

Ref
Ser
THL
N21m5

ISSN 0701-5259

no. 160F

BLDG

IRC PUB

NOTE D'INFORMATION DE RECHERCHE SUR LE BÂTIMENT

PROJET DE RECHERCHE SUR L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE MARK XI
COMPARAISON D'UNE MAISON NORMALE ET DE MAISONS À
RENDEMENT THERMIQUE AMÉLIORÉ

par

W.C. Brown

Division des recherches sur le bâtiment
Conseil national de recherches du Canada

Traduit de l'anglais par L. Bastrash

Ottawa, août 1981

09893

NRC - CISTI
BLDG. RES.
LIBRARY

81- 07- 33

BIBLIOTHÈQUE
Rech. Bâtim.
NRC - CISTI



PROJET DE RECHERCHE SUR L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE MARK XI
COMPARAISON D'UNE MAISON NORMALE ET DE MAISONS À
RENDEMENT THERMIQUE AMÉLIORÉ

par

W.C. Brown

La Division des recherches sur le bâtiment (DRB), en collaboration avec l'Association canadienne de l'habitation et du développement urbain (ACHDU), procède présentement à une étude sur l'utilisation de l'énergie dans l'habitation¹. La DRB dispose, pour cette étude, de quatre maisons individuelles, propriété de l'ACHDU.

Le projet vise plusieurs objectifs, dont:

- 1) démontrer l'économie d'énergie résultant de l'amélioration de la résistance thermique et de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment;
- 2) évaluer la performance thermique d'un système de chauffage solaire et d'un système de pompe à chaleur air-air;
- 3) déterminer l'exactitude des modèles mathématiques utilisés pour prédire la consommation d'énergie dans les maisons; et
- 4) mesurer l'influence de l'usage sur la consommation d'énergie dans les maisons.

Au cours de la saison froide de 1978-1979, on a procédé à une étude sur l'efficacité accrue qui résulte de l'amélioration thermique de l'enveloppe de la maison et du sous-sol. Nous présentons ici quelques-unes des données que nous avons obtenues sur la consommation d'énergie et nous comparons les performances respectives d'une maison normale et de maisons à rendement thermique amélioré, dans des conditions d'usage identiques.

DESCRIPTION DES MAISONS

Les quatre maisons individuelles d'essai sont construites sur quatre lots attenants d'un ensemble résidentiel situé à proximité d'Ottawa (figure 1). Chaque maison possède une superficie habitable de 120 m² et un sous-sol constitué d'un mur plein de béton coulé en place. Les dimensions intérieures, de même que la finition intérieure, sont identiques pour les quatre maisons et, à l'exception de la partie nord de chaque maison et du système solaire installé sur le côté sud d'une des maisons, la finition extérieure des maisons est également identique.

La maison n°1 (M1) a été construite selon les exigences du Ontario Building Code (édition 1975); tandis que les maisons n°s 2, 3 et 4 (M2, M3, M4) ont fait l'objet d'une isolation thermique plus poussée et ont été dotées de fenêtres de meilleure qualité et de caractéristiques spéciales visant à augmenter leur étanchéité à l'air. On trouvera, au tableau I, les caractéristiques thermiques nominales de chacun des principaux éléments des quatre maisons. Il est également possible d'obtenir une description plus détaillée des caractéristiques de construction¹.

Chacune des quatre maisons est dotée d'un générateur d'air chaud pulsé, fonctionnant à l'électricité. L'appareil de M3 sert d'appoint au système solaire à air constitué de capteurs plans d'une superficie de 38 m² montés sur la partie du toit faisant face au sud, et d'un accumulateur à pierres de 5,5 m³ situé sous le garage. Le système de chauffage solaire permet également de dégourdir l'eau chaude sanitaire. Le générateur d'air chaud électrique de M4 sert d'appoint à une pompe à chaleur air-air de 8,8 kW. La pompe à chaleur peut également servir à la climatisation durant la saison chaude.

Pendant la presque totalité de la saison froide de 1978-1979, M1 n'était pas habitée; elle abrite cependant une famille de quatre personnes depuis la mi-avril 1979. Une famille de quatre personnes a également habité M2 du début de la saison froide 1978-1979 jusqu'à la mi-mars 1979, date à partir de laquelle la maison est demeurée inhabitée. Les maisons M3 et M4 sont demeurées inhabitées pendant toute la durée de la saison froide de 1978-1979, afin de réduire le nombre de facteurs à considérer lors de l'étude comparée des systèmes de chauffage solaire et de pompe à chaleur.

CUEILLETTE DES DONNÉES

On a procédé à des lectures de la température et de l'énergie consommée afin d'évaluer la performance thermique des maisons expérimentales. Les données étaient enregistrées aux dix minutes par un système de saisie des données géré par ordinateur et traitées chaque semaine par la DRB. Ces données n'ont pu être recueillies de façon continue pendant la totalité de la saison froide de 1978-1979 par suite de pannes dans le système d'enregistrement des données. Toutes les lectures ont également été relevées manuellement selon une fréquence hebdomadaire. Bien que ce dernier ensemble de données ait pu être recueilli de façon continue, il n'offre pas, à l'instar des données enregistrées automatiquement, le même temps de résolution.

On a mesuré la température interne de chaque maison à l'aide de thermocouples intégrés au thermostat. La température de bulbe sec de l'air extérieur était mesurée par une thermistance, situé à environ 6 m des maisons. Une fois de plus, ces lectures étaient enregistrées par le système automatique de saisie des données. L'énergie électrique utilisée dans la maison était enregistrée à la fois par le système de saisie des données et de façon manuelle, au moyen de compteurs qui mesuraient la consommation d'énergie électrique du système de chauffage, de l'éclairage, des appareils ménagers et du chauffe-eau électrique. On

a recueilli, toujours à l'aide du système de saisie des données, les enregistrements des températures internes et de la consommation d'énergie électrique à partir du mois de septembre 1978, et les températures extérieures à partir de janvier 1979. Les relevés manuels de la consommation d'énergie électrique ont commencé à partir d'octobre 1978.

On a mesuré les pertes de chaleur au niveau du sous-sol à l'aide de quatre calorimètres² installés dans le sous-sol de M1 et M4. L'énergie électrique utilisée par les calorimètres était également enregistrée de façon automatique et manuelle. La figure 2 illustre la disposition des quatre calorimètres. Les calorimètres 1, 2 et 3 étaient situés sur les murs nord et ouest et sur le plancher de M4, tandis que le calorimètre 4 était monté sur le mur nord de M1. Le rayon d'action de chaque calorimètre englobait un espace de 1,2 m de large sur 2,1 m de haut. On a commencé à mesurer l'écoulement de la chaleur au niveau du sous-sol à l'aide des calorimètres à la fin du mois de janvier 1979.

ANALYSE DE LA DÉPERDITION DE CHALEUR AU NIVEAU DU SOUS-SOL

On indique, à la figure 3, les pertes de chaleur cumulées au niveau du sous-sol et enregistrées de façon manuelle. Ces chiffres indiquent que les murs du sous-sol et le plancher laissent échapper la chaleur à une vitesse à peu près constante pendant presque toute la durée de la saison froide; en d'autres termes, les déperditions thermiques semblent être indépendantes des conditions de température extérieure concomitantes. La réduction des déperditions thermiques à la fin de la saison froide est attribuable, en partie, à une température moindre au niveau du sous-sol, résultant de l'utilisation moins fréquente du chauffage.

Les lignes droites de la figure 3 correspondent aux données enregistrées depuis le début de février jusqu'à la mi-avril 1979. La pente de ces lignes révèle les déperditions suivantes pour les sections de plancher et de mur du sous-sol:

<u>Emplacement du</u> <u>calorimètre</u>		<u>Déperdition thermique</u> <u>(en W/m²)</u>
Mur nord	- M4 (1)	12,8
Mur ouest	- M4 (2)	9,1
Plancher	- M4 (3)	5,1
Mur nord	- M1 (4)	14,4

La déperdition du mur ouest de M4 est inférieur de 30% à celle du mur nord. Cet écart est probablement dû au fait que le mur ouest est adjacent à un autre sous-sol chauffé (M1), tandis que le mur nord fait face à la rue.

Une comparaison entre les déperditions de chaleur des murs nord de M1 et M4 met en lumière l'influence de l'isolation sur la performance thermique du sous-sol. Dans le cas de M1, on a appliqué un isolant d'une résistance de 1,2 m²• K/W sur la face interne du mur du sous-sol à

partir du sommet du mur jusqu'à 0,9 m sous le sol. Dans le cas de M4, on a procédé à l'application d'un isolant d'une résistance de $1,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sur la totalité de la face externe du mur du sous-sol, c'est-à-dire que l'isolant descend 1,1 mètre plus bas que dans le cas de M1. En tenant pour acquis que les conditions thermiques entourant les deux sous-sols étaient identiques, on peut conclure, d'après les taux mesurés, qu'un isolant posé sur toute la hauteur du mur réduit les déperditions du mur de $14,4 - 12,8 = 1,6 \text{ W/m}^2$, ou $3,2 \text{ W/m}$ de périmètre, comparativement à un isolant ne couvrant qu'une partie du mur.

1. Les déperditions thermiques des murs est et ouest d'un même sous-sol situé entre deux maisons sont identiques.

2. Les déperditions thermiques des murs nord et sud d'un même sous-sol, qui ne sont pas adjacents à une autre maison, sont identiques.

3. Les déperditions thermiques par le plancher sont les mêmes pour les quatre maisons.

4. Le rapport entre les déperditions thermiques du mur ouest (ou est) et celles du mur nord (ou sud) est identique pour les quatre maisons, soit l'équation suivante:

$$\frac{\text{Déperditions thermiques (mur ouest, M1)}}{\text{Déperditions thermiques (mur nord, M1)}} =$$

$$\frac{\text{Déperditions thermiques (mur ouest, M4)}}{\text{Déperditions thermiques (mur nord, M4)}}$$

À partir des postulats qui précèdent et en tenant compte du fait qu'une partie seulement des murs du sous-sol se trouve effectivement sous le sol, nous avons pu déterminer les déperditions de chaleur suivantes pour les sections situées sous le niveau du sol des maisons étudiées pendant la saison froide de 1978-1979:

Maison normale (M1)	1,02 kW
Maisons à rendement thermique amélioré (M2, M3, M4)	0,94 kW

ANALYSE THERMIQUE DES MAISONS NORMALES ET À RENDEMENT THERMIQUE AMÉLIORÉ

Il est nécessaire d'évaluer la réduction dans la consommation d'énergie de chauffage si l'on veut démontrer les avantages que présente l'isolation thermique améliorée de M2, M3 et M4, par rapport à M1. Cependant, il serait trompeur de faire une simple comparaison entre la dépense en énergie de chauffage de M1 et M2 au cours de l'année 1978-1979 (figure 4) car ces deux maisons n'ont pas été soumises aux mêmes conditions d'exploitation; M3 et M4 ne peuvent pas non plus être utilisées pour fins de comparaison à cause de la contribution des systèmes de chauffage solaire et de pompe à chaleur. L'analyse qui suit tient compte de l'influence de facteurs tels que la température, l'usage

et la température intérieure (réglage du thermostat) afin de rendre possible une comparaison entre la performance thermique d'une maison normale (M1) et celle d'une maison à rendement thermique amélioré (M2).

La consommation d'énergie pour le chauffage d'une maison donnée est calculée de la façon suivante:

$$PE = \int^{HS} (G_F) dt = \int^{HS} (L_E + L_B - (G_A + G_S + G_P + G_M)) dt \quad [1*]$$

et $G_F = G_{FH} + G_{FF}$

où PE = consommation d'énergie facturée pour le chauffage de la maison

HS = saison de chauffage

G_F = puissance totale du générateur d'air chaud

G_{FH} = puissance des réchauffeurs du générateur d'air chaud

G_{FF} = apport calorifique du ventilateur du générateur d'air chaud

L_E = déperditions thermiques de la partie de l'enveloppe située au-dessus du niveau du sol et déperditions thermiques dues à l'infiltration d'air

L_B = déperditions thermiques des sections de la maison situées sous le niveau du sol

G_A = apport calorifique des appareils ménagers, de l'éclairage, etc.

G_S = apport calorifique du soleil

G_P = apport calorifique des occupants

G_M = apport calorifique dû à l'inertie thermique du bâtiment.

Bien qu'ils soient soumis à des variations diurnes et à long terme, les apports calorifiques définis par les gains G_A , G_S et G_P sont, dans la pratique, indépendants de la température de l'air extérieur; on peut donc déterminer des valeurs moyennes pour toute la durée de la saison de chauffage. Le gain G_M aura ainsi une valeur moyenne de zéro pour la durée de la saison. L'analyse des pertes au niveau du sous-sol effectuée précédemment indique que la perte L_B est indépendante de la température de l'air extérieur. Ces gains et pertes peuvent, par conséquent, être représentés par une seule perte nette, C, soit:

* Seules les valeurs positives de l'expression entre crochets sont utilisées dans cette intégration.

$$C = L_B - (G_A + G_S + G_P) \quad [2]$$

Les déperditions de chaleur de l'enveloppe, L_E , inclut les pertes par conduction à travers les fenêtres, le plafond et les murs situés au-dessus du niveau du sol, et les pertes de chaleur dues à l'infiltration d'air. Comme ces pertes dépendent principalement de la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur, ΔT , les déperditions de l'enveloppe peuvent être représentées par l'équivalence suivante: $L_E = P\Delta T$. L'équation [1] peut alors s'écrire comme suit:

$$PE = \int^{HS} (G_{FH} + G_{FF}) dt = \int^{HS} (P\Delta T + C) dt \quad [3]$$

où P = coefficient de déperdition thermique de la maison
 ΔT = différence entre les températures intérieure et extérieure
 $C = L_B - (G_A + G_S + G_P)$

La durée de la saison de chauffage, HS , est égale au nombre de jours pendant lesquels la différence de la température moyenne journalière est plus grande que la différence de température de déséquilibre, ΔT_B ; où ΔT_B représente la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur au-dessus de laquelle l'on doit avoir recours au système de chauffage pour maintenir la température de l'air à l'intérieur de la maison au niveau réglé.

On peut déterminer la valeur du coefficient de déperdition thermique, P , pour les maisons normales et à rendement thermique amélioré, en dessinant une ligne droite correspondant aux valeurs moyennes quotidiennes mesurées de la puissance du générateur d'air chaud de G_F , et en l'opposant à la différence de température moyenne quotidienne mesurée, ΔT , pour M1 et M2. La pente de ces lignes représente le coefficient de déperdition thermique, P , et les parties de lignes situées entre deux points représentent les pertes nettes, C , pour M1 et M2. Puisque le ventilateur des générateurs d'air chaud de M1 et M2 a fonctionné de façon continue pendant l'hiver 1978-1979, on peut supposer que l'apport imputable au ventilateur du générateur, G_{FF} , a conservé une valeur constante durant toute la durée de la saison de chauffage. Par conséquent, dans l'analyse qui suit, ΔT_B est équivalent à ΔT , l'apport dû au ventilateur du générateur d'air chaud, G_{FH} , étant égal à zéro.

Puisque l'on n'a pas enregistré la température extérieure sur les lieux de l'expérience pendant toute la durée de la saison froide, les températures extérieures utilisées pour calculer la différence de température ont été établies à partir des données météorologiques recueillies à l'Aéroport international d'Ottawa. On a comparé les températures de l'air extérieur prises sur place et les températures fournies par l'aéroport et elles présentaient un degré de concordance satisfaisant.

Les valeurs de G_F , pour M1 et M2, ont été opposées à ΔT et reportées aux figures 5 et 6. Les données de M1, illustrées à la

figure 5, portent sur la période allant de septembre 1978 à avril 1979, époque où la maison était inhabitée. La figure 6 illustre les données de M2 pendant la période d'occupation, de septembre à mars 1979. La dispersion des données que l'on observe pour M1 peut être attribué aux fluctuations de l'apport calorifique du soleil et des pertes dues à l'infiltration d'air. On attribue la dispersion des données de M2 aux variations de l'apport interne attribuable aux occupants. Les valeurs des caractéristiques P, C et ΔT_B calculées à l'aide de ces données sont les suivantes:

	M1	M2
Coefficient de déperdition thermique, P (en kW/K)	0,151	0,113
Perte nette, C (en kW)	0,17	-0,48
Différence de température de déséquilibre ΔT_B (en K)	1,8	7,4

Ces valeurs, considérées conjointement avec les données climatiques en provenance de l'aéroport, ont été utilisées pour calculer la consommation d'énergie des générateurs d'air chaud de M1 et M2 pour la période du 3 octobre 1978 au 13 mars 1979. Ces calculs avaient pour but de vérifier si les valeurs déterminées pour P, C et ΔT_B permettaient de prévoir la consommation d'énergie des générateurs d'air chaud. Cette période comprend également les lectures qui ont été effectuées manuellement sur la consommation d'énergie facturée pour le chauffage de M1 (inhabitée) et M2 (habitée). On a obtenu les résultats suivants:

	M1 en MW·h	M2 en MW·h
Energie mesurée	14,5	8,3
Energie prévue	14,4	8,3

Bien que les valeurs de P, C et ΔT_B utilisées dans ces calculs fournissent une évaluation de la consommation d'énergie facturée qui soit conforme aux besoins en chauffage annuels dans les conditions d'utilisation auxquelles ces valeurs correspondent (M1 inhabitée et M2 inhabitée), on ne peut les utiliser pour démontrer l'avantage d'une isolation thermique améliorée car les conditions d'usage sont différentes. Pour en faire la preuve, il faudrait calculer la dépense d'énergie pour une saison complète, après que les valeurs de ΔT_B et C de M1 aient été ajustées pour tenir compte de l'absence d'occupants.

La figure 6 nous renseigne sur les valeurs de P, C et ΔT_B qui sont nécessaires pour prévoir la dépense d'énergie annuelle de M2 (habitée). En jetant un coup d'oeil à la figure 5, nous pouvons déterminer la valeur de P pour M1. La valeur de C pour M1 (habitée comme M2) est différente de la valeur de C pour M2 parce que la perte de chaleur au niveau du sous-sol n'est pas la même. Les autres pertes ou

apports, y compris G_S^* , sont à peu près identiques pour les deux maisons. Par conséquent, la valeur de C pour M1 (habitée comme M2) est de -0,40 kW. Il est maintenant possible de calculer la valeur de ΔT_B pour M1 (habitée comme M2): elle s'élève à 5,6 K. Les figures 7 et 8 offrent une représentation schématique des composants du flux thermique pour M2 et M1, lorsque toutes deux présentent des conditions d'usage identiques.

Ces valeurs de P et de ΔT_B pour M1 et M2, établies dans des conditions d'usage identiques, ainsi que les mesures de température de l'air extérieur fournies par l'aéroport d'Ottawa pour 1978-1979 ont été utilisées pour calculer les apports et les pertes d'énergie de M1 et M2 pour toute la saison de chauffage de 1978-1979. On suppose que le thermostat des deux maisons était réglé à 21°C. Les gains et les pertes intégrés s'établissent comme suit:

	M1	M2
	en MW·h	en MW·h
Apport du ventilateur de chaudière	2.3	1.9
Puissance des réchauffeurs de chaudière	<u>14.0</u>	<u>9.4</u>
Puissance totale de la chaudière	16.3	11.3
Apports des appareils ménagers, de l'éclairage, du soleil et des occupants	7.5	7.4
Déperditions de l'enveloppe au-dessus du sol	18.4	13.8
Déperditions au niveau du sous-sol	<u>5.4</u>	<u>4.9</u>
Perte calorifique totale du bâtiment	23.8	18.7

Les calculs précédents indiquent que, dans les mêmes conditions d'usage, la dépense d'énergie pour le chauffage de la construction à rendement thermique amélioré (M2) équivaut à 69 pour cent de la dépense d'énergie pour le chauffage d'une construction normale (M1).

*Etant donné que M1 possède des fenêtres à double vitrage et que M2 possède des fenêtres à triple vitrage, le coefficient de transmission de la lumière solaire accuse un écart de 10 pour cent (0,9 à 0,8). L'utilisation de rideaux permettra de niveler ces valeurs et, avec des conditions d'usage identiques, on peut supposer que G_S sera identique dans les deux cas.

COMPARAISON À L'AIDE DE METHODES DE CALCUL SIMPLES

Il est possible de comparer la dépense en énergie d'une construction normale (M1) et d'une construction à rendement thermique amélioré (M2), calculée de la façon indiquée à la section précédente, aux résultats obtenus à l'aide de méthodes simples d'évaluation des besoins saisonniers en chauffage. Les méthodes qui ont été choisies pour effectuer cette comparaison sont:

- 1) la méthode du coefficient de déperdition thermique nette annuelle (NAHLF)³,
- 2) la méthode modifiée degré-jour de l'ASHRAE (MDD)⁴,
- 3) la formule de l'Association nationale des fabricants d'équipement électrique (NEMA), utilisée à l'intérieur du document intitulé "Determining the Optimum Thermal Resistance for Walls and Roofs"⁵ (NEMA).

Il est nécessaire de posséder des données sur les degrés-jours pour effectuer cette comparaison; la mesure de degrés-jours pour 1978-1979, à Ottawa, est de 4754 (calculée sur une base de 18°C). La mesure normale de degrés-jours s'élève à 4674. Les facteurs U des éléments de construction des maisons ont été déterminés d'après les détails de construction. On a présupposé un taux de changement d'air de 0,3 changements d'air/heure pour M1 et de 0,2 changements d'air/heure pour M2. Ces chiffres ont été établis à partir des valeurs du taux de changement d'air qui ont été obtenues à la suite de mesures effectuées à l'aide d'un gaz de dépistage.

Pour fins de comparaison des différentes méthodes, nous n'avons considéré que la consommation d'énergie facturée de la section située au-dessus du niveau du sol parce qu'une des méthodes (NAHLF) ne permet pas de calculer la consommation d'énergie pour la section située sous le niveau du sol. Pour obtenir cette mesure pour M1 et M2, nous avons posé l'équation suivante:

$$\text{PE (niveau au-dessus)} = \text{PE (total)} \times \frac{\text{perte du sous-sol}}{\text{perte totale}}$$

du sol)

Ce qui nous donne les valeurs suivantes pour la consommation d'énergie facturée au-dessus du sol: 12,6 MW × h pour M1 et 8,3 MW × h pour M2.

La consommation d'énergie facturée pour le chauffage, calculée à l'aide des différentes méthodes a été établie comme suit:

	M1 en MW·h	M2 en MW·h	Différence
Résultats de l'expérience	12,6	8,3	4,3
NAHLF	13,4	8,0	5,4
MDD	12,2	7,9	4,3
NEMA	14,7	9,6	5,1

La méthode MDD fournit une prévision assez juste de la charge de chauffage saisonnière, alors que la méthode NEMA ne permet pas une prévision aussi exacte. Les méthodes NAHLF et MDD permettent toutes deux de prévoir les charges de chauffage avec une marge d'erreur de 10 pour cent, comparativement aux charges de chauffage révélées par l'expérience effectuée sur M1 et M2. En comparant les différences entre les valeurs en énergie prédites pour M1 et M2, on constate que la méthode MDD fournit également une très bonne évaluation des avantages d'une isolation thermique améliorée.

CONCLUSION

L'analyse des données recueillies au cours de la première saison complète qu'a duré le projet indique que l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air améliorées de M2 ont permis de réduire la charge annuelle de chauffage de 31 pour cent, comparativement à la maison isolée de façon normale. Seulement 10 pour cent de cette diminution de la charge de chauffage est attribuable au niveau d'isolation plus élevé du sous-sol de M2. Par ailleurs, une portion significative des déperditions thermiques des maisons (25 pour cent) se produit sous le niveau du sol. En comparant les charges de chauffage mesurées au cours de l'expérience avec celles obtenues à l'aide des trois méthodes de prévision, on constate que les méthodes de prévision NAHLF et MDD ont permis de calculer des charges qui correspondent, jusqu'à un certain point, aux charges mesurées.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire souligner l'aide technique apportée par M. D.L. Logan dans la mise en place de l'appareillage technique et l'évaluation du projet et également remercier M. C.Y. Shaw, D.Ph., pour les renseignements que celui-ci lui a fournis concernant les taux de changement d'air.

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 sur le bâtiment, Note d'information de recherche sur le bâtiment, 131F, janvier 1980.

2. BROWN, W.C. et G.D. SCHUYLER, A Calorimeter for Measuring Heat Flow through Walls. Communication présentée à la "Conference on the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings de l'ASHRAE/DOE", Orlando, Floride, décembre 1979.
3. MITALAS, G.P. Net Annual Heat Loss Factor Method for Estimating Heat Requirements of Buildings. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Building Research Note 117, November 1976.
4. ASHRAE Handbook. 1976 Systems Volume. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
5. STEPHENSON, D.G. Détermination de la résistance thermique optimale pour les murs et les toits. Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches sur le bâtiment, Note d'information de recherche sur le bâtiment, 105F, janvier 1976.
6. 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, June 1979.

TABLEAU I
COMPARAISON DES PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES MAISONS

ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION	MAISON	
	M1	M2
Murs	R = 2,1 (12)*	R = 3,5 (20)
Plafond	R = 3,5 (20)	R = 5,6 (32)
Murs du sous-sol	R = 1,2 (7) - 0,9 m sous le niveau du sol sur la face interne du mur.	R = 1,3 (7,5) - sur toute la hauteur de la surface extérieure du mur.
Fenêtres	double vitrage scellé, coulissante	triple vitrage scellé, guillotine
Portes extérieures	portes isolées, en acier.	portes isolées en acier avec contreportes.
Fuite d'air @ 10 Pa (tiré de la réf. n°6)	0,16 m ³ /s	M2 - 0,12 m ³ /s M3 - 0,14 m ³ /s** M4 - 0,12 m ³ /s

*La résistance, R, est donnée en unités métriques (m²·K/W) et les équivalences en unités thermiques anglaises (pi²·°F·h/Btu) sont indiquées entre crochets.

**L'étanchéité à l'air moins élevée de M3, comparativement à M2 et M4, est attribuable aux sources de fuite d'air introduites par le système de chauffage solaire.

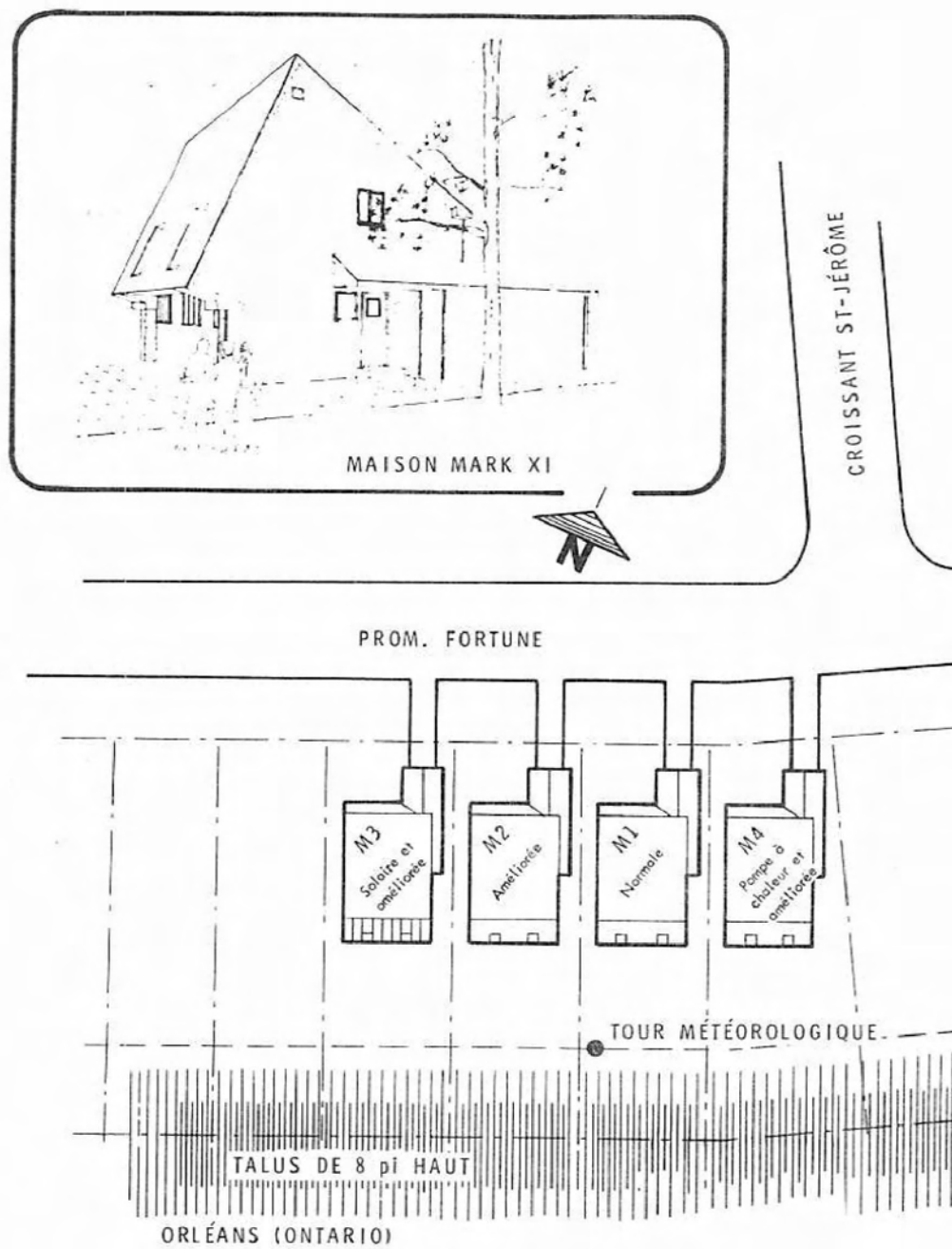


FIGURE 1
PLAN D'IMPLANTATION DU PROJET MARK XI

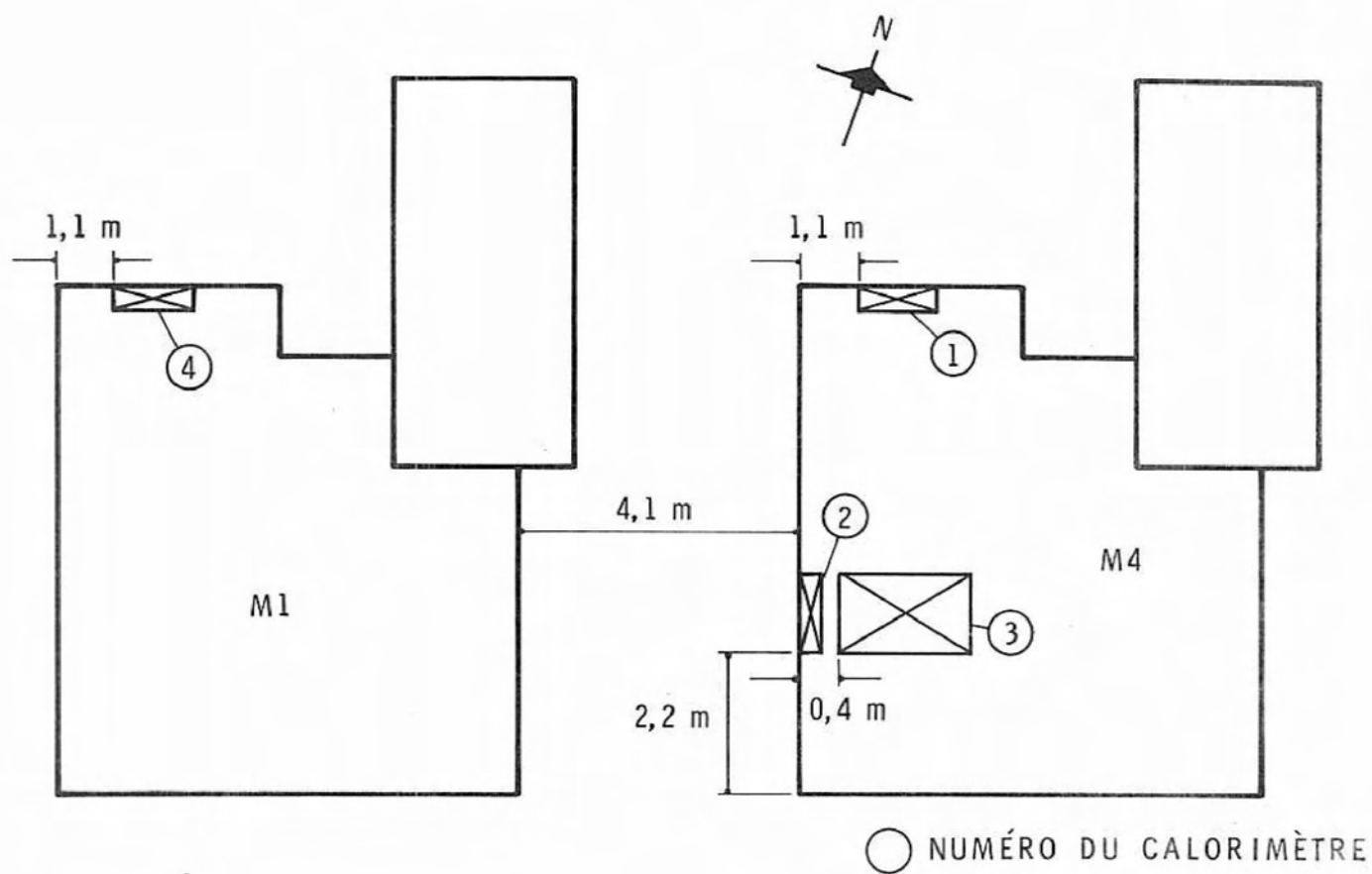


FIGURE 2
EMPLACEMENT DES CALORIMÈTRES DU SOUS-SOL

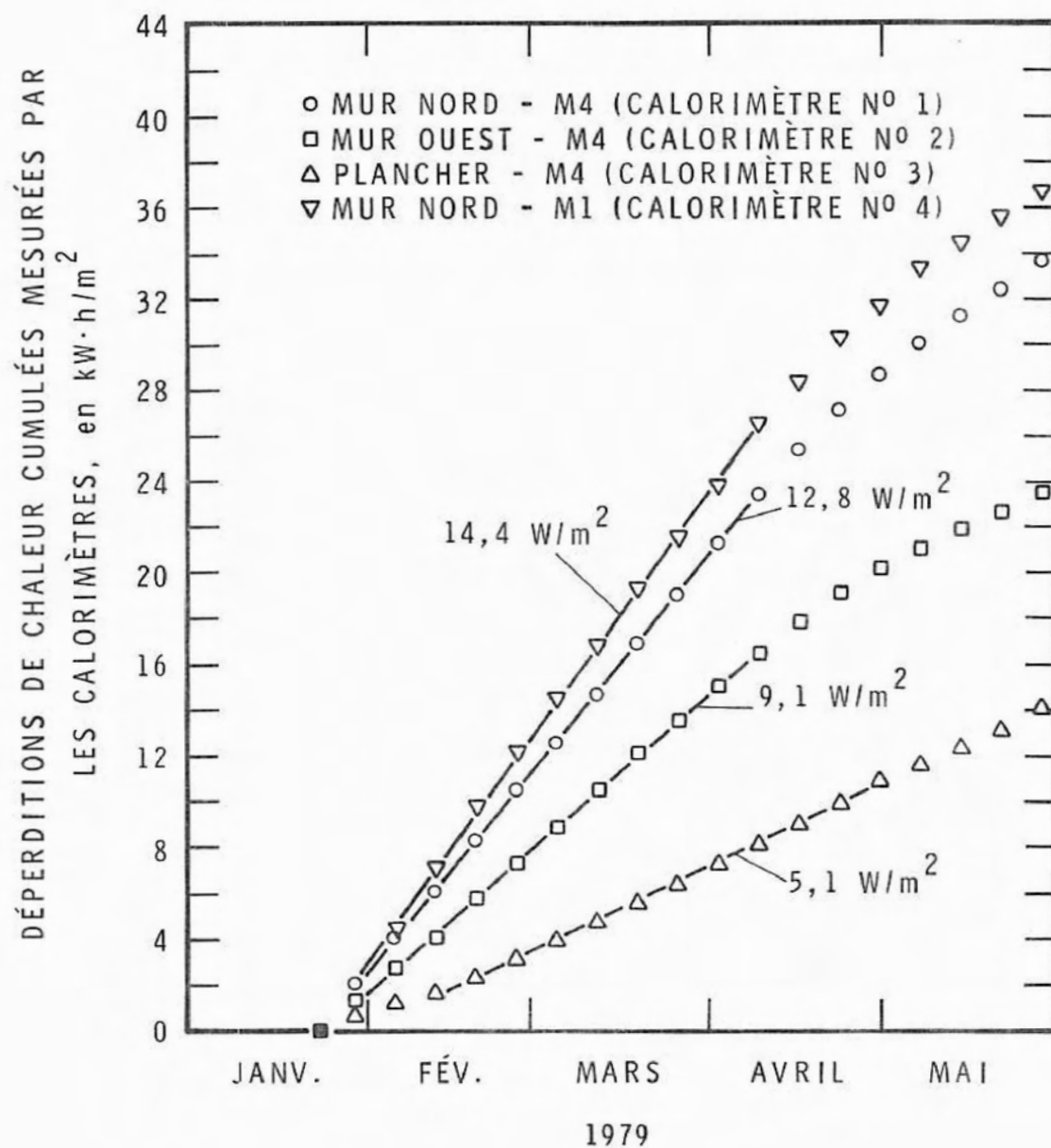


FIGURE 3

DÉPERDITIONS DE CHALEUR DU SOUS-SOL MESURÉES
PAR LES CALORIMÈTRES

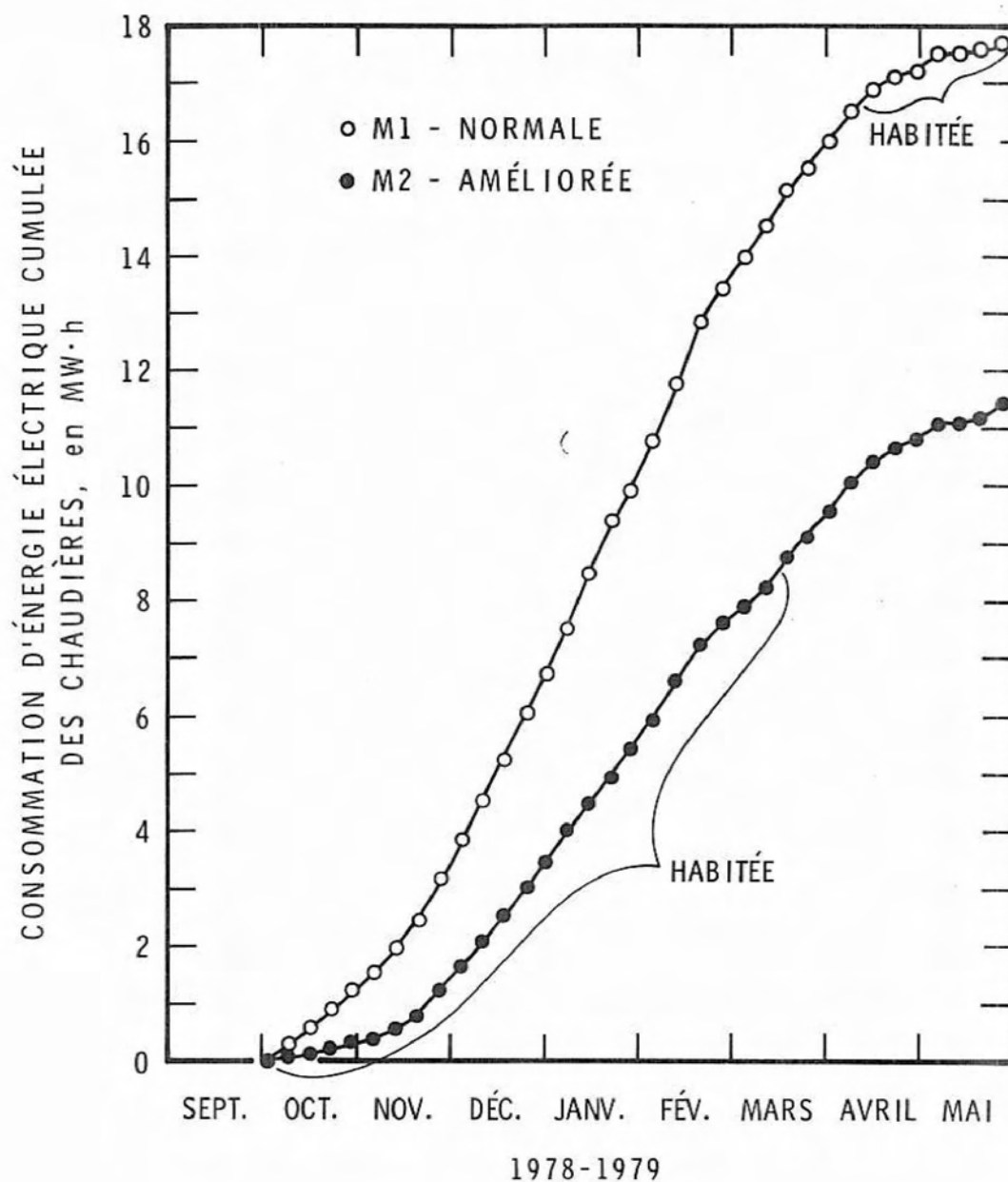


FIGURE 4

CONSOMMATION D'ÉNERGIE FACTURÉE POUR LE
CHAUFFAGE DES LOCAUX POUR 1978-1979

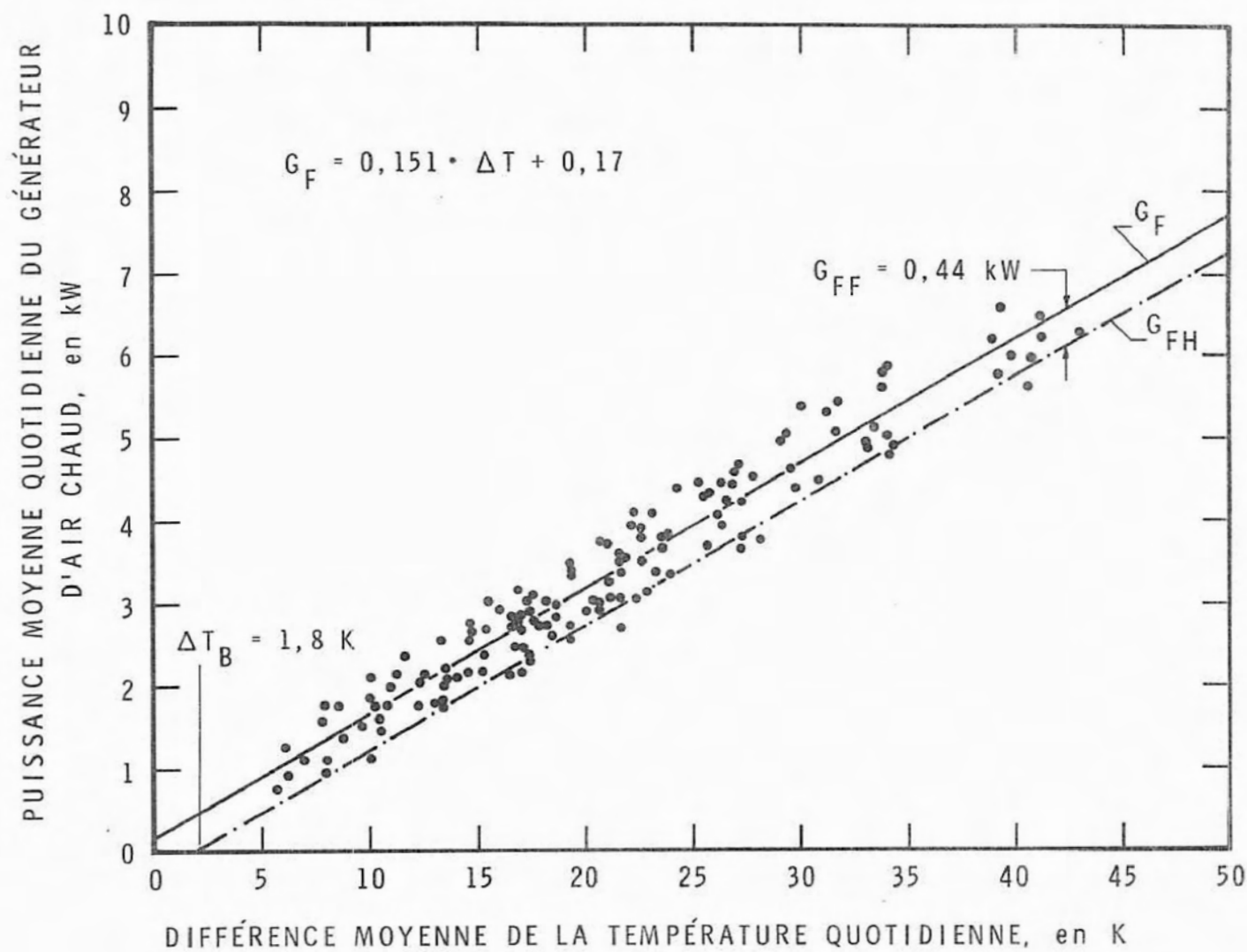


FIGURE 5

PUISSANCE DE LA CHAUDIÈRE DE M1 (INHABITÉE) POUR 1978-1979

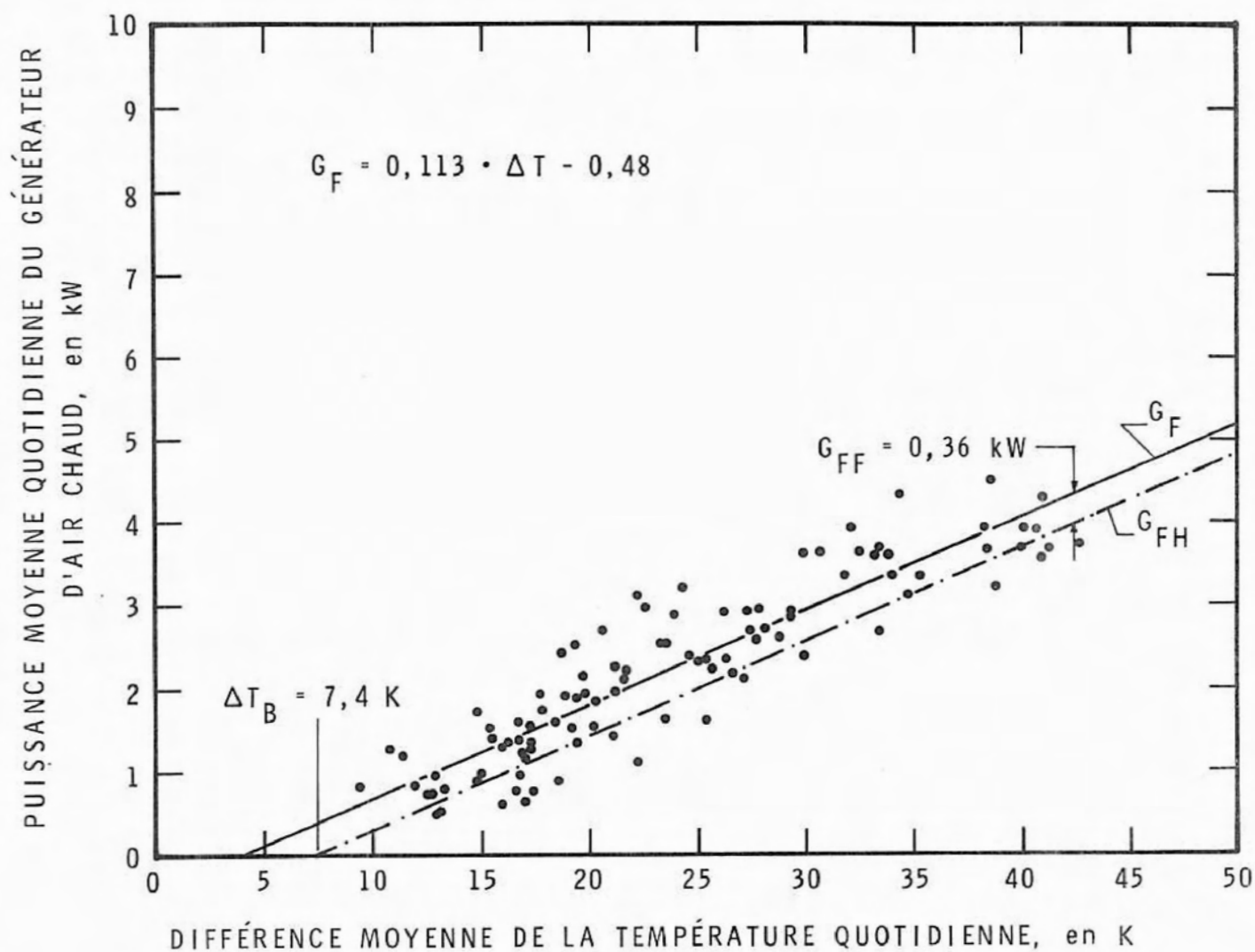


FIGURE 6

PUISSANCE DE LA CHAUDIÈRE DE M2 (HABITÉE) POUR 1978-1979

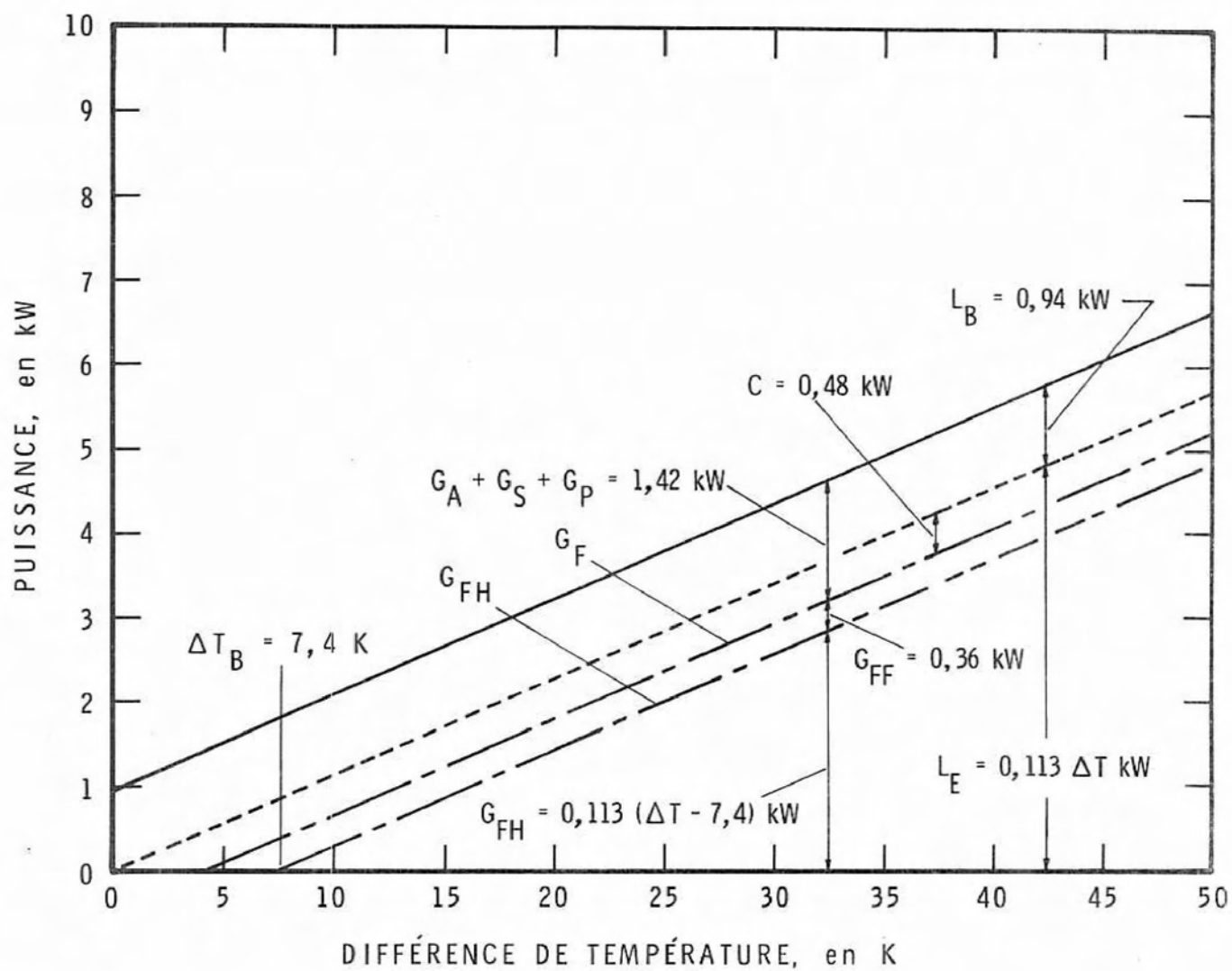


FIGURE 7
BILAN THERMIQUE DE M2 (HABITÉE)

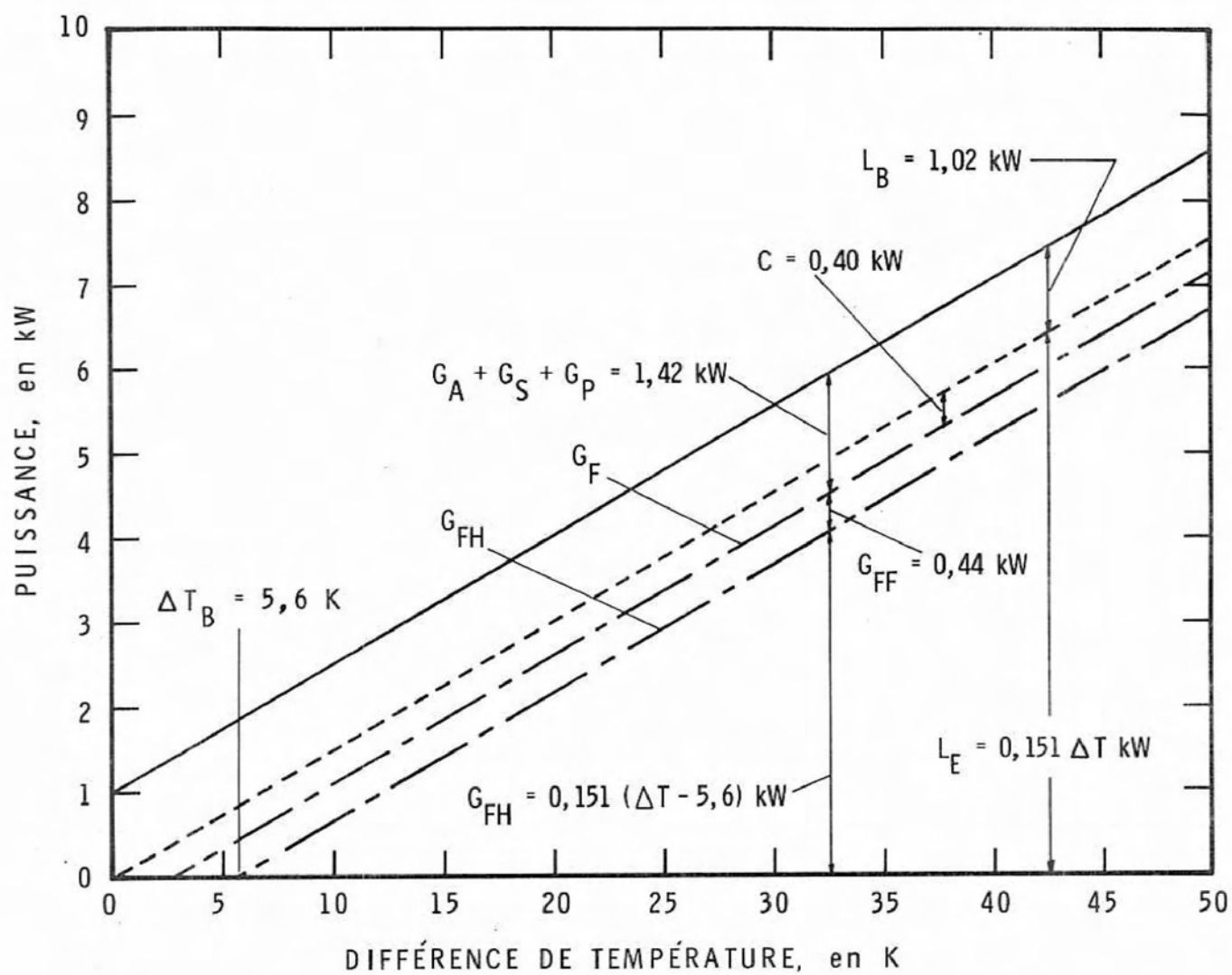


FIGURE 8

BILAN THERMIQUE DE M1 (HABITÉE COMME M2)