



## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Projet de recherche sur l'économie d'énergie MARK XI : sommaire des résultats 1978-1981

Scheuneman, E. C.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/21273183>

*Note d'information sur la construction, 1982-07-01*

#### **NRC Publications Record / Notice d'Archives des publications de CNRC:**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=d83b4fef-4cb6-411f-981e-47e318d3f29e>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=d83b4fef-4cb6-411f-981e-47e318d3f29e>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

#### **Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.



National Research  
Council Canada

Conseil national de  
recherches Canada

Canada

Ref  
Ser  
TH1  
N274  
no. 27F  
BLDG

ISSN 0701-5259

IRC PUB

# NOTE D'INFORMATION SUR LA CONSTRUCTION

PROJET DE RECHERCHE SUR L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE MARK XI  
SOMMAIRE DES RÉSULTATS 1978-1981

par

E.C. Scheuneman

ANALYZED

Division des recherches en bâtiment  
Conseil national de recherches Canada

11696

Traduit de l'anglais par C. Jean

Ottawa, juillet 1982

NRC - C. 11  
BLDG. RES.  
LIBRARY

82- 08- 24



PROJET DE RECHERCHE SUR L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE MARK XI  
SOMMAIRE DES RESULTATS, 1978-1981

par

E.C. Scheuneman

INTRODUCTION

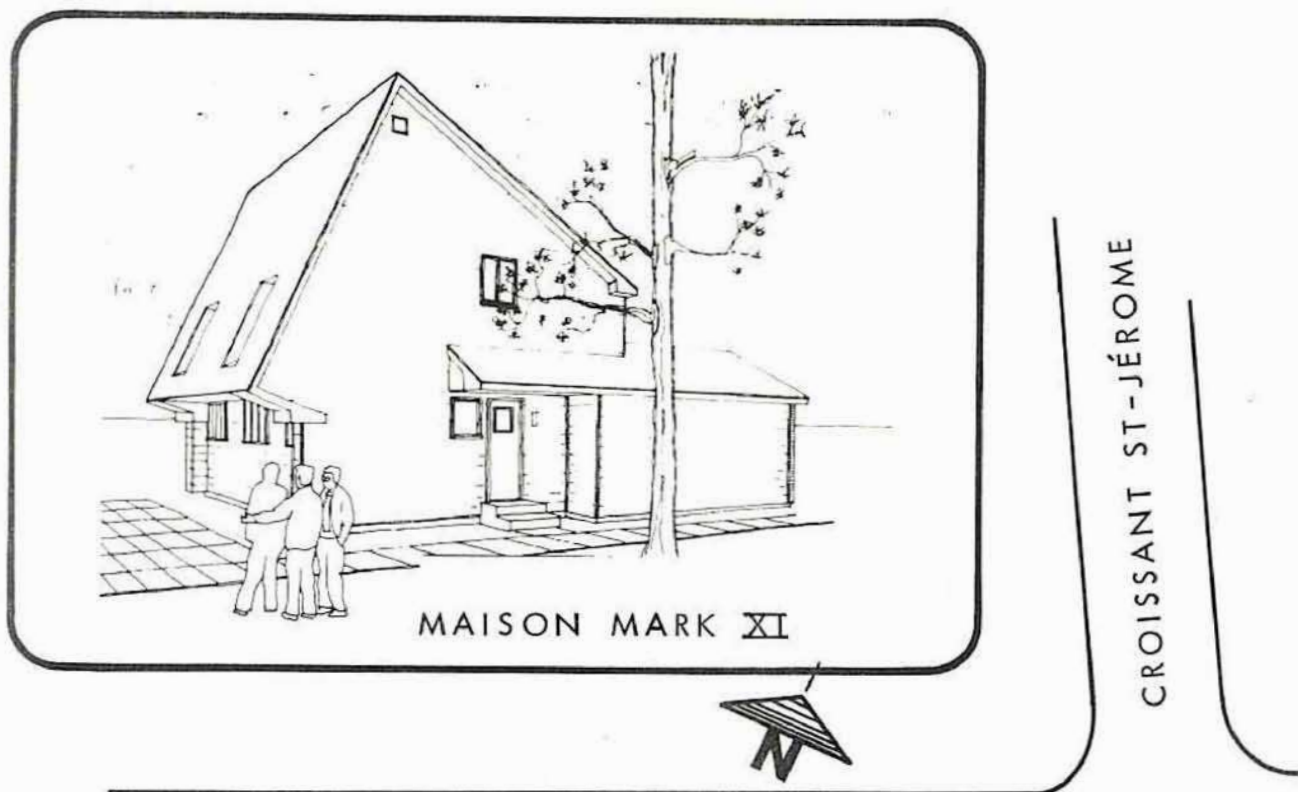
L'Association canadienne de l'habitation et du développement urbain (ACHDU) et la Division des recherches en bâtiment (D.R.B.) collaborent à un projet de recherche sur la consommation énergétique de quatre maisons individuelles, construites en 1977 à Orléans (Ontario), à cinq kilomètres d'Ottawa. Le projet est désigné sous le nom de Projet Mark XI de l'ACHDU.

Il englobe les objectifs suivants :

- 1) montrer les économies d'énergie réalisées par l'amélioration de la résistance thermique et de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment ;
- 2) étudier les problèmes possibles de l'amélioration thermique ;
- 3) déterminer la performance thermique de systèmes de chauffage des locaux (appareils de chauffage à gaz, pompe à chaleur air-air et chauffage solaire) ;
- 4) déterminer les pertes de chaleur à différents endroits de la maison ;
- 5) déterminer l'exactitude des modèles mathématiques dans la prévision de la consommation énergétique ;
- 6) mesurer l'influence de l'occupation sur la consommation énergétique.

DESCRIPTION DES MAISONS MARK XI

Les quatre maisons d'essai occupent des terrains adjacents dans un quartier résidentiel situé près d'Ottawa (fig. 1). Ce sont des maisons individuelles de deux étages, munies d'un sous-sol et dont les fondations de béton ont été coulées en place. Chacune dispose d'une superficie habitable de 118 m<sup>2</sup> (1 249 pi<sup>2</sup>), et les dimensions intérieures sont identiques (fig. 2). Les mêmes revêtements intérieurs de finition ont



PROMENADE FORTUNE

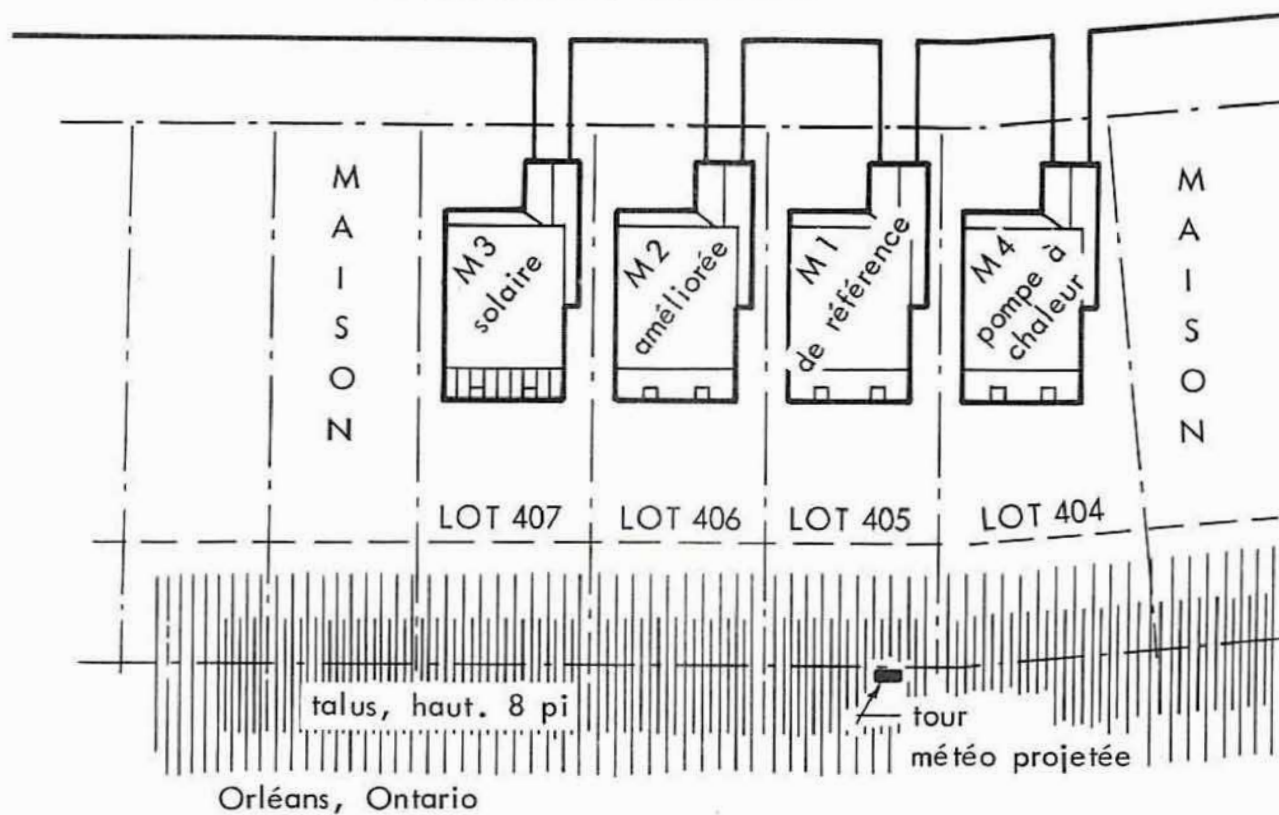


FIGURE 1

PLAN DE SITUATION - PROJET MARK XI

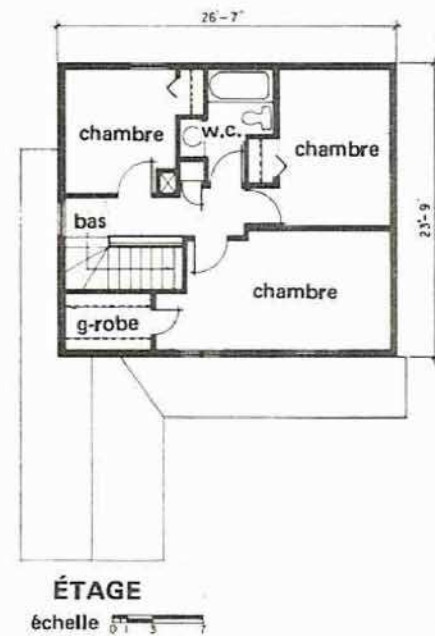
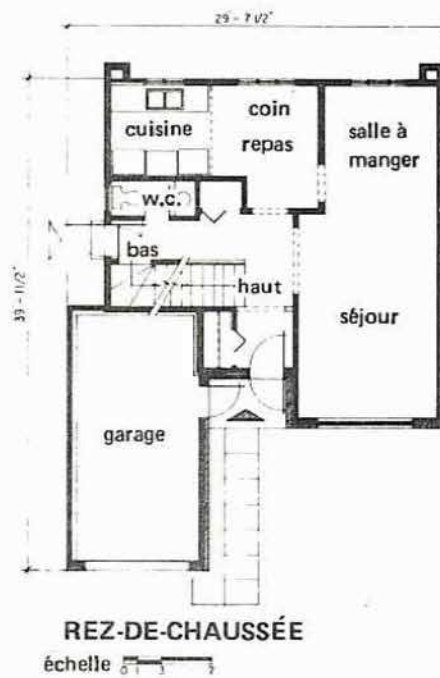
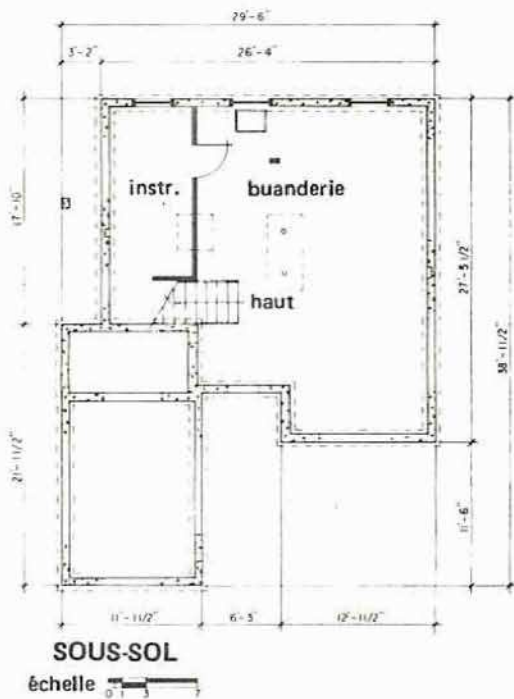
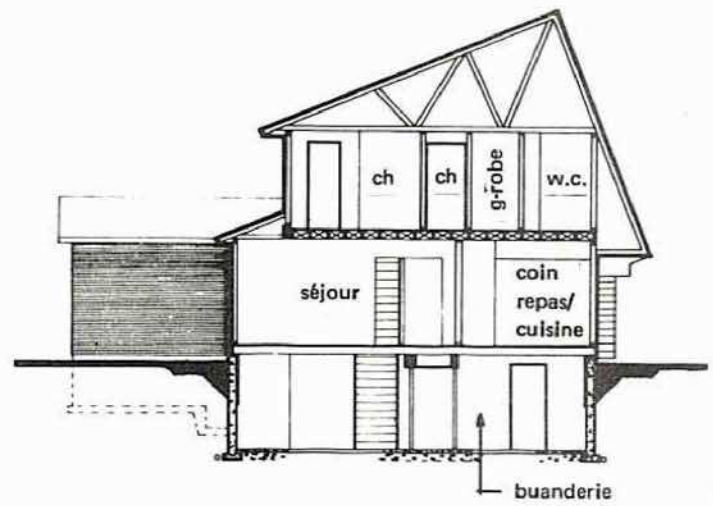


FIGURE 2  
DISPOSITION TYPE DES 4 MAISONS



été utilisés dans les quatre maisons, et les revêtements extérieurs sont presque semblables. On trouvera une description complète des maisons aux références 1 et 2.

La maison n° 1 (M1) a été construite selon les exigences d'isolation de l'Ontario Building Code, édition de 1975. Les maisons M2, M3 et M4 ont une isolation renforcée, des vitrages triples et une étanchéité à l'air accrue. Les caractéristiques thermiques nominales des principaux composants sont présentées au tableau 1. (Pour plus de détails, voir la référence 1) ; les valeurs R indiquées se rapportent à l'isolation mise en place.

Tableau 1

Propriétés thermiques des maisons Mark XI

|                       | <u>M1</u>                                                                 |      | <u>M2, M3, M4</u>                                                           |       |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
|                       | RSI                                                                       | R    |                                                                             |       |
| Plafond               | 3,5                                                                       | (20) | 5,6                                                                         | (32)  |
| Murs                  | 2,1                                                                       | (12) | 3,5                                                                         | (20)  |
| Murs du<br>sous-sol   | 1,2                                                                       | (7)  | 1,3                                                                         | (7,5) |
|                       | isolation intérieure à 0,9 m<br>sous le niveau du sol                     |      | isolation extérieure sur<br>toute la hauteur                                |       |
| Fenêtres              | double vitrage scellé, cadre<br>de bois ; coulissantes<br>et à guillotine |      | triple vitrage scellé,<br>cadre de bois ; à battants<br>et fenêtres-auvents |       |
| Portes<br>extérieures | isolées, en acier                                                         |      | isolées, en acier ;<br>contre-porte                                         |       |
| Pare-vapeur           | endos de papier sur<br>matelas fibre de verre                             |      | feuille de polyéthylène de<br>0,10 mm (4 mil) sur toute<br>la surface       |       |

De plus, M2, M3 et M4 possèdent deux caractéristiques non courantes : des solives de plancher d'une seule portée, avec support de revêtement de sol collé, et huit matériaux différents pour les panneaux de support de couverture.

Le laboratoire des produits forestiers de l'Est de Forintek Canada étudie ces éléments spéciaux. Une des conclusions tirées de l'observation des planchers est que l'isolant devrait être installé du côté extérieur des solives de rive afin d'éviter la condensation ; la référence 3 offre plus de renseignements à ce sujet. Les résultats de la

première inspection des revêtements de couverture, effectuée en 1980, sont donnés à la référence 4.

Les quatre maisons sont équipées d'un générateur-pulseur électrique d'air chaud. Le générateur de M3 a été installé comme appoint d'un système de chauffage solaire des locaux et celui de M4 a été adjoint à une pompe à chaleur air-air.

Les sept études résumées ci-dessous ont été réalisées par la Division des recherches en bâtiment. On trouvera des renseignements plus complets à leur sujet dans les références données à la fin de la présente note. Le détail des observations et des essais peut être obtenu de la Division.

#### PERFORMANCE THERMIQUE DE LA MAISON DE RÉFÉRENCE ET DE LA MAISON AMÉLIORÉE

Le tableau 2 présente les pertes et les gains énergétiques mesurés pour la saison de chauffe 1978-1979 (4 754 degrés-jours).

Tableau 2

#### Comparaison de la performance énergétique de M1 et de M2\* (1978-1979)

|                                                                            | $\frac{M1}{MW \cdot h}$ | $\frac{M2}{MW \cdot h}$ |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de l'énergie de chauffage achetée                                    | 16,3                    | 11,3                    |
| Apports des appareils, des lampes, du rayonnement solaire et des occupants | <u>7,5</u>              | <u>7,4</u>              |
| Total des déperditions énergétiques                                        | 23,8                    | 18,7                    |

\* tirée de la référence 2

Les résultats se résument comme suit :

- la consommation d'énergie de chauffage achetée de la maison améliorée M2 est de 31 % inférieure à celle de la maison de référence M1 ;
- l'apport thermique des occupants et du rayonnement solaire équivaut à 7,5 MW·h par maison pour la saison de chauffe ; ceci équivaut à 32 % et à 40 % de la charge calorifique totale de M1 et M2, respectivement ;
- les déperditions de M2 sont de 21 % inférieures à celles de M1.

Le tableau 3 compare les résultats des calculs et des essais en ce qui a trait à la charge prévue de chauffage et à la consommation d'énergie de chauffage annuelle de M1 et M2.

Tableau 3

Charge prévue et consommation d'énergie de chauffage annuelle\*

|                                                     | <u>M1</u> |         | <u>M2</u> |         |
|-----------------------------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                                     | calculée  | mesurée | calculée  | mesurée |
| Charge prévue de chauffage (kW)                     | 13,7      | 7,1     | 8,5       | 5,3     |
| Consommation d'énergie de chauffage annuelle (MW·h) | 20,2      | 16,0    | 12,5      | 11,1    |

\* Les valeurs calculées ont été obtenues par la méthode modifiée degré-jour (MDD) de l'ASHRAE et sont tirées de la référence 1 ; les résultats expérimentaux sont tirés de la référence 2.

La charge de chauffage prévue sert au dimensionnement des installations de chauffage. Le tableau 3 montre que les résultats obtenus par la méthode habituelle de calcul MDD sont de 93 %, dans le cas de M1, et de 60 %, dans le cas de M2, supérieurs aux valeurs expérimentales. Quant à la consommation d'énergie de chauffage annuelle, les résultats des calculs sont de 26 % et 13 % supérieurs, respectivement, aux valeurs expérimentales.

Le tableau 4 indique la distribution des pertes de chaleur pour M1 et M2.



Tableau 4

Comparaison de la distribution des pertes de chaleur de M1 et M2\*

|                                       | <u>M1</u> |         | <u>M2</u> |         |
|---------------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                       | calculée  | mesurée | calculée  | mesurée |
| enveloppe au-dessus du niveau du sol  | 58 %      | 63 %    | 62 %      | 62 %    |
| enveloppe au-dessous du niveau du sol | 10 %      | 23 %    | 12 %      | 26 %    |
| fuites d'air                          | 32 %      | 14 %    | 26 %      | 12 %    |

\* Les valeurs calculées ont été obtenues par la méthode MDD et sont tirées de la référence 1 ; les valeurs expérimentales proviennent des références 2 et 5.

Il est intéressant de noter au tableau 4 que les valeurs théoriques et expérimentales concordent d'assez près pour la partie de l'enveloppe au-dessus du niveau du sol, mais divergent sensiblement en ce qui touche la partie enterrée et les déperditions par fuites d'air. Ceci explique peut-être l'écart important entre les résultats calculés et mesurés du tableau 3 et semble indiquer le besoin d'améliorer ou de réviser certaines méthodes de calcul employées dans le projet.

PERFORMANCE THERMIQUE DU SYSTÈME MURAL AMÉLIORÉ

Les maisons M2, M3 et M4 possèdent une construction murale améliorée (voir la figure 3). On a contrôlé la performance thermique des murs de M2 et M4 durant la saison de chauffe 1980-1981, afin :

- de comparer les valeurs R mesurées aux résultats théoriques ;
- de déterminer l'influence des éléments d'ossature sur la valeur R des murs.

Une description détaillée des mesures et des appareils est donnée à la référence 6. Le tableau 5 récapitule les données obtenues expérimentalement et au moyen des calculs normalisés de l'ASHRAE. La température moyenne,  $T_M$ , correspond à la moyenne des températures de surface intérieure et extérieure.  $T_M = 24^\circ\text{C}$  est la température de consigne pour les mesures en laboratoire et les tableaux des valeurs R.  $T_M = 9^\circ\text{C}$  correspond à la température moyenne de l'air à Ottawa d'octobre à avril, soit  $-2^\circ\text{C}$ . Le point de consigne  $T_M = 9^\circ\text{C}$  est la moyenne de valeurs enregistrées sur le terrain, tandis que  $T_M = 24^\circ\text{C}$

constitue le point de consigne en laboratoire. En général, la valeur R des isolants augmente à mesure que  $T_M$  décroît.

Tableau 5

Valeurs R du système mural amélioré

|                                                       | Valeur R à<br>$T_M = 24^\circ\text{C}$ |        | Valeur R à<br>$T_M = 9^\circ\text{C}$ |        |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|
|                                                       | RSI                                    | R      | RSI                                   | R      |
| <u>Isolant</u> (dans la cavité)                       |                                        |        |                                       |        |
| - calculée                                            | 3,78                                   | (21,5) | ---                                   |        |
| - mesurée (moyenne des murs nord et sud)              | 3,76                                   | (21,3) | 4,14                                  | (23,5) |
| <u>Système mural</u> (cavité et poteaux)              |                                        |        |                                       |        |
| - calculée (ponts thermiques des éléments d'ossature) | 3,53                                   | (20,0) | ---                                   |        |
| - mesurée (moyenne des murs nord et sud)              | 2,93                                   | (16,6) | 3,23                                  | (18,3) |

Les résultats présentés au tableau 5 indiquent que :

- les valeurs R calculées et mesurées de la cavité isolée pour  $T_M = 24^\circ\text{C}$  concordent ;
- la valeur R mesurée de l'isolant pour la température hivernale moyenne ( $T_M = 9^\circ\text{C}$ ) est 4,14, c'est-à-dire de 10 % plus élevée que le résultat du calcul normalisé ( $T_M = 24^\circ\text{C}$ ) ;
- la valeur R mesurée du système mural pour  $T_M = 24^\circ\text{C}$  est inférieure de 17 % à la valeur calculée ; cet écart est sans doute attribuable aux clous dans le mur et le bardage et à des lignes non parallèles de flux thermique ;
- la valeur R mesurée du système mural pour la température hivernale moyenne ( $T_M = 9^\circ\text{C}$ ) est 3,23 ; ainsi, la performance thermique du mur en hiver est inférieure de 8 % à celle prévue par le calcul normalisé.

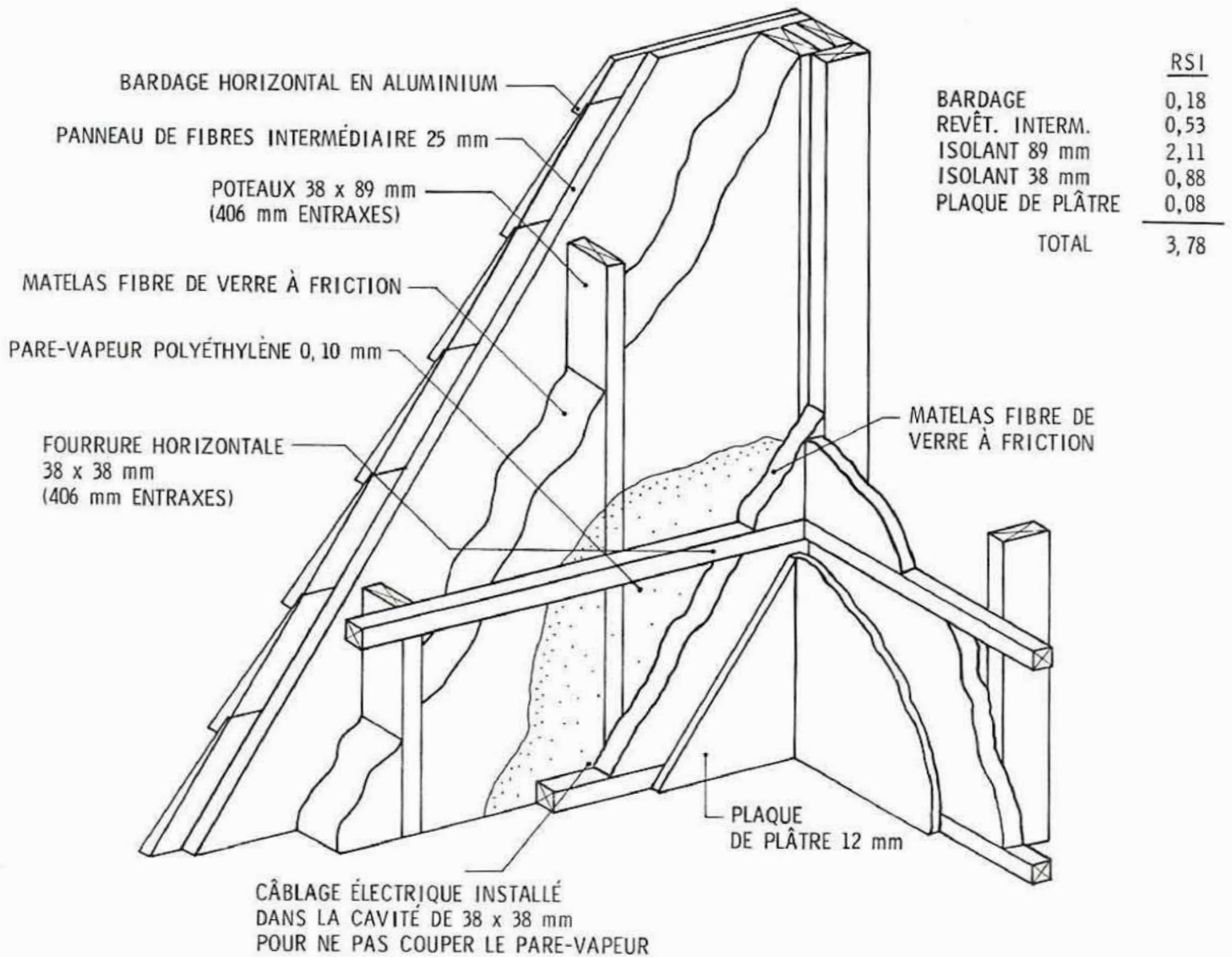


FIGURE 3  
CONSTRUCTION MURALE AMÉLIORÉE



## ÉTUDES DES SOUS-SOLS

La performance thermique des murs et du plancher des sous-sols de M1 et M4 a été observée entre janvier et avril 1979. Les résultats se résument comme suit :

- les taux de déperdition des murs et des planchers sous le niveau du sol semblent indépendants de la température extérieure ;
- le taux de déperdition sous le niveau du sol pour la saison de chauffe 1978-1979 a été estimé à 1,02 kW pour M1 et à 0,94 kW pour M4 (8 % de moins) ;
- l'isolation sur toute la hauteur a réduit de 11 % les pertes de chaleur des murs du sous-sol de M4, comparativement à M1 ;
- dans le cas de M4, la déperdition du mur ouest du sous-sol, adjacent à un autre sous-sol chauffé, est inférieure de 30 % à celle du mur nord qui donne sur la rue.

La référence 2 offre un exposé plus détaillé des résultats.

À l'été 1980, l'isolation du mur du sous-sol de M2 a été refaite en plusieurs endroits sur toute la hauteur, pour atteindre une valeur RSI de 3,5 (R 20). L'opération a été faite de l'intérieur, et divers matériaux et techniques ont été utilisés. On effectue actuellement des mesures thermiques et d'humidité afin d'évaluer la performance du mur.

On surveille également la variation de largeur de deux fissures qui sont apparues dans un des murs du sous-sol de M2. Le profil des fissures laisse supposer que le mur a été heurté au moment du remblayage.

L'écoulement de l'eau dans le tuyau de drainage de M4 a été vérifié de temps à autre, car cet écoulement autour des fondations influe sur les déperditions du sous-sol.

## ÉTUDES DES FUITES D'AIR

Des matelas fibre de verre avec papier pare-vapeur incorporé ont été employés dans la construction de la maison de référence (M1). Les maisons améliorées (M2, M3 et M4) ont une isolation renforcée et sont munies d'un pare-vapeur en polyéthylène de 0,10 mm (4 mil) destiné à améliorer l'étanchéité à l'air des enveloppes. La comparaison des débits de fuite d'air indique l'efficacité respective des deux écrans d'étanchéité à l'air. Au cours des études de 1978-1979, les quatre maisons étaient chauffées à l'électricité. M3 était de plus équipée d'une installation de chauffage solaire à l'air et M4, d'une pompe à chaleur. Ainsi, aucune de ces maisons ne possédait de cheminée.

## Étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air d'une maison est évaluée en mesurant le débit d'air qui la pénètre, par suite d'une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur provoquée par des moyens mécaniques. En 1978 et en 1979, l'étanchéité des quatre maisons Mark XI (M1, M2, M3, M4) a été déterminée par la méthode de pressurisation à l'aide d'un ventilateur. (Les résultats complets sont donnés à la référence 5.) Le débit de fuite d'air a été mesuré pour des écarts de pression créés artificiellement qui s'échelonnaient entre 8 et 80 pascals (Pa).

Le tableau 6 présente quelques-uns des résultats des essais menés en mars 1979.

Tableau 6  
Résultats des essais d'étanchéité à l'air  
(mars 1979)

|                                     | Débit de<br>fuite d'air<br>(l/s) pour :      |                                              | Amélioration de<br>l'étanchéité<br>comparée à celle<br>de M1 | S.É.O.*<br>m <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                     | <u><math>\Delta P = 50 \text{ Pa}</math></u> | <u><math>\Delta P = 10 \text{ Pa}</math></u> |                                                              |                           |
| M1 (référence)                      | 403                                          | 128                                          | 0 %                                                          | 0,053                     |
| M2 (améliorée)                      | 249                                          | 79                                           | 38 %                                                         | 0,033                     |
| M3 (améliorée +<br>solaire)         | 373                                          | 119                                          | 7 %                                                          | 0,049                     |
| M4 (améliorée + pompe<br>à chaleur) | 275                                          | 87                                           | 32 %                                                         | 0,036                     |

\* La surface équivalente d'ouverture (S.É.O.) est calculée selon la version préliminaire de la norme ONGC 149-GP-10 ( $\Delta P = 10 \text{ Pa}$ ).

Les résultats indiquent que les maisons améliorées M2 et M3 sont sensiblement plus étanches que M1, tandis que la maison solaire M3 n'est que légèrement plus étanche que cette dernière.

Les débits d'air enregistrés sont, en moyenne, de 10 % supérieurs à ceux mesurés un an plus tôt. Cet accroissement est attribué à l'augmentation des surfaces de fuite dues au séchage et au retrait des matériaux de construction.



La comparaison des mesures d'étanchéité à l'air effectuées en 1978 pour 63 maisons situées à Ottawa (référence 7) et de celles prises en 1978-1979 dans les quatre maisons Mark XI montre que les débits de fuite d'air relevés pour M1 et M3 sont supérieurs aux débits les plus faibles enregistrés pour les 63 autres maisons, tandis que les débits de M2 et M4 sont inférieurs à ceux-ci. Le débit de fuite d'air moyen de M2 et M4 correspond à 47 % du débit moyen des 63 maisons.

### Infiltration de l'air

L'infiltration de l'air est le passage naturel de l'air de l'extérieur à l'intérieur de la maison en raison de l'écart de pression qui s'établit de part et d'autre de son enceinte sous l'effet du vent et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Les débits d'infiltration (débits de renouvellement d'air naturel) ont été mesurés simultanément dans M1 et M4 entre janvier et avril 1979, à l'aide de la méthode de dépistage par gaz. Le gaz employé dans ce cas-ci était de l'anhydrique carbonique ( $\text{CO}_2$ ). (La référence 5 offre des renseignements complets sur ces essais.) Les résultats moyens dans des conditions climatiques hivernales ( $\Delta t > 20^\circ\text{C}$  ; vitesse du vent  $> 3,5 \text{ m/s}$ ) sont 0,3 et 0,2 renouvellement d'air par heure (volume/h) pour M1 et M4 respectivement.

Le projet Mark XI a offert une occasion unique d'analyser la corrélation entre l'infiltration de l'air et l'étanchéité pour des maisons sans cheminée, dont l'emplacement et les environs sont identiques. La référence 8 montre qu'il existe un rapport étroit, c'est-à-dire qu'il est possible de dériver les débits de renouvellement d'air des maisons Mark XI d'après les mesures d'étanchéité à l'air. Ce renseignement est précieux puisqu'il en découle que la méthode de pressurisation, qui est plus facile, plus rapide et moins coûteuse que celle du dépistage par gaz, peut remplacer cette dernière.

Durant la saison de chauffe 1980-1981, on a étudié l'effet de la conversion de M3 à une installation de chauffage à gaz munie d'une cheminée sur le débit de fuite d'air à l'intérieur de la maison (référence 9).

Voici quelques-unes des conclusions de cette étude :

- le débit de fuite d'air augmente d'environ 9 % lorsque la cheminée n'est pas capuchonnée ;
- la substitution de l'appareil électrique à l'installation de chauffage au gaz s'est soldée par une augmentation de 50 % du débit d'infiltration d'air (vitesse du vent  $\leq 3,5 \text{ m/s}$ ) ;
- environ 60 % de l'air intérieur fuit par la cheminée ; le reste est exfiltré par la partie supérieure de l'enveloppe de la maison.

La relation entre la ventilation mécanique et les fuites d'air est encore à l'étude.



# POMPES À CHALEUR AIR-AIR

Une des maisons améliorées, M4, a servi entre 1978 et 1981 à l'étude de la performance thermique de pompes à chaleur air-air utilisées en chauffage. Durant les deux premières saisons, la maison a été chauffée au moyen d'une pompe à chaleur d'une puissance nominale de 2½ tonnes (9 kW) munie d'un dispositif de dégivrage commandé par pressostat et complétée de trois étages de résistances électriques de 4,6 kW. Cette installation a été remplacée pour la troisième saison de chauffe par une pompe d'une puissance nominale de 1½ tonne (5,4 kW) dotée d'un dégivreur à pressostat et suppléée de deux étages de résistances électriques de 4,6 kW. Selon la méthode classique de dimensionnement, cette pompe convenait le mieux à la charge de chauffage de la maison.

Le coefficient de performance saisonnière (C.P.S.) de la pompe à chaleur et des résistances électriques est le rapport de la chaleur totale produite à l'énergie totale fournie. Le C.P.S. est calculé pour la saison de chauffe. Le résultat est toujours plus grand que 1,0, puisque la pompe, en extrayant la chaleur de l'air extérieur, produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme.

Le tableau 7 compare la performance des pompes à chaleur pour les trois saisons de chauffe. De plus amples renseignements peuvent être obtenus de la référence 10.

Tableau 7

## Performance des pompes à chaleur

|                                                 | 2½ tonnes  |             | 1½ tonne    |
|-------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|
|                                                 | 1978-1979  | 1979-1980   | 1980-1981   |
|                                                 | (déc.-mai) | (sept.-mai) | (sept.-mai) |
| Degrés-jours (% de la moyenne pour la période)  | 99 %       | 96 %        | 102 %       |
| Coefficient de performance saisonnière (C.P.S.) | 1,5        | 1,7         | 1,6         |
| Énergie produite par la pompe                   | 81 %       | 88 %        | 76 %        |
| Énergie produite par les appareils électriques  | 19 %       | 12 %        | 24 %        |
| Économies d'énergie dues à la pompe             | 32 %       | 41 %        | 39 %        |

Les économies d'énergie réalisées, en moyenne environ 40 % pour 1979-1981, fournissent une bonne indication de la performance de

n'importe quel type de pompe à chaleur air-air installée dans la région d'Ottawa. Dans des régions plus chaudes, les économies seront plus importantes et moindres dans les régions plus froides. Comme les économies d'énergie réalisées au moyen de la pompe de 1½ tonne sont aussi, sinon plus, élevées que celles faites à l'aide de la pompe de 2½ tonnes (pour le même nombre de degrés-jours), l'acquisition du plus gros format ne semble pas justifiée dans ce cas précis.

Parmi les autres aspects étudiés, citons :

- les variations du C.P.S. selon différents formats de pompe pour une même charge de chauffage ;
- la mise au point d'une méthode de calcul du C.P.S. permettant de prévoir les économies d'énergie ;
- la comparaison du dégivrage commandé par pressostat et du dégivrage chronocommandé.

En 1981-1982, une nouvelle pompe à chaleur de 2½ tonnes munie de deux compresseurs fonctionnant en parallèle et d'un dispositif de dégivrage chronocommandé sera installée, ainsi que deux résistances électriques d'appoint de 5 kW. Dans le cas de la première pompe de 2½ tonnes, l'appoint électrique entrainé en fonction au-dessous de -15°C. Dans le cas du modèle à deux compresseurs, le second compresseur vient assister le premier lorsque la température baisse à -15°C. Ainsi, l'appoint électrique n'intervient qu'à une température beaucoup plus basse.

#### CHAUFFAGE SOLAIRE

La mise en place du chauffage solaire de M3 a été achevée en décembre 1977. La référence 11 donne une description détaillée de l'installation. Brièvement, celle-ci consiste en :

- un système précalculé, mis en marché en 1976 ;
- un système actif fonctionnant en série avec un générateur d'air chaud électrique de 10 kW ;
- capteurs plans à air offrant une surface captante de 35 m<sup>2</sup> ;
- un stockage de galets de 5 m<sup>3</sup> ;
- un échangeur de chaleur air-eau pour le préchauffage de l'eau.

Au cours de la saison de chauffe 1978-1979, la performance de l'installation a été médiocre. Son inspection au printemps 1979 a révélé deux vices importants : un registre défectueux et des fuites d'air considérables un peu partout. La plupart des défauts ont été corrigés.

Cependant, plusieurs problèmes ont persisté au cours de la saison de chauffe 1979-1980 :

- les locaux étaient surchauffés les journées ensoleillées du printemps, de l'été et de l'automne ;
- une condensation se formait au vitrage intérieur de tous les capteurs ;
- les fuites d'air continuaient.

L'installation solaire a été mise hors service à l'automne 1980, afin que M3 puisse servir à d'autres expériences.

Le tableau 8 présente les résultats des mesures d'infiltration d'air prises dans M3 en mars 1980. D'après ces données, le débit moyen de renouvellement d'air pour la saison de chauffe a été évalué à 0,26 volume/h.

Tableau 8

Débits de renouvellement d'air pour M3  
(mars 1980)

| <u>Débit de<br/>renouvellement d'air<br/>volume/h</u> | <u>Temps de<br/>fonctionnement</u> | <u>Mode de<br/>fonctionnement</u>                             |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 0,23                                                  | 88 %                               | ventilateur des capteurs<br>arrêté                            |
| 0,49                                                  | 10 %                               | ventilateur des capteurs en<br>marche - cycle de<br>stockage  |
| 0,66                                                  | 2 %                                | ventilateur des capteurs en<br>marche - cycle de<br>chauffage |

Le rendement moyen des capteurs pour la saison de chauffe 1979-1980 a été de 32 % ; 61 % de l'énergie stockée a été récupérée. La quantité globale d'énergie fournie est donnée au tableau 9.



Tableau 9

Énergie fournie à M3 durant la saison de chauffe 1979-1980

|            | <u>Chauffage des locaux</u><br>MW·h | <u>Chauffage de l'eau</u><br>MW·h | <u>Énergie totale</u><br>MW·h |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Électrique | 7,9 (54 %)                          | 2,8 (57 %)                        | 10,7 (55 %)                   |
| Solaire    | 6,7 (46 %)                          | 2,1 (43 %)                        | 8,8 (45 %)                    |

Le tableau 9 indique que le système solaire de M3 a fourni 45 % de l'énergie requise pour chauffer les locaux et l'eau.

Quoique la mise en place d'un système solaire comparable reviendrait de nos jours à environ un tiers du prix de 1977, les mesures d'économie d'énergie classiques demeurent plus avantageuses.

PERFORMANCE EN SERVICE D'UN GÉNÉRATEUR AU GAZ NATUREL

L'installation solaire de M3 a été mise hors service à l'automne de 1980 et remplacée par un générateur à gaz muni d'un conduit d'évacuation (cheminée), afin de permettre l'étude de la performance en service de ce type d'appareil. Les observations ont été faites à l'hiver de 1980-1981, alors que la maison était inoccupée.

Les caractéristiques de la nouvelle installation se résument comme suit :

- énergie nominale fournie : 40 000 Btu/h ; énergie nominale produite : 32 000 Btu/h ;
- veilleuse ;
- aucun dispositif d'économie d'énergie ;
- air de combustion tiré du sous-sol ;
- cheminée consistant en un conduit de catégorie B, de 12,7 cm (5 po) de diamètre, qui traverse le toit.

Le générateur à gaz a été raccordé en parallèle à un générateur-pulseur d'air chaud électrique ; chaque générateur a fonctionné en alternance pour des périodes de deux semaines. Le conduit d'évacuation du générateur à gaz a été chapeauté chaque fois que le générateur électrique prenait la relève. (Pour plus de renseignements, voir la référence 12.)

Le rendement en régime permanent est le rapport de la chaleur utile produite par le générateur, au pouvoir calorifique du gaz naturel introduit dans le générateur multiplié par 100 pour obtenir une valeur en pourcentage. Ce rendement est mesuré au moment où le brûleur fonctionne de façon continue dans des conditions optimales de service. Dans le cas de M3, le rendement en régime permanent était de 74 % au début de la saison de chauffe, selon les mesures du Laboratoire canadien de recherche sur la combustion d'Énergie, Mines et Ressources Canada. À la fin de la saison, on s'est rendu compte que le débit d'alimentation du gaz était moindre que présumé ; les pourcentages obtenus pour cette période auraient été légèrement supérieurs si le générateur avait été convenablement réglé.

Le rendement en pourcentage du générateur à gaz pour une différence de température intérieure-extérieure donnée est le rapport de la charge de chauffage de la maison au pouvoir calorifique du combustible introduit, multiplié par 100. Il est à noter que l'augmentation des pertes de chaleur amenée par l'écoulement de l'air dans le conduit d'évacuation n'est pas considérée dans le calcul de la charge de chauffage de l'habitation. Le rendement de l'installation était de 50 % pour une différence de température de 10°C (faible charge) et s'élevait à 65 % lorsque l'écart de température était de 50°C (forte charge). Le générateur était légèrement surdimensionné pour les besoins de M3, puisqu'il fonctionnait 84 % du temps (au lieu de 100 %) quand l'écart de température atteignait 47°C, qui est la valeur de calcul pour Ottawa.

Le rendement saisonnier en pourcentage correspond à l'énergie thermique nécessaire pour maintenir la maison à la température de réglage du thermostat divisée par le pouvoir calorifique du gaz fourni durant la saison de chauffe et multipliée par 100. Le rendement saisonnier du générateur à gaz a été évalué à 60 %.

Le rendement en régime permanent est le rendement le plus élevé, 74 %, puisque la seule source de déperdition du générateur est la chaleur sensible et latente des gaz de combustion évacués. Le rendement maximal (forte charge) de l'installation est moins élevé, 65 %, car le fonctionnement du générateur et de la cheminée augmente les fuites d'air et donc les pertes de chaleur de la maison. Le rendement saisonnier est encore plus bas, 60 % ; il représente en effet la moyenne des rendements de l'installation durant la saison de chauffe.

Des études analogues seront menées durant la saison de chauffe 1981-1982 pour deux générateurs à gaz à rendement élevé : un générateur à aspiration d'air et à allumage par étincelle et un générateur à condensation.

#### VENTILATION MÉCANIQUE AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

Les services de l'Ontario Hydro ont installé dans M2 un système de ventilation mécanique muni d'un échangeur de chaleur rotatif dont ils ont assuré le fonctionnement entre décembre 1978 et avril 1979. Le système a été utilisé en conjonction avec une installation de chauffage électrique



à air pulsé sans cheminée. (Pour plus de détails, voir référence 13.) Deux adultes et deux enfants ont habité la maison durant la plus grande partie de cette période. Les objectifs de l'expérience étaient d'évaluer la viabilité économique de la récupération de chaleur et de déterminer la capacité de l'installation mécanique à régulariser l'humidité intérieure.

On avait prévu réaliser une économie de 5 020 kWh par saison de chauffe au moyen du récupérateur de chaleur, d'un rendement de 85 %. L'occupation a produit en moyenne 11,8 kg/jour d'humidité. Le tableau 10 indique les effets des taux de ventilation sur le débit de renouvellement d'air et sur l'humidité relative intérieure.

Tableau 10

Débits de ventilation et humidité intérieure

| <u>Taux de ventilation<br/>mécanique<br/>(m<sup>3</sup>/min)</u> | <u>Débit de renouvellement<br/>d'air<br/>(volume/h)</u> | <u>Humidité relative<br/>maximale atteinte</u> |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 0                                                                | 0,15                                                    | 55 %                                           |
| 1,7                                                              | 0,40                                                    | 39 %                                           |
| 2,3                                                              | 0,49                                                    | 37 %                                           |

Les deux taux de ventilation mécanique supérieurs à zéro donnés au tableau 10 ont engendré des débits de renouvellement d'air assez élevés pour assurer à la maison un air suffisamment pur et une humidité relative inférieure à 40 %.

Les paragraphes qui suivent décrivent quelques études du projet Mark XI qui n'ont pas encore fait l'objet d'un rapport.

HUMIDITÉ ET RENOUVELLEMENT D'AIR

Une expérience a été menée en vue d'évaluer si la diminution de l'humidité de l'air intérieur constitue une indication valable des fuites d'air. Pendant plusieurs mois, on a mesuré la quantité d'eau utilisée par un humidificateur pour maintenir une humidité relative de 40 %. Les essais ont été effectués dans les quatre maisons, alors qu'elles étaient inoccupées, entre mars et avril 1978 ; des essais supplémentaires ont été faits dans M3 et M4 entre janvier et avril 1979. On procède à l'analyse des résultats.



## ÉTUDES DE L'HUMIDITÉ

Au moment de la construction en 1977, des détecteurs d'humidité ont été placés un peu partout du côté chaud du pare-vapeur en polyéthylène qui enveloppe les quatre maisons. Aucun problème de condensation ne s'est manifesté aux endroits où au moins les deux-tiers de la résistance thermique se trouvent du côté extérieur (face froide) du pare-vapeur. Ceci concorde avec les calculs du point de rosée. Toutefois, au niveau des solives de rive des planchers du rez-de-chaussée et de l'étage de M2, M3 et M4, tout l'isolant a été appliqué contre la face intérieure du pare-vapeur, et les détecteurs ont enregistré pendant l'hiver une humidité élevée, qui est retournée à la normale en été. Les solives de rive du rez-de-chaussée, accessibles du sous-sol, ont été recouvertes de matelas de fibre de verre avec du papier à l'endos, ce qui a abaissé à des niveaux acceptables la teneur en eau. Malheureusement, l'isolation des solives de rive du plancher de l'étage n'a pu être améliorée, parce que celles-ci étaient inaccessibles. Il faudrait modifier les détails de construction afin d'éviter qu'une situation analogue se reproduise.

La maison de référence, M1, est occupée depuis avril 1979 par une famille composée de deux adultes, de deux enfants et de deux animaux. Des problèmes de condensation intérieure se sont manifestés par des filets d'eau qui ont ruisselé des fenêtres et taché les murs. Cette maison est équipée d'un générateur-pulseur d'air chaud électrique et ne possède pas de cheminée. L'humidité relative moyenne sur 24 heures par temps froid (environ  $-14^{\circ}\text{C}$ ) a été déterminée à 35 %. Un ou plusieurs appareils de ventilation forcée seront employés au cours de la saison de chauffe 1981-1982 afin de diminuer la condensation. M1 est pour l'instant la seule maison occupée et la seule qui ait été habitée plus que quelques mois.

## EFFETS DE LA PRESSION DU VENT

Depuis l'automne de 1980, M3 est équipée d'instruments destinés à mesurer l'influence du vent sur les différences de pression qui s'établissent de part et d'autre des parois du bâtiment. L'étude en cours aidera les chercheurs à conseiller les concepteurs et les constructeurs en leur fournissant des renseignements sur :

- 1) le type de différences de pression qui s'établissent de part et d'autre des murs, des fenêtres et des plafonds des petits bâtiments ;
- 2) les composants du bâtiment qui offrent une résistance à l'air dans les murs et les plafonds ;
- 3) la façon dont la charge de pression est transférée à travers les parois.

PARTICIPANTS AU PROJET

Division des recherches en bâtiment (C.N.R.C.)  
 Groupe d'étude de l'ACHDU du Projet Mark XI  
 Ontario Hydro  
 Consumers Gas  
 Forintek Canada  
 Laboratoire canadien de recherche sur la combustion (É., M. & R.)  
 Talback Construction

RÉFÉRENCES

- 1) Quirouette, R.L. Conception et construction du projet de recherche sur l'économie d'énergie Mark XI. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 131F, Ottawa, janvier 1980.
- 2) Brown, W.C. Projet de recherche sur l'économie d'énergie Mark XI : comparaison d'une maison normale et de maisons à rendement thermique amélioré. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 160F, Ottawa, août 1981.
- 3) Onysko, D.M., Demers, R. and Garant, J.C. Performance Testing of Floors at the HUDAC Mark XI Project. Forintek Canada Corp. CFS Contract 1980-81, CFS/DSS Project 9, Ottawa, March 1981.
- 4) Onysko, D.M. and Garant, J.C. Inspection of Roof Sheathing at the HUDAC Mark XI Project. Forintek Canada Corp. CFS Contract 1980-81, CFS/DSS Project 9, Ottawa, March 1981.
- 5) Shaw, C.Y. et Tamura, G.T. Projet de recherche sur l'économie d'énergie Mark XI : évaluation de l'étanchéité et de l'infiltration d'air. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 162F, Ottawa, novembre 1981.
- 6) Brown, W.C. and Schuyler, G.D. In-Situ Measurements of Frame Wall Thermal Resistance. Prepared for submission to ASHRAE Winter Meeting, Houston, Texas, January 1982.
- 7) Beach, R.K. Relative Tightness of New Housing in the Ottawa Area. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Building Research Note 149, Ottawa, June 1979.
- 8) Shaw, C.Y. A Correlation between Air Infiltration and Air Tightness for Houses in a Developed Residential Area. ASHRAE Transactions 1981, Vol. 87, pt. 2.

- 9) Shaw, C.Y. et Brown, W.C. À paraître.
- 10) Cane, R.L.D. Field Performance of an Air-Source Heat Pump in the HUDAC Mark XI Energy Research Project. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Building Research Note 174, Ottawa, May 1981.
- 11) Sibbitt, B.E. et Carscallen, W.E. À paraître.
- 12) Brown, W.C. À paraître.
- 13) D'Silva, N.S. Operation Experience with a Residential Mechanical Ventilation System with Heat Recovery. Mechanical Research Department, Ontario Hydro Research Division, Report No. 81-51-K, Toronto, March 1981.