeur du revêtement. À une température extérieure de -5° C, la surface intérieure du polystyrène se trouve au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur et l'accumulation d'humidité est négligeable, comptant pour moins de 2 % de l'humidité totale introduite. (Nota : Le revêtement en fibre de verre n'a pas été mis à l'essai dans cette condition, et on aurait plutôt pu s'attendre à une plus grande accumulation, particulièrement dans les spécimens où la membrane de POFL se trouvait côté extérieur.) À une température extérieure de -20° C, on note une augmentation de l'accumulation dans l'isolant de la cavité et dans le revêtement de polystyrène, comptant pour 14 à 18 % de l'humidité totale introduite. Dans certains spécimens, on pratique deux et quatre entailles de 3 mm de largeur à travers le revêtement de polystyrène sur la largeur complète des poteaux. L'accumulation d'humidité est un peu plus élevée dans ces murs que dans ceux où des entailles n'ont pas été pratiquées en partie en raison de l'accumulation de givre dans les entailles. Ainsi, dans ces conditions, les entailles n'exercent pas d'effet favorable. L'humidité se trouve en grande partie à la surface du revêtement de polystyrène, à son interface avec l'isolant de la cavité.

Les spécimens de revêtement en fibre de verre, avec membrane de POFL côté extérieur, accusent l'accumulation d'humidité la plus élevée dans le revêtement et la plus faible dans l'isolant de la cavité (qui est négligeable). Dans ce cas, la surface sur laquelle la condensation s'est formée (la membrane de POFL) enregistre la température la plus basse. L'accumulation d'humidité totalise environ 40 % de l'humidité totale introduite. Les spécimens avec membrane de POFL côté intérieur présentent une accumulation beaucoup plus faible (environ la même que pour l'accumulation sur le polystyrène sans entaille), mais l'accumulation d'humidité dans l'isolant de la cavité est un peu plus élevée que pour les autres revêtements en fibre de verre (bien que moins élevée que pour les revêtements en polystyrène). Les auteurs concluent que les revêtements en fibre de verre avec membrane de POFL sur le côté faisant face aux intempéries sont avantageux lorsque des bardages sensibles à l'humidité sont utilisés, étant donné que le revêtement est en mesure d'emmagasiner inoffensivement l'humidité dans des conditions d'exfiltration défavorables, qui peut s'assécher ou

s'évacuer lorsque la situation devient plus favorable.

Handegord (Prediction of the Moisture Performance of Walls, ASHRAE Transactions, Vol. 91, Pt. 2, 1985) voit un avantage à situer le plan de condensation sur la face intérieure des revêtements isolants, en particulier si l'évacuation de la condensation d'humidité y a été prévue.

Lors de l'enquête de la SCHL sur les problèmes d'humidité (voir annexe A), la manifestation de moisissure sur les parois intérieures, particulièrement aux angles extérieurs, constitue un problème courant dans les provinces de l'Atlantique. On suppose que la pression du vent occasionne l'infiltration d'air du côté exposé au vent et l'exfiltration d'air du côté à l'abri du vent, par les défauts du revêtement, diminuant ainsi l'efficacité de l'isolant et abaissant la température des parois intérieures. Une étude exhaustive en laboratoire [13] porte à conclure que le vent peut entraîner une baisse de température supplémentaire atteignant jusqu'à 7° C au-delà des baisses causées par d'autres effets à un angle extérieur. L'étude démontre qu'un pare-air placé à l'extérieur empêche efficacement les fuites d'air aux angles.

Une autre étude s'intéresse aux méthodes d'évaluer en laboratoire les pare-air [14]. Une méthode d'essai est proposée pour établir l'étanchéité des joints des éléments de l'enveloppe faisant appel à deux spécimens identiques placés dos à dos. À toutes fins utiles, la symétrie des spécimens permet d'éliminer tous les joints qu'on ne retrouve pas dans une véritable installation.

La ventilation est l'une des techniques permettant de limiter le degré d'humidité relative intérieure en hiver. Les systèmes d'extraction d'air utilisés à cette fin et pour capter les polluants d'air intérieur à la source sont d'usage courant. Une étude pertinente entreprise par le centre de la science du bâtiment, parrainée par ÉMR et le ministère de l'Énergie de l'Ontario, vise à évaluer l'évacuation des produits de combustion d'appareils de chauffage à combustion à aspiration naturelle et de chauffe-eau domestiques [15]. Un nouvel appareil, conçu pour déterminer les fuites d'air à l'aide d'un ventilateur monté dans la porte, est utilisé pour dépressuriser la maison jusqu'à ce qu'une rupture de tirage se produise. La rupture de tirage peut

survenir, conclut-on, lorsque la cheminée est froide et que divers dispositifs types d'extraction d'air fonctionnent, compte tenu de l'étanchéité à l'air de la maison. Toutefois, dans le nombre de maisons mises à l'essai, la probabilité d'une rupture de tirage naturel est assez faible. Accroître l'étanchéité de la maison et faire fonctionner de puissants ventilateurs d'extraction augmentent les risques.

Pour démontrer les avantages de placer le pare-air du côté froid de l'isolant thermique (la mise en oeuvre est facile et empêche le vent de refroidir les composants muraux par les défauts du revêtement), on construit une maison expérimentale [16][17] faisant appel à un revêtement en fibre de verre avec une membrane POFL côté extérieur. Les joints du revêtement sont pontés au moyen d'un ruban spécial. La maison affiche une étanchéité à l'air de 1,56 renouvellement d'air par heure à 50 Pa avant la mise en oeuvre du parement, soit à peu près l'exigence d'étanchéité minimale des maisons R-2000. Des calculs indiquent qu'environ 0,9 renouvellement d'air par heure est causé par les fuites d'air des murs. On conclut que la maison peut être exploitée à une pression négative d'environ 10 Pa pour en assurer la ventilation continue, et ainsi créer l'effet de «mur dynamique» où l'air s'infiltrant par le mur est réchauffé par l'air s'échappant par conduction de l'intérieur vers l'extérieur, en mode de chauffage.

En théorie, au débit d'air optimal, l'air quittant la paroi intérieure de l'isolant en fibre de verre se trouve à la même température que la face intérieure de l'isolant (ou la face extérieure du panneau mural) en l'absence de tout mouvement d'air. C'est donc dire qu'au débit optimal la température des parois intérieures ne change pas. Le débit d'air optimal se produit lorsque la chaleur transmise à l'air, en traversant l'isolant, équivaut à la fraction du transfert calorifique global causé par la conduction de la composante air de l'isolant (sans débit d'air). Il en résulte une simple équation du débit optimal par unité de surface qui dépend seulement de la conductivité de l'air immobile, de sa densité et de sa chaleur massique, ainsi que de l'épaisseur de l'isolant. Seule l'épaisseur de l'isolant demeure une variable et le débit optimal varie à l'inverse de l'épaisseur.

Pour les murs du bâtiment expérimental, le débit optimal correspond à un renouvellement d'air de la maison de 0,26. L'économie d'énergie correspondante pour chauffer l'air s'établit, par calcul, à 2 240 kWh en fonction de 4 350 degrés-jours Celsius de chauffage.

Dans la maison expérimentale, l'air est extrait des cavités murales par un orifice de 25 mm pratiqué dans le panneau mural vers le bas de chaque cavité. La lecture de la température de surface ne permet pas de révéler de distorsion dans les températures de surface de mur à l'intérieur causée par le parcours du débit.

On prétend que l'un des avantages du mur dynamique est l'élimination de tout risque de condensation dissimulée. Le mouvement d'air par le mur favoriserait également l'assèchement de l'humidité de la construction.

Le mur dynamique offre aussi des possibilités en tant que capteur solaire [18]. Des travaux sur la maison expérimentale montrent que le mur dynamique capte une partie importante du rayonnement solaire qui l'atteint. Hypothétiquement, la réduction de la demande de chaleur de la maison occasionnée par de tels murs pourrait équivaloir à accroître l'épaisseur de l'isolant en matelas de quelque 190 mm ou la valeur R d'environ 22 (RSI 3,95). Ces conditions sont réalisées à l'aide d'une ossature en poteaux de 2 x 4 po qui se traduisent par des économies associées aux dimensions globales plus petites de la maison et du terrain, ou encore permet d'offrir une surface de plancher intérieure supérieure pour les mêmes dimensions de terrain.

L'utilisation du rayonnement solaire incident requiert l'emmagasiner de la chaleur pendant les périodes où les gains calorifiques dépassent la demande en chauffage qui sera utilisé lorsque le déséquilibre aura été inversé. Le chauffage de l'eau chaude domestique et l'emmagasiner thermique sous la dalle du sous-sol sont proposés comme façons possibles d'équilibrer l'offre et la demande. Dans ce contexte, les murs extérieurs sont considérés comme faisant partie du ventilateur-récupérateur de chaleur, tout en ayant la capacité d'emmagasiner l'énergie solaire.

ANNEXE F

AUTRES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR L'HUMIDITÉ

1975 - 1991

Autres travaux de recherche sur l'humidité

De 1975 à 1991, d'autres organismes canadiens, en plus des cinq cités dans les annexes A à E, étudient les problèmes d'humidité des bâtiments résidentiels à ossature de bois. Parmi ce nombre, on compte des universités et des agences de gouvernements provinciaux ainsi que certains fabricants. Les annexes A, B et C font référence à certains travaux de l'ACCH. Il n'est cependant pas possible ici d'en dresser le relevé exhaustif. Cependant, afin d'élargir la portée du présent rapport, la présente annexe contient de l'information sur les travaux de l'Alberta Home Research Facility, tirée du document «Moisture Research in North America» établi par M.T. Bomberg du CNRC. Elle propose également à l'égard de certains travaux effectués par l'industrie du bardage quant aux problèmes d'humidité un compte rendu rédigé par M. John H. McKenzie, ingénieur, qui a participé directement aux travaux.

L'Alberta Home Heating Research Facility

La recherche relative aux problèmes d'humidité dans les bâtiments résidentiels fait appel à un programme de contrôle sur le terrain et à la modélisation. L'intérêt porte actuellement sur le dépôt d'humidité dans les murs extérieurs et le vide sous toit pendant l'hiver. Le contrôle sur le terrain est entrepris à l'Alberta Home Heating Research Facility (AHHRF), qui dispose près d'Edmonton d'un site d'essai composé de six maisons à un étage avec sous-sol pleine grandeur, disposées en rangées est-ouest. Deux des maisons sont humidifiées pendant l'hiver et le dépôt d'humidité dans les murs et le vide sous toit, de même que les taux de ventilation et les débits d'air par convection pulsée à travers chaque zone sont contrôlés continuellement. L'objectif de cette phase de l'étude est de constituer une vaste base de données sur les mouvements d'air par convection (mécanisme prédominant du transport d'humidité) et le dépôt d'humidité. Simultanément, le centre de recherche élabore en ce moment un modèle visant à prédire le dépôt d'humidité dans les murs et le vide sous toit, la base de données servant à valider le modèle. Le mur témoin est basé sur le transfert de chaleur et de masse par une cavité remplie d'isolant poreux, soumise à un mouvement d'air par convection pulsée à la verticale. La condensation (ou la sublimation) se produit sur le revêtement d'ossature extérieur froid et le modèle prédit la quantité et la répartition de l'humidité. Le modèle de la

répartition de d'humidité au vide sous toit se compose de deux sous-modèles : le premier est un modèle de ventilation de l'air à l'intérieur et dans le vide sous toit basé sur les équilibres de masse du mouvement d'air dans chacune des deux zones et l'autre, un modèle existant d'équilibre de chaleur et d'humidité qui utilise le taux de ventilation du vide sous toit et le taux d'échange d'air entre l'intérieur et le vide sous toit.

De futurs travaux consisteront à déterminer, à l'aide de ces modèles, les détails d'exécution (tels que la dimension et la position de dispositifs de ventilation passive du toit) et les stratégies de ventilation à retenir pour éliminer ou contrôler l'humidité des maisons dans les diverses conditions hivernales du Canada. Il est prévu de mettre à l'essai sur place certaines idées relevées par les calculs du modèle à l'AHHRF au cours des prochains hivers.

Recherches sur l'humidité des bardages menées par l'industrie privée *

Les fabricants de bardages et de revêtements d'ossature comptent parmi les premiers à faire face au problème des murs humides des habitations de la région de l'Atlantique; leur recherche conduit vite à l'intervention du gouvernement et des établissements publics. En particulier, Masonite Canada (qui devient plus tard «Canexel») se livre à beaucoup de recherche et de développement et à des analyses basées sur quelque 750 inspections sur place de bardage de murs humides, principalement dans la région de l'Atlantique. Les pages suivantes décrivent certains de ces travaux.

1. Indications visuelles

En 1976, Masonite commence à remarquer une augmentation appréciable des problèmes d'humidité sur ses bardages rigides dans les provinces de l'Atlantique.

En 1978-1979, des rapports de la SCHL à Terre-Neuve font état d'une éruption de cas de «voilement». Des enquêtes montrent toutefois que le problème de base se manifeste plus par l'écaillage de la peinture et/ou le pourrissement du bardage, accompagné occasionnellement d'un voilement¹.

* À partir de notes compilées par M. John McKenzie.

¹ Le premier problème est causé par une humidification soutenue par l'eau sous forme liquide tandis que le voilement est imputable à la forte dilatation hygroscopique des fibres cellulosiques. L'eau sous forme liquide provoque également la dilatation des fibres, mais il semble que l'eau agisse plutôt comme un plastifiant et permette habituellement de réduire l'accumulation de contraintes internes à la suite de la dilatation de la fibre et ainsi de prévenir le voilement.

En 1985-1986, Canexel met au point et installe des appareils pour augmenter la teneur en eau de ses bardages livrés et ainsi réduit grandement les cas de voilement.

Par suite de ce fait nouveau et inattendu, Masonite met sur pied un programme intensif dans le but de déceler le problème, d'effectuer les travaux de recherche et de développement nécessaires et de proposer une solution pratique. Deux groupes de travail internes visitent un grand nombre de maisons problèmes de toute la région de l'Atlantique et recueillent des rapports détaillés sur chacune. L'entreprise retient les services de la firme de consultants Scanada.

Comme toile de fond à la situation de Terre-Neuve, depuis environ 1970, au Québec **seulement**², la coutume dicte de mettre en oeuvre le bardage «Colorlock» sur des fourrures. Vers la fin des années 70, la province connaît une certaine augmentation des problèmes de murs humides dans les régions du Saguenay et de la Gaspésie, mais tout de même mineurs comparativement à ceux de Terre-Neuve. En outre, depuis environ 1962, Masonite indique, dans ses instructions de mise en oeuvre, de fixer le bardage rapporté sur des fourrures (alléguant que bien des maisons anciennes ont un pare-air/pare-vapeur de qualité médiocre ou n'en ont tout simplement pas). L'entreprise ajoute avoir rarement reçu des plaintes concernant le bardage fixé sur des fourrures.³

Dans ce contexte, l'utilisation de fourrures représentait la solution évidente au moins à court terme jusqu'à ce qu'une analyse plus détaillée soit effectuée et mis à part l'expérience antérieure, il semblait évident que de manière générale la «ventilation» du mur (par les effets de la convection et du vent) serait avantageuse de la même manière qu'elle l'est pour les vides sous toit.

2 Et la situation demeure la même - 100 % dans certaines régions, peu importe le type de bardage.

3 Les maisons anciennes ont le plus souvent un plancher de sous-sol en terre battue et il est bien connu que cette condition est souvent associée à de très sérieux problèmes de pourrissement des murs.

Pour mieux éprouver ce système, Masonite tente un certain nombre d'essais :

1. Huit maisons chauffées à l'électricité sont réalisées, à Terre-Neuve, le bardage fixé sur des fourrures (les constructeurs sont sélectionnés particulièrement et ont reçu des directives). Leur dernière inspection, remontant au milieu des années 80, ne révèle aucune trace de problème d'humidité.
2. Un bâtiment d'essai est construit à St. John's sur une falaise exposée aux violentes tempêtes. Le bardage est fixé sur des fourrures et un revêtement en plexiglas permet d'observer l'envers du bardage. La pluie ne s'infiltré pas dans le bardage même lors d'une tempête d'une violence inhabituelle.
3. Un mur réplique est testé chez Warnock Hersey et encore une fois les résultats sont négatifs.
4. Des sections de mur simulé sont placées dans une chambre climatique dans les laboratoires de la Masonite Corp. à Chicago, afin d'évaluer le taux d'accumulation de givre dans la cavité suivant divers arrangements de fourrures. En particulier, on s'intéresse à déterminer si une bande de départ perforée, posée sur une fourrure horizontale massive au bas assurerait suffisamment de ventilation. Ce genre de disposition aurait simplifié la construction comparativement au vide normal complètement ouvert et grillagé.

L'évaluation des résultats permettent de conclure que :

- Les fourrures minimisent effectivement l'accumulation de givre dans la cavité, derrière le bardage.
- Il est nécessaire de ménager une section libre relativement grande au bas du vide et complètement ouverte au haut.

- Un vide peu profond est aussi efficace qu'un vide profond, par exemple un vide de $\frac{1}{4}$ po offre une aussi bonne performance qu'un vide de $\frac{3}{4}$ po.

À tout prendre, ces conclusions témoignent du bon sens et correspondent à l'expérience sur le terrain.

L'auteur croit comprendre que ces résultats ont été mis à la disposition d'autres parties. Le personnel de Masonite a été surpris d'apprendre plus tard que lors de la recherche effectuée dans des bâtiments d'essai le vide était obturé en partie supérieure. Par suite des résultats obtenus, la société Masonite de concert avec l'Association canadienne des fabricants de parements, frises et gouttières, enjoint la SCHL de prescrire de fixer tout bardage à chevauchement horizontal sur des fourrures, à Terre-Neuve. Avant de pouvoir étendre cette exigence à toutes les régions à risque, par exemple les provinces atlantiques, la SCHL en a fait une «recommandation» et depuis lors, c'est la situation qui règne.

2. Autres travaux

Au cours de nombreux voyages à Terre-Neuve et dans les Maritimes, l'auteur continue de constater des preuves de murs humides non seulement sur les bardages en panneaux de fibres durs mais aussi sur d'autres types de bardages⁴. La collaboration avec la firme de consultants Scanada permet de mieux comprendre le problème et d'analyser en détail l'information recueillie par le deuxième groupe de travail de Masonite.

Il est démontré de façon assez convaincante que le problème est causé par l'exfiltration d'air intérieur en hiver par les côtés à l'abri du vent.

⁴ De 40 à 50 photos illustrent le problème.

Cette affirmation découle de l'étroite corrélation (corroborée à 99,9 %) entre la direction du vent et les problèmes de mur (voir référence [6] à l'annexe A). En outre, le profil vertical des dommages visibles causés par l'humidité montre que le problème décroît en proportion avec la hauteur du mur, c'est-à-dire à l'opposé de la poussée aérostatische ou de l'effet de tirage. Certains cas peuvent être attribués à l'infiltration de pluie⁵, mais quoi qu'il en soit, les données sur les cas douteux ne sont pas incluses dans l'analyse.

Cette conclusion ne surprend pas; à St. John's, la vitesse moyenne du vent en provenance de l'ouest (dans environ 57 % du temps) est d'environ 30 km/heure d'octobre à mars. Elle donne lieu à une différence de pression sur les murs du côté est d'environ 13 Pa dans un endroit exposé et d'environ 6 Pa dans un endroit protégé⁶. En comparaison, ces différences de poussées aérostatiques causant l'exfiltration ne dépassent vraisemblablement pas 5 Pa au plafond des maisons à deux étages à une température extérieure de 0° C, les murs subissant en moyenne des différences de pression inférieures.

5 À mesure que les inspections avancent, il devient possible de diagnostiquer les problèmes d'infiltration de pluie sur place, parfois confirmés par l'inspection après avoir défilé le mur. Ces cas sont relativement peu fréquents et, bien souvent, les surfaces affectées par l'humidité se trouvent à des endroits écartant la possibilité d'infiltration d'eau de pluie, par exemple au milieu d'un mur bien éloigné des points d'entrée. Souvent la surface affectée se trouve de toute évidence sur le parcours des fuites d'air potentielles tels qu'un mur en planches à clin ou une prise de courant. Les murs-pignons, au-dessus du plafond, n'éprouvent **jamais** de problème d'humidité.

6 Très modérée, selon les normes de Terre-Neuve. Ce pourcentage n'inclut pas l'effet de pompage causé par l'infiltration du côté du vent qui peut se produire si les murs du côté du vent ont plus de fuites que les murs du côté à l'abri du vent.

On déduit que la condensation causée par l'exfiltration entraîne la putréfaction à l'intérieur du mur dans cette région, étant donné que les conditions printanières et estivales ne suffisent pas pour assécher l'intérieur du mur et ainsi prévenir l'apparition de pourriture sèche⁷. Cette observation est corroborée par le fait que même l'eau qu'on a littéralement vue s'écouler de l'arrière du bardage dans les Prairies (provenant du dégel de la glace, par un chaud matin de printemps), la compagnie n'a *jamais* eu de plainte d'exfiltration de cette région.

3. Maisons existantes à risque

En conseillant aux propriétaires les mesures correctives *après* qu'un problème se soit manifesté, Masonite recommande d'installer un ventilateur d'extraction de qualité, préférablement à pales incurvées vers l'avant⁸ d'au moins 80 pi³/mn (à peu près 40 L/s) commandé par humidistat ou minuterie. La question de la rupture de tirage du conduit de fumée d'un appareil de chauffage doit être examinée même si ce problème ne soulève pas de préoccupation particulière dans les provinces de l'Atlantique en l'absence de chauffage au gaz naturel.

Cette idée est éprouvée dans une maison de Newtown (St. John's) aux prises avec un sérieux problème d'exfiltration. Le ventilateur est installé en septembre lorsque l'humidité du bardage est mesurée à 40 % dans la surface problème (à l'aide d'un hygromètre portatif). En janvier, le taux d'humidité passe à 20 % et baisse encore, atteignant 15 % en juin. Ainsi,

⁷ Dans les cas où les murs étaient ouverts, on voyait parfois de l'eau sous forme liquide sur les surfaces à l'intérieur du mur, même pendant les mois d'été - dans un cas particulier, le 31 juillet.

⁸ On pense qu'il est important d'insister sur la qualité du ventilateur étant donné que les ventilateurs hélicoïdaux bon marché ne résistent pas au fonctionnement continu de façon prolongée.

même pendant l'hiver et malgré que l'exfiltration d'air est bien connue, l'utilisation du ventilateur contribue effectivement à assécher le bardage.

4. Maisons avec ou sans conduit de fumée

On tente de savoir si les problèmes d'exfiltration se limitent surtout aux maisons sans conduit de fumée actif. Les dossiers d'inspection de 241 maisons éprouvant des problèmes de murs humides dans les provinces de l'Atlantique, que l'auteur établit en 1983 et en 1984, montrent que 42 % recourent à un appareil de chauffage à combustion (58 % des maisons sont chauffées à l'électricité ou occasionnellement à l'aide d'un poêle à bois sans registre de tirage). De ce groupe, un tiers (15 % du total) des maisons n'affichent aucun défaut de construction apparent (comme l'absence de pare-air/pare-vapeur, sol en terre battue, etc.). Ainsi l'effet d'un conduit de fumée actif (humidité relative et pression d'air intérieure inférieures) est apparemment insuffisant pour s'opposer aux fuites d'air et/ou à la charge d'humidité intérieure provoquées par le vent.

La gravité des cas rapportés fait également l'objet de dossiers. Il s'agit surtout de taches sur l'appui des fenêtres en baie vitrée (et **non pas** les évaluations des propriétaires). Malgré la corrélation approximative entre la gravité des taches et la gravité des problèmes de mur, il y a plusieurs cas où des maisons relativement «sèches» éprouvent de sérieux problèmes de pourriture dans les murs.

5. Divers

Il est possible d'inspecter le mur derrière le bardage dans un certain nombre de cas et, en général, il se trouve de la pourriture à l'intérieur du mur lorsque de fortes traces de pourriture apparaissent sur le parement. Dans des cas extrêmes, la pourriture touche le revêtement comme

les poteaux⁹. Étant donné que la première préoccupation est le bardage, le type de revêtement n'est pas consigné. Cependant, de mémoire :

- il ne semble pas y avoir de grande différence dans le schéma ou la gravité des problèmes de bardage liés au type de revêtement d'ossature (principalement le bois d'oeuvre, les panneaux d'agglomérés et les panneaux de fibre imprégnés d'asphalte),
- il y a peu de pourriture dans les panneaux de fibres imprégnés d'asphalte tandis que les panneaux d'agglomérés semblent pourrir facilement. Dans certains cas, on peut creuser avec les doigts dans les panneaux pourris.

Malgré la corrélation globale, dans tous les cas il y a des écarts considérables entre l'état du bardage et celui du revêtement. Dans un cas, le revêtement peut être pourri, dans un autre il ne peut y avoir que des taches mineures ou des traces de moisissure sur le papier de construction. On croit que cette variation est probablement causée par la variation de position du point de rosée de l'air d'exfiltration à l'intérieur du mur.

Canoxel fabrique toujours des bardages en panneaux de fibres durs au Canada (bien que les ventes aient considérablement chuté à Terre-Neuve) et en exporte à l'étranger un petit volume toutefois à la hausse. Les ventes annuelles voisinent les 50 millions de pieds carrés par année, dont une quantité appréciable est destinée aux provinces maritimes.

⁹ Dans un cas mémorable, mais tout à fait exceptionnel, la maison dont le plancher du sous-sol est en terre battue, n'est revêtue que de panneaux de 1/8 po à l'intérieur, deux murs sont tellement pourris que le propriétaire fait soutenir le toit par des poteaux, par crainte d'un effondrement total.

En 1982, dans le cours normal du progrès technologique, les changements apportés peuvent réduire la sensibilité du produit à la condensation prolongée à l'intérieur des murs.

6. Autres bardages

Au moins jusqu'à 1982, les bardages de Masonite sont peut-être indûment sensibles au ravage de la condensation interstitielle, même s'il y a matière à croire que dans les cas les plus graves la situation est fortuite en ce sens que le propriétaire a été averti avant que les murs de sa maison aient eu le temps de pourrir en entier. En tout cas, on croit que le problème réside essentiellement dans l'ossature et non pas dans le bardage comme tel. Il n'y avait donc pas de raison de croire que les murs parés d'autres types de bardage ne courent pas de risque. Et mis à part le bardage à clin en bois, au mieux, les signes extérieurs sont habituellement subtils à déceler.

Comme noté précédemment en 2), le personnel de Masonite constate (et en entend aussi parler) des problèmes fréquents de murs humides revêtus de bardages autres qu'en panneaux de fibres durs et, en particulier, l'auteur est grandement préoccupé par les activités de gros visant à refaire le bardage de vieilles maisons, mal construites et peu étanches à l'air, comme à Grand Bank vers 1981. À l'époque, on pense qu'un désastre est en voie de se produire et rien depuis ne porte à penser autrement. L'utilisation plus répandue d'une membrane POFL par-dessus le revêtement d'ossature marque cependant un progrès plus récent et peut réduire les risques, pourvu qu'elle soit mise en oeuvre avec soin. L'avantage des fourrures réside dans le fait qu'elles constituent un mode de pose totalement sûr, du moins pour contrôler les conditions d'humidité.

7. Conclusion

Malgré l'ampleur très considérable de la recherche entreprise depuis 1980, Il n'y a pas de changement dans les exigences obligatoires¹⁰ de la construction résidentielle spécifiques aux provinces de l'Atlantique, et rien ne garantit que l'amélioration des pratiques de mise en oeuvre particulières permet véritablement de réduire les problèmes d'humidité à l'intérieur des murs constatés de 1978 à 1982. On a tendance à croire que ces problèmes sont tout simplement moins apparents de l'extérieur.

L'état des connaissances acquises devrait, semble-t-il, suffire pour aider de façon pratique les constructeurs et les propriétaires de maison de cette région. Suggérer simplement d'effectuer «plus d'études» rend un mauvais service aux personnes qui, attendant depuis plus d'une douzaine d'années, ont perdu des millions de dollars à cause des méfaits de la pourriture engendrée par l'exfiltration.

Le même raisonnement est vrai pour les travaux de rénovation. Bien qu'il n'y ait pas de mesure réglementaire pour rejoindre ce secteur, on pourrait recommander fortement à l'Association canadienne des fabricants de parements, frises et gouttières de prescrire des méthodes d'installation afin de minimiser les risques associés aux fuites d'air dans les maisons anciennes.

10 La diffusion des nouvelles connaissances est lente lorsqu'elles font simplement l'objet de recommandations. Cependant, lorsqu'elles se traduisent par des exigences obligatoires, l'industrie du bâtiment y donne suite rapidement.

ANNEXE G

**LES EXIGENCES DE PROTECTION CONTRE L'HUMIDITÉ
DANS LE CODE NATIONAL DU BÂTIMENT DU CANADA**

**Les exigences de protection contre l'humidité
dans le Code national du bâtiment du Canada**

La première édition du Code national du bâtiment du Canada, qui date de 1941, est parrainée conjointement par le ministère des Finances et le Conseil national de recherches du Canada. Les travaux portant sur le Code national du bâtiment sont repris en 1949 par le Conseil national de recherches, sous la direction d'un comité associé, qui en publie une nouvelle édition en 1953 et de nouvelles à intervalles réguliers jusqu'à ce jour. Jusqu'en 1970, le CNB renferme certaines dispositions de protection contre l'humidité dans les bâtiments résidentiels, tandis que les Normes de construction résidentielle énoncent des exigences supplémentaires. Ces Normes sont d'abord publiées par la SCHL et, à partir de 1958, par le Comité associé du Code national du bâtiment (CACNB). La partie 9 du CNBC 1970 reprend essentiellement les mêmes exigences de protection contre l'humidité que les Normes de construction résidentielle. Celles-ci paraissent pour la dernière fois en 1977.

CNBC 1941

L'édition du CNBC 1941 ne consacre aucune partie spécifique à la construction résidentielle. Les exigences concernant l'exécution des murs à ossature précisent de disposer un pare-vapeur efficace entre la face intérieure des poteaux et celle du mur lorsque le papier de construction ou le revêtement intermédiaire offre une résistance élevée à la transmission de vapeur d'eau. La mise en oeuvre d'un pare-vapeur est souhaitable lorsque le coefficient de transmission de la vapeur du papier de construction ou du revêtement intermédiaire est inférieur à 2 grammes/24 heures \cdot m². mm Hg (3 grains/heure \cdot pi² \cdot po Hg). Ainsi, par définition, le pare-vapeur offre un coefficient de transmission de vapeur d'au moins 0,5 (0.76 grains/heure \cdot pi² \cdot po Hg).

Nul mur extérieur d'une pièce habitable ne doit avoir un coefficient de transmission de chaleur (K) supérieur à 0.25 Btu/h \cdot pi² ° F, alors que la valeur correspondante du toit s'établit à 0.35. Les murs et le plancher des pièces habitables du sous-sol doivent être isolés de manière à ce qu'il ne se forme pas de condensation sur leurs parois intérieures pendant les périodes d'humidité élevée en été. Y sont également énoncées des exigences générales

visant à protéger contre l'eau et l'humidité le plancher et les murs de sous-sol.

L'espace entre la face inférieure des solives de plancher et le sol (en l'absence de sous-sol ou de cave) doit être ventilé. La surface minimale d'ouverture dans le mur de fondation est de 20 po^2 les 25 pieds linéaires de mur. Aucune exigence ne semble porter sur la ventilation du comble ou vide sous toit.

CNBC 1953

Le CNBC 1953 n'affecte aucune partie particulière à la construction résidentielle. La partie 4, traitant des règles de calcul, requiert d'accorder une attention particulière à la protection contre la condensation lors de la conception des murs, du toit et du plancher; l'existence d'un gradient de pression de vapeur d'eau à l'intérieur d'un ensemble de construction, pouvant entraîner de la condensation, oblige à mettre en oeuvre un pare-vapeur du côté du matériau assurant principalement la résistance thermique, où la pression de vapeur d'eau est élevée. Les papiers traités à utiliser comme pare-vapeur doivent être conformes à la norme ONGC 9-GP-3. Lorsque des matériaux offrant une résistance élevée au mouvement de vapeur d'eau s'utilisent du côté du principal matériau assurant la résistance thermique, où la pression de vapeur d'eau est faible, il faut prévoir de la ventilation ou une autre méthode approuvée tout aussi efficace (en plus d'un pare-vapeur) pour retirer la vapeur d'eau qui pourrait venir du côté où la pression de vapeur d'eau est élevée.

Le vide sous toit doit être ventilé par des orifices, à raison de 1 pi^2 tous les 150 pi^2 , disposés de façon à optimiser la circulation et le renouvellement d'air.

Le vide sanitaire doit être ventilé par des orifices, à raison de 1 pi^2 tous les $1\,000 \text{ pi}^2$.

Il faut assurer le drainage autour des fondations du sous-sol, sous le niveau du plancher et assurer la protection contre l'eau lorsque la situation le justifie. Autrement, les murs doivent être protégés contre l'humidité à l'aide

d'une couche épaisse de bitume non dilué ou de goudron chaud (appliquée par-dessus un enduit de ciment de $\frac{1}{2}$ po recouvrant les murs en éléments de maçonnerie).

CNBC 1960

La partie 9 du CNBC 1960 requiert de doter d'un pare-vapeur, selon les règles de l'art, l'isolant thermique qui ne s'oppose pas efficacement au passage de la vapeur d'eau sur toute sa surface. Les «Normes de maison - Canada» y sont citées à titre de bonnes pratiques de mise en oeuvre.

Les murs de fondation, les planchers de sous-sols, les dalles sur le sol et les vides sanitaires doivent être réalisés de façon à s'opposer au passage de l'eau et de la vapeur d'eau conformément aux règles de l'art. Sauf indication contraire de la part de l'autorité compétente, tous les murs de fondation et les vides sanitaires doivent être pourvus d'un système de drainage.

La conception, l'exécution et l'installation des systèmes de ventilation doivent respecter les règles de l'art.

La section 4.7, Parement, énonce des dispositions générales concernant la protection contre la condensation. Lorsqu'un assemblage de construction doit être sujet à un gradient de température ou un gradient de pression de vapeur d'eau tel que la condensation se présentera à l'intérieur même de l'assemblage de construction :

- a) un vaporifuge doit être installé dans l'assemblage sur le côté, ou à proximité du côté qui, exposé à la haute pression de vapeur, offre le plus de résistance thermique;
- b) si un espace d'air fait partie de l'assemblage de construction, il doit être ventilé sur le côté froid de cet assemblage de construction, ou
- c) les matériaux sur le côté froid du matériau qui a le plus de résistance thermique doivent être au moins cinq fois plus avides de vapeur d'eau que ceux qui sont sur le côté chaud.

Lorsque des matériaux qui ont une résistance au passage de la vapeur d'eau égale à celle d'un vaporifuge sont employés du côté froid :

- a) un vaporifuge classé type 1 (CGSB 70-GP-1) doit être utilisé
- b) un espace d'air ventilé ou une autre méthode doit être prévue pour l'enlèvement de la vapeur d'eau qui s'introduira probablement dans le matériau qui a le plus de résistance thermique.

CNBC 1965

La partie 9 du CNBC 1965 reprend les mêmes dispositions que le CNBC 1960. Une disposition supplémentaire requiert que l'installation de ventilation mécanique desservant les pièces puisse au moins assurer un renouvellement d'air par heure.

Fait intéressant à noter, la partie 4 du CNBC 1965 tient compte de l'importance relativement nouvelle accordée à l'exfiltration d'air. Elle requiert qu'une étanchéité à la vapeur et à l'air continue soit mise en oeuvre du côté qui, exposé à la haute pression de vapeur, offre le plus de résistance thermique. Tout espace d'air ménagé du côté froid de l'isolant doit être ventilé à l'extérieur. Les matériaux situés du côté froid doivent être plus perméables à la vapeur d'eau que ceux du côté chaud. Si les matériaux ont une résistance au passage de la vapeur d'eau équivalente à celle d'un vaporifuge, il faut installer un pare-vapeur du côté chaud et ventiler l'espace d'air du côté froid.

CNBC 1970

Les exigences de la partie 9 du CNBC 1970 et du Code canadien de construction résidentielle (Normes résidentielles) sont en grande partie les mêmes. Une sous-section précise les surfaces à calorifuger.

- Un isolant thermique doit être mis en oeuvre entre les locaux chauffés et non chauffés, entre un local chauffé et l'extérieur, et au périmètre d'une dalle de béton installée sur le sol.
- Il n'est pas nécessaire d'installer un isolant thermique dans les

sous-sols ou les caves dont les murs sont en maçonnerie ou en béton ni entre les solives qui s'assemblent à la solive de rive d'un sous-sol non fini ou d'un vide sanitaire ne servant pas de chambre d'air.

Le Code fait également référence aux matelas isolants fabriqués sans pare-vapeur sur une face ou l'autre, exigeant qu'au moins une face soit en contact direct et continu avec un parement, un revêtement de fond ou une autre membrane.

Les pare-vapeur doivent répondre aux prescriptions de la norme CGSB 70-GP-1 (1960). Cette norme s'applique aussi bien au papier de construction qu'au polyéthylène tenant lieu de pare-vapeur (remplaçant la norme CGSB 9-GP-3, qui vise uniquement les papiers de construction) et classés comme matériaux du type 1 et du type 2 selon que leur perméance maximale respective s'établit à 0.1 et 0.75 perm (5,7 et 53 ng/s·m²·Pa). Les pare-vapeur du type 1 doivent être utilisés lorsqu'une haute résistance à la vapeur d'eau est requise, notamment dans les murs qui ont un parement extérieur ou un revêtement de fond à faible perméance.

Les pare-vapeur doivent être mis en oeuvre pour protéger la surface totale du mur, y compris les éléments de charpente. Lorsqu'un mur de refend s'aboute à un mur extérieur ou à un plafond, le pare-vapeur doit être installé de façon à couvrir l'aire totale entre les deux. Les pare-vapeur doivent se chevaucher sur un pouce par-dessus les éléments d'appui et sur quatre pouces ailleurs. Le pare-vapeur doit être ajusté soigneusement autour des ouvertures pratiquées pour recevoir les boîtes électriques et les bouches de chaleur.

Les vides sous toit ou attiques au-dessus d'un plafond isolé doivent être ventilés par des orifices donnant à l'extérieur d'une aire nette minimale de 1/300 de l'aire de plafond, uniformément distribués sur les côtés opposés du bâtiment. Selon le Code canadien de construction résidentielle (Normes résidentielles), la ventilation du vide sous toit n'est pas nécessaire si un pare-vapeur du type 1 couvre le plafond en entier et qu'il est appliqué d'une seule venue sans ouverture, sauf à l'endroit des colonnes de ventilation où la jonction devra être scellée. Il s'agit d'une exigence tenant implicitement compte du rôle de l'exfiltration d'air.

Les vides sanitaires doivent être ventilés par des moyens naturels ou mécaniques, la ventilation naturelle devant se faire vers l'extérieur par un orifice de 1 pi² tous les 500 pi² de surface de plancher. La ventilation n'est pas nécessaire lorsque le vide sanitaire est chauffé ou ventilé vers un sous-sol.

En présence d'une pression hydrostatique, les planchers en contact avec le sol et les faces extérieures des murs sous le niveau du sol doivent être étanches à l'eau. Autrement, les faces des murs de fondation sous le niveau du sol doivent être protégés contre l'humidité à l'aide d'une couche épaisse de bitume ou d'un autre matériau approuvé. Les murs de fondation en éléments de maçonnerie doivent être crépis avant d'être protégés contre l'humidité. Lorsqu'un parement intérieur distinct est posé sur les murs de fondation en contact avec le sol ou que des éléments en bois sont fixés pour la mise en oeuvre d'isolant thermique ou d'un matériau de finition, les parois intérieures des fondations doivent être protégées contre l'humidité depuis le plancher du sous-sol jusqu'au niveau du sol (mais non au-dessus) à l'aide d'une pellicule de polyéthylène d'au moins 0.002 po ou de deux couches de bitume ou l'équivalent (conformité avec le CBD 13F).

Les dalles déposées sur le sol doivent être protégées contre l'humidité à moins de reposer sur un lit de matière granulaire d'au moins 5 po. La protection contre l'humidité placée sous la dalle doit être constituée par une membrane de polyéthylène d'au moins 0.006 po ou un matériau de couverture en rouleau de 45 lb, avec recouvrements de 6 pouces (des essais menés à la DRB du CNRC montrent que tout autre matériau plus léger sera vraisemblablement endommagé lors de la mise en place du béton). Lorsqu'un plancher distinct est placé par-dessus la dalle, la protection contre l'humidité peut être assurée à la surface de la dalle, à l'aide d'une membrane de polyéthylène d'au moins 0.002 po ou de deux couches d'enduit de bitume ou l'équivalent.

Cette édition reprend les mêmes exigences de ventilation mécanique que le CNBC 1965.

Par ailleurs, les dispositions de la partie 4 ressemblent à celles du CNBC 1965.

CNBC 1975

Les exigences de la partie 9 du CNBC 1975 et des Normes de construction résidentielle sont les mêmes. La mise en oeuvre du pare-vapeur à l'intersection du mur intérieur et du mur extérieur et du plafond est plus explicite que dans le CNBC 1970, en ce sens que le pare-vapeur doit se prolonger entre les deux murs, au-dessus du mur intérieur ou en-dessous de la sablière. Les autres exigences sont les mêmes que dans le CNBC 1970. Il en va de même pour les dispositions de la partie 4.

CNBC 1977

Cette édition du Code renvoie aux Normes de construction résidentielle 1977 du CACNB pour les valeurs minimales de résistance thermique recommandées. Ses autres exigences sont généralement les mêmes que celles du CNBC 1975 et des Normes de construction résidentielle 1977 du CACNB, à part les plus nombreuses dispositions relatives aux attiques ou vides sous comble, témoignant des problèmes de condensation constatés dans les années 1970. Lorsque la pente du toit est inférieure à 2 pour 12 ou qu'il n'y a pas de vide sous comble, les orifices de ventilation doivent offrir une surface libre d'au moins 1/150 de la surface du plafond et être également répartis sur toutes les faces du bâtiment (soit le double de la surface de ventilation autrement exigée); des fourrures d'au moins 2 po x 2 po doivent être posées dans le sens perpendiculaire sur les solives de toit, et l'isolant doit se trouver à 1 po sous la face supérieure des solives (pour améliorer l'efficacité globale de la ventilation); et l'utilisation d'un pare-vapeur de type 1 par-dessus le plafond, mis en oeuvre de façon à ce que les joints se trouvent vis-à-vis les éléments d'ossature, les ouvertures pratiquées pour les boîtes électriques ou autres étant scellées par calfeutrage ou ruban. Des exigences générales précisent également :

- de calfeutrer les trappes d'accès
- de couvrir d'un ruban d'étanchéité les joints des conduits du vide sous comble
- d'obturer le dégagement autour des cheminées et des conduits

d'évacuation (avec des matériaux incombustibles) pour prévenir les fuites d'air

- de couronner ou sceller les éléments de maçonnerie creux au niveau ou à proximité du plafond pour empêcher l'humidité des alvéoles de parvenir au vide sous toit (pour prévenir les fuites d'air dans le vide sous toit par les séparations coupe-feu entre les logements de collectifs d'habitation).

Les exigences générales de ventilation mécanique des pièces sont les mêmes que celles qu'énoncent les CNBC 1975 et 1970, à l'exception d'une disposition supplémentaire requérant de desservir les logements chauffés autrement qu'avec un appareil à combustibles par une installation de ventilation mécanique d'extraction assurant un débit de $100 \text{ pi}^3/\text{mn}$ (à une différence de pression de 0.1 po d'eau). Cette disposition tient compte des problèmes de condensation qui se sont manifestés dans les maisons chauffées à l'électricité au cours de la décennie précédente.

La partie 4 du CNBC 1977 reprend les mêmes dispositions que le CNBC 1975, sauf que, lorsque les matériaux se trouvant du côté froid de l'isolant ont une résistance au passage de la vapeur d'eau équivalente à celle du pare-vapeur, il faut prévoir une lame d'air ventilée à l'air libre ou toute autre méthode destinée à éliminer la vapeur d'eau qui pourrait traverser le matériau ayant la résistance thermique la plus grande (exigences semblables à celles du CNBC 1965). Sous la rubrique Protection contre l'infiltration du vent et de la pluie, une exigence prévoit de réduire au minimum l'infiltration et l'exfiltration d'air à la jonction des composants.

CNBC 1980

La partie 9 ressemble à celle du CNBC 1977, à l'exception des modifications ou ajouts suivants :

- Il n'est pas obligatoire que les pare-vapeur recouvrent entièrement les éléments d'ossature des murs extérieurs si le revêtement intérieur de finition consiste en panneaux fixés à tous les éléments d'ossature

au moyen d'un adhésif en plus des clous ou agrafes (exigence implicite d'assurer la continuité de la protection contre les fuites d'air plutôt que la transmission de vapeur d'eau).

- En l'absence de vide sous toit, il n'est pas nécessaire de fixer des fourrures perpendiculaires aux solives de toit lorsque la pente de toit est de 1 pour 6 ou plus, les solives suivent la même orientation que la pente de toit et le dégagement minimal entre l'isolant et le support de couverture est de 75 mm. Les orifices de ventilation de ces toits (1/300 de la surface du plafond) doivent être disposés de façon à ce que 50 % de la surface se trouve près du bas et 50 % près du faite.
- La partie inférieure d'un comble brisé ou à la Mansard n'a pas besoin d'être ventilée. La partie supérieure doit cependant être ventilée comme tout autre comble, sauf qu'au moins 50 % des orifices de ventilation doivent se trouver près de la jonction des parties inférieure et supérieure.

CNBC 1985

Le CNBC 1985 fait référence à la norme CAN2-51.33, Pare-vapeur en feuille pour bâtiments, qui remplace la norme ONGC 70-GP-1(d). Lorsque des ouvertures sont découpées dans le pare-vapeur, comme celles nécessaires au passage des services, les joints doivent être rendus étanches pour maintenir l'intégrité du pare-vapeur.

Tous les joints du pare-vapeur doivent se trouver sur des éléments d'ossature en plus d'être obturés ou d'avoir un recouvrement minimal de 100 mm.

L'isolant thermique du plafond doit être placé de façon à ne pas restreindre le mouvement d'air par les orifices de ventilation ou le vide sous toit.

L'annexe du CNBC 1985 commente différentes exigences. Ainsi, il importe beaucoup plus d'empêcher l'air intérieur de parvenir dans les murs et les combles que de

réduire la diffusion de vapeur. Bien que la partie 9 ne fasse référence qu'aux pare-vapeur, ces derniers peuvent également jouer le rôle de pare-air. L'annexe insiste également sur la nécessité d'obturer les ouvertures pratiquées dans le pare-vapeur et de porter attention aux autres parcours de fuite.

Le CNBC 1985 lève l'exigence d'équiper d'installations de ventilation d'extraction les maisons dépourvues d'appareils de chauffage à combustibles. Il requiert plutôt d'équiper tous les logements d'une installation de ventilation mécanique capable de produire un demi-renouvellement d'air par heure. L'annexe fait état de la tendance à rendre les maisons plus étanches et de la nécessité de compter sur la ventilation mécanique pour offrir une qualité d'air acceptable en hiver, sans faire mention de la protection contre l'humidité.

Les exigences à l'égard des bâtiments ne tombant pas sous le coup de la partie 9 se retrouvent à la partie 5 du CNBC 1985. Des sections distinctes portent sur la protection contre la diffusion de vapeur d'eau et la protection contre les infiltrations et les exfiltrations. Les dispositions concernant les pare-vapeur sont les mêmes que celles du CNBC 1977. La protection contre les infiltrations et les exfiltrations fait appel à une étanchéité à l'air s'opposant efficacement à l'infiltration et à l'exfiltration à travers les matériaux et les joints de l'ensemble, placée de manière à empêcher la condensation à l'intérieur d'un ensemble de construction soumis à des différences de température et de pression de vapeur d'eau et de pression d'air à cause du tirage naturel, des installations mécaniques ou du vent. Il est à remarquer que l'étanchéité à l'air n'a pas besoin d'être placée contre le matériau qui a la résistance thermique la plus grande du côté où la pression de vapeur d'eau est élevée, contrairement à toutes les éditions précédentes depuis 1965.

CNBC 1990

La partie 9 du CNBC 1990 prévoit des dispositions distinctes pour les étanchéités à l'air (pare-air) et les pare-vapeur. Le polyéthylène utilisé à l'une ou l'autre fin doit être conforme à la nouvelle norme, CAN/ONGC-51.34M. Les murs, plafonds et planchers isolés doivent former une étanchéité continue de façon à empêcher que l'air intérieur ne s'infiltré dans les vides de

l'enveloppe. L'étanchéité à l'air doit posséder les caractéristiques nécessaires pour empêcher les fuites d'air provoquées par la différence de pression due à l'effet de tirage, à la ventilation mécanique ou au vent.

Si l'étanchéité à l'air est constituée par un matériau en panneaux, tous les joints doivent être étanchés pour empêcher les fuites d'air. Si elle est constituée par un matériau souple en feuille, tous les joints doivent être étanchés, ou se chevaucher sur au moins 100 mm et être bien serrés, comme entre des éléments d'ossature et des panneaux rigides.

Si l'étanchéité à l'air est constituée par un matériau dont la perméance à la vapeur d'eau est inférieure au maximum permis pour les pare-vapeur de type 2, elle doit être mise en oeuvre dans un endroit où la température ne descendra pas au-dessous du point de rosée de l'air intérieur lorsque la température extérieure est de 10° C au-dessus de la température de calcul de janvier à 2,5 % (aucune température de référence quant au point de rosée intérieur n'est indiquée).

Des exigences visent à maintenir la continuité de l'étanchéité à l'air à la jonction d'un mur intérieur et d'un mur extérieur, d'un plafond, d'un plancher, ou aux ouvertures nécessaires pour les portes, les fenêtres, les trappes d'accès, les services, les cheminées et les conduits d'évacuation (exigences semblables à celles du CNBC 1985). Sont retenues les exigences de sceller les joints des conduits traversant des espaces non chauffés, et là où les éléments de maçonnerie creux traversent le plafond. Les autres exigences concernant la mise en oeuvre du pare-vapeur ressemblent à celles du CNBC 1985, sauf qu'un pare-vapeur n'est pas obligatoire si une fois en place, l'isolant a une perméance à la vapeur d'eau inférieure à celle qui est exigée pour les pare-vapeur; de plus, l'exemption de ventiler le vide sous toit de bâtiments à 1 étage, que renfermaient le CNBC 1985 et les éditions précédentes, est levée. L'annexe renseigne davantage sur la protection contre les fuites d'air que le CNBC 1985.

Les dispositions touchant la ventilation mécanique ressemblent à celles du CNBC 1985, sauf le renouvellement d'air minimal de 0,3 par heure de tous les étages, y compris le sous-sol.

Le CNBC 1990 comporte un certain nombre de nouvelles dispositions visant à protéger contre l'humidité les dalles sur le sol en béton dans les parties fermées des bâtiments, et à contrer l'infiltration des gaz se dégageant du sol. Toutes ces dalles doivent reposer sur un remblai de granulats d'au moins 100 mm. Le revêtement de protection sous la dalle doit être du polyéthylène d'au moins 0,15 mm (0.006 po), les joints se chevauchant sur au moins 300 mm (non 100 mm). Les matériaux de couverture en rouleau ne sont pas cités comme produits acceptables. Le joint entre la dalle et les faces intérieures des murs adjacents doit être étanché au moyen de mastic souple. Les ouvertures pratiquées dans une dalle doivent être rendues étanches à la vapeur d'eau et aux gaz qui se dégagent du sol. Il est requis d'empêcher en permanence la vapeur d'eau et les gaz souterrains de remonter par l'avaloir de sol (en y maintenant la garde d'eau). L'annexe fournit d'autres conseils sur les moyens de contrer l'infiltration de gaz souterrains.

Les murs de maçonnerie qui doivent être protégés contre l'humidité sur leur face extérieure, doivent comporter, au niveau de la dalle de fondation ou au-dessous, une rangée d'éléments de maçonnerie pleins ou un solin. L'isolant de fibre minérale ou le remblai de pierres concassées contre la surface extérieure d'un mur de fondation doit se prolonger jusqu'au niveau de la semelle afin de faciliter l'écoulement des eaux souterraines jusqu'au système de drainage.

L'exigence générale d'isoler suffisamment tous les murs, plafonds et planchers pour empêcher la formation de condensation du côté chauffé et pour assurer le confort des occupants, est étendue aux ensembles séparant l'intérieur du sol extérieur. Aucune exigence particulière n'indique la résistance thermique à prévoir.

Les exigences de la partie 5 touchant la protection contre la diffusion de vapeur d'eau et la protection contre les infiltrations et les exfiltrations sont les mêmes que dans le CNBC 1985.

ANNEXE H

LISTE DES PERSONNES INTERROGÉES

Liste des personnes interrogées

Alan Bowles	ÉMR (anciennement PÉD)
Richard Desserud	CNRC-CNBC (anciennement SCHL)
Oliver Drerup	Drerup Construction Limited
Tom Hamlin	SCHL (Division de la recherche)
John Haysom	CNRC-CNBC (anciennement Scanada Consultants Limited)
A.J. Houston	SCHL (Division de la recherche)
Tom Kerwin	SCHL (PID)
Ken Latta	CNRC (retraité)
John Lovatt	Morrison Hershfield Limited (anciennement ÉMT-TTEB)
Gint Mitalas	CNRC (retraité)
Ross Monsour	ACGH
John H. Mckenzie	Consultant, anciennement chez Masonite Canada
Don Onysko	Forintek Canada Corporation
R.E. Platts	Scanada Consultants Limited
Richard Quirouette	Morrison Hershfield Limited (anciennement CNRC)
Mark Riley	ÉMR Canada (R-2000)
Ken Rauch	SCHL (Division des normes de services professionnels)
Jacques Rousseau	SCHL (PID)
Dave Scott	Morrison Hershfield Limited (anciennement CNRC)
Frank Szadkowski	ÉMR (anciennement PÉD)
John Timusk	Centre for Building Science, Université de Toronto
Jim H. White	SCHL (Division de la recherche)

ANNEXE I
Débat entourant la recherche sur l'humidité au Canada

DÉBAT ENTOURANT LA RECHERCHE SUR L'HUMIDITÉ AU CANADA
LE 19 MAI 1992
HÔTEL REINE ÉLIZABETH, MONTRÉAL

Participants : Tom Kerwin, SCHL (président)
Alvin J. Houston, SCHL
Tom Hamlin, SCHL
Mark Bomberg, CNRC
William Brown, CNRC
Anton Ten Wolde, U.S. Forest Products Laboratory
Arne Elmroth, University of Lund
Robert Platts, Scanada Consultants Ltd.
Robert Booth, Hansed Booth
John Vandeklaf, Buchan, Lawton, Parent Ltd.
Dave Scott, Morrison Hershfield Limited
Grant Wilson, Morrison Hershfield Limited
Bob Sloat, Association canadienne des constructeurs d'habitations
André Gagné, Association provinciale des constructeurs
d'habitations du Québec
Gary Reardon, Reardon Construction and Development Ltd.
Lewis Nakatsui, Lincolnberg Homes
John Timusk, Université de Toronto
Eric Burnett, Université de Waterloo
Don Onysko, Forintek Canada Corporation
Al McKinley, Association canadienne pour l'automatisation des
bâtiments
Eric Jones, Conseil canadien du bois (observateur)

INTRODUCTION :

Ce débat entourant la recherche sur l'humidité au Canada a été convoqué par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) qui voulait obtenir :

1. des commentaires sur le document provisoire «Moisture in Canadian Wood Frame Construction: Problems, Research and Practice from 1975 to 1991» rédigé par Grant Wilson en vertu d'un contrat passé avec Morrison Hershfield Limited.
2. des opinions quant aux recherches sur l'humidité qui sont maintenant terminées et recueillir des suggestions quant aux futurs projets de recherche à entreprendre.

Les ajouts suivants au document abrégé ont été apportés par les participants réunis :

- les conclusions, s'il s'en trouve, des opérations témoins HUDAC MARK III et IV en ce qui concerne l'effet de peindre l'envers du bardage en bois.
- les conclusions du programme TTEB quant aux problèmes d'humidité.
- l'exposé des problèmes d'humidité dans le rapport que la SCHL présentait à ÉMR à l'égard du programme PITRC.
- l'exposé des travaux du Saskatchewan Research Council portant sur l'affaîssement des plafonds en plaques de plâtre.
- l'incidence de la planification des recherches sur l'humidité de l'ACGH (ACHDU).
- l'importance variable de l'adhérence due au gel en tant que mécanisme de détérioration établi par le Régime de garantie des logements neufs de l'Ontario.

- le rôle de divers établissements d'enseignement post-secondaires dans le transfert de la technologie liée à l'humidité dans les codes, les normes et les documents connexes.
- les études relatives à l'humidité effectuées sur les premiers revêtements précontraints et les progrès ultérieurs des systèmes muraux à base d'isolant de polystyrène massif.
- des travaux de recherche déterminant dans quelle mesure les colonnes de ventilation passive réduisent l'humidité des logements de la côte est.
- l'historique des bardages d'asphalte dans les provinces atlantiques et, en conséquence, du pourrissement des revêtements d'ossature.
- l'historique des études de la détérioration derrière les bardages en bois et la découverte ultérieure des revêtements d'ossature derrière les bardages de vinyle et d'aluminium (bardages en bois ou en dérivés du bois comme indicateurs).

Il reste des domaines clés où des efforts de recherche concertés doivent être entrepris par le gouvernement, l'industrie, les universités et les consultants :

- une meilleure compréhension des caractéristiques fondamentales des matériaux de construction, y compris l'emmagasiner de l'humidité, les coefficients d'humidité et de dilatation thermique pour permettre une comparaison des multiples propriétés des matériaux.
- une intégration plus grande des connaissances actuelles concernant l'influence de l'humidité sur les matériaux dans le contexte de systèmes exploitables.
- une «analyse de risque» menant à un classement de la sécurité ou du niveau de tolérance des systèmes de construction d'après leur durabilité à long terme.

- la définition des caractéristiques de performance des pare-air et des pare-vapeur de façon à inclure l'effet de l'eau sous forme liquide sur les pare-air extérieurs et une base plus rationnelle pour la perméabilité des pare-vapeur.
- une meilleure compréhension des revêtements isolants, de leur valeur «R», de la transmission de la vapeur d'eau et de l'équilibre d'humidité dans le reste du mur.
- pour les locaux situés sous le niveau du sol, la détermination du rôle/de l'efficacité de la protection contre l'humidité, des pare-air et pare-vapeur, de l'utilisation du béton comme source/puits d'humidité et la protection contre les eaux souterraines.
- la révision/mise au point de pratiques de mise en oeuvre pour réduire la charge d'humidité dans les maisons au moment de l'occupation (par exemple, les conséquences de recourir à d'autres systèmes de construction faisant appel à des matériaux composites, au choix des matériaux ou au jalonnement des corps de métier).
- dans les maisons bien ventilées, comment peut-on accroître le degré d'humidité sans risque?
- la conception en vue de la protection contre l'humidité nécessite des outils de modélisation améliorés pouvant être utilisés par les constructeurs/concepteurs dans diverses conditions climatiques et pour des matériaux ou systèmes de construction déterminés.
- l'équilibre d'humidité dans les maisons réhabilitées suscite d'importantes préoccupations en raison de la variété des matériaux, des systèmes de construction et des pratiques de mise en oeuvre, qu'il s'agisse de constructions originales ou réhabilitées, et de l'exploitation des bâtiments.
- les problèmes d'humidité dans les collectifs d'habitation existants

devront faire l'objet d'une plus grande recherche que celle qui a été accordée aux habitations individuelles.

Une table ronde s'est ensuivie portant sur chacun des sujets suivants qui découlent en grande partie des conclusions contenues dans le rapport abrégé des problèmes d'humidité.

Questions scientifiques primordiales

Faut-il effectuer plus de recherche sur les bardages sensibles à l'humidité dans les provinces atlantiques?

- La majorité des bâtiments résidentiels qui se construisent actuellement dans les provinces atlantiques présentent un bardage de vinyle plutôt qu'en bois ou de ses dérivés, de sorte que les constructeurs ont en grande partie remédié à la détérioration des bardages en changeant de matériau.
- La performance à l'humidité des murs de fond revêtus de vinyle n'est pas bien connue.
- À Terre-Neuve, le bardage à clin en bois brut de sciage, la face intérieure apprêtée et la face extérieure teinte, mis en oeuvre par-dessus une protection contre les intempéries mais sans fourrure, semble bien se comporter. La teinture doit être reprise environ tous les cinq ans.

Les problèmes de revêtement et d'ossature humides sont-ils résolus?

- Dans de nombreux cas, les constructeurs sont revenus au revêtement d'ossature en planches et ne signalent plus de problèmes.
- Les problèmes découlent de l'utilisation de bois de charpente humide, situation imputable au coût du bois d'oeuvre séché au four.

Quelles pratiques de mise en oeuvre additionnelles sont recommandées de préférence aux méthodes courantes dans la région de l'Atlantique?

- L'utilisation de bois d'oeuvre ayant une teneur en eau inférieure à 20 %.
- L'application plus étendue des dispositions du Code visant la ventilation des logements, particulièrement dans les régions où le chauffage au bois prédomine.
- La fixation du bardage sur des fourrures de façon à favoriser l'assèchement du bardage et du mur extérieur. (Au Japon et en Suède, pays connaissant un climat semblable, la science du bâtiment évolue vers cette pratique ou l'a adoptée depuis longtemps).

La science peut-elle offrir des solutions pratiques pour réduire la défaillance des peintures dans la région de l'Atlantique?

- La technique suédoise donne de bons résultats. Elle prévoit d'abord l'application d'un apprêt pénétrant à base de solvant, suivie d'une couche de peinture pigmentée (protégée du rayonnement UV), puis de couches de finition à l'huile ou au latex. Dans la plupart des cas, il n'est pas prévu d'apprêter la face inférieure du bardage.

Quelles sont les pratiques recommandées pour le bardage peint?

- Cette question a été jugée trop complexe pour être considérée comme une seule préoccupation.
- Les techniques de réhabilitation doivent tenir compte du système mural en place, ce qui implique une analyse de l'exploitation du bâtiment et un rapport d'état avant de recommander une approche de réhabilitation à l'égard d'un bâtiment particulier.

Les revêtements d'ossature parviennent-ils à neutraliser l'effet du vent sur l'isolant thermique?

- Des études ont confirmé que le refroidissement local était effectivement causé par l'effet du vent, d'où le besoin d'une protection contre les intempéries.

Les problèmes d'humidité découlent-ils de l'utilisation de revêtements à faible perméance?

- L'assèchement des murs comportant des revêtements à faible perméance dépend principalement des joints.
- Si les joints ne sont pas étanchés, le mur peut s'assécher à l'intérieur ou à l'extérieur pendant la saison sèche.
- Le Québec n'utilise pas de panneaux de copeaux ou de revêtements à faible perméance, mais plutôt des matériaux «naturels».

À quel coefficient ΔP (vent, tirage naturel ou ventilation mécanique) un mur ou un plafond est-il soumis par région?

- Aucun commentaire n'a été formulé à cet égard ou quant aux changements d'exigences en matière d'humidité ou d'étanchéité à l'air par région.

La pressurisation présentement admissible (F326) est-elle raisonnable dans les maisons qui se construisent actuellement ou les maisons R2000?

- Aucun commentaire n'a été formulé.

De quels travaux de recherche additionnels les murs dynamiques doivent-ils faire l'objet?

- Les possibilités d'économies d'énergie des murs dynamiques doivent être quantifiées.
- Les propriétaires de maison auront tendance à adopter le concept du mur dynamique si la chaleur sert au chauffage de l'eau chaude domestique.

Les techniques courantes de construction de toits ventilés sont-elles adéquates ou logiques dans toutes les régions?

- Le principe scientifique global de l'équilibre de l'humidité dans les vides sous toit n'a jamais été établi.
- Il serait utile de pousser l'analyse pour qualifier les dispositions en vigueur.

Les exigences courantes du CNBC touchant la construction des sous-sols élimineront-elles les problèmes d'humidité?

- Les pratiques de mise en oeuvre des sous-sols continuent de susciter des problèmes partout au Canada. Il faut ajouter que ces pratiques de mise en oeuvre ne sont pas nécessairement conformes au CNBC.
- Étant donné la tendance actuelle d'utiliser le sous-sol comme aire habitable, il faut de plus en plus comprendre et éliminer le mouvement d'humidité entre la surface habitable et la fondation en béton adjacente.

Pour quels problèmes d'humidité ou questions de conception de l'enveloppe faut-il améliorer les prévisions de la performance par la modélisation?

- Les outils de modélisation doivent éventuellement servir à seconder les exigences normatives de la partie 9 du CNBC.

- Il faut tenir compte du mode d'utilisation des modèles et assurer une interface convenable aux personnes qui s'en serviront.
- Les modèles doivent être en mesure de prédire l'effet cumulatif de l'humidité dans les locaux ou les systèmes, à l'intérieur de délais établis, pour permettre à l'utilisateur de comparer le comportement prévu avec le comportement acceptable.
- Les modèles doivent aider l'utilisateur à établir ce qui est important pour un système particulier (par exemple, un système particulier pourrait-il se passer de pare-vapeur dans une certaine région géographique?).
- Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires pour comparer les modèles aux systèmes qui fonctionnent ou ne fonctionnent pas, et aboutir à un système expert fondé sur la connaissance pour résoudre les problèmes d'humidité et orienter les nouvelles études techniques.

Pratiques de mise en oeuvre

Accroissement de l'éconergie

- Pour les nouvelles constructions mieux isolées, étanchées et ventilées, nous devons mieux comprendre les effets des ponts thermiques et leurs répercussions sur les températures de surface et l'incidence générale sur le confort des occupants.
- La mise en oeuvre d'une forte quantité d'isolant thermique au vide sous toit rapproche beaucoup sa température de celle de l'extérieur, rendant ainsi la formation de condensation très possible à moins de prendre soin d'éliminer les fuites d'air.
- Le relèvement de l'isolation thermique soumet le placage de brique

à des conditions climatiques rigoureuses et rend en général l'assèchement des murs difficile.

Pratiques de mise en oeuvre de l'ossature

- Le voilement des éléments d'ossature de 2 po x 6 po empêche les murs de rester droits.
- De nouveaux systèmes en voie d'être commercialisés éliminent un grand nombre de coupures thermiques standards à l'endroit des poteaux et des lisses, évitant ainsi les taches de moisissure et de poussière.
- La recherche devra porter sur l'analyse des maisons R-2000 afin d'établir les raisons pour lesquelles ces systèmes fonctionnent.
- Avec la tendance à l'industrialisation qui régit le processus de construction dans une usine, peut-on réduire la tolérance à l'humidité de l'enveloppe des bâtiments ainsi réalisés?
- Le raccourcissement des cycles de construction nuit à l'assèchement.
- Les pires conditions d'exposition des bâtiments à ossature de bois surviennent dans les premières semaines de la construction avant l'achèvement du gros oeuvre.

Codes et normes

- Les codes en vigueur réagissent aux pires situations : peuvent-ils tenir compte des différences régionales pour atténuer les exigences (mise en oeuvre d'un pare-air, par exemple)? En levant les exigences, nous devons être en mesure de définir les assouplissements selon les régions.
- Les exigences régissant actuellement la ventilation des toits cathédrale sont-elles tout indiquées?

- Le fait d'envisager les exigences de protection contre l'humidité sur le plan de la performance doit forcément tenir compte de la performance des systèmes.
- Des procédures d'essai sont nécessaires pour établir l'étanchéité à l'air des joints ou raccordements entre les matériaux.

Processus de conception

- Il faut encourager la création de systèmes de construction tolérants, fondés sur la science du bâtiment, qui surmontent les problèmes.
- Les solutions avancées doivent être mises en oeuvre et éprouvées.

Questions environnementales

- L'amélioration des données sur les émissions des matériaux ou des procédés (CFC) guidera les constructeurs dans le choix des matériaux.
- Des données additionnelles sur l'énergie de production des matériaux guideront également dans le choix des matériaux, mais il est difficile de prévoir l'orientation de la recherche dans ce domaine.
- Il faut mettre au point des systèmes de ventilation efficaces et fiables devant distribuer l'air dans toutes les pièces et commandés en fonction de la demande.
- L'Association canadienne pour l'automatisation des bâtiments étudiera les systèmes de commande nécessaires pour surmonter les différences climatiques régionales et les variations d'étanchéité à l'air.
- On porte toujours un intérêt particulier aux occupants hypersensibles.

Diffusion de la technologie

Les participants au débat ont revu brièvement les modes couramment utilisés pour diffuser la technologie, y compris les exposés scientifiques/techniques, les rapports de clients, les documents consultatifs, les codes et les normes, les séminaires, les ateliers, les cours de formation, les opérations témoins, les vidéos, les émissions de télévision et les journaux et les revues populaires. L'auditoire se composait de constructeurs, de corps de métier, de fabricants, de fournisseurs, d'architectes, d'ingénieurs, d'étudiants, de chercheurs, de représentants d'organismes de réglementation, de responsables de programmes de garantie, et de consommateurs.

- Un grand nombre des maillons du processus permettent maintenant de destiner les renseignements en matière de conception, de recherche et de développement aux constructeurs et aux consommateurs. Les programmes de formation peuvent être offerts par l'entremise des bureaux des programmes provinciaux de garantie, sous la direction du Comité national consultatif de l'éducation et de la formation de l'Association canadienne des constructeurs d'habitations (ACCH) et du sous-comité des publications du Comité de recherche technique de l'ACCH.
- Les stratégies devront susciter l'intérêt des consommateurs plutôt que de pousser la technologie vers les constructeurs.
- La diffusion de la technologie s'effectue le mieux par l'entremise des codes et des normes.
- Le fait de convaincre les «meilleurs» constructeurs du bien-fondé de la nouvelle technologie contribuera à faire obstacle à l'inertie au sein de l'industrie.
- La télévision et les vidéos devront être employés plus souvent.

Conclusions du débat

L'assentiment général était que les questions soulevées lors des discussions de la journée doivent faire l'objet d'un certain nombre de rencontres supplémentaires pour aider à établir une politique de planification rationnelle de la recherche. En ce faisant, les chercheurs et les constructeurs canadiens devront continuer de se tenir en rapport avec les chercheurs des pays nordiques et américains afin de s'assurer que les fonds de la recherche seront affectés de la façon la plus utile.

ANNEXE J
BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE J
BIBLIOGRAPHIE

Section 2 - Historique

- [1] Canada Builds, T. Ritchie, University of Toronto Press, 1967.

- [2] Evolution of the insulated wood-frame wall in Canada: N.B. Hutcheon et G.O. Handegord (Proceedings of the 8th CIB Terminal Congress, Oslo, juin 1980, vol. 16, pp. 434-438).

- [3] Wall Insulation: A.R. Greig, University of Saskatchewan, College of Engineering, Bulletin n^o 1, 1922).

- [4] Condensation within walls: F.B. Rowley, A.B. Algren et C.E. Lund, (ASHVE Transactions, vol. 44, 1938).

- [5] Condensation and moisture in relation to building construction and operation: F.B. Rowley, A.B. Algren et C.E. Lund, (ASHVE Transactions, vol. 44, 1938).

- [6] A theory covering the transfer of vapour through materials: F.B. Rowley, (ASHVE Transactions, vol. 45, 1939, p. 545).

- [7] The diffusion of water through various building materials: J.D. Babbitt, (Canadian Journal of Research, vol. 17, février 1939, p. 15).

- [8] Comparative resistance to vapour transmission of various building materials: L.V. Teesdale, (ASHVE Transactions, vol. 49, 1943, p. 24).

- [9] Simultaneous heat and vapour transfer characteristics of an insulating material: F.G. Hechler, E.R. McLaughlin et E.R. Queer, (ASHVE Transactions, vol. 48, 1942, p. 505).

- [10] Water vapour transfer through building materials: F.A. Joy, E.R. Queer et R.E. Schreiner, (Bulletin n^o 61, Pennsylvania State College, Engineering Experiment Station, décembre 1948).
- [11] Fundamental considerations in the design of exterior walls for buildings: N.B. Hutcheon, (Engineering Journal, 1953, 36(6), pp. 687-98).
- [12] Condensation between panes of double windows: A.G. Wilson et E. Nowak, (ASHRAE Transactions, vol. 65, 1959, pp. 551-570).
- [13] Measurements of infiltration in two residences: D.R. Bahnfleth, T.D. Moseley et W.S. Harris, (ASHRAE Transaction, 1957, 63, p. 439).
- [14] Influence of the house on chimney draft: A.G. Wilson (ASHRAE Journal, vol. 2, n^o 12, décembre 1960, p. 63).
- [15] Les coupe-vapeur dans la construction des maisons d'habitation : G.O. Handegord, (CBD 9F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, mars 1962).
- [16] Thermal performance of frame walls: G.O. Handegord et N.B. Hutcheon, (ASHVE Transactions, 1952, 58, pp. 171-88).
- [17] Winter infiltration through swinging-door entrances in multi-storey buildings: T.C. Min, (ASHRAE Transactions, vol. 64, 1958, p. 421).
- [18] Fuites d'air dans les bâtiments : A.G. Wilson, (CBD 23F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, novembre 1963).
- [19] The effects of air currents in moisture migration and condensation in wood-frame structures: G. Torpe et T. Graee, (Bygg, 1961, 9(1): 1-10, NRCC-TT-1478).

- [20] Moisture accumulation in walls due to air leakage: A.G. Wilson et G.K. Garden, (RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings, vol. 1, Helsinki 1965).
- [21] Importance de la prévention des fuites d'air : G.K. Garden, (CBD 72F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, novembre 1967).
- [22] Pressure differences for a nine-storey building: G.T. Tamura et A.G. Wilson, (ASHRAE Transactions, vol. 72, partie 1, 1966, pp. 180-189).
- [23] Building pressures caused by chimney action: G.T. Tamura et A.G. Wilson, (ASHRAE Transactions, 1967, vol. 73, partie II).
- [24] Pressure differences caused by chimney effect in three high buildings: G.T. Tamura et A.G. Wilson, (ASHRAE Transactions, 1967, vol. 73, partie II).
- [25] Condensation sur les surfaces intérieures des vitres : A.G. Wilson, (CBD 4F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, décembre 1961).
- [26] Caractéristiques thermiques des fenêtres à contre-châssis : A.G. Wilson et W.P. Brown (CBD 58F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, septembre 1967).
- [27] Thermal performance of idealized double windows, unvented: G. Christensen, W.P. Brown et A.G. Wilson, (ASHRAE 71st Annual Meeting, Cleveland, Ohio, 1964).
- [28] Condensation des châssis à double vitre et à menuiserie métallique avec et sans coupure thermique : J.R. Sasaki (Specification Associate, 1971, 13, 1, 25-31).

- [29] Fuites d'air autour des fenêtres : J.R. Sasaki et A.G. Wilson, (CBD 25F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, janvier 1964).
- [30] Air leakage for residential windows: J.R. Sasaki et A.G. Wilson, (ASHRAE Transactions, vol. 71, partie II, 1965, pp. 81-88).
- [31] Condensation sur les surfaces intérieures des vitres : A.G. Wilson, (CBD 4F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, décembre 1961).
- [32] Evaluation of factory-sealed double-glazed window units: A.G. Wilson, K.R. Solvason et E.S. Nowak, (ASTM Symposium on Testing Window Assemblies, Special Technical Publication No. 251, 1959, pp. 3-16).
- [33] Performance of sealed double-glazing units: A.G. Wilson et K.R. Solvason, (Journal of the Canadian Ceramics Society, vol. 31, octobre 1962).
- [34] Fenêtres à doubles vitres scellées à l'usine : K.R. Solvason et A.G. Wilson, (CBD 46F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, août 1966).
- [35] A study of humidity variations in Canadian houses: A.D. Kent, G.O. Handegord et D.R. Robson, (ASHRAE Transactions, 1966, 72, partie II, pp. II.1.1-II.1.8).
- [36] Air leakage and pressure measurements on two occupied houses: G.T. Tamura et A.G. Wilson, (ASHRAE Journal, décembre 1963, vol. 5, n^o 12, pp. 65-73).
- [37] Measurement of air leakage characteristics of house enclosures; G.T. Tamura, (ASHRAE Transactions, 1975, 81(1), pp. 202-211).
- [38] Moisture accumulation in roof spaces under extreme winter conditions: H.B. Dickens et N.B. Hutcheon, (RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings, vol. 1, Helsinki 1965).

- [39] Measurement of air-tightness of houses: S. Stricker, (ASHRAE Transactions, 1975, 81, (1), pp. 148-167).
- [40] Condensation in electrically heated houses: H.W. Orr, (2nd International CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings, 1974).
- [41] Condensation problems in flat wood-frame roofs: G.T. Tamura, G.H. Kuester et G.O. Handegord, (2nd International CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings, 1974).
- [42] Application des notions fondamentales pour la conception des toitures : G.O. Handegord et M.C. Baker, (CBD 99F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, novembre 1971).
- [43] Toits à étanchéité multicouches protégée : M.C. Baker et C.P. Hedlin, (CBD 150F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, janvier 1974).
- [44] Pénétration de la pluie et moyens de l'empêcher : G.K. Garden, (CBD 40F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, décembre 1964).
- [45] Comment rendre le vitrage durable et hermétique : G.K. Garden, (CBD 55F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, août 1967).
- [46] Rain penetration and moisture removal: G.O. Handegord, (Séminaire en science du bâtiment DRB/CNRC, octobre 1971).
- [47] Condensation control in stress-skin and sandwich panels: R.E. Platts, (Forest Products Journal, 1962, 12(9), pp. 429-30).
- [48] Comment venir à bout de la condensation dans les salles de curling : G.O. Handegord et C.R. Crocker, (CBD 35F, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, juin 1964).

- [49] Roof: Design, Application and Maintenance: M.C. Baker, (1980 Multiscience Publications Ltd., Montréal).
- [50] Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien : J.K. Latta (Conseil national de recherches Canada, décembre 1975, NRCC 13487F).
- [51] Convection air-flow effects with mineral wool insulation in wood-frame walls: S. Wolfe, K.R. Solvason et A.G. Wilson, (ASHRAE Transactions, vol. 72, partie II, 1966, pp. 111.3.1 - 111.3.8).

Références pour l'annexe A

- [1] A Survey of Moisture Problems in New Housing (Scanada, mai 1980).
- [2] A Survey of Moisture-Troubled Walls in Newfoundland Houses (Scanada, mai 1981).
- [3] Moisture-Related problems in Housing in Newfoundland (Burnett, mai 1981).
- [4] Thermal Fitness of Canada's Housing Stock: A Thermography/Photography Survey (Scanada, septembre 1982).
- [5] Moisture Induced Problems in NHA Housing: Parties 1, 2 et 3 (Marshall, Macklin, Monaghan Ltd., 1983).
- [6] Wet Walls in Canadian Houses: Problems, Solutions, Policy. (R.E. Platts, Second CSCE Conference on Building Science and Technology, Waterloo, 10 novembre 1983).
- [7] Field Investigation of Service Life Characteristics of Polyethylene Air/Vapour Barrier (Scanada Consultants Ltd., 1984).
- [8] Field Trials of Test Procedures to Determine Internal Moisture Source Strength (The B.E.S.T. Corporation, juillet 1984).

- [9] Essais de transparence à l'air des membranes de polyéthylène posées sur un mur à ossature de bois : C.Y. Shaw (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches Canada, janvier 1985).
- [10] Principes de construction visant à prévenir l'accumulation d'humidité dans les murs des nouvelles maisons à ossature de bois des régions de l'Atlantique du Canada : conseils et recommandations (document consultatif de la SCHL, décembre 1985).
- [11] Research Design for the Study of Drying Characteristics in Outer Walls of Low-Rise Residential Construction (Morrison Hershfield Ltd. et Scanada Consultants Ltd., 20 septembre 1985).
- [12] Long-Term Stability of Polyethylene Air/Vapour Barrier (Plastecnic, 1985).
- [13] Drying Characteristics in Outer Walls of Low-Rise Residential Housing, State-of-the-Art Review (Morrison Hershfield Ltd. et Scanada Consultants Ltd., 1985).
- [14] Computer Model of the Drying Characteristics of the Exterior Portion of Wood Frame Walls - Updated Version (Scanada Consultants Ltd., et Morrison Hershfield Ltd., 1986).
- [15] Prairie Moisture Problems: Crawl Space Investigations in Norway House, Manitoba (The 1B1 Group, février 1987).
- [16] Moisture Source Strength: Measurements in Selected Canadian Cities, (Appin Associates, juin 1987).
- [17] Development and Evaluation of Soil Gas Sampling Techniques for the Research Division (Ortech International, août 1987).
- [18] Basement Condensation: Field Study of New Homes in Winnipeg (Unies Ltd., décembre 1987).
- [19] Final Report on Drying of Walls (Oboe Engineering Ltd., 1987).

- [20] Drying Characteristics in Timber Frame Walls of Low-Rise Residential Housing - Final Report (Rowan Williams Davies et Irwin Inc. et Scanada Consultants Ltd., 5 avril 1988).
- [21] Groupe de travail de la SCHL et de l'ACH sur les problèmes relatifs à l'humidité dans les régions de l'Atlantique du Canada (Association canadienne des constructeurs d'habitations, février 1988).
- [22] Wood Moisture Monitoring, Halifax, Nova Scotia (Oboe Engineering Ltd., 17 mai 1988).
- [23] Testing Air Barrier Systems for Wood Frame Walls (Institut de recherche en construction, CNRC, 3 juin 1988).
- [24] Development of User-Friendly WALLDRY Program (Scanada Consultants Ltd., 28 septembre 1988).
- [25] Moisture Performance of Three Wall Systems in Winter Season (Institut de recherche en construction, CNRC, 6 février 1989).
- [26] Report on Atlantic Canada Wood Framing Moisture Survey (Division de la mise en oeuvre de projets, SCHL, mai 1989).
- [27] Advances in Basement Technology (Becker Engineering Group, 1989).
- [28] Criteria for Air Leakage Characteristics of Building Envelopes - Final Report (Trow Inc., 30 décembre 1989).
- [29] Field Investigation of Brick Veneer Steel Stud Wall Systems (Suter - Keller Ltd., 1989).
- [30] Moisture Transport in Walls: Canadian Experience (J. White, SCHL, 1989).
- [31] Comparison of WALLDRY Predictions with Atlantic Canada Moisture Test Hut Data (G.K. Yuill and Associates Ltd., 12 janvier 1990).

- [32] Field Monitoring of Cellulose in Walls (Building Envelope Engineering, 8 janvier 1990).
- [33] Établissement des méthodes de mesure de l'étanchéité à l'air et des mouvements d'air dans les tours d'habitations (Institut de recherche en construction, CNRC, avril 1990).
- [34] Ventilation and Airtightness of New Detached Canadian Housing (Division de la recherche, SCHL, mai 1990).
- [35] Drying of Walls Prairie Region (T. Forest et I. Walker, 1990).
- [36] Mise au point de procédés et de méthodes d'essai visant l'évaluation de membranes pare-air pour murs en maçonnerie (Orteck International, 2 novembre 1990).
- [37] Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur, systèmes de mur à placage de brique sur une maçonnerie en béton ou fond à ossature d'acier (R.G. Drysdale et G.T. Suter, 1991).
- [38] Field Investigation Survey of Airtightness, Air Movement and Indoor Air Quality in B.C. High-Rise Apartment Buildings (Avalon Mechanical Consultants Ltd., 15 juillet 1991).
- [39] The Ontario Wall Drying Project (E. Burnett et A. Reynolds, juillet 1991).
- [40] Structural Requirements for Air Barriers (Morrison Hershfield Ltd.) 1991.
- [41] Évaluation d'éléments de construction assurant l'étanchéité à l'air (Morrison Hershfield Ltd.) 1991.
- [42] Methods of Constructing Dry, Fully Insulated Basements (Scanada Consultants Ltd., avril 1991).
- [43] Stormwater Control to Prevent Basement Flooding (CH2M Hill Engineering Ltd., mars 1992).

- [44] Ventilation File: A Compendium of Canadian Ventilation Research and Demonstration Project Results (Cameta Research Inc., avril 1991).

Références pour l'annexe B

- [1] A Dissertation on Residential Energy Conservation and Moisture Damage (Saskatchewan Research Council, juin 1984).
- [2] A Practical Perspective on Residential Moisture Problems (Can-Am Air Leakage Control Systems Corporation, janvier 1986).
- [3] Comment éviter les problèmes d'humidité au moment de l'amélioration thermique des domiciles canadiens (Scanada Consultants Ltd. avec A.T. Hansen et Provincial Consultants Ltd., St. John's, SAR Engineering et Marshall Macklin Monaghan Ltd., Toronto, 31 mars 1988).
- [4] The Impact of Commercial Air Sealing of Houses on Airtightness and Fuel Consumption, E. Scheuneman et A.G. Wilson (Symposium on Air Infiltration Ventilation and Moisture Transfer, Building Thermal Envelope Coordinating Council, décembre 1986).
- [5] Field Trials to Assess the Validity of the Moisture Assessment Prescriptive Procedure (Trow Ontario Ltd., in association with Appin and Associates Ltd., Sheltair Ltd., Scanada Ltd., and Pearson and Associates, juillet 1989).
- [6] Air Infiltration Modelling Study (Institut de recherche en construction, mai 1989).
- [7] Air Leakage Control, Installers Version (Association nationale pour la conservation de l'énergie, 1987).
- [8] Insulation, Installers Version (Association nationale pour la conservation de l'énergie, 1986).

- [9] The HRAI Total Tune-Up Training Program (Target Communications).
- [10] Design of a Solar Heated Conservation House for Western Canada, R.W. Besant, G.J. Schoenau et D. Eyre (Proceedings, Annual Conference, ISES American Section, 1977).
- [11] Air-Vapour Barrier Manual, D. Eyre, 1981.
- [12] Détermination de l'étanchéité à l'air des enveloppes de bâtiment par la méthode de dépressurisation au moyen d'un ventilateur (CAN/CGSB-149.10-M86).
- [13] Standard Method of Test for Rating the Performance of Heat Recovery Ventilators (C439-M1985).
- [14] Installation Requirements for Heat Recovery Ventilators (CAN/CSA-C444-M87).
- [15] Residential Mechanical Ventilation Systems (CAN/CSA-F326-M91).
- [16] Design and Installation Manual for Residential Mechanical Ventilation Systems (Institut canadien du chauffage, de la climatisation et de la réfrigération) 1989.
- [17] Flair Homes Project, Report No. 1, Description of Project Homes (Unies Ltd., juin 1988).
- [18] Canadian Home Builders' Association Builders' Manual, R-2000 Project (ACCH, mars 1989).

Références pour l'annexe C

- [1] Moisture content in protected membrane roof insulations - effect of design features, C.P. Hedlin, (ASTM, Special Technical Publication no. 603, 1976).

- [2] Moisture gains by foam plastic roof insulations under controlled temperature gradients, C.P. Hedlin, (J. Cellular Plastics, vol. 13, n^o 5, 1977, pp. 313-319) (NRCC 16317).

- [3] Some design characteristics of insulation in flat roofs related to temperature and moisture, C.P. Hedlin, (NBS/NRCA Nat. Conf. Roofing Technology, 1979).

- [4] Some factors affecting drainage of moisture from wet insulation in flat roofs, C.P. Hedlin, (AASTM, STP 779, pp. 28-40) (NRCC 20984).

- [5] Effect of moisture on thermal resistance of some insulations in a flat roof under field-type conditions, C.P. Hedlin, (ASTM, STP 789, 1983, pp. 602-625) (NRCC 22430).

- [6] Calculation of thermal conductance based on measurements of heat flow rates in a flat roof using heat flux transducers, C.P. Hedlin, (ASTM, STP 885, 1984, pp. 184-201).

- [7] Seasonal variations in the modes of heat transfer in a moist porous thermal insulation in a flat roof., Hedlin, C.P., (J. Thermal Insulation, vol. 11, 1987, pp. 54-66) (NRCC 28548).

- [8] Heat Transfer in a Wet Porous Thermal Insulation in a Flat Roof, C.P. Hedlin, (J. Thermal Insulation, vol. 11, janvier 1988, pp. 165-188. (NRCC 29218).

- [9] Effect of Insulation Joints on Heat Loss through Flat Roofs, C.P. Hedlin, (ASHRAE Transactions 1985, vol. 91, partie 2B, 23-27 juin 1985, pp. 608-622) (NRCC 27996).

- [10] Heat Flow through a Roof Insulation Having Moisture Contents Between 0 & 1%, by Volume, in Summer, C.P. Hedlin, (ASHRAE Transactions 1988, partie 2, pp. 1579-1594), (NRCC 31111, IRC 1636).

- [11] Moisture content and dimensional stability measurements of the insulation on a protected membrane roof, C.P. Hedlin, (BRN 246, mars 1986).
- [12] Performance of Roofing Components and Systems. Roofs That Work: C.P. Hedlin, (Building Science Insights, 1989).
- [13] Conception et construction du projet de recherche sur l'économie d'énergie Mark XI : R. L. Quirouette, (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches, Note d'information de recherche sur le bâtiment BR Note 131F, janvier 1980).
- [14] Methods for Estimating Air Change Rates and Sizing Mechanical Ventilation Systems for Houses: C.Y. Shaw, (ASHRAE Transactions, Vol.93, Part 2, 1987).
- [15] Air Infiltration Modelling Study (Contract Report CR 5446.3, mai 1989).
- [16] A System for Tighter Wood Frame Construction: G.O. Handegord, (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches, Note de recherche en bâtiment BRN 207, janvier 1984).
- [17] A New Approach to Affordable, Low Energy House Construction: J.W. Lstiburek et J.K. Lischkoff (Alberta Department of Housing, juillet 1984).
- [18] Essais de transparence à l'air des membranes de polyéthylène posées sur un mur à ossature de bois: C.Y. Shaw, (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches, Note de recherche en bâtiment BRN 225).
- [19] Testing Air Barrier Systems for Wood Frame Walls (Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches, 3 juin 1988).
- [20] Air Leakage, Ventilation and Moisture Control in Buildings: G.O. Handegord, (ASTM Special Technical Bulletin 779, 1982).

- [21] Humidity, Condensation and Ventilation in Houses (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches, Building Science Insight 1983 Proceedings, NRC 23292, 1984).
- [22] Problèmes d'humidité dans les maisons : A.T. Hansen (Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches, Digeste sur la construction 231F, mai 1984).
- [23] Building Science for a Cold Climate, Neil B. Hutcheon et Gustav O.P. Handegord (John Wiley and Sons, 1983).
- [24] Fundamentals of Moisture Transport and Storage in Building Materials, M.K. Kumaran, G.P. Mitalas et M.T. Bomberg (ASTM Manual on Moisture in Buildings, chapitre 1.1, en préparation).
- [25] Modelling and Calculating Moisture Transport and Storage in Building Materials and Components, T. Ojanen, R. Kohonen et M.K. Kumaran (ASTM Manual on Moisture in Buildings, chapitre 1.2, en préparation).
- [26] Introduction to the System of Moisture Performance Analysis, M.T. Bomberg, C.J. Shirliffe et H.R. Trechsel (ASTM Manual on Moisture in Buildings, chapitre 5.1, en préparation).
- [27] Moisture Performance of Three Wall Systems in Winter Season, G.P. Mitalas (Institut de recherche en construction, 6 février 1989).
- [28] Building Envelope Air Leakage and Moisture Transfer; G.P. Mitalas.
- [29] Influence of Moisture and Moisture Gradients on Heat Transfer Through Porous Building Materials; M.T. Bomberg et C.J. Shirliffe, (American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication n^o 660, décembre 1978, pp. 211-233) (NRCC 17138).
- [30] Glass Fiber as Insulation and Drainage Layer on Exterior of Basement Walls, S.S. Tao, M.T. Bomberg et J.J. Hamilton, (ASTM STP718, 1980, pp. 57-76) (NRCC 19317).

- [31] Laboratory Methods of Determining Moisture Absorption of Thermal Insulations., I: Review, M.T. Bomberg, (J. Thermal Insulation, vol. 6, 1983, pp. 232-249) (NRC 22458).
- [32] Laboratory methods for Determining Moisture Absorption of Thermal Insulations, III. Interlaboratory comparison of water intake of rigid thermal insulations, M.T. Bomberg et R.Dillon, (J. Thermal Insulation, vol. 8, juillet 1984, pp. 1-16) (NRCC 23774).
- [33] A gamma-spectrometer for determination of density distribution and moisture distribution in building materials., M.K. Kumaran et M.T. Bomberg, (Proceedings of the International Symposium on Moisture and Humidity, Washington, D.C., 15-18 avril 1985, pp. 485-490) (NRCC 24693).
- [34] A Test Method to Determine Air Flow Resistance of Exterior Membranes and Sheathings, M.T. Bomberg et M.K. Kumaran, (J. Thermal Insulation, vol. 9, janvier 1986, pp. 224-235).
- [35] Heat Transport Through Thermal Insulation: An application of the principles of thermodynamics of irreversible processes, M.K. Kumaran et D.G. Stephenson (American Society of Mechanical Engineers, ASME Paper n^o 86-WA/HT-70, 1986, p1-4) (NRCC 27451).
- [36] Gamma-spectroscopic Determination of Moisture Distribution in Medium-Density Glass Fibre Insulation, M.K. Kumaran, (BRN 242, mars 1986).
- [37] Moisture Transport Through Glass-Fibre Insulation in the Presence of a Thermal Gradient, M.K. Kumaran, (J. Thermal Insulation, vol. 10, avril 1987, pp. 243-255) (NRCC 28451).
- [38] Analysis of Simultaneous Heat and Moisture Transport Through Glass Fibre Insulation, M.K. Kumaran et G.P. Mitalas, (HTD vol. 78, Livre n^o H00397, 1987 National Heat Transfer Conference, ASME/AICHE, 1987, pp. 1-6).

- [39] Simultaneous Heat and Moisture Transport Through Glass Fibre Insulation: An investigation of the effect of hygroscopicity, G.P. Mitalas et M.K. Kumaran, (ASME, 1987, vol. 4, pp. 1-4) (NRCC 28974).
- [40] Comparison of Simultaneous Heat and Moisture Transport Through Glass Fibre and Spray Cellulose Insulation, M.K. Kumaran, (J. Thermal Insulation, vol. 12, 1988, pp. 6-16) (NRCC 29841).
- [41] Heat Transport Through Fibrous Insulation Materials, M.K. Kumaran et D.G. Stephenson, (J. Thermal Insulation, vol. 11, avril 1988, pp. 263-269) (NRCC 29639).
- [42] Vapour Transport Characteristics of Mineral Fiber Insulation From Heat Flow Meter Measurements, M.K. Kumaran, (ASTM STP 1039, 1989, pp. 19-27) (NRCC 30889).
- [43] Experimental Investigation on Simultaneous Heat & Moisture Transport Through Thermal Insulation, M.K. Kumaran, (Proc. CIB XIth International Conference, Frame, 1989, vol. 1, pp. 458-465).
- [44] Moisture Transport Coefficient of Pine From Gamma Ray Absorption Measurements, M.K. Kumaran, G.P. Mitalas, R. Kohonen et R.T. Ojanen (ASME-HTD-vol. 123, livre n^o H00526, 1989, pp. 179-183 (NRCC 31637).
- [45] Measurement of the Rate of Gas Diffusion in Rigid Cellular Plastics, N.V. Schwartz, M.T. Bomberg et M.K. Kumaran, (J. Thermal Insulation, vol. 13, 1989, pp. 48-61) (NRCC 30906 IRC 1620).
- [46] Water Vapour Transmission and Moisture Accumulation in Polyurethane and Polyisocyanurate Foams, N.V. Schwartz, M.T. Bomberg et M.K. Kumaran, (ASTM, STP 1039, 1989, pp. 63-72) (NRCC 30890, IRC 1614).
- [47] Methods to Calculate Gas Diffusion Coefficients of Cellular Plastic Insulation from Experimental Data on Gas Absorption, G.P. Mitalas et M.K. Kumaran, J. Thermal Insulation, avril 1991, vol. 14, pp. 342-357.

Références pour l'annexe D

- [1] Moisture Management in Residential Construction: Report of a Study Tour to Norway and Sweden, D.M. Onysko (Forintek Canada Corp., mars 1984).
- [2] Monitoring the Moisture and Thermal Performance of Two Test Wells Exposed to Outside Conditions, D.M. Onysko (Forintek Canada Corp., avril 1984).
- [3] Interstitial Condensation in Walls: A Problem Analysis, D.M. Onysko (Forintek Canada Corp., mars 1985).
- [4] Practical Solutions to the Truss Uplift Problem, D.M. Onysko et R.M. Baillargeon (Forintek Canada Corp., mai 1987).
- [5] Development of Vapour Permeability Data for Waferboard, D.M. Onysko et S.K. Jones, (Forintek Canada Corp., août 1988).
- [6] Airtightness of Two Walls Sprayed with Polyurethane Foam Insulation, D.M. Onysko et S.K. Jones (Forintek Canada Corp., mars 1988).
- [7] Airtightness of One Type of Hardboard Siding, D.M. Onysko et S.K. Jones, (Forintek Canada Corp., mars 1988).
- [8] Airtightness of Wall Sheathing as a Function of Lumber Drying, D.M. Onysko et S.K. Jones (Proceedings of the ASHRAE/DOE/BTECC/CIBSE Thermal Performance of Envelopes, IV Conference, 1989).
- [9] Experiments on Drying of Framing and Air Leakage of Joints in Wall Sheathing, D.M. Onysko et S.K. Jones (Forintek Canada Corp., mars 1989).
- [10] Teneur en eau du bois de charpente, mesure sur les lieux, enquêtes d'acceptabilité et d'usage, P. Garrahan, J. Meil et D.M. Onysko (Forintek Canada Corp., 31 mars 1991).
- [11] Task Force on Moisture/Thermal Performance of Building Systems (Forintek Canada Corp., 18 octobre 1991).

Références pour l'annexe E

- [1] Study of Scandinavian Foundation Insulation Practices: J. Timusk (Sous-comité sur les fondations et le drainage, Comité consultatif technique, Association canadienne de l'habitation et du développement urbain, février 1980).
- [2] External Insulation of Basements (Association canadienne de l'habitation et du développement urbain).
- [3] Insulation Retrofit of Masonry Basements: J. Timusk (Préparé pour le ministère des Affaires municipales et du logement, octobre 1981).
- [4] Control of Decay and Heat Losses in Basement Walls: J. Timusk (Institut canadien des ingénieurs, Conférence en science du bâtiment, 4-5 mars 1982).
- [5] Drainage Characteristics of Mineral Fibre Insulation: L.M. Tenende (Thèse de maîtrise en génie, Département de génie civil, Université de Toronto, 1982).
- [6] Mechanism of Drainage and Capillary Rise in Glass Fibre Insulation: J. Timusk et L.M. Tenende (Journal of Thermal Insulation, volume 11, avril 1988).
- [7] Survey of Foundation Problems Induced by Foundation Retrofit: D. Eyre, M. Kani, J. Timusk, K.D. Pressnail, E. Scheuneman et M. Tremayne (Saskatchewan Research Council, Paper No. R-825-1-E-85, 1985).
- [8] Towards a Better Understanding of Frost-Heave and Adfreezing of Residential Foundations: K.D. Pressnail (Thèse de maîtrise en génie, Département de génie civil, Université de Toronto, 1985).
- [9] Adfreezing of Insulated Residential Basements: An Hypothesis: K.D. Pressnail et J. Timusk (Revue canadienne de génie civil, volume 14, 1987).

- [10] Moisture Induced Problems in NHA Housing: Part 2: J. Timusk (Marshall, Macklin, Monaghan Ltd., 1983).
- [11] Moisture and Thermal Aspects of Insulated Sheathings: J. Timusk et J.K. Lischkoff (Proceedings of the Second CSCE Conference on Building Science and Technology, 1983).
- [12] Effect of Insulating Sheathing on Heat and Moisture Flow: J. Timusk et H.B. Doshi (Revue canadienne de génie civil, volume 13, 1986).
- [13] The Control of Wind Cooling of Wood Frame Building Enclosures: J. Timusk, A.L. Seskus et N. Ary (Sixth Annual International Energy Efficient Building Conference, Portland, Maine, 27-29 avril 1988).
- [14] A Proposed Test Procedure for the Evaluation of Air Barrier Systems: J. Timusk et A.L. Seskus (ASTM Journal of Testing and Evaluation, volume 15, n^o 4, juillet 1987).
- [15] Chimney Venting Performance Study: J. Timusk, A.L. Seskus, K.A. Selby et J. Rinella. (ASTM Journal of Testing and Evaluation, volume 16, n^o 2, mars 1988).
- [16] Performance Evaluation of the Dynamic Wall House: J. Timusk, A.L. Seskus et M. Lio (Préparé pour la Division de la mise en oeuvre des projets de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1986).
- [17] Design, Construction and Performance of a Dynamic Wall House: J. Timusk (8th Air Infiltration Centre Conference, 24 septembre 1987).
- [18] The Dynamic Wall as a Solar Collector: J. Timusk (15^e Conférence annuelle de la Société d'énergie solaire du Canada, Penticton, 19-21 juin 1989).

Références pour l'annexe F

- [1] Moisture Accumulation in a Building Envelope - Phase I Report - T.W. Forest et R. You, (Dep. Mech. Eng. Report #63, University of Alberta, Edmonton, Alberta, novembre 1987).

- [2] Moisture Accumulation in a Building Envelope - Phase II Report - 1987-88 Heating Season, T.W. Forest et K. Checkwitch, (Report #67, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1988).

- [3] Moisture Transfer Through Walls, T.W. Forest, (ASHRAE/DOE/BTECC/CIBSE Conference Ext. Env. IV, Orlando, Florida, décembre 1989, p. 532).

- [4] Evaluation of the Performance of Attic Radiant Barriers, T.W. Forest, (Report to Alberta Municipal Affairs, Edmonton, Alberta, juin 1990).

- [5] Drying of Walls - Prairie Region, T.W. Forest et I.S. Walker, (Rapport à la Division de la mise en oeuvre des projets, Société canadienne d'hypothèque et de logement, décembre 1990).

- [6] Moisture Accumulation in a Building Envelope - Final Report, T.W. Forest, I.S. Walker et K. Checkwitch, (Rapport n^o 80, University of Alberta, Edmonton, Alberta, avril 1991).

- [7] Field Study on Attic Ventilation and Moisture, T.W. Forest and I.S. Walker, (Proceedings of CANCAM '91, Winnipeg, Manitoba, juin 1991, p. 546).

ANNEXE K
ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

Annexe K

Acronymes et abréviations

- | | | |
|------|--------|--|
| (1) | ACCH | Association canadienne des constructeurs d'habitation |
| (2) | ACHDU | Association canadienne de l'habitation et du développement urbain |
| (3) | ANCE | Association nationale pour la conservation de l'énergie |
| (4) | ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering. |
| (5) | ASTM | American Society for Testing and Materials. |
| (6) | CCC | Ministère de la Consommation et des Corporations |
| (7) | CBD | Digests de la construction au Canada |
| (8) | CNBC | Code national du bâtiment du Canada |
| (9) | CNRC | Conseil national de recherches Canada |
| (10) | CSA | Association canadienne de normalisation |
| (11) | CSSRMA | Association canadienne des fabricants de parements, frises et gouttières |
| (12) | DRB | Division des recherches sur le bâtiment |
| (13) | ÉMR | Énergie, Mines et Ressources Canada |
| (14) | ERDA | Energy Research and Development Agreement |
| (15) | GATT | Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce |
| (16) | ICCCR | Institut canadien du chauffage, de la climatisation et de la réfrigération |
| (17) | ICI | Institut canadien des ingénieurs |
| (18) | IRC | Institut de recherche en construction |
| (19) | LNH | Loi nationale sur l'habitation |
| (20) | MAPP | Procédure prescriptive d'évaluation de l'humidité |
| (21) | MIUF | Mousse isolante d'urée-formaldéhyde |
| (22) | NAFTA | Accord de libre-échange nord-américain |
| (23) | NIST | U.S. National Institute of Science and Technology |
| (24) | ONGC | Office des normes générales du Canada |
| (25) | ORTECH | Ontario Research and Technology International |
| (26) | OSHBA | Ontario Home Builders Association |
| (27) | PCRP | Programme canadien de remplacement du pétrole |
| (28) | PED | Programmes énergétiques domiciliaires |

- (29) PERD Groupe interministériel de recherche et d'exploitation
énergétiques
- (30) PITRC Programme d'isolation thermique des résidences canadiennes
- (31) POFL Polyoléfine filée-liée
- (32) SCHL Société canadienne d'hypothèques et de logement
- (33) SEF Surface de fuite équivalente
- (34) SRC Saskatchewan Research Council
- (35) TTEB Programme de transfert
- (36) VAPP Procédure prescriptive d'évaluation de la ventilation
- (37) ZLE Zone de libre échange