

GUIDE DU CONSTRUCTEUR

**vers l'efficacité énergétique
dans les logements neufs**



GUIDE DU CONSTRUCTEUR

**vers l'efficacité énergétique
dans les logements neufs**



Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie
et des Ressources



Association provinciale
des constructeurs d'habitation
du Québec

Traduction de *Builders' Guide to Energy Efficiency in New Housing*, ouvrage publié par l'Association canadienne de l'habitation et du développement urbain et le ministère de l'Énergie de l'Ontario, Toronto, 1980.

Traduction et adaptation par Gilbert Paré, architecte, pour le compte de l'Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec et du Bureau des économies d'énergie (Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources), qui ont collaboré à l'adaptation.

Édition réalisée à la
Direction de l'édition
Direction générale des
publications gouvernementales

Gestion du projet à l'édition
Bruno Giroux
Eugénie Lévesque
Direction générale des
publications gouvernementales

Collaboration à l'adaptation
Michel Lacroix

**Coordination des travaux
de préparation du manuscrit**
Diane Barré
Ministère de l'Énergie
et des Ressources

Graphisme
Dominique Duffaud

Composition et montage
Typo Litho composition Inc.

Impression
Imprimerie l'Éclairneur Inc.

Dépot légal — 4^e trimestre 1982
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-551-04746-X

© Gouvernement du Québec

Remerciements

Le ministère ontarien de l'Énergie et l'HUDAC (Housing and Urban Development Association of Canada), auteurs et éditeurs du Builder's Guide, nous ont aimablement offert les droits de traduction et d'édition de cet ouvrage. Nous tenons à les remercier de cette précieuse coopération.

Nous remercions aussi tout particulièrement monsieur Gilbert Paré, architecte, pour son minutieux travail de traduction et pour sa collaboration soutenue tout au long du processus d'édition.

Merci enfin à tous ceux et celles qui ont contribué à l'adaptation, à la présentation et à l'édition du Guide du constructeur.

Note du traducteur-adaptateur

Les normes, règlements et projets de règlement touchant l'économie de l'énergie dans les bâtiments se sont multipliés au cours des dernières années et sont loin d'avoir fini de subir des modifications. De même, le coût des différentes sources d'énergie, au Canada et au Québec, continue d'évoluer d'un trimestre à l'autre. Dans ces conditions, il se révélait difficile de déterminer quelles seraient les données les plus valables pour le Québec au moment de la parution du présent ouvrage.

Nous avons choisi de conserver les normes de construction et les prix de l'énergie utilisés dans la version originale. On peut en effet leur conférer une valeur indépendante du temps, du lieu et de la source d'énergie employée. De plus, la valeur des recommandations demeure à peu près entière, de même que celle des comparaisons entre les améliorations proposées.

Les normes d'économie d'énergie utilisées sont décrites à l'annexe C. Les prix de l'énergie sont indiqués à la note 4 du chapitre 4.

G.P.

Préface

Les constructeurs et les propriétaires de maisons peuvent jouer un rôle important dans la conservation des ressources énergétiques du Canada. Le stock actuel de logements s'élève à environ sept millions d'unités. Au cours des années quatre-vingt, ce nombre devrait s'accroître d'environ trente pour cent. La façon dont ces maisons seront conçues et construites aura un effet considérable sur la quantité d'énergie que notre société consommera pour se loger.

La plupart des constructeurs s'estiment occupés en totalité par leurs activités ordinaires telles que le financement de leurs opérations, l'acquisition des terrains, la construction et la vente des maisons. Il ne leur reste que peu de temps pour chercher de façon active des solutions techniques permettant d'accroître l'efficacité énergétique de leurs constructions. Bien qu'il existe sur ce sujet une abondante documentation, les constructeurs ne disposent pas à ce jour d'un guide complet offrant des suggestions pratiques et réalistes.

Le présent ouvrage se propose d'informer et de guider le constructeur canadien en matière d'économie de l'énergie. Il offre, pour le secteur du logement neuf, des suggestions utiles sur la conception et la construction de maisons à faible consommation d'énergie. Le constructeur peut utiliser ces suggestions pour améliorer la qualité de sa production et offrir aux acheteurs des possibilités d'économie.

Le Guide limite son étude au logement de faible hauteur (maisons individuelles, maisons jumalées, duplex, maisons en rangée, petits immeubles de trois étages), qui constitue et devrait continuer de constituer le type de logement le plus répandu au Canada.

Le coût de l'énergie augmente sans cesse et l'avenir des ressources énergétiques ne va pas sans susciter certaines inquiétudes. En conséquence, les gouvernements, partout au Canada, sont à réviser la réglementation du bâtiment pour réduire la consommation d'énergie. Le règlement que prépare en ce moment (avril 1982) le gouvernement du Québec est beaucoup plus exigeant que les normes sur lesquelles est basé le présent ouvrage. Par conséquent, le « cas de référence » utilisé dans ces pages est en-deçà des normes prévues, de même que certaines des améliorations suggérées.

Le Guide fournit ce dont les constructeurs estimeront sans doute avoir le plus besoin, c'est-à-dire une information technique claire et précise de laquelle l'aspect doit n'est pas absent. Il met l'accent sur ce qu'on doit faire, comment on doit le faire (en déclinant au besoin les méthodes spéciales à utiliser ou les précautions particulières à prendre) et pourquoi il est important de le faire. Les explications scientifiques ont été limitées au minimum: il existe sur ces questions d'excellentes publications et le lecteur pourra obtenir auprès de l'ACHDU la bibliographie des ouvrages de base utilisés pour la rédaction du présent ouvrage.

Toutes les dimensions et valeurs, tous les calculs de perte de chaleur sont en système international d'unités (système métrique). Entre autres, nous appelons « valeur R » les valeurs appelées « R_{10} » dans d'autres publications. Les degrés-jours sont en degrés Celsius.

Table des matières

Abréviations et facteurs de conversion	XIV
Chapitre 1 L'économie de l'énergie dans l'habitation Tour d'horizon rapide sur l'énergie au Canada et ses rapports avec l'habitation	1
Chapitre 2 Le souci de l'énergie dans la conception des logements L'utilisation de l'énergie dans une unité d'habitation. Considérations sur la forme du logement, son aménagement intérieur, son emplacement et son aménagement paysager	5
Chapitre 3 L'étanchéité à l'air, la ventilation et la réduction de l'humidité Exposé sur la ventilation, les pare-vapeur et l'humidité	17
Chapitre 4 Quelques solutions pour l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment Illustration et étude de diverses solutions d'enveloppe	25
Chapitre 5 Le chauffage et la climatisation Quelques solutions pour améliorer le chauffage, y compris l'utilisation de l'énergie solaire	83
Chapitre 6 Chauffage de l'eau chaude domestique La conception du système d'eau chaude domestique et ses sources d'énergie	101
Chapitre 7 L'éclairage et les appareils électroménagers Exposé sur l'éclairage et les principaux appareils électroménagers	105
Chapitre 8 Comment choisir un ensemble de solutions Considérations sur les approches menant au choix d'un ensemble quelconque d'améliorations. Considérations d'ordre économique pour divers types de logements	109
Chapitre 9 Comment vendre les caractéristiques d'économie de l'énergie Principes et méthodes de promotion et de vente des caractéristiques d'économie de l'énergie	115
Annexes	121
Index	139

Abréviations et facteurs de conversion

ACNOR	Association canadienne de normalisation	Pa	Pascal (1 Pa = un newton par mètre carré = 0,021 livre-force par pied carré)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	R	Resistance à la transmission de la chaleur, en m ² ·°C/W. Equivaut à 0,176 R en unités impériales.
CSA	Canadian Standards Association	W	Watt (1 W = un joule par seconde)
HRAI	Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Institute		
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement		
ULC	Underwriters' Laboratories of Canada		
DJ	Degrés-jours. Le total annuel des degrés-jours est la somme des différences entre 18 °C et la température moyenne de chaque jour de l'année, lorsque la température moyenne est au-dessous de 18 °C.		
G	Facteur de perte globale de chaleur pour un bâtiment, exprimé en MJ/h·°C ou en W/°C		
GJ	Gigajoule (1 GJ = 1 000 MJ)		
FPC	Facteur de perte de chaleur exprimée en watts par degré Celsius et par mètre (W/°C·m)		
J	Joule		
kg	Kilogramme (1 kg = 2,2 lb)		
kWh	Kilowattheure (1 kWh = 3,6 MJ = 3 413 B.T.U.)		
L	Litre (1 L = 0,0353 pieds cubes = 0,220 gallon impérial)		
MJ	Mégajoule (1 MJ = 1 000 000 J = 947,8 B.T.U.)		
m²	Mètre carré (1 m ² = 10,76 pieds carrés)		
m³	Mètre cube (1 m ³ = 35,314 pieds cubes = 1 000 L)		
mini	Minimum		

Un litre de mazout n° 2 dégage 38 MJ de chaleur.

Un mètre cube de gaz naturel dégage 37 MJ de chaleur.

Chapitre 1

L'économie de l'énergie dans l'habitation

1.1	L'utilisation actuelle de l'énergie au Canada	2
1.2	Les tendances dans l'approvisionnement en énergie pour le secteur du logement neuf	2
1.3	Le coût de l'énergie	3
1.3.1	Évolution du coût de l'énergie	3
1.3.2	Coûts futurs de l'énergie	3
1.4	Les possibilités additionnelles d'économie de l'énergie dans les logements neufs	4

Le présent chapitre expose quelques généralités sur l'utilisation de l'énergie dans l'habitation au Canada. Il indique quelle portion de l'énergie totale utilisée est consacrée à l'habitation, étudie l'évolution récente de l'approvisionnement en énergie et de son coût pour le secteur de l'habitation, décrit les tendances actuelles, fait quelques projections pour le futur immédiat et énumère les principales possibilités d'économie d'énergie dans le logement neuf.

1.1 L'utilisation actuelle de l'énergie au Canada

Pour bien situer les efforts faits pour améliorer les caractéristiques énergétiques des logements neufs, il est utile de faire un panorama de la demande d'énergie au Canada. La figure 1.1 indique les secteurs d'utilisation de l'énergie. L'industrie en absorbe 28%, le transport 26%, l'habitation 20%¹. Le secteur commercial et la production d'énergie sont moins importants, représentant respectivement 11 et 12% de l'énergie totale utilisée.

Le secteur de l'habitation fait appel principalement à trois sources d'énergie (figure 1.2). Le mazout est de loin la source la plus importante, répondant à 56% des besoins. Le gaz naturel en comble actuellement 25% et l'électricité, 19%. Le bois et le propane sont aussi utilisés, mais dans une faible proportion².

1.2 Les tendances dans l'approvisionnement en énergie pour le secteur du logement neuf

Les chiffres que nous venons de citer décrivent la consommation du secteur du logement dans son ensemble, mais ne reflètent pas les tendances du secteur de logement neuf. Dans ce secteur, les facteurs les plus importants qui gouvernent le choix des sources d'énergie sont la disponibilité de cette énergie et son coût. Les choix varient d'une région à l'autre. Les tendances suivantes se sont révélées au cours des dernières années et devraient vraisemblablement se maintenir:

- **Le gaz naturel en Ontario, dans les Prairies et en Colombie-Britannique.** En Alberta, la disponibilité immédiate du gaz naturel et son coût relativement peu élevé ont conduit à l'utilisation abondante de cette source d'énergie. Grâce à un système adéquat de transport par pipelines, il en va de même dans le reste des Prairies, en Colombie-Britannique et en Ontario.
- **L'électricité au Québec, à Terre-Neuve et au Nouveau-Brunswick.** L'électricité est la source d'énergie la plus commune pour les nouveaux logements au Québec, à Terre-Neuve et au Nouveau-Brunswick. Les deux premières de ces provinces disposent de sources d'énergie hydro-électrique. Au Nouveau-Brunswick, l'électricité a la faveur des constructeurs, probablement en raison du faible coût d'installation des systèmes.

- **Le mazout dans l'Île-du-Prince-Édouard et en Nouvelle-Écosse.** Ces provinces se sont récemment tournées vers le mazout d'importation. Cette solution semble plus économique que l'utilisation du pétrole pour produire de l'électricité en raison des pertes découlant de la production et de la transmission.

Ces tendances semblent devoir se maintenir, mais divers facteurs pourraient les modifier, comme la création de nouvelles sources d'énergie, la construction de nouveaux systèmes de transport d'énergie et l'amélioration des méthodes actuelles de production d'énergie.



FIGURE 1.1 UTILISATION DE L'ÉNERGIE PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ



FIGURE 1.2 SOURCES D'ÉNERGIE POUR LE SECTEUR DE L'HABITATION

1 Y compris les usages agricoles.

2 Pour le Québec, les proportions sont les suivantes : mazout 50%, gaz 7%, électricité 43% (1981).

1.3 Le coût de l'énergie

Le coût de tous les types d'énergie s'est accru considérablement au cours des dernières années et on prévoit que cette tendance se continuera. Beaucoup de personnes autorisées expriment de l'inquiétude face à d'éventuelles difficultés d'approvisionnement. Cette section présente une étude comparative de l'augmentation du coût des différents types d'énergie, et y ajoute des prévisions allant jusqu'en 1985.

1.3.1. Évolution du coût de l'énergie

La comparaison des taux annuels de croissance donne une image juste de l'évolution des coûts de différentes sources d'énergie. Il est également instructif de comparer ces taux de croissance avec le taux général d'inflation (taux de croissance de l'indice des prix à la consommation) et le taux de croissance du revenu personnel après impôt.

La figure 1.3 indique comment le coût des trois types d'énergie et la valeur des deux indicateurs économiques susmentionnés se sont accrues par rapport à leur valeur en 1965 (1965 = 100)³. À remarquer spécialement, pour la période 1965-1978:

- Le revenu personnel après impôt s'est accru beaucoup plus vite (en 1978, il est 3,5 fois plus élevé qu'en 1965) que l'indice des prix à la consommation (environ le double en 1978 de ce qu'il était en 1965).
- Le coût du mazout a augmenté à peu près au même rythme que celui de l'électricité et du gaz jusqu'en 1970-1971 environ. Par la suite, il s'est mis à croître beaucoup plus rapidement, en raison principalement de facteurs extérieurs au Canada.
- Le prix de l'électricité et celui du gaz naturel ont augmenté approximativement au même rythme de 1965 à 1978, un peu plus rapidement que l'indice des prix à la consommation, mais de façon plus modérée que le coût du mazout.

1.3.2. Coûts futurs de l'énergie

La figure 1.3 illustre également la projection des coûts des trois principales sources d'énergie pour la période 1978-1985, ainsi que l'évolution prévue de l'indice des prix à la consommation.

Pour ce qui est des coûts de l'énergie, les valeurs indiquées constituent une moyenne de diverses prévisions. Quant à l'indice des prix à la consommation, la présente étude lui fixe arbitrairement un taux annuel d'inflation de 9% pour la période étudiée.

En incluant ce taux annuel d'inflation générale, le prix des divers types d'énergie, pour la période 1978-1985, devrait marquer les taux annuels d'accroissement suivants:

- Mazout: 12,6%
- Gaz naturel: 12,5%
- Électricité: 10,5%

Bien que l'accroissement réel du coût de l'énergie puisse se révéler plus brutal qu'il n'est prévu, il y a lieu de croire, dans l'état actuel des connaissances, que l'accroissement moyen au cours de la période sera sensiblement égal à ces prévisions. En somme, il est probable que le taux d'accroissement du coût de l'énergie continuera d'être supérieur au taux général de l'inflation.

De plus, les pourcentages annuels d'accroissement du coût du mazout et du gaz semblent devoir être supérieurs au taux d'intérêt hypothécaire, qui est habituellement de 1,5 à 3 points supérieur au taux général d'inflation. À noter que c'est cette différence entre le coût de l'hypothèque et le taux d'inflation qui constitue le coût réel de l'emprunt⁴.

L'accroissement du coût de l'énergie influence les attitudes des consommateurs et se reflète dans le souci grandissant du public devant la question de l'énergie et dans l'intérêt qu'il manifeste pour les mesures d'économie.

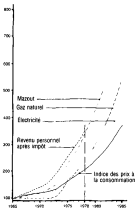


FIGURE 1.3 TENDANCES ET PROJECTIONS DU COÛT DE L'ÉNERGIE

³ Indice des prix à la consommation à Toronto; indice du revenu moyen après impôt en Ontario; indices du coût du mazout, du gaz naturel et de l'électricité à Toronto.

⁴ Pour les fins des études de coût-avantage utilisées dans le présent ouvrage, la différence entre le taux d'intérêt hypothécaire et le taux d'inflation a été fixée à 2%.

1.4 Les possibilités additionnelles d'économie de l'énergie dans les logements neufs

Quelle que soit la source d'énergie que l'on utilise, on peut, en dépassant les minimums exigés par la réglementation, réaliser des économies additionnelles d'énergie.

L'accroissement de l'efficacité énergétique d'un bâtiment en diminue le coût annuel d'utilisation. On peut donc, sans même accroître la dépense totale représentée par le chauffage et le remboursement du prêt, consacrer à l'accroissement de l'efficacité énergétique un montant additionnel qu'il est facile de calculer.

À Toronto, une maison qui permettrait une réduction de 20% de la consommation d'énergie, par rapport à une maison construite strictement selon les normes, pourrait être vendue 700 \$ plus cher, car les économies d'énergie contrebalanceraient dès la première année l'augmentation des versements hypothécaires⁵. Si la maison était construite à Thunder Bay, où le coût de l'énergie est plus élevé, l'augmentation du prix de la maison pourrait dépasser 1 000 \$.

Et encore ces calculs sont-ils basés sur le coût actuel de l'énergie. Or celui-ci continuera de croître et les avantages provenant de l'amélioration de l'efficacité énergétique de la maison ne peuvent donc qu'augmenter au cours des prochaines années. Dans les exemples ci-dessus, l'écart entre l'accroissement des économies d'ordre énergétique et l'accroissement des paiements hypothécaires ne fera que devenir de plus en plus important.

Étant donné que le taux de croissance du coût de l'énergie a été plus rapide que le taux d'inflation au cours des dernières années, et que cette tendance se maintiendra probablement, le supplément de coût occasionné par les caractéristiques énergétiques additionnelles peut être un investissement avantageux, dans l'immédiat aussi bien qu'à long terme. Le constructeur qui offrira ces caractéristiques disposera au départ d'un avantage indéniable sur ses concurrents offrant le produit strictement conforme à la réglementation. Comme les acheteurs sont, à mesure de l'augmentation des prix, de plus en plus soucieux d'économiser l'énergie, l'attrait des caractéristiques d'efficacité énergétique des maisons augmentera en conséquence.

⁵ L'exemple est basé sur une maison de deux étages d'une surface totale de 187 m², affectée d'une hypothèque dont la période d'amortissement est de 35 ans et le taux d'intérêt de 10 ou 11%; le coût du mazout est de 0,132 \$ le litre.

Chapitre 2

Le souci de l'énergie dans la conception des logements

2.1	Déperdition et conservation de la chaleur	5
2.1.1	L'équilibre énergétique	6
2.1.2	Comment une maison perd de la chaleur	7
2.1.3	Combien il faut investir dans l'économie de l'énergie	8
2.1.4	Economie de l'énergie et confort	9
2.2	Considérations sur la conception de la maison	10
2.2.1	Recommandations	10
2.2.2	La forme de la maison	11
2.2.3	La disposition intérieure de la maison	13
2.2.4	Le choix de l'emplacement et l'aménagement paysager	14

Le présent chapitre est une introduction aux diverses mesures d'efficacité énergétique que le constructeur peut appliquer dans ses maisons. Il fournit une information de base sur les pertes et les gains de chaleur, l'influence de la forme de la maison, de la disposition des pièces, de l'emplacement de la maison et de l'aménagement extérieur sur les pertes de chaleur. Il présente des façons de mesurer les coûts et les avantages des caractéristiques d'économie d'énergie, et fait quelques commentaires sur le confort et la satisfaction des usagers.

2.1 Déperdition et conservation de la chaleur

2.1.1. L'équilibre énergétique

Un logement est normalement dans un état d'équilibre au point de vue énergétique: les gains de chaleur sont exactement égaux aux pertes de chaleur. Lorsque cet équilibre est rompu, la température monte ou descend jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

La figure 2.1 illustre l'équilibre énergétique d'une maison typique par un jour froid d'hiver. Il est à remarquer que seulement 83% du gain de chaleur provient du système de chauffage. Dans l'ensemble de la saison de chauffage, le pourcentage fourni par le système de chauffage est encore plus faible. En effet, le besoin total de chauffage (le total des pertes de chaleur) diminue lorsque la température extérieure augmente, mais les autres sources de chaleur (les personnes, les appareils, l'éclairage et l'eau chaude) demeurent essentiellement constantes, ou peuvent même augmenter (c'est le cas de la chaleur solaire). Cette situation est illustrée dans la figure 2.2. Au début de l'automne et à la fin du printemps, le système de chauffage n'a pas à fournir de chaleur, toute la perte étant contrebalancée par les autres sources. La chaleur fournie par ces autres sources est en quelque sorte une chaleur « gratuite ».

La figure 2.2 illustre d'une façon simplifiée la relation des pertes et des gains de chaleur. Les pertes de chaleur varient selon la température, et cette dernière est loin de suivre une courbe aussi régulière. Il en va de même pour le gain de chaleur solaire. Même les autres sources de chaleur sont variables d'une journée à l'autre. L'illustration est tout de même suffisamment conforme à la réalité pour pouvoir servir aux fins du présent exposé.

Pour une maison typique du sud de l'Ontario, isolée en conformité avec la réglementation, la chaleur totale achetée (zone ombrée de la figure 2.2) représente environ 67% des besoins de chaleur au cours de la saison de chauffage. Si cette maison était située dans un climat plus froid tout en recevant le même ensoleillement, la perte totale de chaleur augmenterait, et cet accroissement devrait être compensé par une participation accrue du système de chauffage.

Si, à l'inverse, on obtient une réduction des pertes de chaleur en augmentant, par exemple, la quantité d'isolation, la contribution du système de chauffage diminue.

Ce fait est illustré par la figure 2.3. Cette réduction se fait de deux façons. Non seulement la contribution du système de chauffage, à tout moment de la saison, est-elle moins élevée, mais de plus la saison de chauffage est moins longue.

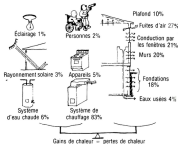


FIGURE 2.1 GAINS ET PERTES DE CHALEUR, PAR UN JOUR FROID D'HIVER, D'UNE MAISON ISOLÉE EN CONFORMITÉ AVEC L'ANNEXE C



FIGURE 2.2 GAINS ET PERTES DE CHALEUR PENDANT LA SAISON DE CHAUFFAGE

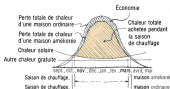


FIGURE 2.3 GAINS ET PERTES DE CHALEUR DANS UNE MAISON AMÉLIORÉE

2.1.2. Comment une maison perd de la chaleur

Toute la chaleur fournie à une maison finit par se dissiper à l'extérieur. On ne peut pas empêcher cette déperdition de se produire; on peut toutefois la ralentir.

La transmission de la chaleur

La chaleur se transmet de trois façons comme l'indique, par des exemples simples, la figure 2.4.

Conduction:
transmission de la chaleur à travers un corps



Convection:
transmission de la chaleur par le chauffage ou le refroidissement d'un fluide tel que l'air



Rayonnement:
transmission de la chaleur sans l'intervention d'aucun corps



FIGURE 2.4 MÉCANISMES DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR

Ces modes de transmission de la chaleur se combinent de différentes façons pour transporter la chaleur de l'intérieur d'une maison vers l'espace extérieur froid. Par exemple, les trois mécanismes agissent à l'intérieur d'un mur creux non isolé:

1. Bien que l'air soit un mauvais conducteur de la chaleur, une petite partie de la chaleur est transmise par **conduction** à travers l'air.
2. L'air qui est en contact avec la face intérieure chaude est réchauffé et devient plus léger que le reste de l'air de l'espace. Il s'élève vers le sommet du mur, puis est poussé vers la face extérieure où il se refroidit. Il devient alors plus lourd, descend vers le bas du mur et revient vers la face intérieure, où le processus recommence. La perte de chaleur due à la **convection** est beaucoup plus considérable que celle qui résulte de la conduction.

3. Même si, en extrayant l'air du mur, on y faisait le vide parfait, la surface intérieure chaude continuerait de **rayonner** de la chaleur vers la face extérieure et la réchaufferait, un peu à la manière du soleil qui réchauffe la terre.

Comment agit l'isolant

Si l'espace intérieur du mur creux est rempli d'isolant, la transmission de la chaleur se trouve ralentie, et cela de deux façons.

Premièrement, la convection est à peu près éliminée, étant donné que même les matériaux isolants les plus poreux résistent suffisamment au déplacement de l'air pour annuler la force que lui donne la différence de température. La fonction la plus importante de l'isolant est donc d'emprisonner l'air. Il est important, cependant, que l'espace soit complètement rempli, car s'il demeure autour de l'isolant un espace, même petit, il s'y produira de la convection et l'effet de l'isolant peut s'en trouver pratiquement annulé (figure 2.5).

Deuxièmement, la présence de l'isolant réduit grandement la transmission de chaleur par rayonnement entre les surfaces, car une bonne partie de la chaleur est réfléchie, de façon diffuse, vers la source.

La plupart des matériaux isolants accroissent la transmission par conduction, étant donné qu'ils sont généralement plus conducteurs que l'air; cependant la chaleur ainsi transmise est peu importante par rapport à la réduction de la transmission par convection et par rayonnement.

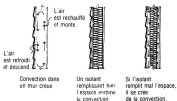


FIGURE 2.5 EFFETS DE CONVECTION DANS UN MUR DE BOIS À CLAIRES-VOIES

Pertes de chaleur par le sol

En matière de transmission de chaleur, le mur de fondation constitue un cas spécial. Dans l'exposé ci-dessus, on supposait que le mur était en présence d'air froid sur sa face extérieure et que cet air froid, réchauffé par la chaleur provenant du mur, se déplaçait vers le haut par convection (ou sous l'action du vent), pour être remplacé par de l'air plus froid. Ce n'est pas ce qui se produit dans le cas des murs de fondation et des planchers sur le sol. Leurs surfaces extérieures sont en contact avec la terre.

Le sol tend à demeurer plus chaud que l'air extérieur en automne et en hiver, et plus froid au printemps et en été. Il tend à se réchauffer par conduction sous l'effet de la chaleur provenant de l'édifice. Aucun mouvement de convection ne se manifeste, car le sol n'est pas fluide comme l'air. S'il est sec, il agit comme un isolant. S'il est très humide, il est très conducteur et arrache beaucoup de chaleur à la maison. Par ailleurs, la neige est un isolant, mais ce facteur est très variable selon l'épaisseur de la neige et la quantité d'eau qu'elle contient. La perte de chaleur par les fondations est un phénomène complexe que les scientifiques du bâtiment estiment ne pas maîtriser parfaitement. Les économies résultant de l'isolation des fondations ne peuvent pas être estimées avec autant d'exactitude que celles des autres éléments du bâtiment.

En plus de ce qui a été exposé ci-dessus, il existe une autre forme de perte de chaleur par convection associée à l'infiltration ou à l'exfiltration de l'air à travers les parois extérieures du bâtiment. Il en est question au chapitre 3.

2.1.3. Combien il faut investir dans l'économie de l'énergie

Tout ce qui économise l'énergie permet d'épargner de l'argent. Il peut toutefois arriver que le coût de la mesure prise soit plus grand que l'avantage qui en découle. Chaque millimètre d'isolant économise de l'énergie. S'il fallait ne s'en tenir qu'à ce principe, il n'y aurait pratiquement pas de limite à la quantité d'isolant à donner à un mur, ou au nombre d'épaisseurs de vitrage, ou au degré de perfectionnement des systèmes de chauffage. Mais chaque millimètre additionnel d'isolant économise un peu moins d'énergie que le précédent, tout en coûtant toujours le même prix. Il est évident que chaque fois que les avantages vont en décroissant alors que le coût reste constant, il existe un point au-delà duquel l'économie ne justifie plus le coût additionnel.

La difficulté qu'il y a à décider de l'adoption d'une mesure d'économie d'énergie tient au fait que le choix se fait entre un coût actuel et des avantages futurs. On pèse la caractéristique maintenant mais ce n'est que plus tard qu'on économisera du chauffage. Cette situation est rendue encore plus problématique par le fait que personne aujourd'hui ne sait quel sera le taux d'augmentation du coût de l'énergie, et donc le taux d'augmentation des économies qu'on réalisera.

Un constructeur a, en plus, le problème de déterminer quelle augmentation de prix le consommateur acceptera de payer pour obtenir des moyens d'économiser l'énergie.

Il existe plusieurs façons d'apporter une réponse à ces questions. Le Guide utilise la méthode du délai de récupération. On peut aussi utiliser celle de la réduction des paiements mensuels ou celle du coût global. Ces méthodes sont décrites brièvement ci-après.

La méthode du délai de récupération

La méthode du délai de récupération consiste à calculer la longueur de la période au terme de laquelle le coût d'une caractéristique d'économie d'énergie est annulé par les économies réalisées. On se demande immédiatement quelle doit être la longueur d'un délai de récupération pour qu'il soit jugé avantageux.

Il semble logique que cette période ne dépasse pas celle pendant laquelle l'acheteur demeure propriétaire de la maison. Cette dernière période est variable:

- Un jeune couple occupe généralement sa première maison de trois à cinq ans avant de déménager vers une maison qui répondra mieux à ses besoins à long terme.
- Ce couple occupera sa nouvelle maison pendant une période plus longue, soit une dizaine d'années (voir le chapitre 8).
- Il déménagera enfin vers un logement plus petit, qu'il occupera également pendant une période assez longue (voir aussi le chapitre 8).

Pour faire accepter à un acheteur une caractéristique d'économie dont le délai de récupération est plus long que la période de propriété, le constructeur devrait lui indiquer

que la valeur de la caractéristique, au moment de la vente, sera probablement égale à son coût initial plus un certain montant pour tenir compte de l'inflation.

Le Guide base donc son analyse sur le coût additionnel représenté par chaque caractéristique d'économie d'énergie, et cherche à déterminer dans chaque cas quel est le laps de temps nécessaire pour que les économies engendrées remboursent la dépense additionnelle représentée par la caractéristique. Si le constructeur réussit à déterminer la « période de propriété » la plus probable de sa clientèle, il pourra choisir les caractéristiques appropriées. La valeur de vente d'une caractéristique peut être considérée comme une gratification additionnelle.

La méthode de la réduction des paiements mensuels

La méthode de la réduction des paiements mensuels s'intéresse à la réduction apportée, dans les paiements mensuels de la première année, par le recours à une caractéristique d'économie d'énergie. Par rapport à la maison de référence, les solutions d'économie d'énergie offrent, à des degrés divers, une réduction des paiements mensuels totaux (remboursement du prêt et coût du chauffage). Le Guide a utilisé à l'occasion cet indicateur.

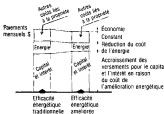


FIGURE 2.6 EFFET DE L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE SUR LES PAIEMENTS MENSUELS

La méthode du coût global

On peut aussi utiliser la méthode du coût global qui consiste à comparer diverses solutions, en faisant la somme des coûts énergétiques actualisés, pendant une période donnée, et des coûts initiaux de construction correspondants. Cette approche est une variante de la méthode du délai de récupération. Cette méthode n'a pas été utilisée dans le présent Guide en raison du fait qu'elle considère des périodes trop longues.

2.1.4. Économie de l'énergie et confort

Il y a principalement quatre facteurs physiques qui conditionnent le confort d'une personne à l'intérieur d'un édifice. Ce sont, par ordre d'importance décroissante:

- la température;
- les courants d'air;
- la température des surfaces;
- l'humidité relative.

La présente sous-section décrit l'importance de chacun de ces facteurs et sa relation avec l'économie de l'énergie.

La température

Toute maison doit être munie d'un système de chauffage capable de maintenir une température de 22 °C le jour le plus froid de l'hiver. Beaucoup de personnes sont à l'aise à des températures inférieures à celle-là, ce qui permet une réduction de la température et, par conséquent, une réduction importante de la consommation d'énergie. Toutefois, ce choix appartient aux utilisateurs et non au constructeur. Ce dernier peut cependant, par une bonne localisation des sources de chaleur et du thermostat, contribuer à atteindre une uniformité de température partout dans la maison.

Les courants d'air

À n'importe quelle température, l'air en mouvement enlève la chaleur du corps humain plus rapidement que l'air immobile, provoquant ainsi une sensation de froid. Souvent ce sont bien plus les courants d'air que la température ambiante qui incitent les gens à réajuster le thermostat. À l'opposé, l'absence de courants d'air rendra confortable une température relativement basse. Les mesures visant à accroître l'étanchéité des maisons à l'air, comme celles dont traite le chapitre 4, permettent non seulement de faire immédiatement une économie d'énergie, mais procurent aussi un confort accru, d'où une possibilité supplémentaire d'économiser l'énergie car on peut abaisser la température.

La température des surfaces adjacentes

Même dans une pièce bien chauffée, une personne placée près d'un mur extérieur froid ou d'une fenêtre aura une sensation de froid. Une maison mal isolée pourra, même si le système de chauffage est amplement suffisant pour maintenir une température élevée, être quand même inconfortable s'il y a de nombreuses surfaces froides. En fait, ce problème a déjà virtuellement disparu pour ce qui est des logements neufs, et on doit évaluer en fonction de leur seul potentiel d'économie d'énergie les améliorations apportées à l'isolation. Quant aux fenêtres, elles seront toujours relativement froides, même si elles sont à double vitrage, et toute amélioration apportée à leur résistance thermique apporte un surcroît de confort (voir la section 4.8).

L'humidité relative

Le fait que l'élévation de l'humidité relative permet de tolérer une température plus basse a été si souvent décrit qu'il est à peine besoin d'en faire mention ici. Ce phénomène est bien réel, on a tendance toutefois à en exagérer l'importance. Selon l'ASHRAE, il faut que l'humidité relative s'accroisse de 40 points de pourcentage pour permettre d'abaisser la température d'un degré Celsius sans diminuer la sensation de confort. Même dans les régions les plus

tempérées du Canada, une maison ne peut tolérer, en hiver, une humidité relative supérieure à 40%. Si on l'élevait à 80% ou à tout autre niveau supérieur à 40%, il en résulterait de sérieux problèmes de condensation.

À la vérité, dans les maisons modernes, spécialement si un effort a été fait pour en accroître l'étanchéité à l'air en posant les pare-vapeur de la façon recommandée au chapitre 4, il est généralement nécessaire d'abaisser l'humidité plutôt que de l'élever: à cette fin, on aura recours aux techniques de ventilation décrites au chapitre 3. Les constructeurs devraient déconseiller à leurs clients d'accorder trop d'importance à la relation entre l'élévation de l'humidité et l'abaissement de la température.

2.2 Considérations sur la conception de la maison

L'introduction qui précède sert de toile de fond aux recommandations qu'on va lire maintenant. Tous ces principes visent à réduire la perte de chaleur. Quelques-uns ne représentent qu'un coût additionnel minime, sinon nul. Plusieurs améliorent le confort des occupants. On devrait chercher à les appliquer chaque fois que la chose est possible. Leur énoncé est suivi d'explications et d'illustrations.

2.2.1. Recommandations

La forme du bâtiment

- Déterminer, en tenant compte des préférences de vos acheteurs éventuels, quel est le type de maison le plus énergétiquement efficace que vous pouvez construire.
- S'en tenir à des formes simples et compactes, ayant la plus petite surface extérieure possible. Éviter les retrêts et les saillies complexes, en plan comme en hauteur.
- Éviter si possible les garages situés à l'intérieur des espaces chauffés, ainsi que les lucarnes.
- Utiliser les éléments non chauffés comme les garages, les vestibules et les remises pour donner de l'intérêt visuel et de la variété à la forme de la maison. Ces éléments peuvent en plus agir comme espaces isolants du côté nord.
- Atténuer les effets climatiques au moyen de porches et de pergolas (au sud et à l'ouest), de pare-vent (du côté des vents dominants), d'auvents (à l'est, au sud et à l'ouest), de volets et de petites serres (au sud).
- Installer des pare-soleil qui protègent les fenêtres du soleil en été mais leur permettent de le capter en hiver.

La disposition intérieure

- Réduire le nombre d'ouvertures du côté nord en organisant le plan de façon telle que les fenêtres principales soient situées ailleurs, de préférence du côté sud. Conserver toutefois un certain nombre d'ouvertures sur le côté nord pour pouvoir créer en été une ventilation transversale qui permettra de faire l'économie de la ventilation mécanique et de la climatisation.
- Organiser le plan et disposer la maison sur le terrain de façon à ensoleiller, en hiver, les pièces qui en profiteront le plus, — peut-être le soleil du matin dans la cuisine et dans les chambres, le soleil de midi et de l'après-midi dans les pièces de séjour et dans la salle à manger.
- Placer au nord, chaque fois que la chose est possible les pièces qui ne servent pas au séjour. Les espaces tels que la salle de bains, la salle de lessive et les locaux de rangement exigent peu d'éclairage naturel, sinon aucun, et peuvent être alignés sur le mur nord.

- Tirer parti de la face sud pour obtenir des gains - passifs - de chaleur solaire en hiver. Y concentrer les surfaces vitrées, tout en prenant des mesures pour éviter l'excès de chaleur et de lumière en été; envisager la possibilité d'utiliser des solariums et des porches vitrés sur ce côté de la maison. Disposer des éléments massifs comme des dalles de béton et des foyers de façon telle qu'ils puissent emmagasiner, en hiver, la chaleur dispensée par le soleil à travers les fenêtres de la face sud.
- Placer aux entrées du bâtiment des vestibules non chauffés et fermés permettant de réduire les courants d'air à l'intérieur de la maison.
- Placer l'unité de chauffage central, la cheminée et le foyer au milieu de la maison, pour profiter au maximum de la chaleur dégagée par ces éléments.
- Placer le chauffe-eau aussi près que possible, en plan, des appareils qui utilisent de l'eau chaude.

Choix de l'emplacement et aménagement paysager

- Les rues résidentielles devraient être orientées est-ouest partout où la chose est possible, pour permettre aux maisons, des deux côtés de la rue, de capter un maximum de chaleur solaire en hiver.
- Choisir de préférence des terrains dont la pente est orientée vers le sud ou vers l'ouest, et dont l'ensoleillement n'est pas amoindri par des constructions adjacentes ou par des conifères de haute taille.
- Choisir des emplacements abrités des vents du nord et de l'ouest, en hiver, ou situés dans des zones où ces vents ne sont pas dominants.
- En choisissant l'emplacement de la maison sur le terrain, chercher à tirer avantage de la végétation existante ou des dénivellations du sol pour placer la maison à l'abri du vent.
- Planter des arbres à feuilles caduques pour fournir, en été, de l'ombre aux murs, aux fenêtres (spécialement sur la face ouest) et au toit de la maison. S'assurer toutefois auprès d'un paysagiste que les arbres, en grandissant, n'endommageront pas les fondations de la maison.
- Placer des plantes couvrant le sol, plutôt que des revêtements durs, sur les surfaces immédiatement adjacentes à la maison, de façon à atténuer le rayonnement de la lumière et de la chaleur.
- Protéger les maisons contre les vents dominants d'hiver en plantant des conifères. En raison de leur forme conique, ces arbres devraient, pour un maximum d'efficacité, être plantés en deux ou de préférence trois rangées, et disposés en quinconce. Ce dispositif coupe-vent doit être situé du côté du vent, si possible à une distance d'environ une fois et demie ou deux fois la hauteur de la maison.

- Utiliser des talus comme coupe-vent. S'assurer cependant que l'élimination des eaux est adéquate du côté de la maison.
- Utiliser des haies, des clôtures et des murs pour diriger les vents d'été vers la maison.

2.2.2. La forme de la maison

D'une façon générale, plus la surface extérieure d'un bâtiment est grande, plus ses pertes de chaleur seront élevées. La figure 2.7 illustre les pertes de chaleur relatives de maisons de formes différentes, ayant toutes la même surface de plancher et isolées en conformité avec l'annexe C.

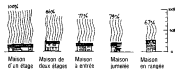


FIGURE 2.7 PERTES DE CHALEUR DE DIFFÉRENTS TYPES DE MAISONS

Les pertes de chaleur sont indiquées sous la forme d'un pourcentage de perte de chaleur d'une maison d'un étage, à superficies de plancher égales.

La maison à un étage, la maison à deux étages et la maison à entrée à mi-niveau sont toutes des maisons individuelles. La maison à un étage a les pertes de chaleur les plus élevées en raison du fait qu'elle comporte une grande surface exposée par rapport à son volume. Ce type de maison représente la forme la moins économique qui soit, sur le plan de la consommation d'énergie.

La maison individuelle à deux étages se rapproche de la forme du cube et, par conséquent, a un rapport surface-volume moins élevé. Elle exige donc moins d'énergie de chauffage que la maison d'un étage ayant une surface de plancher équivalente.

La maison individuelle à entrée à mi-hauteur a le même genre de forme compacte que la maison précédente et elle a une plus petite surface extérieure à chauffer, étant enfoncée dans le sol. Elle est donc encore plus économique à chauffer.

La maison jumelée est similaire à la maison individuelle, mais comme un de ses murs n'est pas exposé aux intempéries, elle est économique sur le plan énergétique.

La maison en rangée a ses deux grands murs abrités des intempéries (sauf aux extrémités de la rangée). Parmi les types de logements de faible hauteur, c'est celui qui procure le plus d'économie.

L'efficacité énergétique n'est pas le seul aspect que les acheteurs éventuels considèrent lorsqu'ils font le choix d'un type de maison.

Plusieurs des mesures d'économie présentées dans le présent ouvrage peuvent améliorer l'efficacité énergétique de n'importe lequel des types de maisons présentés ci-dessus.

Les leçons qu'on peut tirer de la comparaison entre les divers types de bâtiments peuvent aussi s'appliquer à la détermination de la forme de chaque logement pris individuellement.

Les formes simples et compactes réduisent le rapport de la surface au volume (figure 2.8). Chaque saillie, chaque angle accroît la surface extérieure par laquelle la chaleur se dissipe. Un garage à même la maison, placé sous un espace chauffé, expose le plancher de cet espace au froid et accroît la perte de chaleur. Les lucarnes accroissent aussi la surface à isoler, sans accroître la surface de plancher; de plus, elles sont difficiles à isoler à cause de leur forme complexe (figure 2.9).

Adoptez une forme simple englobant toutes les pièces habitables.



FIGURE 2.8 FORME SIMPLE

L'usage répétitif d'une forme simple de maison n'offre pas beaucoup d'attrait pour l'acheteur, mais on peut obtenir des variations intéressantes, sans sacrifier l'économie d'énergie, en se servant des éléments non chauffés de la maison. Le garage, le vestibule, la remise et autres éléments peuvent être disposés autour du volume habité. Ils ajoutent de l'intérêt visuel mais aussi, dans une certaine mesure, abritent la maison et contribuent à l'isolation thermique des murs auxquels ils sont accolés (figure 2.10). Ces éléments sont particulièrement utiles sur le mur nord, où ils peuvent servir à atténuer l'effet des vents d'hiver.

On peut aussi exploiter le potentiel visuel de certains dispositifs servant à réduire les effets du climat comme les porches, pergolas, pare-vent, auvents, volets et petites aeries. Ces éléments améliorent la maison tant du point de vue climatique que du point de vue de l'apparence, sans augmenter la perte de chaleur (figure 2.11).

Les dispositifs pare-soleil incorporés à la maison peuvent en améliorer l'efficacité énergétique tout en la rendant

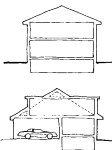


FIGURE 2.9 GARAGES ET LUCARNES

Les garages situés dans le volume de la maison, de même que les lucarnes, tendent à augmenter la superficie de l'enveloppe par rapport à la superficie du plancher.



FIGURE 2.10 ÉLÉMENTS NON CHAUFFÉS

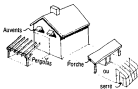


FIGURE 2.11 DISPOSITIFS D'ADAPTION AU CLIMAT

plus attrayante. Bien conçus, ils protègent les fenêtres contre la chaleur du soleil, tout en les laissant capter cette chaleur d'hiver. La figure 2.12 indique différentes possibilités. La figure 2.13 indique des hauteurs typiques de fenêtres pour diverses pièces de la maison et donne les facteurs utiles pour calculer les dimensions de l'avant-cée du toit selon la latitude de l'endroit.

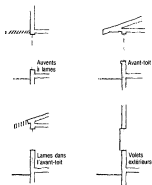


FIGURE 2.12 DISPOSITIFS PARE-SOLEIL POUR LES FENÊTRES

2.2.3. La disposition intérieure de la maison

La configuration du plan a une influence sur la quantité d'énergie que la maison consomme. Le fait de comprendre comment cela se produit peut aider le constructeur à choisir les plans les plus efficaces.

Les fenêtres nord dissipent de la chaleur en hiver; celles de l'est et de l'ouest également, mais elles captent une certaine quantité d'énergie solaire. On devrait donner la préférence aux plans qui ne situent pas les grandes fenêtres, telles celles du séjour et de la salle à manger, du côté nord. Des fenêtres dans le mur nord peuvent être utiles l'été pour créer une ventilation transversale et atténuer la nécessité de la ventilation mécanique et de la climatisation; elles doivent toutefois être petites.

Les pièces et les fenêtres devraient être disposées de façon à tirer profit le plus possible de la lumière naturelle. Il est préférable d'avoir de la lumière le matin dans la cuisine plutôt qu'à la fin de l'après-midi, à l'heure où l'on prépare le souper. Le soleil du matin est aussi préférable pour les chambres. Quant au soleil du midi et de l'après-midi, c'est dans le séjour et la salle à manger qu'il est le plus désirable. Ainsi utilisée, l'énergie du soleil peut réduire les besoins de la maison en chaleur et en lumière (figure 2.14).

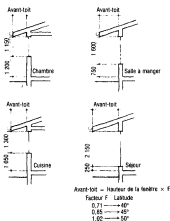


FIGURE 2.13 AVANT-TOIT ET HAUTEUR DES FENÊTRES

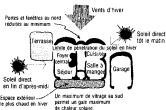


FIGURE 2.14 AMÉNAGEMENT PROPICE AU GAIN DE CHALEUR SOLAIRE EN HIVER

Les espaces de service tels que la salle de bains, la salle de lavage et autres devraient logiquement être placés du côté nord, car ils n'exigent pratiquement aucune lumière naturelle.

Les fenêtres du côté sud peuvent fournir un gain net de chaleur en hiver, en permettant au soleil de pénétrer dans la maison. Des rues orientées est-ouest permettent un gain optimal de chaleur solaire en hiver. Un plan bien choisi par rapport à l'orientation du terrain situera du côté sud les grandes fenêtres du séjour et de la salle à manger.

Le constructeur dispose de plusieurs autres moyens pour utiliser la chaleur solaire de façon optimale:

- munir les grandes fenêtres sud de dispositifs pare-soleil pour les protéger de la chaleur solaire en été (figures 2.12 et 2.13);
- utiliser des vérandas et des porches vitrés pour capter la chaleur;
- situer les gros éléments de maçonnerie comme les dalles de plancher et les foyers à des endroits où le soleil peut les frapper. Ils libéreront la nuit la chaleur du soleil qu'ils auront emmagasinée pendant le jour.

L'emploi de vestibules peut améliorer le confort en réduisant les courants d'air lorsqu'on ouvre la porte, spécialement dans les petites maisons où l'entrée donne directement dans le séjour.

Les unités de chauffage central et les foyers émettent de la chaleur par rayonnement; une grande partie de cette chaleur est perdue s'ils sont placés le long d'un mur extérieur. S'ils sont placés au centre de la maison, on conserve une plus grande partie de cette chaleur dans la maison et on réduit la longueur des conduits d'air chaud et des canalisations de chauffage à eau chaude.

De la même façon, la perte de chaleur par le système d'eau chaude domestique sera moindre si le chauffe-eau est placé à proximité de la cuisine, de la salle de bains et de la salle de lavage.

2.2.4. Le choix de l'emplacement et l'aménagement paysager

Un choix judicieux du terrain et un bon aménagement paysager peuvent entraîner des économies d'énergie sans pratiquement imposer de coûts additionnels.

En plus du climat général de la région où il se trouve, chaque terrain a son propre microclimat qui dépend de son ensoleillement, de son exposition aux vents dominants et de sa topographie. Ces facteurs ont éventuellement des effets non négligeables sur la température de l'air, le vent et le rayonnement solaire autour de la maison. Le concepteur peut améliorer ou modifier ces effets.

Qu'il ait ou non la possibilité d'intervenir dans le dessin du réseau de rues, le constructeur doit se rappeler que ce sont les rues orientées est-ouest qui offrent les meilleures possibilités d'orientation sud de la maison et de gain de chaleur solaire en hiver.

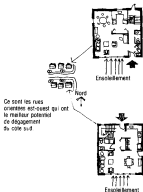


FIGURE 2.15 ORIENTATION DE LA RUE ET AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR DES LOGEMENTS

De la même façon, les pentes orientées sud ou ouest sont préférables aux terrains plats. On doit évidemment éviter les terrains qui reçoivent, du côté sud, l'ombre de grands contreforts ou d'édifices.

Parmi les autres facteurs à considérer dans la sélection des terrains, on doit inclure l'exposition aux vents du nord et de l'ouest en hiver, ainsi que les haies et dénivellations susceptibles de mettre la maison à l'abri des vents d'hiver.

L'aménagement paysager peut améliorer les caractéristiques de conservation de l'énergie de n'importe quel terrain. Le constructeur doit considérer cet aménagement comme partie intégrante de la conception globale de la propriété, et apporter un soin extrême à l'orientation et au choix des essences végétales. Il est recommandé d'avoir recours à l'assistance d'un paysagiste qualifié.

En été, les arbres à feuilles caduques donnent de l'ombre; en hiver, ils perdent leurs feuilles et laissent passer la lumière du soleil. En été, ils réduisent donc le gain de chaleur par les fenêtres en stoppant la pénétration directe des rayons solaires. Cet ombrage est particulièrement intéressant pour les fenêtres ouest parce que, normalement, l'avancée du toit n'est pas suffisante pour bloquer les rayons lorsque le soleil est bas (fin de l'après-midi). L'ombre des arbres abaisse également la température de la surface du sol; le gain de chaleur est donc encore réduit par l'abaissement de la chaleur irradiant du sol et par le rafraîchissement de la température de l'air (figure 2.17). On aura soin de placer les arbres suffisamment loin de la maison pour que, devenus adultes, ils n'endommagent pas les fondations avec leurs racines. La distance est généralement égale à la moitié de la hauteur de l'arbre adulte. Pour toute application précise de ce principe, il est recommandable de consulter un spécialiste.

L'utilisation de plantes formant un tapis sur le sol, de préférence à des revêtements durs, est un autre moyen de réduire la réflexion de lumière et de chaleur à proximité de la maison, principalement sur les côtés sud et ouest (figure 2.18).

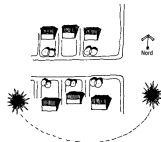


FIGURE 2.16 LES RIUES ORIENTÉES EST-OUEST POSSÈDENT LE MEILLEUR POTENTIEL DE CAPTAGE D'ÉNERGIE SOLAIRE EN HIVER.

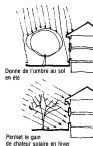


FIGURE 2.17 RÉDUCTION DU RAYONNEMENT DU SOL ET DE L'ÉBLOUISSEMENT EN ÉTÉ



FIGURE 2.18 RÉDUCTION DE L'ÉBLOUISSEMENT AU MOYEN D'UN TAPIS VÉGÉTAL

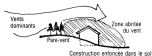


FIGURE 2.19 PROTECTION CONTRE LES VENTS D'HIVER

Les conifères peuvent jouer le rôle de pare-vent en hiver (figure 2.19). En raison de leur forme conique, ils doivent de préférence être plantés en quinconce, sur deux et même trois rangées. On placera de préférence ces pare-vent du côté du vent dominant, à une distance de 1,5 à 2 fois la hauteur de l'édifice. À cette distance le vent sera dévié vers le haut, bien au-dessus de l'édifice, réduisant la pression sur la face de l'édifice exposée au vent, de même que l'effet de succion correspondant sur la face opposée de l'édifice.

La création de talus est un autre moyen de faire concourir l'aménagement paysager à la protection contre le vent. Le surplus de terre provenant des travaux d'excavation et de terrassement pourrait être utilisé à cette fin. On doit toutefois assurer, du côté de la maison, une évacuation adéquate des eaux.

L'été, le vent peut contribuer à réduire le besoin de ventilation mécanique et de climatisation. Il est possible, par une disposition adéquate des haies, des clôtures et des murs, de canaliser le vent vers les endroits où ils peuvent le mieux rafraîchir les occupants (figure 2.20).

La figure 2.21 rassemble les principales mesures de conservation d'énergie reliées à l'aménagement extérieur de la propriété. Plusieurs de ces caractéristiques peuvent être mises en application sans frais additionnels, pour peu que le constructeur les ait prises en considération lors du choix du terrain et du planning du projet.

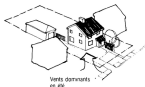


FIGURE 2.20 CAPTAGE DES VENTS D'ÉTÉ

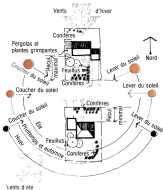


FIGURE 2.21 AMÉNAGEMENT PAYSAGER ET ADAPTATION AU CLIMAT

Chapitre 3

L'étanchéité à l'air, la ventilation et la réduction de l'humidité

3.1	Recommandations	18
3.2	La ventilation	18
3.2.1	La quantité nécessaire de ventilation	18
3.2.2	La régulation de la ventilation	18
3.3	D'où provient l'humidité et comment la réduire	21
3.3.1	La réduction de l'humidité	21
3.3.2	L'importance de la réduction de l'humidité relative	21
3.3.3	Condensation cachée et niveau d'humidité	21
3.4	La fonction du pare-vapeur	22
3.5	La récupération de la chaleur	23

Le présent chapitre traite d'un aspect souvent négligé, mais très important, de l'efficacité énergétique d'une maison: la ventilation. La maison doit passer de la ventilation accidentelle à la ventilation planifiée; le chapitre explique ce principe et illustre les moyens de le mettre en pratique. Il explique aussi l'importance de la ventilation pour la réduction de l'humidité.

3.1 Recommandations

- Construire les maisons aussi étanches que possible, de façon à réduire au minimum la ventilation accidentelle. La réalisation soignée d'un pare-vapeur ayant aussi fonction de pare-air, jointe à l'utilisation de portes et de fenêtres de bonne qualité, est la meilleure façon d'atteindre cet objectif.
- Incorporer dans la maison des moyens de réduire la ventilation au minimum nécessaire pour assurer la qualité de l'air, un bon degré d'humidité relative et une quantité suffisante d'air de combustion pour les besoins du système de chauffage.
- Informer les utilisateurs de l'importance de la réduction de l'humidité et du rôle que peut jouer, à cette fin, le système de ventilation.
- Incorporer un dispositif de récupération de la chaleur au système de ventilation dans les maisons où une forte charge d'humidité impose un taux élevé de ventilation ou dans les régions très froides où même un taux modéré de ventilation engendre une forte dépense de chauffage.

3.2 La ventilation

On doit entendre par ventilation le remplacement de l'air de la maison par de l'air frais provenant de l'extérieur. La plupart du temps cette ventilation se produit d'elle-même, de façon indépendante, à un taux qui est déterminé par les caractéristiques de la maison plutôt que par les besoins des occupants.

La ventilation est essentielle pour fournir de l'air frais aux occupants, faire disparaître les poussières suspendues dans l'air, la fumée de tabac et les odeurs domestiques, et alimenter en oxygène le système de chauffage (s'il consomme du combustible) et les foyers. La ventilation a une autre fonction importante, qu'on néglige parfois: en hiver, elle prévient l'élevation de l'humidité relative de la maison en évacuant la vapeur d'eau produite par la cuisine, le lavage, les soins de toilette et la respiration. Elle empêche ainsi l'humidité relative de s'accroître jusqu'à un degré où de sérieux problèmes de condensation seraient inévitables.

3.2.1. La quantité nécessaire de ventilation

Quelle quantité de ventilation est nécessaire? La réponse dépend du nombre de personnes qui occupent la maison, de leurs habitudes de vie, du type de chauffage et de la température extérieure. Une maison occupée par un couple qui est absent de la maison toute la journée exige beaucoup moins de ventilation que si elle est occupée par une famille comptant plusieurs jeunes enfants. Une maison où les occupants prennent plus de bains que la moyenne exigera plus de ventilation.

Dans la plupart des maisons actuelles, même en supposant que les occupants sachent quelle quantité de ventilation est nécessaire, leur capacité d'agir sur le taux de ventilation de la maison est très limitée. Largement accidentelle, la ventilation se fait par toutes les fissures de l'édifice et dépend par ailleurs de la force du vent, de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, du type de système de chauffage et de la légèreté naturelle de l'air chauffé. La seule intervention qui soit à la portée des occupants consiste à accroître la ventilation, lorsqu'elle est trop faible, en ouvrant les fenêtres ou en faisant fonctionner le ventilateur d'évacuation, ce qui exige de leur part une participation aussi active que bien informée. Malheureusement, peu de personnes comprennent la relation qui existe entre la ventilation et l'humidité.

Autrefois on se souciait peu de la ventilation, car de toute façon les maisons laissaient échapper beaucoup d'air et le combustible était bon marché. De nos jours, cette attitude doit changer et cela pour deux raisons:

- L'énergie coûtant de plus en plus cher, nous ne pouvons plus nous permettre de la gaspiller par un excès de ventilation. Chaque mètre cube d'air qui s'échappe de l'édifice est remplacé par un mètre cube d'air froid et emporte avec lui une quantité considérable de chaleur.
- Les problèmes de condensation deviennent de plus en plus fréquents, ce qui semble indiquer que beaucoup de maisons n'ont pas suffisamment de ventilation.

3.2.2. La régulation de la ventilation

Comment peut-on changer la situation? La réponse est la suivante: on doit réduire au minimum la ventilation accidentelle (en rendant l'enveloppe du bâtiment aussi étanche que possible) et la remplacer par une ventilation réglable. Il est possible de construire des maisons extrêmement étanches en mettant en pratique les principes décrits à la section 4.1 et en utilisant des portes et des fenêtres adéquates. Cependant, si on s'en tient à cela, on risque de faire rapidement face à de sérieux problèmes d'humidité et de condensation, particulièrement si la maison est chauffée à l'électricité et ne dispose pas d'une cheminée pour créer une certaine ventilation.

Il existe diverses méthodes pour assurer une ventilation réglable dans une maison. Ce sont, par ordre de complexité croissante:

- la méthode du conduit d'amenée d'air extérieur;
- la méthode du conduit d'évacuation;
- la méthode des ventilateurs;
- le système central d'évacuation.

Plus les méthodes deviennent complexes, plus elles sont coûteuses mais plus elles sont efficaces.

La méthode du conduit d'aménée d'air extérieur

Cette méthode est assez répandue. Toutefois, le conduit est souvent dépourvu de registre, c'est-à-dire d'un dispositif, pourtant essentiel, de réglage. Cette méthode est de beaucoup supérieure à celle qui consiste à ouvrir simplement les fenêtres, car l'air se trouve chauffé et filtre avant d'être distribué dans la maison (figure 3.1).

Recommandations

- Enseigner aux usagers que par temps froid il faut fermer graduellement le registre, sur une période de plusieurs jours, et le rouvrir légèrement lorsqu'apparaît de la condensation sur les vitres.
- Isoler le conduit d'air frais pour éviter la formation de condensation sur sa surface.

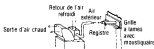


FIGURE 3.1 CONDUIT D'AIR FRAIS, AVEC REGISTRE, RACCORDÉ AU PLENUM DE RETOUR D'AIR

La méthode du conduit d'évacuation

Contrairement à la méthode précédente, celle-ci peut être utilisée sans système de chauffage à air pulsé. On place un conduit vertical d'évacuation n'importe où dans la maison. L'air chaud de la maison s'échappe à l'extérieur, en raison de l'effet de cheminée. Il en résulte une pression négative dans la maison et l'air extérieur s'infiltré par tous les interstices de l'enveloppe. Si la maison est très étanche, il peut être nécessaire d'ouvrir légèrement une fenêtre (figure 3.2).

Recommandations

- Enseigner aux usagers à fermer graduellement le registre par temps froid, sur une période de plusieurs jours, et à le rouvrir légèrement lorsqu'il commence à apparaître de la condensation sur les vitres.
- Utiliser un conduit bien étanche; isoler la portion qui traverse le vide du toit.
- Obtenir le tour du conduit d'évacuation à son entrée dans le plafond (voir la section 4.1).
- S'assurer que le conduit ne se termine pas dans le vide du toit mais bien à l'extérieur.
- Donner suffisamment de hauteur pour que le conduit ne soit pas obstrué par la neige.

- Placer l'entrée du conduit dans le sous-sol, car il peut en dégoutter de l'eau de pluie ou de condensation. À l'occasion, il y a aussi un certain risque de courants d'air.

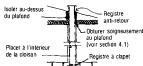


FIGURE 3.2 CONDUIT D'ÉVACUATION AVEC REGISTRE

La méthode des ventilateurs

Cette méthode est tout à fait commune et il n'est pas nécessaire de la décrire. Toutefois, les installateurs négligent souvent les bonnes pratiques que nous décrivons à la figure 3.3. Le Code national du bâtiment exige que chaque logement qui ne contient pas d'appareil de chauffage consommant du combustible soit muni d'un ou de plusieurs ventilateurs d'évacuation d'une capacité totale d'au moins 3 m³ par minute. Il existe une gamme étendue de ventilateurs sur le marché. On devrait n'utiliser que ceux qui sont conformes à la norme C260.2 de l'ACNOR.

Recommandations

- Installer les ventilateurs en conformité avec les indications de la figure 3.3. La norme C260.1 de l'ACNOR donne d'autres détails sur l'installation de ces appareils.
- N'employer que des ventilateurs conformes à la norme C260.2 de l'ACNOR.

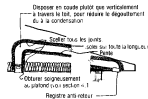


FIGURE 3.3 VENTILATEUR D'ÉVACUATION

Les trois méthodes précédentes ont toutes le désavantage d'être manuelles, donc d'exiger que les occupants se préoccupent de la ventilation et sachent quand et comment intervenir. Ce désavantage peut en bonne partie être éliminé par l'installation, dans un endroit central, d'un humidistat de bonne qualité (à élément sensible en nylon) commandant les ventilateurs ou les registres. Mais même alors les occupants doivent être convaincus de la nécessité d'éviter les fortes humidités relatives en hiver et de régler l'humidistat en conséquence (voir la section 3.2).

Le système central d'évacuation

Ce système, complexe et coûteux, convient plutôt aux maisons luxueuses. Il fournit un réglage automatique continu de l'humidité. Dans une maison bien étanche à l'air, il permet de réduire la ventilation au minimum. Il peut aussi être très efficace en été pour le refroidissement nocturne de la maison. Il peut recevoir un dispositif de récupération de chaleur réchauffant l'air frais au moyen de la chaleur extraite de l'air d'évacuation (figure 3.4).

Recommandations

- Installer des bouches au moins dans la cuisine, la salle de bains, la salle de lavage et la salle de séjour principale.
- Installer un ventilateur suffisamment puissant pour évacuer tout l'air de la maison en une heure. On peut estimer la capacité requise au moyen de la formule $CV = \frac{SP}{20}$, dans laquelle CV est la capacité du ventilateur en mètres cubes par minute et SP, la superficie totale de plancher en mètres carrés, y compris le sous-sol.
- Pour réduire le désagrément causé par le bruit, utiliser un appareil ayant une cote maximale de 2,0 sones et le placer dans le sous-sol.
- Placer la prise d'air extérieur dans le sous-sol ou tout autre endroit peu utilisé, de telle sorte que l'air frais admis ne soit pas inconfortable et puisse se réchauffer graduellement à mesure qu'il se déplace dans la maison. Éviter de placer des conduits de plomberie dans cette zone. Si le système de chauffage est à air pulsé, la prise d'air frais peut se brancher sur le retour d'air, comme dans la figure 3.1.
- Munir la prise d'air d'un registre et le faire ajuster de telle sorte que, lorsque le ventilateur est en marche, il y ait dans la maison une légère pression négative n'excédant pas cinquante pascals (50 Pa). Si la pression négative est trop forte, il se produira des infiltrations d'air inconfortables près des fenêtres et des portes.

Tout système comportant un ventilateur d'évacuation est susceptible de priver l'unité de chauffage central de l'air nécessaire à la combustion. En pareil cas, on peut munir le système de chauffage d'un mécanisme empêchant automatiquement le ventilateur de fonctionner pendant que l'unité centrale est en marche. On peut aussi doter l'unité centrale d'une alimentation en air distincte. La réglementation relative à l'alimentation en air de combustion se trouve dans les textes suivants:

Code des installations pour les appareils et équipements fonctionnant au gaz naturel. Norme CAN1-B149.1

Code des installations pour les appareils et équipements fonctionnant au propane. Norme CAN1-B149.2

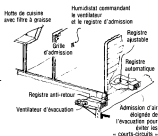


FIGURE 3.4 SYSTÈME CENTRAL D'ÉVACUATION

3.3 D'où provient l'humidité et comment la réduire

Nous avons vu à la section 3.2 que l'une des fonctions les plus importantes de la ventilation est d'évacuer la vapeur d'eau de la maison. La liste qui suit indique les principales sources de cette vapeur.

Source	Quantité de vapeur d'eau produite
Cuisine (3 repas)	1 kg par jour
Vaisselle (3 repas)	0,5 kg par jour
Personnes: 4	5 kg par jour
Douches	0,25 kg à chaque fois
Beins	0,05 kg à chaque fois
Lavage des vêtements	2 kg à chaque fois
Séchage	12 kg à chaque fois

Ce tableau montre qu'en une seule journée l'air de la maison peut recevoir plus de 20 kg de vapeur d'eau. Un jour d'hiver, une humidité relative supérieure à 35% provoquera de la condensation sur les fenêtres même si elles sont à double vitrage. Si l'air d'une maison de 100 m² est à 21 °C et à 35% d'humidité relative, il contient environ 3 kg de vapeur d'eau. Par conséquent, si on ne veut pas dépasser cette humidité relative, on doit évacuer 17 kg de vapeur d'eau d'une façon quelconque.

3.3.1. La réduction de l'humidité

Actuellement, le seul moyen pratique d'évacuer la vapeur d'eau des maisons est la ventilation. L'air chaud et humide est rejeté à l'extérieur, avec toute la vapeur qu'il contient, et est remplacé par de l'air extérieur froid et sec. Comme nous l'avons signalé à la section 3.2, l'air évacué emporte la chaleur avec lui, et l'air frais doit être réchauffé. Mais cette perte de chaleur est nécessaire pour éviter que l'humidité relative ne se maintienne à un niveau élevé et n'endommage les matériaux dont est constituée la maison. Il est possible, toutefois, de réduire cette perte en récupérant une partie de la chaleur de l'air d'évacuation (voir la section 3.4).

Pourquoi ne pas utiliser un déshumidificateur pour abaisser l'humidité relative et éviter la condensation? Cela semblerait un choix logique car on réduirait ainsi le besoin de ventilation et on économiserait l'énergie. Même l'énergie consommée par l'appareil demeurerait dans la maison, sous forme de chauffage électrique en quelque sorte. Malheureusement les déshumidificateurs domestiques qu'on trouve sur le marché sont conçus pour l'été seulement, et la quantité de vapeur d'eau qu'ils peuvent extraire de l'air est très faible lorsque l'humidité relative est inférieure à 60%. Or ce niveau est beaucoup trop élevé pour éviter les problèmes de condensation en hiver. L'industrie tente actuellement de mettre au point un déshumidificateur d'hiver, mais pour le moment la ventilation demeure le seul moyen pratique de maintenir l'humidité au niveau requis.

3.3.2. L'importance de la réduction de l'humidité relative

Si l'on n'éliminait pas l'excès de vapeur d'eau et qu'on ne maintenait pas l'humidité relative à un niveau raisonnable, de graves ennuis pourraient en résulter.

Condensation sur les surfaces

L'apparition de condensation sur les surfaces froides (les

fenêtres, par exemple) est le premier indice d'un excès d'humidité relative.

Si l'on ne tient pas compte de cet avertissement et que l'humidité demeure excessive, il pourra se former des moisissures (champignons microscopiques) sur les plafonds et les murs froids. Ce phénomène commence souvent à apparaître dans les placards et derrière les rideaux, où la faible circulation de l'air provoque des accroissements localisés de l'humidité relative. Il peut aussi apparaître dans des espaces beaucoup plus vastes. Il s'accompagne souvent d'une odeur désagréable.

Condensation cachée

Quelque sérieux que soit le problème que nous venons de décrire, au moins ses résultats sont visibles. Une fois qu'on en a compris la cause, il est possible d'y apporter des correctifs avant qu'il ne devienne trop grave. Plus insidieux sont les problèmes cachés qui se présentent si une quantité appréciable de vapeur réussit à pénétrer dans l'enveloppe du bâtiment où elle peut se condenser sur les surfaces froides et provoquer un certain nombre de résultats peu désirables:

- l'isolant devient mouillé et perd la plus grande partie, sinon la totalité, de sa résistance thermique;
- la charpente de bois peut pourrir jusqu'à ne plus être capable de supporter aucune charge;
- les panneaux de plâtre ou autres matériaux peuvent se désagréger et se détacher de la construction.

Comme ces phénomènes se produisent dans le corps même du bâtiment, ils peuvent se développer sans être détectés, et devenir très difficiles et très coûteux à corriger. En conséquence, tout moyen raisonnable d'éviter ces problèmes vaut la peine d'être employé. Pour ce faire, il est nécessaire d'empêcher la vapeur d'eau de pénétrer dans l'enveloppe. Tel est le rôle du «pare-vapeur», quoique ce terme ne décrive que partiellement la fonction de cet élément. Le pare-vapeur fait l'objet de la section qui suit. Avant de laisser le sujet de la production de la vapeur d'eau, une autre notion doit être traitée.

3.3.3. Condensation cachée et niveau d'humidité

Un pare-vapeur parfait est pratiquement impossible à réaliser. Il y aura toujours une certaine quantité de vapeur d'eau qui réussira à pénétrer dans le corps de l'enveloppe, que l'humidité intérieure soit faible ou élevée. Tous les matériaux dont est constituée l'enveloppe peuvent tolérer une quantité quelconque d'humidité. Si l'humidité qui s'accumule au cours de l'hiver n'est pas trop considérable, elle pourra souvent sécher pendant l'été; l'élément d'enveloppe mis en cause (le mur, le toit) connaîtra un léger cycle d'humidité et de sécheresse dont les conséquences ne seront pas très importantes. Mais si l'humidité de la maison est maintenue à un degré élevé, l'humidité accumulée ne se dissipera pas et les matériaux de l'enveloppe se détérioreront. En conséquence, même dans une maison construite de façon très soignée, l'occupant doit prendre conscience de l'importance du maintien de l'humidité relative à un niveau peu élevé. Et le constructeur doit prendre les moyens de rendre cela possible.

3.4 La fonction du pare-vapeur

Deux phénomènes tendent à faire passer la vapeur d'eau à travers l'enveloppe du bâtiment. Le premier est la **pression de vapeur**. Étant donné que l'air de la maison contient plus de vapeur d'eau que l'air extérieur, durant les mois d'hiver, la différence de **pression de vapeur** tend à forcer la vapeur d'eau à se **diffuser** à travers les matériaux qui constituent l'enveloppe (figure 3.5).

À peu près tous les matériaux de construction sont, à des degrés divers, susceptibles d'être traversés par la vapeur d'eau; certains, toutefois, appelés pare-vapeur, n'en laissent passer qu'une très petite quantité. On dit qu'ils ont une très faible perméabilité.

Le second phénomène qui force la vapeur d'eau à passer à travers l'enveloppe est le **mouvement de l'air**. Il y a souvent des différences de **pression de l'air**, dirigées de l'intérieur vers l'extérieur, en raison de l'effet de cheminée, du fonctionnement des ventilateurs ou de l'action du vent. Quand la pression de l'air, à l'intérieur du bâtiment, est plus grande que la pression extérieure, l'air cherche à fuir vers l'extérieur à travers tous les interstices ou toutes les fissures de l'enveloppe, transportant avec lui la vapeur d'eau qu'il contient (figure 3.6). On a découvert, il y a quelques années seulement, que cet écoulement de l'air a plus d'importance, dans la transmission de la vapeur d'eau à travers l'enveloppe, que la diffusion. C'est pourquoi, de nos jours, les spécialistes du bâtiment ont tendance à parler de **pare-air** plutôt que de pare-vapeur.

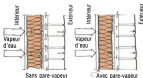


FIGURE 3.5 DIFFUSION DE LA VAPEUR À TRAVERS LES MATÉRIEAUX

Exemple: importance relative de la diffusion de la vapeur et du mouvement de l'air dans la circulation non désirée de la vapeur d'eau.

- Soit :
- une masse d'air intérieur à 21 °C et à 40% d'humidité relative;
 - un plafond de 10 m² en panneaux de plâtre de 9 mm;
 - deux couches de peinture brillante;
 - une fissure de 1,5 mm de largeur et 1,2 m de longueur à la rencontre du plafond avec le mur;
 - à l'extérieur, des conditions hivernales typiques pour ce qui est de la température et de l'humidité.

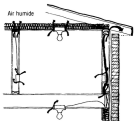


FIGURE 3.6 FUITES D'AIR PAR LES INTERSTICES DE L'ENVELOPPE

Quantité de vapeur d'eau déplacée par diffusion en 100 jours: 3 kg.

Quantité de vapeur d'eau déplacée par l'écoulement de l'air en 100 jours: 20 kg.

Comme le déplacement de l'air est un phénomène beaucoup plus important que la diffusion de la vapeur, il faut conclure que la **continuité** du pare-vapeur est beaucoup plus importante que sa perméabilité. Heureusement, le matériau qui a été le plus communément utilisé comme pare-vapeur, car il est produit en larges feuilles de la hauteur d'un étage et peut constituer une membrane pratiquement continue s'il est posé correctement.

La section 4.1 donne quelques détails et quelques techniques relatifs à la pose d'un pare-vapeur amélioré. Il existe certainement d'autres méthodes également recommandables. Ce qui importe c'est de se rappeler, lorsqu'on pose un pare-vapeur, que sa fonction essentielle est d'empêcher l'air intérieur de la maison de pénétrer dans l'enveloppe.

De plus, un pare-vapeur ainsi installé économise l'énergie, en réduisant la ventilation accidentelle.

3.5 La récupération de la chaleur

Lorsqu'on investit dans un système de ventilation comme celui qu'ilustrate la figure 3.4 et qu'on considère le coût de la chaleur qui est déversée à l'extérieur en même temps que l'air vicié, il est naturel de songer à récupérer cette chaleur. Des techniques de ce genre sont en usage depuis plusieurs années dans les édifices industriels et commerciaux; toutefois, dans le secteur de l'habitation, il n'existe à peu près rien de tel. Un dispositif de récupération de la chaleur comprend généralement un échangeur de chaleur air-air qui transmet la chaleur de l'air évacué à l'air frais. Il existe d'autres techniques, telle celle de la thermopompe; mais l'échangeur de chaleur air-air demeure le procédé le plus avancé en ce moment.

Pour être efficace, l'échangeur de chaleur air-air exige deux conditions:

1. le conduit d'amenée de l'air frais et le conduit d'évacuation de l'air vicié doivent être suffisamment rapprochés l'un de l'autre pour pouvoir tous les deux passer à travers l'échangeur de chaleur.
2. le débit des deux conduits doit être identique, à peu de chose près, pour que l'échange de chaleur soit aussi élevé que possible.

On peut comparer la maison à un récipient étanche (figure 3.7A). Il est évident que le flux d'air à l'orifice d'entrée et le flux d'air à l'orifice de sortie doivent être égaux. Si toutefois le récipient comporte des fissures, le flux à l'orifice d'entrée diminue par rapport à celui de l'orifice de sortie.

Une maison est dans cette dernière situation: le flux d'air à l'orifice d'entrée est toujours inférieur au flux à la sortie de l'air vicié, et il en résulte une perte d'efficacité de la transmission de la chaleur. Pour tirer profit au maximum de l'échangeur de chaleur air-air, il convient donc de s'efforcer de rendre la maison aussi étanche à l'air que possible.

Sur le marché canadien, on trouve encore peu d'échangeurs de chaleur de type résidentiel. Il en existe toutefois en Europe.

Quoiqu'on ne puisse pas l'affirmer avec certitude en ce moment, il ne semble pas que la récupération de la chaleur par l'échangeur air-air devienne rentable au cours des prochaines années, sauf exception. Et parmi les exceptions qu'on peut imaginer, citons le cas d'une petite maison qui serait habitée par plusieurs personnes, ce qui créerait un haut niveau d'humidité et exigerait un taux élevé d'évacuation d'air chaud. Par ailleurs, si on se trouve dans une région très froide, même un taux de ventilation assez bas impose un coût énergétique élevé, d'où une rentabilité accrue de la récupération de chaleur.

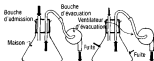


FIGURE 3.7 FLUX DE L'AIR ADMIS ET DE L'AIR ÉVACUÉ

Chapitre 4

Quelques solutions pour l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment

4.1	La pose du pare-air-vapeur	26	4.8	Les fenêtres	76
4.1.1	Recommandations	26	4.8.1	Recommandations	76
4.1.2	Généralités	26	4.8.2	Introduction	76
4.2	L'isolation	30	4.8.3	Accroissement de la résistance thermique	76
4.2.1	Calcul de la résistance thermique (valeur R)	30	4.8.4	Résistance au passage de l'air	77
4.2.2	Analyse des solutions d'isolation et de construction	32	4.8.5	Pose des fenêtres	78
4.3	Les fondations	33	4.9	Les portes	79
4.3.1	Recommandations	33	4.9.1	Recommandations	79
4.3.2	Fondations en bois traité	34	4.9.2	Augmentation de la résistance thermique	79
4.3.3	Hauteur du mur de fondation au-dessus du sol	34	4.9.3	Résistance au passage de l'air	80
4.3.4	Isolation des vides sanitaires	34	4.9.4	Pose des portes	80
4.3.5	Isolation des dalles sur le sol	35			
4.3.6	Sols humides	35			
4.3.7	Isolation des planchers de sous-sol	35			
4.3.8	Isolation appliquée à l'extérieur	35			
4.3.9	Application de l'isolant à l'intérieur	36			
4.3.10	Introduction aux tableaux 4.1 et 4.2	38			
4.4	Les planchers	48			
4.4.1	Recommandations	48			
4.4.2	Généralités	48			
4.5	Les murs	52			
4.5.1	Recommandations	52			
4.5.2	Matelas isolants de densité plus élevée	53			
4.5.3	Montants plus profonds	53			
4.5.4	Panneaux isolants à la place du revêtement intermédiaire	53			
4.5.5	Autres facteurs	54			
4.6	Les toits à comble	62			
4.6.1	Recommandations	62			
4.6.2	L'isolant et sa mise en place	62			
4.6.3	Ventilation des toits à comble	63			
4.7	Les toits plats et les toits en pente légère à plafond incliné	69			
4.7.1	Recommandations	69			
4.7.2	Ventilation du comble	69			
4.7.3	Méthodes d'isolation	70			
4.7.4	Comparaisons de coût	71			

L'enveloppe d'un bâtiment est constituée par les murs, le toit, les fenêtres et les portes, c'est-à-dire par l'ensemble des éléments qui séparent le milieu intérieur de l'extérieur. Les deux principaux moyens dont on dispose pour améliorer la performance énergétique de l'enveloppe sont l'accroissement de sa résistance thermique et l'accroissement de son étanchéité à l'air. Toutefois, on ne devrait introduire ces améliorations qu'après avoir parfaitement exploré le coût qu'elles représentent, les avantages qu'elles procurent et les conséquences négatives qu'elles peuvent entraîner; il y a également lieu de chercher si d'autres méthodes ne permettraient pas d'obtenir les mêmes effets.

4.1 La pose du pare-air-vapeur

La pose du pare-air-vapeur tient une place importante dans les techniques de la construction à faible consommation d'énergie. La présente section expose quelques bonnes façons de procéder.

4.1.1. Recommandations

- Utiliser comme pare-air-vapeur du polyéthylène en feuilles de très grandes dimensions, faisant toute la hauteur des pièces et ayant aussi peu de joints verticaux que possible. Le polyéthylène doit avoir au moins 0,1 mm d'épaisseur.
- À l'endroit d'un joint vertical, faire chevaucher les feuilles d'un mètre un espace entre montants; sinon sceller le joint avec du ruban ou du mastic.
- Sceller le pourtour de toutes les ouvertures, pour maintenir la continuité du pare-air-vapeur.
- Pour l'accès au comble, ne pas passer par le plafond de la partie chauffée d'un logement. Utiliser l'abri d'auto, le plafond du garage, le pignon ou un autre endroit analogue.
- Éviter de placer des prises de courant ou des appareils d'éclairage dans les murs et les plafonds isolés, pour autant que l'observation des règlements le permette.

4.1.2. Généralités

Comme l'a expliqué la section 3.4, le pare-air-vapeur a comme fonction principale d'empêcher l'air chaud et humide de la maison de pénétrer dans l'enveloppe; il doit donc être aussi continu que possible.

Aucune des méthodes décrites ci-après ne prévoit l'utilisation de matériaux isolants à pare-vapeur incorporé; ce matériau ne permet que très difficilement de réaliser la continuité exigée, étant donné la présence de joints verticaux à tous les 400 ou 600 mm.

Au contraire, toutes les méthodes prévoient l'utilisation de polyéthylène en feuilles de très grandes dimensions. Pour ce qui est de l'épaisseur, la feuille de 0,05 mm a une perméabilité suffisamment basse pour agir comme pare-vapeur, mais elle se déchire facilement. On recommande une épaisseur minimale de 0,1 mm.

On crée un point faible dans le pare-air-vapeur en plaçant dans le plafond la trappe d'accès au comble. On peut facilement éliminer ce point faible en plaçant cet accès ailleurs, par exemple dans le plafond d'un garage attenant ou d'un abri d'auto qui communique avec le comble de la maison, ou encore à l'extérieur, dans un pignon. Aucun code n'exige que cet accès soit dans la maison. Mais s'il est nécessaire de l'y placer, on doit l'isoler et le garnir de coupe-froid, comme l'exige le Code national du bâtiment.

Là où les détails de construction ci-contre exigent un mastic, il doit s'agir d'un mastic non durcissant, de bonne qualité, comme un mastic au butyle.

Les figures 4.1 à 4.11 décrivent les façons correctes de procéder à la pose du pare-vapeur.

Il est à noter que ces pratiques, suivies avec soin, auront pour résultat une très grande étanchéité du bâtiment à l'air, et qu'en conséquence il sera nécessaire de ventiler les pièces si on veut éviter les graves ennuis dus à la condensation. Cette précaution s'applique particulièrement aux maisons chauffées à l'électricité. Cette ventilation est traitée à la section 3.2.



FIGURE 4.1 EMLACEMENT DU PARE-VAPEUR

* Normalement, lorsque le faux-plancher est constitué de panneaux, le pare-vapeur n'est pas nécessaire car le faux-plancher est suffisamment étanche à l'air de plus. L'air chaud n'a pas tendance à fuir vers le bas. Si on utilise un pare-vapeur, on doit le placer au-dessus de l'isolant.

Agrafier le pare-vapeur aux solives, tout juste assez pour qu'il puisse supporter l'isolant jusqu'à l'installation du revêtement de plafond (à tous les 500 mm environ, les rangs cartilage étant décalés).

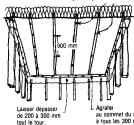


FIGURE 4.2 POSE DU PARE-VAPEUR AU PLAFOND

Recouvrir les portes et les fenêtres, découper par le toit.

Fixer par agrafes ou ruban au cadre des portes ou des fenêtres (il faut une montants et aux traverses de l'ouverture brulée).

• Agrafier au périmètre seulement.

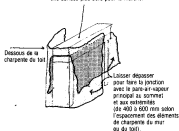
• Employer une quantité minimale d'agrafes (une agrafe à tous les 200 mm environ) étant donné que chaque perforation peut être le point de départ d'une déchirure et que le revêtement bitumeux tient la membrane en place de toute façon.

Laisser dépasser de 200 à 300 mm sur les côtés.

• Installer une membrane aussi grande que possible (couvrant toute la surface du mur d'une pièce) après avoir fixé les bandes terminales des cloisons transversales et la bande de chevauchement de la membrane du plafond (voir la figure 4.6).

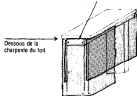
FIGURE 4.3 POSE DU PARE-VAPEUR DANS LES MURS EXTÉRIEURS

Si on doit marcher sur la cloison pour installer la charpente de la toiture, poser une sablière additionnelle pour protéger la membrane et procurer une surface plus sûre pour la marche.



A) Cloison perpendiculaire aux murs et plafonds isolés

Placer sur la sablière une planche plus large que l'épaisseur de la cloison pour procurer un fond de closojo pour le revêtement de plafond.



B) Cloison parallèle à la charpente du toit

FIGURE 4.4 INSTALLATION DU PARE-VAPEUR AU SOMMET ET AUX EXTRÉMITÉS DES CLOISONS

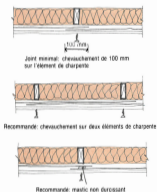


FIGURE 4.5 JOINTS DU PARE-AIR-VAPEUR

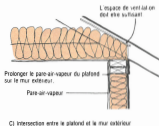
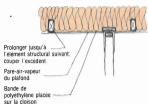
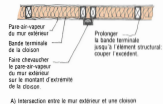


FIGURE 4.6 JOINTS DU PARE-AIR-VAPEUR AUX INTERSECTIONS

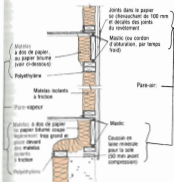


Figure 4.7 INTERSECTION ENTRE LE MUR EXTÉRIEUR ET LE PLANCHER

Note: Le pare-air-vapeur est très difficile à réaliser à cet endroit, c'est pourquoi le pare-air et le pare-vapeur sont distincts.

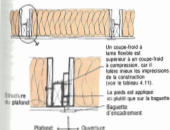


FIGURE 4.8 DÉTAIL DE L'OUVERTURE D'ACCÈS AU COMBLE



FIGURE 4.9 CONTINUITÉ DU PARE-AIR-VAPEUR À L'ENDROIT DES BOÎTES ÉLECTRIQUES

Note: Si possible, évitez de placer des boîtes électriques dans les murs extérieurs et les plafonds isolés.

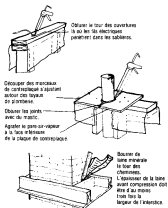


FIGURE 4.10 CONTINUITÉ DU PARE-AIR-VAPEUR AU PLAFOND

Note: Ne pas se fier à l'isolation du plafond pour empêcher les fuites d'air.

Risque d'humidité: laisser au moins 75 mm entre les côtés des maçonneries encastrées et l'isolant. Éviter de placer de l'isolant au-dessus de ces appareils, ce qui empièterait la chaleur.

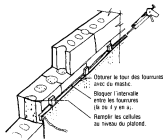


FIGURE 4.11 TRAITEMENT DES MURS MITOYENS EN MAÇONNERIE

4.2 L'isolation

Le reste du présent chapitre décrit diverses solutions permettant d'accroître la résistance thermique de l'enveloppe. En plus d'une description générale des matériaux et des procédés, on trouvera, sous forme de tableaux, une estimation du coût supplémentaire et des possibilités d'économie qui correspondent aux solutions suggérées.

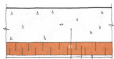
4.2.1. Calcul de la résistance thermique (valeur R)

Ce ne sont pas seulement les matériaux isolants qui donnent à un mur ou à un toit sa résistance thermique; tous les constituants de ce mur ou de ce toit y contribuent. Dans le cas d'un mur à claire-voie en bois, le revêtement extérieur, le revêtement intermédiaire et le revêtement intérieur accroissent la résistance thermique. Toutefois, les montants la diminuent. Le *Bulletin technique des constructeurs n° T-3* de la SCHL de même que les *Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments* du Comité associé du Code national du bâtiment donnent des valeurs de résistance thermique totale pour des éléments de mur, de toit ou de plancher, en y incluant la contribution du revêtement extérieur, du revêtement intermédiaire et du revêtement intérieur, mais sans tenir compte de l'effet négatif des montants structuraux. Ce n'est que dans le calcul des pertes de chaleur et de la puissance du système de chauffage, de même que dans l'estimation du coût annuel de chauffage, qu'on tient compte de cet effet réducteur des montants sur la résistance thermique d'un ensemble.

Le calcul de la résistance thermique d'un élément d'enveloppe consiste simplement à faire la somme des résistances des composantes de l'élément, en ajoutant des valeurs de résistance de surface, intérieure et extérieure. L'annexe B donne les valeurs de résistance nécessaires aux calculs. Les exemples qui suivent décrivent le procédé. La résistance thermique est toujours indiquée en mètres carrés et degrés Celsius par watt.

Exemple 1. Mur de fondation au-dessus du sol

Composant	Résistance thermique
Résistance de surface extérieure	0,030
Béton (0,000 45 × 200)	0,090
Polystyrène (0,034 7 × 76)	2,637
Pare-vapeur	0
Panneau de plâtre, 13 mm (0,006 2 × 13)	0,081
Résistance de surface intérieure	0,120
Résistance thermique totale du mur	2,958

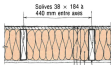


Mur de béton, 200 mm
 Polystyrène, 76 mm
 Panneau de plâtre, 13 mm

* Fait aussi fonction de pare-vapeur.

Exemple 2. Plancher isolé (au-dessus d'un espace non chauffé)

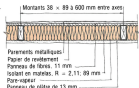
Composant	Résistance thermique
Résistance de surface intérieure	0,162
Tibbaude et moquette	0,366
Contreplaqué de 13 mm (0,008 7 × 13)	0,113
Laine de verre comprimée (4,93 × 0,96)	4,506
Panneau de plâtre de 13 mm (0,006 2 × 13)	0,081
Résistance de surface extérieure (espace non chauffé)	0,030
Résistance thermique totale du plancher	5,258



Moquette et tibbaude
 Contreplaqué, 13 mm
 Pare-vapeur
 Isolant, R = 4,93; 216 mm (comprimé)
 Panneau de plâtre, 13 mm

Exemple 3. Mur extérieur avec revêtement intermédiaire ordinaire

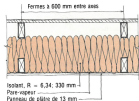
Composant	Résistance thermique
Résistance de surface extérieure	0,030
Parement métallique	0,123
Papier de revêtement	0,011
Panneau de fibres de 11 mm (0,016 5 × 11)	0,182
Isolant, R, 2,11	2,110
Pare-vapeur	0
Panneau de plâtre de 13 mm (0,006 2 × 13)	0,081
Résistance de surface intérieure	0,120
Résistance thermique totale	2,657



Montants 38 × 89 à 600 mm entre axes
 Parements métalliques
 Papier de revêtement
 Panneau de fibres, 11 mm
 Isolant en matelas, R = 2,11; 89 mm
 Pare-vapeur
 Panneau de plâtre de 13 mm

Exemple 4. Plafond

Composant	Résistance thermique
Résistance de surface intérieure	0,105
Panneau de plâtre de 13 mm (0,006 2 × 13)	0,081
Pare-vapeur	0
Isolant	6,340
Résistance de surface extérieure	0,030
Résistance thermique totale	6,556



Fermes à 600 mm entre axes
 Isolant, R = 6,34; 330 mm
 Pare-vapeur
 Panneau de plâtre de 13 mm

On est souvent dans l'obligation de placer des matelas isolants dans des espaces dont la profondeur est moindre que l'épaisseur du matelas. La compression qui en résulte réduit la résistance thermique des matelas mais cette réduction n'est pas proportionnelle à la réduction de l'épaisseur. La figure 4.12 indique de façon approximative la relation qui existe entre la compression et la réduction de résistance. Par exemple, un matelas de 150 mm comprimé dans un espace de 140 mm se trouve réduit à 93% de son épaisseur originale, mais sa résistance thermique est encore égale à 96% de sa résistance originale.

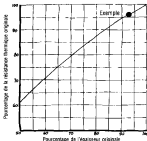


FIGURE 4.12 EFFET DE LA COMPRESSION SUR LA RÉSISTANCE THERMIQUE D'UN MATELAS ISOLANT

4.2.2. Analyse des solutions d'isolation et de construction

Les sections 4.3 à 4.7 inclusivement contiennent des tableaux résumant l'étude des solutions proposées pour l'amélioration de l'isolation. Les chiffres sont calculés par comparaison avec une maison de référence (voir la figure 4.13) construite en conformité avec l'annexe C¹. Les caractéristiques de cette maison sont les suivantes:

Nombre d'étages:	2
Surface de plancher:	140 m ²
Portion isolée du plancher ² :	20 m ²
Surface de mur isolée:	140 m ²
Surface de plafond isolée:	70 m ²
Périmètre du mur de fondation:	33,5 m
Hauteur exposée du mur de fondation:	460 mm

Résistances thermiques³:

Fondation:	Isolant (R = 1,4) jusqu'à 600 mm sous la surface du sol
Plancher:	4,45
Murs:	2,54
Toit:	5,16

¹ Voir à l'annexe C la description des exigences de référence utilisées dans le présent ouvrage.



FIGURE 4.13 MAISON DE RÉFÉRENCE

Ces résistances thermiques, de même que celles des tableaux 4.3 à 4.9 inclusivement, incluent les revêtements extérieurs, les revêtements intermédiaires isolants et les revêtements intérieurs, mais ne sont pas corrigées pour l'effet réducteur de l'ossature. Le revêtement extérieur et le revêtement intérieur sont uniformes, pour faciliter les comparaisons. De toutes façons, ces deux matériaux ne sont pas choisis principalement pour leurs caractéristiques thermiques, mais bien plus en fonction des goûts du public. Si on veut utiliser des matériaux différents, on doit refaire les calculs en se basant sur les exemples précédents. Il est peu probable que les changements dans les matériaux de surface affectent, en matière d'efficacité énergétique, les mérites relatifs des solutions étudiées.

Les coûts indiqués dans les tableaux ont été établis par des constructeurs; ils comprennent les matériaux, la main-d'œuvre, les frais généraux et le profit, et sont basés sur une production régulière en petite série; les montants indiqués sont des coûts par manson. Les économies d'énergie sont calculées en fonction de coûts moyens⁴. Le calcul des délais de récupération est basé sur les données suivantes:

- le coût de l'argent est de 3% supérieur au taux d'inflation;
- l'augmentation du coût de l'énergie, jusqu'en 1985 et au-delà, est celle qui est indiquée à la figure 1.3. Les résultats de ces calculs ont été arrondis en années.

Le supplément de coût représenté par les améliorations proposées n'est souvent que de quelques centaines de dollars; toutefois, les délais de récupération sont quelquefois longs. Au total, ces améliorations valent amplement leur prix; si en plus l'augmentation du prix de l'énergie

² En raison du fait que le garage est intégré au volume du bâtiment, cette disposition a été choisie à seule fin d'illustrer le cas des planchers isolés; en pratique, on devrait l'exclure car elle augmente les pertes de chaleur.

³ Rappelons que la résistance thermique (soléol R) est toujours exprimée en mètres carrés de degrés Celsius par watt (m² °C/W).

⁴ Ces coûts sont les suivants: 0,150 \$ le litre pour le mazout, 0,108 \$ le mégawatt-heure pour le gaz et 0,029 \$ le kilowatt-heure pour l'électricité.

s'accroître, leur attrait économique pourrait augmenter rapidement malgré des délais de récupération relativement longs. Cela s'applique spécialement à certains éléments qu'il est difficile d'améliorer après construction, comme les planchers et les murs. Si le supplément de coût de l'une ou l'autre de ces solutions est inclus dans l'emprunt, l'augmentation dans les paiements mensuels globaux (remboursement plus chauffage) peut être nulle, l'économie d'énergie contrebalançant l'accroissement des versements hypothécaires.

4.3 Les fondations

Relativement à l'isolation des fondations, les questions qui se posent au constructeur sont les suivantes:

- Quel type d'isolant doit-on employer?
- En quelle quantité?
- Jusqu'où doit-on descendre sous le niveau du sol?
- Doit-on placer l'isolant à l'intérieur ou à l'extérieur?
- Y a-t-il lieu d'isoler le plancher?

Les tableaux 4.1 et 4.2 qui font suite à la sous-section 4.3.10 décrivent diverses propositions pour améliorer le bâtiment de base, en indiquant quel en est le coût et quelles économies elles représentent. Comme il y a énormément de variables en cause, les différentes solutions se contentent d'illustrer l'intérêt de diverses approches, plutôt que de présenter toutes les combinaisons possibles. Pour ce qui est des techniques qui ne sont pas étudiées dans ces tableaux, on peut calculer approximativement les économies qu'elles représentent, au moyen de la méthode décrite à l'annexe A. Pour réduire le nombre des variables, nous utilisons dans toutes ces solutions la même hauteur libre sous solive et le même dégageement du mur de fondation par rapport au sol extérieur.

En plus des aspects économiques, il y a lieu d'examiner un certain nombre d'aspects techniques de l'isolation des fondations. C'est ce que nous faisons après les recommandations qui suivent.

4.3.1. Recommandations

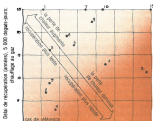
- Dans le choix d'une méthode d'isolation des fondations, ne pas considérer uniquement les avantages économiques théoriques mais aussi la compatibilité de la méthode et des matériaux avec l'ensemble des travaux.
- Le mur de fondation devrait s'élever aussi peu que possible au-dessus du sol extérieur.
- Isoler les vides sanitaires en isolant les murs de fondation plutôt que le plancher situé au-dessus.
- Ne pas isoler le plancher du sous-sol, sauf si on se trouve dans un sol très mouillé ou si la fondation est très peu profonde.
- Lorsqu'on applique l'isolant à l'extérieur des murs de fondation, choisir un matériau résistant à l'humidité, comme le panneau de polystyrène extrudé ou d'uréthane à cellules fermées, et le protéger au-dessus du sol par un panneau d'amiante-ciment ou un enduit. Appliquer l'isolant directement sur le mur, et non horizontalement à partir du mur.

- Lorsqu'on applique l'isolant à l'intérieur des murs de fondation, protéger l'isolant avec un coupe-humidité, un pare-vapeur et un revêtement intérieur.

Les tableaux comparatifs A et B illustrent sommairement la valeur des différentes améliorations proposées. Le facteur de perte de chaleur annuelle (FPC) exprime la quantité d'énergie dissipée par une bande verticale d'un mètre de largeur du mur, de la dalle jusqu'au faux-plancher supérieur. La note 1 de la sous-section 4.3.10 explique plus en détail la signification du FPC.

TABLEAU COMPARATIF A

Solutions pour les murs de fondation et maçonnerie ou en béton

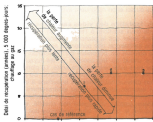


Facteur de perte de chaleur, en watts par degré Celsius et par mètre de périmètre de mur de fondation

Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.1.

TABLEAU COMPARATIF B

Solutions pour les murs de fondation en bois traité



Facteur de perte de chaleur, en watts par degré Celsius et par mètre

Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.2.

4.3.2. Fondations en bois traité

Il n'appartient pas au présent ouvrage de discuter en profondeur des avantages et des inconvénients des divers types de fondations, qu'il s'agisse de fondations en bois traité, en maçonnerie ou en béton. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte et certains prêtent à controverse; aussi discutons-nous séparément des solutions basées sur le bois traité. Quoiqu'il soit évident que les fondations en bois soient plus faciles à isoler que les autres, on peut avancer que le choix de ce type de fondation repose d'abord sur des considérations d'un autre ordre, comme la disponibilité des matériaux ou la capacité d'acceptation des acheteurs éventuels.

4.3.3. Hauteur du mur de fondation au-dessus du sol

En général, un mur de fondation est plus difficile et plus coûteux à isoler qu'un mur à ossature de bois, et tendra donc à être doté d'une moins bonne résistance thermique.

La portion du mur de fondation qui est située au-dessus du sol perd plus de chaleur que la partie située dans le sol, elle en perd également plus que l'enveloppe de la partie supérieure de la maison, en raison de sa plus faible résistance thermique. Il semble alors logique de réduire au minimum la hauteur de cette portion. Toutefois, si le sous-sol est placé trop bas, il deviendra nécessaire de construire des puits de lumière vis-à-vis des fenêtres ou d'éliminer complètement ces dernières. Si un constructeur doit conserver les fenêtres, pour des raisons de marketing, il est préférable de les placer au-dessus du sol plutôt que de faire usage de puits de lumière, étant donné le supplément de coût et les inconvénients que cette dernière solution comporte. Le sommet du mur de fondation sera alors surélevé au-dessus du sol; toutefois on devrait réduire ce dégagement à la hauteur minimale nécessaire pour les fenêtres. Les solutions indiquées aux tableaux 4.1 et 4.2 faisant suite à la sous-section 4.3.10 sont toutes basées sur un dégagement de 460 mm.

Là où le type de maison demande de préférence un sous-sol bien dégagé, comme dans la maison à entrée à mi-hauteur, on arrêtera le mur de fondation légèrement au-dessus du sol et on continuera avec un mur à ossature.

4.3.4. Isolation des vides sanitaires

Il existe deux solutions à l'isolation des vides sanitaires. On peut isoler soit le plancher supérieur, soit les murs du vide sanitaire et une portion de son plancher. La seconde solution est préférable car on dispose alors d'un espace chaud où les conduits et les tuyaux peuvent circuler sans avoir besoin d'être isolés. Le plancher supérieur est alors généralement plus chaud. De plus, cette solution diminue habituellement la surface à isoler. Certaines autorités estiment, assez arbitrairement, que si le vide sanitaire n'est pas directement chauffé on doit le considérer comme un espace non chauffé, et que par conséquent le plancher situé au-dessus doit être isolé. On peut opposer à cette opinion que la perte totale de chaleur de la maison n'est pas plus grande lorsqu'on isole les murs du vide sanitaire plutôt que le plancher situé au-dessus.

Le vide sanitaire doit être muni de soupiraux, pour pouvoir être ventilé en été. Ces soupiraux doivent se fermer par des panneaux isolés et garnis de coupe-froid (figure 4.14). On devrait indiquer aux usagers qu'il leur faut ouvrir les soupiraux en été et les fermer en hiver. Dans les cas où le vide sanitaire (isolé) est utilisé comme plénum d'air chaud, on peut le ventiler en été en laissant fonctionner le ventilateur; alors les soupiraux ne sont plus nécessaires.

La quantité d'isolant à utiliser dans les vides sanitaires peut être la même que celle que donnent les tableaux 4.1 et 4.2 pour les sous-sols. L'épaisseur de l'isolant et la hauteur de la bande d'isolant jugées économiques pour les sous-sols le seront aussi pour les vides sanitaires. Il existe une solution additionnelle consistant à placer directement sur le sol du vide sanitaire la portion d'isolant qui, sur le mur, aurait été sous le niveau du sol (figure 4.15).

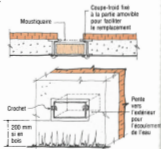


FIGURE 4.14 SOUPIRAUX

Surface totale des soupiraux: 1/500 de la surface de plancher du vide sanitaire

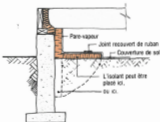


FIGURE 4.15 ISOLATION DES VIDES SANITAIRES

4.3.5. Isolation des dalles sur le sol

Pour déterminer l'isolation des dalles sur le sol, on peut également utiliser les tableaux donnés pour les sous-sols. Par exemple, si on juge économique la solution n° 9 du tableau 4.1, on peut aussi considérer comme valable d'appliquer 51 mm de polystyrène extrudé jusqu'à une profondeur de 1 790 mm sous la surface du sol sur tout le périmètre d'une dalle sur le sol (figure 4.16).

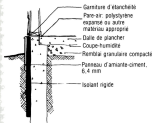


FIGURE 4.16 ISOLATION DES DALLES SUR LE SOL

4.3.6. Sols humides

Les économies indiquées dans les tableaux 4.1 et 4.2 sont calculées en fonction de sols qui, n'étant pas saturés d'eau, ont une certaine valeur isolante. On sait maintenant que si le sol est très mouillé, et spécialement s'il circule de l'eau dans le sol, non seulement celui-ci ne contribue pas à l'isolation du mur mais il lui préleve de la chaleur. En conséquence, dans les terrains très humides, les économies offertes par les divers types d'isolation sont probablement plus considérables (peut-être jusqu'à 25%) que celles que les tableaux indiquent. Toutefois, l'état actuel des connaissances ne permet pas de donner plus de précisions à ce sujet.

4.3.7. Isolation des planchers de sous-sol

Lorsque le sous-sol est placé à la profondeur habituelle et que le sol est sec, il y a tellement de résistance thermique entre le plancher du sol et l'air extérieur qu'il est peu probable que le plancher ait besoin d'isolation additionnelle. Toutefois, si les fondations sont peu profondes ou si le sol est très humide, il peut être économique d'isoler. Pour les sous-sols peu profonds, on peut isoler en suivant les indications données pour les vides sanitaires. Pour les sous-sols construits en sol très humide, on devrait isoler toute la surface du plancher et lui donner la même résistance thermique que les murs du sous-sol.

4.3.8. Isolation appliquée à l'extérieur

L'application de l'isolant sur la face extérieure des murs offre l'avantage d'éliminer la nécessité des fourneaux. Seul

un petit nombre de matériaux isolants peut être placé en contact direct avec le sol. Le polystyrène extrudé est le plus utilisé. Bien qu'il ait aussi été utilisé, le polystyrène expansé ne semble pas recommandable pour cet usage en raison de sa faible résistance à la moisissure; le type 1 (celui dont la densité est la plus faible) est même interdit pour cet usage par le Code national du bâtiment.

Des études récentes du Conseil national de recherches rapportent que dans les pays scandinaves on a expérimenté avec un succès encourageant une méthode d'isolation des murs de fondation par l'extérieur, mais qu'il est encore trop tôt pour tirer des conclusions. Un isolant rigide en fibres de verre, similaire à celui qu'on utilise sur les toits, est appliqué sur toute la hauteur du mur de fondation, où il joue un double rôle: celui d'assurer l'isolation thermique et celui d'améliorer l'écoulement, sur la face du mur, de l'eau du sol vers le drain.

Au-dessus du sol, l'isolant doit être protégé à la fois contre les dommages mécaniques et le rayonnement ultraviolet. On peut réaliser cette protection en recouvrant l'isolant soit d'un panneau d'amiante-ciment de 6,4 mm, soit d'un enduit de ciment de 12 mm appliqué à un lattis métallique cloué à travers l'isolant dans la sole et dans le mur de fondation (figure 4.17). Il existe sur le marché un certain nombre de produits offrant l'apparence de l'enduit et qu'on applique sur l'isolation sans le support d'un lattis. La performance de ces produits n'est pas uniformément bonne; le taux d'échecs a même été suffisamment élevé pour qu'il n'y ait pas lieu de recommander ces produits.

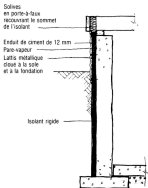
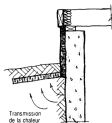
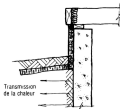


FIGURE 4.17 ISOLATION APPLIQUÉE À L'EXTÉRIEUR

Il existe une autre façon, souvent recommandée pour les maisons existantes, d'appliquer l'isolant sur la face extérieure du mur de fondation. Elle consiste à appliquer l'isolant sur la face apparente du mur et, une fois sous le niveau du sol, à placer l'isolant sur la terre, presque horizontalement (figure 4.18). Cette pratique présente de l'intérêt dans le cas de l'amélioration d'un bâtiment existant, car elle réduit les travaux d'excavation. Dans les bâtiments neufs, cet intérêt n'existe plus. De plus, il semble qu'en sol humide l'isolant ainsi placé soit complètement inefficace, étant donné la forte conductivité thermique de ce type de sol; le flux thermique n'est pas intercepté par un isolant placé horizontalement.



A. Dans un sol sec, l'isolant placé horizontalement stoppe la transmission de la chaleur.



B. Dans un sol humide, l'isolant placé horizontalement laisse la chaleur se dissiper.

FIGURE 4.18 EFFICACITÉ DE L'ISOLATION HORIZONTALE

4.3.9. Application de l'isolant à l'intérieur

L'application de l'isolant à l'intérieur des murs de fondation semble à première vue ne pas poser de problème, jusqu'à ce qu'on se rende compte que l'isolant doit être protégé contre quatre types d'agressions:

- la condensation de la vapeur d'eau intérieure;
- l'eau provenant de l'extérieur à travers le mur;
- le feu;
- les dommages mécaniques.

Si on commence par le bas de cette liste, on doit constater en premier lieu que tous les matériaux isolants sont plutôt mous et fragiles. Partout où s'exercent des activités humaines, on doit protéger l'isolant au moyen de revêtements durables. De plus, l'isolant en plastique alvéolaire doit, selon le Code, être protégé du feu, non seulement parce qu'il est inflammable mais parce qu'il peut contribuer à la propagation rapide des flammes. Il en va de même pour les pare-vapeur en papier kraft recouvert d'asphalte, qui doivent eux aussi être protégés. Un revêtement posé au moyen d'un adhésif devrait en plus être cloué ou vissé au moins à la base et au sommet, en guise de protection supplémentaire advenant la délaillance de l'adhésif en cas d'incendie.

Même les sous-sols les mieux construits ne sont pas parfaitement étanches à l'eau. Il est toujours possible que de l'eau, s'infiltrant à travers le mur, vienne endommager l'isolant. En général, les plastiques alvéolaires ont une résistance suffisante à l'humidité et n'ont pas besoin d'une protection supplémentaire. Les autres isolants ainsi que toute pièce de bois appliquée sur la face intérieure des murs de fondation devraient être protégés par l'application d'un coupe-humidité sur la face intérieure du mur; ce coupe-humidité pourra consister en un revêtement bitumineux, une feuille de polyéthylène ou un papier de construction imprégné d'asphalte.

Ce dernier matériau est recommandable pour deux raisons: d'une part, sa perméabilité est élevée et, conséquemment, il n'agira pas comme un second pare-vapeur; d'autre part, sa capacité d'absorption et de stockage de l'eau pourra entrer en action au printemps, en période de forte circulation d'eau, pour ensuite dissiper l'eau lentement et sans ennui au cours des périodes sèches.

On ne doit pas appliquer de pare-humidité au-dessus du sol, pour faciliter la dissipation de l'humidité qui aura pu s'accumuler. Là où on utilise du bois en conjonction avec un isolant en plastique alvéolaire, on est normalement obligé de mettre en place un coupe-humidité à seule fin de protéger le bois; on peut simplifier cette précaution en enveloppant le bois dans du polyéthylène, en garnissant les pièces de bois d'un dos en polyéthylène, ou en utilisant du bois traité contre la pourriture.

Comme tout autre élément de l'enveloppe du bâtiment, le mur de fondation doit être protégé par un pare-vapeur efficace. Les matériaux isolants à faible perméabilité, comme les plastiques alvéolaires, sont en eux-mêmes résistants au passage de la vapeur; ils n'ont donc pas besoin de pare-vapeur si les joints de revêtement intérieur ne coïncident pas avec les joints de l'isolant et si ce revêtement est appliqué en contact continu avec l'isolant. Sinon, on peut généralement appliquer les principes et les techniques illustrés à la section 4.1. Il y a lieu d'ajouter à cela quelques précautions (voir aussi les figures 4.19 et 4.20):

- Dans le cas des isolants poreux, toujours appuyer les bords des panneaux contre des fourures afin de freiner la circulation de l'air à travers l'isolant.
- Placer un cordon de mastic sous la fourure, à la base de l'isolant, ou mastiquer le bord de la fourure, le long du mur, pour freiner la circulation de l'air à l'arrière de l'isolant.
- Là où un isolant est collé au mur, appliquer l'adhésif par traits continus horizontaux et verticaux plutôt que par simple étalement, de façon à mieux freiner le déplacement de l'air derrière l'isolant. Si l'adhésif utilisé contient des protéines, il devrait de préférence contenir aussi un préservatif s'opposant à la croissance des moisissures ou autres micro-organismes.

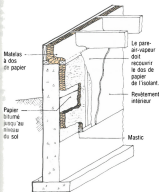


FIGURE 4.19 ISOLATION APPLIQUÉE À L'INTERIEUR

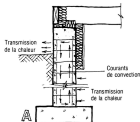
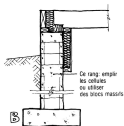
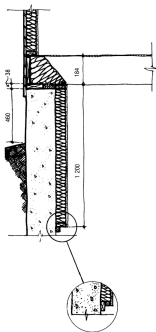


FIGURE 4.20 ISOLATION DES MURS CREUX DE MAÇONNERIE

Les courants de convection dans les cellules des blocs de béton peuvent augmenter considérablement les pertes de chaleur. On peut réduire le phénomène en isolant le mur sur toute la hauteur ou en remplissant les cellules à la hauteur du bas de l'isolation.





Autre méthode. Exige la compression de l'isolant.

4.3.10. Introduction aux tableaux 4.1 et 4.2

1. Comme la résistance thermique (valeur R) du mur de fondation n'est pas uniforme sur toute la hauteur du mur, une valeur unique de résistance pour chaque solution n'en indiquerait pas l'efficacité thermique. En conséquence, les tableaux donnent un facteur de perte de chaleur annuelle (FPC) ainsi que la valeur de résistance thermique de la partie située au-dessus du sol. Ce facteur exprime, en watts par mètre et par degré Celsius de différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur, le débit d'énergie d'une bande verticale d'un mètre de largeur d'un mur, de la dalle du sous-sol jusqu'au faux-plancher supérieur. Il comprend la perte de chaleur à travers :

- la zone de la solive de pourtour;
- la portion du mur située au-dessus du sol;
- la portion du mur située dans le sol.

Plus le facteur de perte est bas, meilleure est l'efficacité thermique de la solution.

2. Toutes les solutions sont basées sur un mur de fondation de 200 mm d'épaisseur sur 2 250 mm de hauteur dépassant de 460 mm au-dessus du sol et portant une sole de 38 mm d'épaisseur et des solives de 184 mm de hauteur. Le dessin ci-contre donne le détail de l'installation, dans le cas des solutions où le mur n'est isolé que partiellement (solutions 1 à 8 inclusivement).

3. Certaines des solutions du tableau 4.1 comprennent la construction d'un mur en montants de 38 x 66 devant le mur de fondation, à une distance variable de celui-ci pour pouvoir recevoir des matelas plus épais que 64 mm. En pareil cas, utiliser des matelas de pleine largeur, du type utilisé pour les montants métalliques, de façon à bien remplir tout l'espace derrière les montants.

4. Nous recommandons l'utilisation :

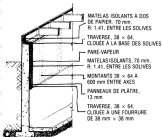
- d'un coupe-humidité sur la face extérieure du mur de fondation, de l'empatement jusqu'à la surface du sol;
- d'un coupe-humidité sur la face intérieure du mur de fondation, depuis le bas de l'isolation jusqu'à la hauteur du sol;

Tableau 4.1 Solutions pour l'isolation des murs de fondation en béton ou maçonnerie

CAS DE RÉFÉRENCE

R au-dessus du sol: 1,73 m²·°C/W

Facteur de perte de chaleur annuelle: 1,095 W/°C·m



Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

Solutions comportant une isolation partielle

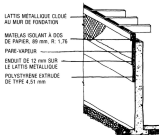
SOLUTION 1

R au-dessus du sol: 2,02

Coût additionnel estimé: 237 \$

FPC: 0,981 W/°C·m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gas	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée Délai de récupération (années)	6,97 \$ 25+	5,75 \$ 25+	9,58 \$ 25+
5 000	Economie annuelle estimée Délai de récupération (années)	8,66 \$ 25+	7,20 \$ 25+	11,95 \$ 25+
6 000	Economie annuelle estimée Délai de récupération (années)	10,42 \$ 23	8,66 \$ 25+	14,32 \$ 20



SOLUTION 2

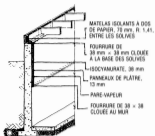
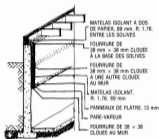
R au-dessus du sol: 2,06
 Coût additionnel estimé: 54 \$
 FPC: 0,975 W/°C·m

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	7,28 \$	6,05 \$	10,03 \$
	Décal de récupération (années)	8	9	6
5 000	Economie annuelle estimée	9,12 \$	7,58 \$	12,56 \$
	Décal de récupération (années)	6	7	5
6 000	Economie annuelle estimée	10,95 \$	9,12 \$	15,09 \$
	Décal de récupération (années)	5	6	4

SOLUTION 3

R au-dessus du sol: 2,23
 Coût additionnel estimé: 138 \$
 FPC: 0,956 W/°C·m

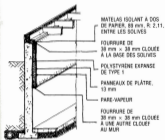
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	8,43 \$	7,06 \$	11,64 \$
	Décal de récupération (années)	17	20	14
5 000	Economie annuelle estimée	10,57 \$	8,81 \$	14,55
	Décal de récupération (années)	14	16	11
6 000	Economie annuelle estimée	12,72 \$	10,57 \$	17,46 \$
	Décal de récupération (années)	11	14	9



SOLUTION 4

R au-dessus du sol: 2,27
 Coût additionnel estimé: 31 \$
 FPC: 0,924 W/°C·m

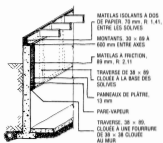
Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée	10,42 \$	8,66 \$	14,32 \$
	Décal de récupération (années)	3	4	2
5 000	Economie annuelle estimée	13,02 \$	10,80 \$	17,65 \$
	Décal de récupération (années)	3	3	2
6 000	Economie annuelle estimée	15,63 \$	13,02 \$	21,45 \$
	Décal de récupération (années)	2	3	2



SOLUTION 5

R au-dessus du sol: 2,43
 Coût additionnel estimé: 77 \$
 FPC: 0,957 W/°C·m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée	8,43	6,97 \$	11,57 \$
	Décal de récupération (années)	10	12	8
5 000	Economie annuelle estimée	10,49 \$	8,73	14,40 \$
	Décal de récupération (années)	8	9	6
6 000	Economie annuelle estimée	12,56 \$	10,49 \$	17,31 \$
	Décal de récupération (années)	7	8	5



SOLUTION 6

R au-dessus du sol: 2,95

Coût additionnel estimé: 299 \$

FPC: 0,817 W/°C · m

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gas	Élect.
4 000	Economie annuelle estimée	16,90 \$	14,09 \$	23,29 \$
	Déla de récupération (années)	18	21	15
5 000	Economie annuelle estimée	21,14 \$	17,62 \$	29,11 \$
	Déla de récupération (années)	14	17	12
6 000	Economie annuelle estimée	25,35 \$	21,14 \$	34,85 \$
	Déla de récupération (années)	12	14	10

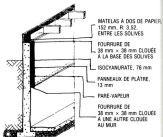
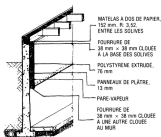
SOLUTION 7

R au-dessus du sol: 4,15

Coût additionnel estimé: 575 \$

FPC: 0,752 W/°C · m

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gas	Élect.
4 000	Economie annuelle estimée	20,84 \$	17,39 \$	28,73 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Economie annuelle estimée	26,04 \$	21,75 \$	35,85 \$
	Déla de récupération (années)	22	25+	19
6 000	Economie annuelle estimée	31,25 \$	26,04 \$	43,05 \$
	Déla de récupération (années)	19	22	16



Solutions comportant une isolation sur toute la hauteur
SOLUTION 8

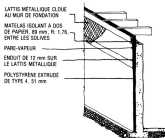
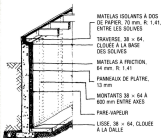
R au-dessus du sol: 1,70
 Coût additionnel estimé: 283 \$
 FPC: 0,855 W/°C·m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Économie annuelle estimée	14,63 \$	12,18 \$	20,07 \$
	Délai de récupération (années)	19	23	16
5 000	Économie annuelle estimée	18,23 \$	15,17 \$	25,12 \$
	Délai de récupération (années)	16	19	13
6 000	Économie annuelle estimée	21,91 \$	18,23 \$	30,10 \$
	Délai de récupération (années)	13	16	11

SOLUTION 9

R au-dessus du sol: 2,02
 Coût additionnel estimé: 521 \$
 FPC: 0,721 W/°C·m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Économie annuelle estimée	22,75 \$	18,92 \$	31,25 \$
	Délai de récupération (années)	23	25+	20
5 000	Économie annuelle estimée	28,42 \$	23,67 \$	39,14 \$
	Délai de récupération (années)	18	22	15
6 000	Économie annuelle estimée	34,09 \$	28,42 \$	46,96 \$
	Délai de récupération (années)	15	18	13



SOLUTION 10

R au-dessus du sol: 2,23

Coût additionnel estimé: 712 \$

FPC: 0,658 W/°C · m

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	26,50 \$	22,06 \$	36,46 \$
	Décalé de récupération (années)	25 +	25 +	24
5 000	Économie annuelle estimée	33,17 \$	27,65 \$	45,58 \$
	Décalé de récupération (années)	21	25 +	19
6 000	Économie annuelle estimée	39,76 \$	33,17 \$	54,69 \$
	Décalé de récupération (années)	18	21	15

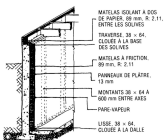
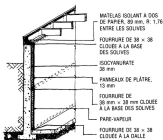
SOLUTION 11

R au-dessus du sol: 2,43

Coût additionnel estimé: 345 \$

FPC: 0,658 W/°C · m

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	26,58 \$	22,14 \$	36,54 \$
	Décalé de récupération (années)	13	16	11
5 000	Économie annuelle estimée	33,24 \$	27,65 \$	45,73 \$
	Décalé de récupération (années)	11	13	8
6 000	Économie annuelle estimée	39,83 \$	33,24 \$	54,85 \$
	Décalé de récupération (années)	9	11	7



SOLUTION 12

R au-dessus du sol: 3,84
 Coût additionnel estimé: 460 \$
 FPC: 0,423 W/°C · m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée	40,83 \$	34,09 \$	56,22 \$
	Délai de récupération (années)	12	14	9
5 000	Economie annuelle estimée	51,09 \$	42,59 \$	70,24 \$
	Délai de récupération (années)	9	11	7
6 000	Economie annuelle estimée	61,28 \$	51,09 \$	84,34 \$
	Délai de récupération (années)	8	9	6

SOLUTION 13

R au-dessus du sol: 4,15
 Coût additionnel estimé: 1 417 \$
 FPC: 0,402 W/°C · m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée	42,13 \$	35,06 \$	57,99 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Economie annuelle estimée	52,70 \$	43,89 \$	72,46 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	24
6 000	Economie annuelle estimée	63,20 \$	52,70 \$	85,94 \$
	Délai de récupération (années)	22	25+	19

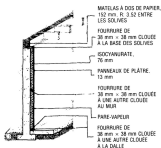
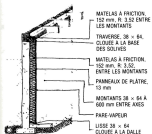
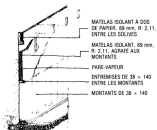


Tableau 4.2 Solutions pour l'isolation des murs de fondation en bois traité

CAS DE RÉFÉRENCE
R au-dessus du sol: 2,45
FPC: 0,920 W/°C·m

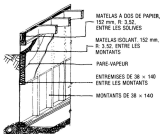


Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

Solutions comportant une isolation partielle**SOLUTION 1**

R au-dessus du sol: 3,06
Coût additionnel estimé: 54 \$
FPC: 0,787 W/°C·m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Elect.	
4 000	Economie annuelle estimée	8,12 \$	6,75 \$	11,11 \$
	Déla de récupération (années)	7	8	5
5 000	Economie annuelle estimée	10,11 \$	8,43 \$	13,94 \$
	Déla de récupération (années)	6	7	4
6 000	Economie annuelle estimée	12,10 \$	10,11 \$	16,70 \$
	Déla de récupération (années)	5	6	4



Solutions comportant une isolation sur toute la hauteur

SOLUTION 2

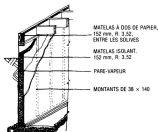
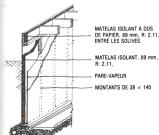
R au-dessus du sol: 2,45
Coût additionnel estimé: 176 \$
FPC: 0,640 W/°C · m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gas	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	17,01 \$	14,17 \$	23,44 \$
	Délat de récupération (années)	11	13	9
5 000	Économie annuelle estimée	21,29 \$	17,77 \$	29,26 \$
	Délat de récupération (années)	9	10	7
6 000	Économie annuelle estimée	25,51 \$	21,29 \$	35,16 \$
	Délat de récupération (années)	7	9	6

SOLUTION 3

R au-dessus du sol: 3,86
Coût additionnel estimé: 268 \$
FPC: 0,457 W/°C · m

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gas	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	28,19 \$	23,44 \$	38,76 \$
	Délat de récupération (années)	10	12	8
5 000	Économie annuelle estimée	35,16 \$	29,34 \$	48,41 \$
	Délat de récupération (années)	8	10	6
6 000	Économie annuelle estimée	42,21 \$	35,16 \$	58,14 \$
	Délat de récupération (années)	7	8	5



4.4 Les planchers

On doit isoler les planchers séparant les espaces chauffés des espaces non chauffés ou de l'extérieur. Cette situation est celle qui se présente communément au-dessus des garages et des vides sanitaires non chauffés et au plancher des parties faisant saillie.

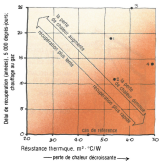
4.4.1. Recommandations

- Isoler les planchers situés au-dessus des garages même si ces derniers doivent être chauffés.
- Remplir d'isolant, sur toute la hauteur, l'espace compris entre les solives.
- Dans les parties faisant saillie, apporter beaucoup de soin à la pose des panneaux et papiers de revêtement, de façon à réaliser un pare-air efficace.

Le tableau comparatif C illustre une évaluation sommaire des diverses solutions.

TABLEAU COMPARATIF C

Solutions pour l'isolation du plancher



Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.3.

4.4.2. Généralités

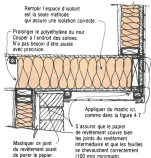
Même dans les cas où le garage est doté de chauffage, il est bon d'isoler le plancher ou la cloison qui le sépare du logement : en effet, la porte d'un garage peut rester ouverte pendant de grandes périodes, et d'autre part il est fréquent qu'on n'utilise pas le chauffage dans le garage. La SCHL exige une telle isolation (Buletin technique des constructeurs, n° T-3).

Le coût additionnel représenté par le fait de remplir complètement d'isolant les planchers à isoler (en comparaison des 152 mm exigés à l'annexe C) entraîne théoriquement un délai de récupération relativement long (tableau 4.3). Mais le coût total ajouté n'est pas très élevé, à moins que la surface de plancher à isoler ne soit considérable. Cette pratique est très recommandée car elle facilite grandement l'isolation correcte du périmètre du plancher.

La tendance d'un plancher à être froid est généralement l'indice des deux défauts suivants :

- le périmètre du plancher n'est pas bien isolé ;
- le pare-air n'est pas efficace et l'air extérieur peut circuler dans l'épaisseur du plancher.

L'isolation totale du plancher, associée aux pratiques de réalisation du pare-air indiquées à la figure 4.21, devrait permettre d'éliminer le problème des planchers froids. On peut aussi, par la conception du système de chauffage (voir le chapitre 5), créer une circulation d'air chaud sur le plancher.



Note : il est très difficile de réaliser ici le type de pare-air décrit à la figure 4.7. On doit apporter beaucoup de soin à la pose du revêtement intermédiaire et du papier. Sinon le plancher aura tendance à être froid, à cause de l'infiltration d'air, même si l'espace est rempli d'isolant.

FIGURE 4.21 ISOLATION DES PLANCHERS EN PORTE-À-FALX

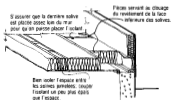
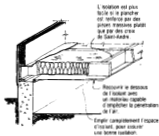
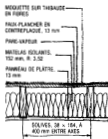


FIGURE 4.22 ISOLATION DES PLANCHERS AU-DESSUS D'UN VIDE SANITAIRE NON CHAUFFÉ

Tableau 4.3 Solutions pour l'isolation des planchers

CAS DE RÉFÉRENCE
R: 4,45 m²·°C/W



Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

SOLUTION 1

R: 5,25 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 21 \$

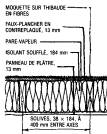
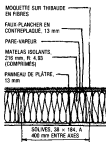
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	1,12 \$	0,94 \$	1,54 \$
	Délai de récupération (années)	19	23	16
5 000	Économie annuelle estimée	1,40 \$	1,10 \$	1,62 \$
	Délai de récupération (années)	16	19	13
6 000	Économie annuelle estimée	1,68 \$	1,95 \$	1,94 \$
	Délai de récupération (années)	13	16	11

SOLUTION 2

R: 5,41 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 14 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	1,30 \$	1,08 \$	1,80 \$
	Délai de récupération (années)	11	13	9
5 000	Économie annuelle estimée	1,62 \$	1,36 \$	2,24 \$
	Délai de récupération (années)	9	11	7
6 000	Économie annuelle estimée	1,95 \$	1,62 \$	2,68 \$
	Délai de récupération (années)	8	9	6



SOLUTION 3

R: 6,06 m² · °C/W

Coût additionnel estimé: 59 \$

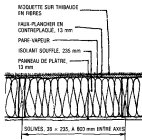
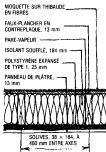
Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	2,30 \$	1,92 \$	3,16 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	23
5 000	Économie annuelle estimée	2,88	2,40 \$	3,94 \$
	Délai de récupération (années)	21	25+	18
6 000	Économie annuelle estimée	3,44 \$	2,88 \$	4,74 \$
	Délai de récupération (années)	17	21	15

SOLUTION 4

R: 6,89 m² · °C/W

Coût additionnel estimé: 43 \$

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	2,94 \$	2,44 \$	4,04 \$
	Délai de récupération (années)	15	18	12
5 000	Économie annuelle estimée	3,68 \$	3,06 \$	5,04 \$
	Délai de récupération (années)	12	14	10
6 000	Économie annuelle estimée	4,40 \$	3,66 \$	6,06 \$
	Délai de récupération (années)	10	12	8



4.5 Les murs

La norme de l'annexe C propose pour les murs un isolant dont la résistance thermique (valeur R) est de 2,11. Jusqu'à tout récemment, c'était la plus haute résistance qui existait dans les isolants en matelas pour utilisation dans les murs en montants de 38 mm x 89 mm. Si on ajoute à cette résistance celle des autres matériaux habituellement utilisés pour la construction des murs, on obtient une résistance totale d'environ 2,5.

Il est à prévoir que la réglementation exigera bientôt une résistance supérieure à celle qu'on peut atteindre avec la construction ordinaire à montants de 38 x 89, ce que plusieurs constructeurs réussissent déjà à réaliser. On trouvera ci-après la description de diverses méthodes permettant d'accroître la résistance thermique des murs.

4.5.1. Recommandations

- Dans le choix des moyens permettant de réaliser des résistances thermiques plus élevées dans les murs, se laisser guider non seulement par l'attrait des courts délais de récupération mais aussi par la compatibilité des techniques et des matériaux avec l'ensemble du processus de construction.
- Choisir le plus grand espacement permis entre montants, de façon à réduire l'effet de pont thermique.
- Dans la construction des coins et des intersections, choisir les agencements de montants qui réduisent la quantité de bois et permettent de remplacer celui-ci par de l'isolant.

Voir au tableau comparatif D une évaluation sommaire des différentes solutions.

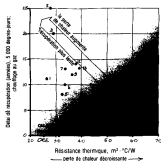
Il existe trois grandes méthodes pour augmenter la résistance thermique d'un mur à ossature de bois:

- l'emploi de matelas isolants de densité plus élevée;
- l'emploi de montants plus profonds;
- l'emploi d'un panneau isolant comme revêtement intermédiaire.

Aucune de ces méthodes n'est idéale pour tous les bâtiments, chacune ayant ses avantages et ses limites.

TABEAU COMPARATIF D

Solutions pour l'isolation des murs



Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.4.

4.5.2. Matelas isolants de densité plus élevée

Les constructeurs disposent maintenant de matelas isolants de 89 mm ayant une valeur R de 2,47, pour utilisation dans des murs à ossature en montants de 38 mm x 89 mm. Bien que ces matelas soient coûteux (ils coûtent presque le double des matelas de même épaisseur ayant une résistance de 2,11, et plus cher que les matelas de 152 mm ayant une résistance de 3,52), ils ont l'important avantage de fournir une résistance additionnelle de 0,36 sans modification aux pratiques traditionnelles de construction. La résistance maximale qu'on peut atteindre avec cette méthode est toutefois limitée à environ 2,8, à moins d'utiliser un isolant rigide à la place du revêtement intermédiaire traditionnel.

4.5.3. Montants plus profonds

L'utilisation de montants de 38 x 140 permet d'utiliser des matelas de 152 mm (R: 3,52), quoique la compression des matelas entraîne une réduction de la résistance à 3,36. Le tableau 4.5 faisant suite à la sous-section 4.5.5 indique que cette méthode est assez économique si l'on met le revêtement intermédiaire (solution n° 10). Toutefois, même si cette dernière pratique est permise par les codes depuis plusieurs années, peu de constructeurs l'ont adoptée.

L'omission du revêtement intermédiaire derrière des revêtements extérieurs ventilés peut entraîner un accroissement des fuites d'air, à cause du déplacement du papier de revêtement.

De plus, dans certaines régions, la fourniture de madriers de 38 mm x 140 mm est limitée. Si cette méthode devenait populaire, le coût de ces madriers augmenterait et les présents calculs perdraient de leur exactitude.

4.5.4. Panneaux isolants à la place du revêtement intermédiaire

Bien que les matériaux couramment utilisés pour le revêtement, comme les contreplaqués, les panneaux de fibres ou autres contribuent à la valeur isolante totale du mur, cette contribution est limitée. Comme les codes n'exigent pas la présence du revêtement intermédiaire, on peut former et le remplacer par des panneaux isolants posés de façon continue sur la face extérieure des montants. Mais ces panneaux isolants ne sont pas aussi solides que les revêtements intermédiaires traditionnels et peuvent avoir du mal à supporter les manipulations brutales associées à la construction à plateforme, particulièrement lorsque les murs sont préfabriqués. De plus, il faut clouer le revêtement extérieur à l'ossature, à travers le panneau isolant; on doit procéder avec soin si on veut éviter d'écraser par endroits l'isolant rigide, créant ainsi des ondulations dans le revêtement extérieur.

Là où on peut utiliser, toutefois, cette méthode offre un avantage important: l'isolant étant continu, la perte de chaleur due au pont thermique des montants est réduite et la résistance thermique est uniforme sur toute la surface du mur. Il existe une grande variété de panneaux isolants. Les plus courants sont énumérés dans le tableau 4.4, qui en indique aussi les avantages et les inconvénients. Ces considérations, avec les conclusions économiques contenues dans le tableau 4.5 faisant suite à la sous-section 4.5.5, devraient aider le constructeur dans son choix.

Tableau 4.4 Matériaux isolants rigides

Matériau	Avantages	Inconvénients
Panneau de fibres	Plus solide Constitue un bon fond pour les revêtements.	Valeur isolante la plus faible Coût relatif le plus élevé
Polystyrène expansé de type 1 (beadboard)	Coût relatif le plus bas	Solide et rigide les plus faibles
Panneau de mousse phénolique	Relativement rigide, à cause des faces de papier Perméabilité élevée*	Coût relativement élevé
Polystyrène extrudé	Solide Résistance thermique élevée	Basse perméabilité* Coût relativement élevé
Panneau de mousse d'isocyanurate à faces en feuille d'aluminium	Résistance thermique la plus élevée Assez rigide en raison du revêtement des faces	Perméabilité la plus basse*
Panneau semi-rigide en fibres de verre	Perméabilité élevée Peut améliorer l'évanchéité à l'air en raison de sa capacité d'être serré entre les solives, etc.	Facile à écraser

*Note: Le fait de placer des matériaux à basse perméabilité sur l'intérieur des murs peut théoriquement amener des problèmes de condensation, quoiqu'aucun cas précis n'ait encore été rapporté. La pose d'un pare-air-vapeur en conformité avec les indications de la section 4.1 devrait réduire ce risque au minimum.

4.5.5. Autres facteurs

Les méthodes décrites dans les sous-sections 4.5.3 et 4.5.4 ont un point en commun : elles accroissent toutes l'épaisseur du mur d'une façon quelconque. Il en résulte un coût additionnel, dû à une combinaison des causes suivantes :

- l'augmentation de la longueur des fermes de toit ;
- l'augmentation de la surface du revêtement extérieur ;
- l'augmentation de la profondeur des cadres des portes et des fenêtres ;
- ou la diminution de la surface de plancher.

Ce coût additionnel, difficile à mesurer, n'est vraisemblablement pas élevé. Les estimations du tableau 4.5 ne tiennent pas compte de ce facteur. Mais les constructeurs peuvent le garder présent à l'esprit lorsqu'ils évaluent les mérites relatifs des différentes méthodes.

Les coûts donnés au tableau 4.5 sont basés sur un espacement de 600 mm, tant pour les montants de 38 mm x 89 mm que de 38 mm x 140 mm, malgré que l'espacement le plus couramment utilisé soit de 400 mm. Lorsqu'un espacement de 400 mm est nécessaire pour des montants de 89 mm, comme au premier étage d'une maison de deux étages, les économies relatives découlant de l'emploi de montants de 140 mm se trouvent mises en lumière. Il est recommandable de choisir l'espacement de 600 mm chaque fois que la chose est permise, étant donné qu'il en résulte un accroissement appréciable de la résistance thermique du mur (de 4 à 8%).

Un agencement judicieux des montants aux coins et aux intersections a aussi pour effet de réduire la quantité de bois dans le mur et d'accroître la quantité d'isolant. La figure 4.23 fournit quelques suggestions.

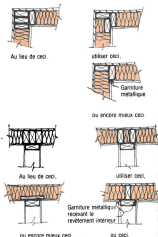
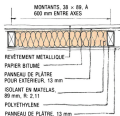


FIGURE 4.23 DÉTAILS DE COINS ET D'INTERSECTIONS

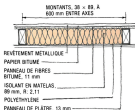
Tableau 4.5 Solutions pour l'isolation des murs**CAS DE RÉFÉRENCE**R: 2,56 m²·°C/W

Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

SOLUTION 1R: 2,86 m²·°C/W

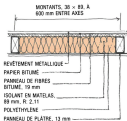
Coût additionnel estimé: 56 \$

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	5,25 \$	4,40 \$	7,10 \$
	Délai de récupération (années)	11	13	9
5 000	Économie annuelle estimée	6,53 \$	5,40 \$	8,95 \$
	Délai de récupération (années)	9	11	7
6 000	Économie annuelle estimée	7,81 \$	6,53 \$	10,79 \$
	Délai de récupération (années)	8	9	6

**SOLUTION 2**R: 2,79 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 271 \$

Degrés-jours	Type de chauffage			
	Mazout	Gaz	Élect.	
4 000	Économie annuelle estimée	9,09 \$	7,53 \$	12,50 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Économie annuelle estimée	11,36 \$	9,51 \$	15,62 \$
	Délai de récupération (années)	24	25+	21
6 000	Économie annuelle estimée	13,63 \$	11,36 \$	18,74 \$
	Délai de récupération (années)	20	24	17



SOLUTION 3

R: 2,91 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 222 \$

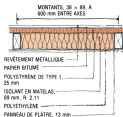
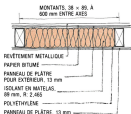
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	10,79 \$	8,95 \$	14,77 \$
	Délai de récupération (années)	21	25	18
5 000	Économie annuelle estimée	13,49 \$	11,22 \$	18,46 \$
	Délai de récupération (années)	17	20	14
6 000	Économie annuelle estimée	16,19 \$	13,49 \$	22,15 \$
	Délai de récupération (années)	14	17	11

SOLUTION 4

R: 3,12 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 0 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	23,86 \$	19,88 \$	32,30 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0
5 000	Économie annuelle estimée	29,82 \$	24,85 \$	41,04 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0
6 000	Économie annuelle estimée	35,78 \$	29,82 \$	49,27 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0



SOLUTION 5

R: 3,25 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 221 \$

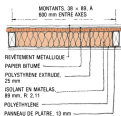
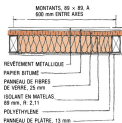
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	27,69 \$	23,15 \$	38,06 \$
	Délai de récupération (années)	8	10	7
5 000	Economie annuelle estimée	34,65 \$	23,83 \$	47,57 \$
	Délai de récupération (années)	7	8	5
6 000	Economie annuelle estimée	41,61 \$	34,65 \$	57,08
	Délai de récupération (années)	6	7	5

SOLUTION 6

R: 3,36 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 312 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	30,67 \$	25,56 \$	42,17 \$
	Délai de récupération (années)	11	13	8
5 000	Economie annuelle estimée	38,34 \$	31,95 \$	52,82 \$
	Délai de récupération (années)	9	10	7
6 000	Economie annuelle estimée	46,01 \$	38,34 \$	63,35 \$
	Délai de récupération (années)	7	9	6



SOLUTION 7

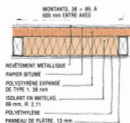
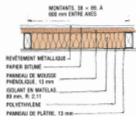
R: 3,36 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 415 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	30,67 \$	25,56 \$	42,17 \$
	Décal de récupération (années)	14	16	11
5 000	Economie annuelle estimée	38,34 \$	31,95 \$	52,82 \$
	Décal de récupération (années)	11	13	9
6 000	Economie annuelle estimée	46,01 \$	38,34 \$	63,33 \$
	Décal de récupération (années)	9	11	7

SOLUTION 8

R: 3,45 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 85 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	33,23 \$	27,69 \$	45,72 \$
	Décal de récupération (années)	3	4	2
5 000	Economie annuelle estimée	41,61 \$	34,65 \$	57,23 \$
	Décal de récupération (années)	3	3	2
6 000	Economie annuelle estimée	49,94 \$	41,61 \$	68,59 \$
	Décal de récupération (années)	2	3	2



SOLUTION 9

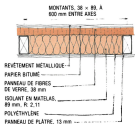
R: 3,66 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 452 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	38,06 \$	31,81 \$	52,40 \$
	Délai de récupération (années)	12	15	10
5 000	Économie annuelle estimée	47,71 \$	39,76 \$	65,60 \$
	Délai de récupération (années)	10	12	8
6 000	Économie annuelle estimée	57,23 \$	47,57 \$	78,67 \$
	Délai de récupération (années)	8	10	7

SOLUTION 10

R: 3,74 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 204 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	33,80 \$	28,12 \$	46,43 \$
	Délai de récupération (années)	7	8	5
5 000	Économie annuelle estimée	42,17 \$	35,07 \$	58,08 \$
	Délai de récupération (années)	5	6	4
6 000	Économie annuelle estimée	50,55 \$	42,17 \$	69,58 \$
	Délai de récupération (années)	5	5	4



SOLUTION 11 :

R: 3,75 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 237 \$

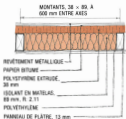
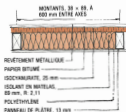
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Economie annuelle estimée	39,76 \$	33,23 \$	54,81 \$
	Délai de récupération (années)	6	8	5
5 000	Economie annuelle estimée	49,70 \$	41,46 \$	68,44 \$
	Délai de récupération (années)	5	6	4
6 000	Economie annuelle estimée	59,78 \$	49,70 \$	82,22 \$
	Délai de récupération (années)	4	5	3

SOLUTION 12

R: 3,80 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 595 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Economie annuelle estimée	41,04 \$	34,22 \$	56,52 \$
	Délai de récupération (années)	15	13	12
5 000	Economie annuelle estimée	51,26 \$	42,74 \$	70,17 \$
	Délai de récupération (années)	12	14	10
6 000	Economie annuelle estimée	61,63 \$	51,26 \$	84,63 \$
	Délai de récupération (années)	10	12	8



SOLUTION 13

R: 3,91 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 515 \$

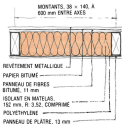
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	38,06 \$	31,81 \$	52,40 \$
	Délai de récupération (années)	14	16	11
5 000	Économie annuelle estimée	47,71 \$	39,76 \$	65,60 \$
	Délai de récupération (années)	11	13	9
6 000	Économie annuelle estimée	57,23 \$	47,57 \$	78,67 \$
	Délai de récupération (années)	9	11	7

SOLUTION 14

R: 4,38 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 493 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	51,40 \$	42,74 \$	70,72 \$
	Délai de récupération (années)	10	12	8
5 000	Économie annuelle estimée	64,18 \$	53,53 \$	88,32 \$
	Délai de récupération (années)	8	10	6
6 000	Économie annuelle estimée	77,11 \$	64,13 \$	106,07 \$
	Délai de récupération (années)	7	8	5



4.6 Les toits à comble

Le constructeur peut rendre les toits à comble plus efficaces sur le plan énergétique simplement en augmentant la quantité d'isolant. Il est alors nécessaire de déployer une attention supplémentaire pour que la ventilation du vide sous toit soit adéquate.

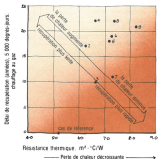
4.6.1. Recommandations

- Commander l'isolant en vrac au poids plutôt qu'à l'épaisseur désirée.
- Accroître l'épaisseur des panneaux de plâtre des plafonds, lorsqu'on les revêt d'enduits grenus à base d'eau.
- Si on construit en hiver, isoler le plafond avant d'entreprendre des travaux produisant de l'humidité.
- Si on construit en hiver, ventiler le bâtiment pour éliminer l'humidité engendrée par les travaux ou par le chauffage temporaire au gaz.
- Garder libres les grilles d'aération d'avant-toit.
- Construire des écrans empêchant le vent de déplacer l'isolant ou de s'y infiltrer.

Voir dans le tableau comparatif E une évaluation sommaire des différentes solutions.

TABLEAU COMPARATIF E

Solutions pour l'isolation des toits à comble



Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.6.

4.6.2. L'isolant et sa mise en place

Il est extrêmement facile, techniquement, d'augmenter la résistance thermique d'un toit à comble: il suffit de placer suffisamment d'isolant, — en vrac ou en matelas, ou les deux. Les chiffres donnés dans le tableau 4.7 faisant suite à la sous-section 4.6.3 devraient aider le constructeur à choisir le type et la quantité. Pour simplifier, nous n'utilisons dans le tableau 4.7 que l'expression « isolant soufflé ».

Certains types d'isolants en vrac, tels la fibre de cellulose et la laine minérale, sont sujets au tassement s'ils ne sont pas mis en place correctement. Pour cette raison, il est préférable d'indiquer les quantités au poids plutôt qu'à l'épaisseur. Par exemple, la SCHL exige que les fabricants de fibres de cellulose impriment sur leurs sacs un tableau du type du tableau 4.6.

Tableau 4.6 Résistance thermique de la fibre de cellulose, selon l'épaisseur ou le poids

Résistance thermique	Épaisseur		Poids par unité de surface, en kg/m ²
	Au moment de la pose, en mm	Après tassement, en mm	
1,0	46	39	1,5
2,0	93	78	3,0
3,0	142	119	4,6
4,0	190	161	6,2
5,0	242	202	7,8
6,0	291	243	9,3
7,0	340	284	10,9

Ces valeurs peuvent varier d'un fabricant à l'autre.

La publication de la SCHL intitulée *Manuel des matériaux, systèmes et outillages acceptables en construction* donne tous ces chiffres pour les isolants approuvés en fibres de cellulose et en laine minérale.

Selon ces chiffres, il est nécessaire de poser 78 kg d'isolant pour réaliser une valeur R de 5,0 dans un plafond de 10 m². L'épaisseur de l'isolant serait de 242 mm au moment de la pose mais, après tassement, décroîtrait à 202 mm, ce à quoi il n'y a pas d'inconvénient si on a bien mis en place 78 kg d'isolant.

Au cours des dernières années, on s'est demandé si le poids de cette isolation supplémentaire pouvait faire gonfler les panneaux de plâtre du plafond. Bien que cette crainte ne soit pas absolument sans fondement, des études récentes ont montré que le gonflement est causé principalement par l'absorption d'humidité par les panneaux sous l'action conjointe des facteurs suivants:

- l'application d'enduits grenus à base d'eau;
- lorsque les travaux ont lieu en hiver, un haut degré d'humidité dû au séchage rapide des matériaux dans des maisons très étanches à l'air;
- la vapeur d'eau pénétrant dans le panneau et se condensant sur le pare-vapeur, lorsque les travaux ont lieu en hiver et que l'isolant n'est pas encore posé.

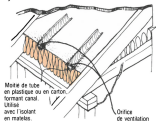
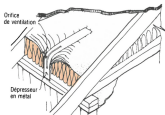
Si le plafond gondole sous l'effet de l'un ou l'autre de ces facteurs, cette déformation ne fera qu'augmenter sous le poids d'un surcroît d'isolant. Le premier remède à ce problème consiste non pas à diminuer l'isolant mais à utiliser un panneau de plafond plus épais (16 mm au lieu de 13) et d'éviter que les conditions ci-dessus ne se réalisent, en utilisant les moyens suivants:

- éviter les épaisses applications d'enduits grenus à base d'eau;
- améliorer la ventilation des lieux pendant les travaux;
- poser l'isolant avant d'entreprendre des opérations qui dégagent de l'humidité, comme le coulage du plancher de béton du sous-sol ou l'application de produits de finition à base d'eau.

4.6.3. Ventilation des toits à comble

Pour éviter les problèmes de condensation dans les combles, la première précaution à prendre consiste à poser un bon pare-air-vapeur au plafond, et la deuxième, à ventiler correctement ces espaces. La surface de ventilation exigée dans les codes est généralement adéquate (1/300 de la surface du plafond, pour la plupart des toits, et 1/150 de la surface du plafond pour les toits à pente légère). Cette ventilation devrait être distribuée uniformément tout le tour du bâtiment. Lorsque la chose est possible, la moitié de la ventilation doit être placée dans les avant-toits et l'autre moitié à la partie supérieure du comble (au pignon ou au faîte), de façon à tirer profit de l'effet de cheminée engendré dans le comble par le réchauffement dû à l'énergie solaire. Cette disposition des ouvertures d'aération peut aussi favoriser le refroidissement du comble en été. La principale précaution à signaler est d'éviter de boucher avec de l'isolant l'espace compris entre le sommet du mur et le dessous du revêtement extérieur du toit, ce qui rendrait la ventilation d'avant-toit inefficace. Il existe plusieurs façons d'éliminer ce problème. Voir les figures 4.24 et 4.25.

Une discussion plus élaborée de la ventilation du comble est faite à la sous-section 4.7.2.



Note: La surface totale des orifices de ventilation doit être égale à la surface totale des grilles de ventilation d'avant-toit.

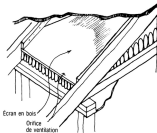
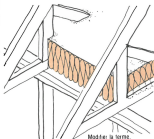


FIGURE 4.24 MÉTHODES POUR ÉVITER QUE L'ISOLANT NE BLOQUE LA VENTILATION DANS LES COMBLES

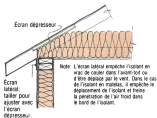
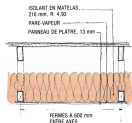


FIGURE 4.25 ÉCRAN LATÉRAL

Tableau 4.7 Solutions pour l'isolation des toits à comble

CAS DE RÉFÉRENCE
R: 5,16 m²·°C/W



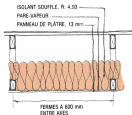
Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

SOLUTION 1

R: 5,16 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 0 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0
5 000	Économie annuelle estimée	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0
6 000	Économie annuelle estimée	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$
	Délai de récupération (années)	0	0	0

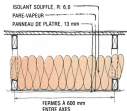


SOLUTION 2

R: 6,23 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 77 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	4,34 \$	3,64 \$	5,95 \$
	Délai de récupération (années)	17	21	14
5 000	Économie annuelle estimée	5,39 \$	4,48 \$	7,42 \$
	Délai de récupération (années)	14	17	11
6 000	Économie annuelle estimée	6,51 \$	5,39 \$	8,96 \$
	Délai de récupération (années)	12	14	9

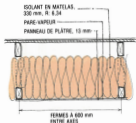


SOLUTION 3

R: 6,57 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 56 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	5,46 \$	4,55 \$	7,49 \$
	Décal de récupération (années)	11	13	8
5 000	Economie annuelle estimée	6,86 \$	5,67 \$	9,38 \$
	Décal de récupération (années)	9	10	7
6 000	Economie annuelle estimée	8,19 \$	6,79 \$	11,27 \$
	Décal de récupération (années)	7	9	6

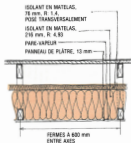


SOLUTION 4

R: 6,57 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 126 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	5,46 \$	4,55 \$	7,49 \$
	Décal de récupération (années)	23	25+	20
5 000	Economie annuelle estimée	6,86 \$	5,67 \$	9,38 \$
	Décal de récupération (années)	18	22	15
6 000	Economie annuelle estimée	8,19 \$	6,79 \$	11,27 \$
	Décal de récupération (années)	15	18	13

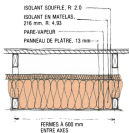


SOLUTION 5

R: 7,16 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 133 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	7,14 \$	5,95 \$	9,80 \$
	Délai de récupération (années)	19	22	16
5 000	Économie annuelle estimée	8,89	7,42 \$	12,25 \$
	Délai de récupération (années)	15	18	12
6 000	Économie annuelle estimée	10,71 \$	8,89 \$	14,70 \$
	Délai de récupération (années)	13	15	10

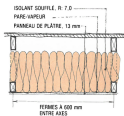


SOLUTION 6

R: 7,23 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 147 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	7,28 \$	6,02 \$	10,01 \$
	Délai de récupération (années)	20	24	17
5 000	Économie annuelle estimée	9,10 \$	7,56 \$	12,46 \$
	Délai de récupération (années)	16	19	13
6 000	Économie annuelle estimée	10,92 \$	9,10 \$	14,98 \$
	Délai de récupération (années)	14	16	11

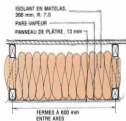


SOLUTION 7

R: 7,27 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 84 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	7,42 \$	6,16 \$	10,22 \$
	Décal de récupération (années)	11	13	9
5 000	Economie annuelle estimée	9,24	7,70 \$	13,74 \$
	Décal de récupération (années)	9	11	7
6 000	Economie annuelle estimée	11,13 \$	9,24 \$	15,33 \$
	Décal de récupération (années)	8	9	6

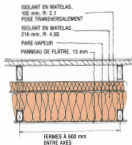


SOLUTION 8

R: 7,27 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 175 \$

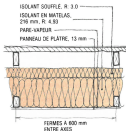
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	7,42 \$	6,16 \$	10,22 \$
	Décal de récupération (années)	23	25+	20
5 000	Economie annuelle estimée	9,24 \$	7,70 \$	12,74 \$
	Décal de récupération (années)	19	22	16
6 000	Economie annuelle estimée	11,13 \$	9,24 \$	15,33 \$
	Décal de récupération (années)	16	19	13



SOLUTION 9

R: 0,16 m² · °C/W
 Coût additionnel estimé: 203 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gas	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	9,38 \$	7,84 \$	12,88 \$
	Décal de récupération (années)	22	25+	19
5 000	Économie annuelle estimée	11,69 \$	9,73 \$	16,10 \$
	Décal de récupération (années)	17	21	15
6 000	Économie annuelle estimée	14,07 \$	11,69 \$	19,32 \$
	Décal de récupération (années)	15	17	12



4.7 Les toits plats et les toits en pente légère à plafond incliné

L'isolation de ce type de toit est beaucoup plus difficile, le problème consistant à placer en totalité l'isolant nécessaire tout en laissant assez d'espace pour la ventilation entre l'isolant et le dessus du toit.

4.7.1. Recommandations

- Éviter si possible les toits plats et les toits en pente légère à plafond incliné.
- Si on en construit, utiliser de préférence une structure à fermes.

Voir aux tableaux comparatifs F et G une illustration sommaire de la valeur des différentes solutions.

4.7.2. Ventilation du comble

Nous avons vu à la section 4.6 que la ventilation du comble n'est pas aussi importante, pour éviter la condensation, que la présence d'un bon pare-air-vapeur. Mais comme la réalisation d'un pare-air-vapeur absolument parfait est impossible, il y a lieu de ne pas négliger la ventilation.

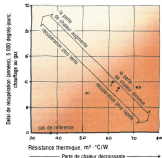
Le rôle joué par la ventilation du comble n'est pas encore parfaitement compris par les scientifiques du bâtiment. On croit généralement que ce rôle est principalement de dissiper la vapeur d'eau qui pénètre dans le comble par les points faibles du pare-air-vapeur. Il n'est pas du tout certain que l'air froid extérieur soit apte à remplir cette fonction, étant donné que généralement il contient déjà lui-même de 80 à 90% d'humidité.

Il est possible que le principal effet de cette ventilation consiste à faire assécher la condensation hivernale par l'air chaud du printemps et de l'été. Il y a peut-être au Canada des milliers de maisons qui connaissent une légère accumulation de condensation dans le comble pendant l'hiver, sans que cela ait de suites importantes, les ouvertures de ventilation étant suffisantes. Sans ces ouvertures, l'humidité pourrait demeurer dans le toit pendant l'été, et à ce moment la présence simultanée d'une température et d'une humidité élevées créerait des conditions idéales pour la croissance des micro-organismes de la pourriture.

Il est extrêmement difficile de réaliser une ventilation correcte dans une toiture en solives remplie ou à peu près remplie d'isolant. Bien que tous les toits de ce type ne souffrent pas nécessairement de problèmes de pourriture ou d'autres problèmes de condensation, il s'en produit suffisamment pour que de plus en plus de codes (voir le Bulletin technique des constructeurs n° T-1 de la SCHL) aient des exigences telles que ce type de construction se trouve virtuellement éliminé.

TABLEAU COMPARATIF F

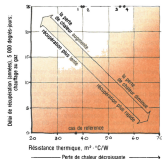
Solutions pour l'isolation des toits plats ou en pente légère; charpente en fermes



Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.8.

TABLEAU COMPARATIF G

Solutions pour l'isolation des toits plats ou en pente légère; charpente en solives



Les numéros renvoient aux solutions décrites au tableau 4.9.

4.7.3. Méthodes d'isolation

Il existe trois méthodes pour isoler les toits plats et les toits à pente légère à plafond incliné:

- l'utilisation de solives profondes combinées à des traverses, pour créer un espace de ventilation au-dessus de l'isolant;
- l'utilisation de fermes à membrures parallèles, pour créer un espace de ventilation au-dessus de l'isolant;
- l'utilisation d'un isolant rigide placé sur le revêtement structural du toit.

Les paragraphes qui suivent décrivent les avantages et les inconvénients de ces méthodes.

La méthode des traverses de ventilation

La norme décrite à l'annexe C exige un minimum de 152 mm d'espace libre au-dessus de l'isolant. Pour réaliser cet espace tout en donnant la résistance thermique exigée pour ce genre de toit (3,52), il est nécessaire, si on utilise des matelas isolants de 152 mm, que la section des solives soit d'au moins 38 mm × 235 mm et celle des traverses de 38 × 89. Cette solution est coûteuse, à moins que la portée n'exige de toute façon des solives de 28 mm × 235 mm. Elle a toutefois l'avantage de faire appel à des techniques et des matériaux familiers.

La méthode des fermes à membrures parallèles ou en ciseaux

L'utilisation de fermes à membrures parallèles (horizontales ou inclinées) permet peut-être d'atteindre d'une façon plus économique la hauteur de toiture désirée. De plus, les fermes, en elles-mêmes, permettent plus facilement que les solives la libre circulation de l'air; cela est désirable car ainsi l'humidité qui s'infiltré dans le toit par les imperfections du pare-air-vapeur dispose d'un espace plus vaste pour se dissiper. Pour être économique, cependant, les fermes exigent une hauteur sensiblement plus grande que celle des solives, pour la même portée, ce qui peut parfois être un inconvénient sur le plan de l'apparence du bâtiment.

Les fermes en ciseaux peuvent être plus avantageuses que les fermes à membrures parallèles pour créer des toits et des plafonds en pente (figure 4.26).

La méthode de l'isolant rigide

Si l'on utilise des isolants rigides en panneaux et qu'on les place sur le revêtement de toiture, on élimine l'espace froid à l'intérieur de la toiture, ce qui réduit grandement les risques de condensation. Toutefois, les matériaux isolants en panneaux rigides sont généralement coûteux et il peut être nécessaire d'en superposer plusieurs rangs pour atteindre la résistance recherchée.

Il existe une variante de cette méthode, appelée la « couverture inversée » (solutions 3 et 4 du tableau 4.8 faisant suite à la sous-section 4.7.4), dans laquelle la membrane de couverture est placée directement sur le revêtement structural de la toiture, sous l'isolant. Cette technique a l'avantage de protéger la membrane contre les rayons ultra-violet et les fortes variations de température. Cependant une bonne évacuation de l'eau est nécessaire pour éviter que l'isolant ne flotte, et la toiture doit être

plus solide pour supporter le poids plus grand du ballast. Seuls les isolants ayant une haute résistance à la vapeur d'eau peuvent être utilisés avec cette méthode; la SCHL s'autorise que le polystyrène extrudé.

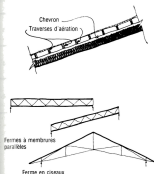


FIGURE 4.26 TYPES DE TOITS

4.7.4. Comparaisons de coût

La méthode des traverses et la méthode de l'isolant rigide nécessitent l'emploi d'une plus grande quantité de bois et semblent être d'au moins 15% plus coûteuses que la méthode des fermes, mais ce chiffre ne tient pas compte d'un certain nombre de coûts associés à l'épaisseur accrue de la ferme (quantité additionnelle de revêtement intermédiaire et extérieur, de couverture, etc.), coûts qui varient avec chaque bâtiment.

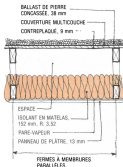
On doit aussi prendre en considération le « coût esthétique », c'est-à-dire l'apparence d'un toit à épaisseur accrue. En conséquence, une simple comparaison entre un toit à solives et un toit à fermes n'est pas valable; pour cette raison, nous les avons placés dans deux tableaux différents, ayant chacun leur cas de référence.

Parmi les solutions à solives, le tableau 4.9 indique que seule la méthode des traverses de ventilation (le cas de référence) est économique, toutes les autres ayant des délais de récupération supérieurs à 25 ans. Ce fait reflète la grande différence de coût qui existe, à valeur thermique égale, entre l'isolant en matelas et l'isolant rigide. On ne peut accroître davantage la résistance thermique de la solution des traverses de ventilation sans rogner sur l'espace libre de 152 mm à laisser au-dessus de l'isolant. Pour se conformer à des exigences élevées, comme celles du Bulletin technique des constructeurs n° T-1 et T-3 de la SCHL, il est nécessaire de recourir soit aux isolants rigides, soit aux fermes.

Tableau 4.8 Solutions pour l'isolation des toits plats et des toits en pente légère sans comble (construction en fermes)

CAS DE RÉFÉRENCE

R: 3,74 m²·°C/W



Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

SOLUTION 1

R: 5,15 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 64 \$

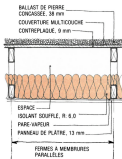
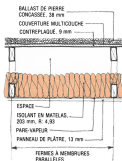
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	9,94 \$	8,26 \$	13,65 \$
	Délai de récupération (années)	9	10	7
5 000	Économie annuelle estimée	12,39 \$	10,36 \$	17,00 \$
	Délai de récupération (années)	7	8	5
6 000	Économie annuelle estimée	14,91 \$	12,39 \$	20,51 \$
	Délai de récupération (années)	6	7	5

SOLUTION 2

R: 6,22 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 154 \$

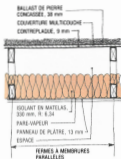
Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Économie annuelle estimée	14,28 \$	11,90 \$	19,60 \$
	Délai de récupération (années)	11	13	9
5 000	Économie annuelle estimée	17,85 \$	14,84 \$	24,57 \$
	Délai de récupération (années)	9	10	7
6 000	Économie annuelle estimée	21,42 \$	17,85 \$	29,47 \$
	Délai de récupération (années)	7	9	6



SOLUTION 3

R: 6,56 m² · °C/W
Coût additionnel estimé: 133 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	15,54 \$	12,95 \$	21,42 \$
	Décal de récupération (années)	9	11	7
5 000	Economie annuelle estimée	19,46 \$	16,17 \$	26,74 \$
	Décal de récupération (années)	7	9	6
6 000	Economie annuelle estimée	23,31 \$	19,46 \$	32,06 \$
	Décal de récupération (années)	6	7	5



SOLUTION 4

R: 7,22 m² · °C/W
Coût additionnel estimé: 161 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	17,36 \$	14,42 \$	23,87 \$
	Décal de récupération (années)	9	11	7
5 000	Economie annuelle estimée	21,63 \$	18,06 \$	29,82 \$
	Décal de récupération (années)	8	9	6
6 000	Economie annuelle estimée	25,97 \$	21,63 \$	35,77 \$
	Décal de récupération (années)	7	8	5

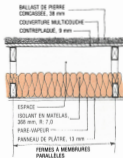
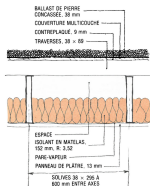


Tableau 4.9 Solutions pour l'isolation des toits plats et des toits en pente légère sans comble (construction en solives)

CAS DE RÉFÉRENCE

R: 3,74 m²·°C/W

Les solutions qui suivent sont classées par ordre de résistance thermique croissante.

SOLUTION 1

R: 4,00 m²·°C/W

Coût additionnel estimé: 535 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	7,21 \$	6,02 \$	9,94 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Économie annuelle estimée	9,03 \$	7,49 \$	12,39 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
6 000	Économie annuelle estimée	10,78 \$	9,03 \$	14,91 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+



SOLUTION 2

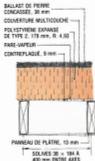
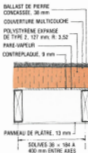
R: 4,05 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 385 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gas	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	7,80 \$	6,30 \$	10,43 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Économie annuelle estimée	9,52 \$	7,91 \$	13,09 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+
6 000	Économie annuelle estimée	11,41 \$	9,52 \$	15,68 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+

SOLUTION 3

R: 5,46 m²·°C/W
Coût additionnel estimé: 756 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gas	Élect.
4 000	Économie annuelle estimée	15,68 \$	13,09 \$	21,63 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Économie annuelle estimée	19,60 \$	16,38 \$	27,02 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+
6 000	Économie annuelle estimée	23,52 \$	19,60 \$	32,41 \$
	Déla de récupération (années)	25+	25+	25+

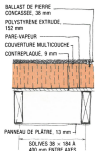


SOLUTION 4

R: 5,61 m² · °C/W

Coût additionnel estimé: 1 057 \$

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Economie annuelle estimée	16,31 \$	13,58 \$	22,47 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
5 000	Economie annuelle estimée	20,37 \$	17,01 \$	28,07 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+
6 000	Economie annuelle estimée	24,50 \$	20,37 \$	33,67 \$
	Délai de récupération (années)	25+	25+	25+



4.8 Les fenêtres

Sur la question des fenêtres, il y a eu des changements considérables dans les opinions du public au cours des dernières années. Avant que l'énergie devienne un sujet de préoccupation, on considérait comme désirable que la maison comporte de larges surfaces vitrées. La « fenêtre panoramique » était une chose dont on ne pouvait pas se passer. Avec l'apparition de la « crise de l'énergie », la fenêtre fut rapidement considérée comme une source de gaspillage d'énergie, qu'il fallait réduire au minimum. Par la suite, on a reconnu que la fenêtre peut contribuer au gain d'énergie lorsque le soleil la frappe. La sous-section 5.6.4 traite de cet aspect positif de la fenêtre. La présente section ne traite que des pertes d'énergie dues aux fenêtres et des façons de les réduire.

4.8.1. Recommandations

- Toutes les fenêtres, y compris les portes vitrées et les vitrages fixes, devaient être à double verre.
- Dans les régions très froides (au-delà de 6 000 degrés-jours approximativement), considérer la possibilité d'utiliser un triple verre.
- Dans la comparaison des coûts entre vitrages doubles ou triples, se rappeler que l'espacement entre les vitres a un effet majeur sur la performance.
- Ne recourir qu'avec prudence aux volets et aux stores isolants.
- Choisir des fenêtres dont la bonne étanchéité à l'air est reconnue.
- Poser les fenêtres avec soin pour ne pas en affaiblir l'étanchéité; s'assurer de créer, entre le cadre de la fenêtre et le mur, un joint bien résistant thermiquement et bien étanche à l'air.

4.8.2. Introduction

Une fenêtre dissipe l'énergie de trois façons:

- par la conduction à travers la fenêtre;
- par le passage de l'air à travers les joints de la fenêtre elle-même;
- par le passage de l'air entre la fenêtre et le mur.

Le constructeur peut donc réduire les pertes de trois manières:

- en choisissant des fenêtres d'une résistance thermique élevée;
- en choisissant des fenêtres dont l'étanchéité à l'air a été démontrée;
- en posant les fenêtres sans en affaiblir l'étanchéité, et en réalisant un bon joint fenêtre-mur.

4.8.3. Accroissement de la résistance thermique

L'addition de rangs de verre est la façon la plus évidente d'accroître la résistance thermique d'une fenêtre. Le vitrage double, que ce soit sous la forme de la fenêtre avec

contrechâssis ou de la fenêtre à double verre scellé, est devenu standard au Canada.

Le vitrage triple, sous la forme du triple verre scellé ou du double verre scellé avec contrechâssis, augmente le coût des fenêtres d'environ 20%. Le délai de récupération estimé est indiqué au tableau 4.10.

Tableau 4.10 Détails de récupération du vitrage triple

Degrés-jours		Type de chauffage		
		Mazout	Gaz	Elect.
4 000	Délai de récupération (années)	23	25	20
5 000	Délai de récupération (années)	19	22	16
6 000	Délai de récupération (années)	16	19	13

On peut aussi poser un vitrage quadruple; le coût initial et le délai de récupération sont proportionnellement plus considérables.

En matière de vitrage double ou triple, il est important de se rappeler que l'épaisseur de la lame d'air comprise entre les pans de verre a un effet important sur la performance thermique de l'ensemble. L'espacement optimal est d'environ 16 mm; la performance décroît rapidement si on diminue l'espace, et modérément si on l'augmente.

Les cadres métalliques des fenêtres devraient comporter des isolateurs thermiques, non seulement pour réduire les pertes d'énergie de chaleur mais aussi pour éviter de sérieux problèmes de condensation et de givrage sur la face intérieure.

Des volets et des stores isolants font actuellement leur apparition sur le marché. Il est encore trop tôt pour se prononcer avec certitude sur leur valeur, mais certaines études semblent indiquer qu'ils peut être excellentes. Pour le moment, le constructeur avisé devrait n'utiliser que ceux qui semblent apporter des solutions indéniables aux problèmes fondamentaux de conception décrits ci-dessous.

Stores et volets intérieurs

Lorsque les stores ou les volets intérieurs sont en place, la surface intérieure de la fenêtre se refroidit considérablement. Le store ou le volet doit fermer de façon étanche pour empêcher l'air humide de la maison de pénétrer dans l'espace et de se condenser sur les fenêtres (figure 4.27).

Lorsqu'on ouvre le store ou le volet, la fenêtre se réchauffe brusquement et il y a risque de bris thermique.



Le périmètre des volets et stores isolants doit être bien étanche de façon à empêcher l'air chaud et humide de la maison d'aller former de la condensation ou du givre sur la vitre.

FIGURE 4.27 VOLET ISOLANT INTÉRIEUR

Volets extérieurs

Dans le cas des volets extérieurs, le problème consiste à réaliser un mécanisme qui fonctionnera adéquatement même s'il est exposé à des conditions atmosphériques très dures pendant de longues périodes. De plus, le volet doit fermer de façon étanche même en présence de glace ou de neige, sinon la circulation d'air froid derrière le volet diminuera considérablement son efficacité.

4.8.4. Résistance au passage de l'air

Le constructeur ne dispose pas de beaucoup d'information sur l'étanchéité à l'air des différentes fenêtres offertes sur le marché. Un numéro d'acceptation de la SCHL indique qu'une fenêtre de même conception a subi avec succès le test exigé par une norme de l'ACNOR ou de l'ONGC. Beaucoup de fenêtres dépourvues du sceau d'approbation de la SCHL, sont aussi bonnes, sinon meilleures, que certaines fenêtres munies de ce sceau; toutefois aucun élément de preuve, à part les affirmations d'une compagnie et sa réputation, ne vient aider le constructeur à juger de leurs mérites.

Il est possible d'énumérer quelques lignes directrices (figure 4.28). Munies de la quincaillerie adéquate, la fenêtre à battants et la fenêtre à auvent ont généralement une étanchéité à l'air supérieure à celle des fenêtres coulissantes, y compris la fenêtre à double guilotine, simplement en raison du fait que leur mécanisme permet une fermeture plus serrée.

Les fenêtres coulissantes (verticalement ou horizontalement) ont une étanchéité limitée, car elles sont conçues pour demeurer faciles à ouvrir et à fermer. Elles ont aussi une longueur plus importante de joint à rendre étanche.

Les fenêtres dans lesquelles les verres coulisent horizontalement sans cadre ont la réputation la plus faible sur le plan de l'étanchéité à l'air: l'étanchéité, réalisée par le contact verre-verre, est sensible aux distorsions même minimes créées lors de la pose de la fenêtre. L'insertion du verre dans un léger cadre de plastique ayant fonction de coupe-froid constitue une amélioration de ce type de fenêtre.

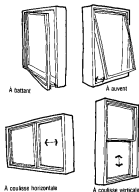


FIGURE 4.28 RÉSISTANCE RELATIVE AU PASSAGE DE L'AIR

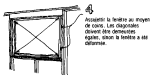
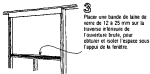
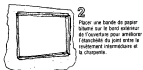
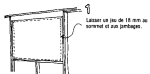
Note: Les fenêtres à battant et à ouvert résistent souvent mieux au passage de l'air que les fenêtres coulissantes.

4.8.5. Pose des fenêtres

Lors de la pose des fenêtres, on doit garder deux objectifs présents à l'esprit:

- éviter de déformer ou de gauchir la fenêtre;
- créer un joint bien isolé et bien étanche à l'air entre la fenêtre et le mur.

Pour atteindre ce double objectif, il y a lieu de donner d'abord à l'ouverture brute des dimensions généreusement plus grandes que le cadre de la fenêtre, soit environ 18 mm au sommet et sur chacun des côtés. Cela facilitera la fixation de la fenêtre et laissera l'espace voulu pour la conner sans la déformer; de plus, cet espace est assez large pour être obturé avec facilité. Les figures 4.29, 4.30 et 4.31 illustrent quelques pratiques recommandées.



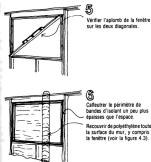


FIGURE 4.29 MÉTHODE RECOMMANDÉE POUR LA POSE DES FENÊTRES

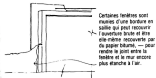


FIGURE 4.30 FENÊTRES À BORDURE EN SAILLIE

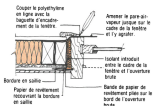


FIGURE 4.31 DÉTAIL DE JAMBAGE ILLUSTRANT PLUSIEURS POSES DES FENÊTRES

4.9 Les portes

Les principes d'économie d'énergie relatifs aux portes sont similaires à ceux qui se rapportent aux fenêtres; toutefois l'accroissement de la résistance thermique est réalisé de façon différente.

Les portes coulissantes en verre et les vitrages fixes attenants aux portes sont, à toutes fins utiles, de grandes fenêtres. La présente section ne traite que des portes ordinaires (à battants).

4.9.1. Recommandations

- Utiliser des portes isolées à moins que des considérations d'ordre économique ne vous en détournent.
- Choisir un coupe-froid qui tolère un certain jeu de la porte et qu'on peut ajuster facilement.
- Prévenir les utilisateurs qu'il leur faudra ajuster les coupe-froid.
- Poser les portes en évitant de les gauchir; réaliser entre le cadre et le mur un joint étanche et bien isolé.

4.9.2. Augmentation de la résistance thermique

La norme décrite à l'annexe C exige que les portes extérieures soient pourvues de contre-portes ou puissent par quelque autre moyen réduire la transmission de la chaleur et le passage de l'air. Le bulletin n° T-1 de la SCHL exige que, dans la plupart des régions du Canada, les portes aient une résistance thermique de 0,7 ou soient munies de contre-portes. Ces deux directives ont essentiellement le même effet, qui est de laisser aux constructeurs le choix entre trois types de portes extérieures. Ce sont, par ordre de résistance thermique croissante:

- une porte massive en bois doublée d'une contre-porte (R: 0,95);

- une porte isolée, en bois ou en métal (R: de 1,0 à plus de 2,0);
- une porte isolée, en bois ou en métal, doublée d'une contre-porte (R: de 1,6 à plus de 2,6).

Le coût d'une porte massive en bois et d'une porte isolée, installation comprise, est à peu près identique. Par contre, la résistance thermique d'une porte isolée est supérieure à celle d'une porte massive en bois doublée d'une contre-porte. Économiquement, le meilleur choix semble évident. Des considérations de marketing peuvent toutefois faire juger préférable la première solution.

Selon la qualité choisie, une contre-porte ajoute un coût qui va de 70 \$ à 150 \$, et ne permet qu'une économie annuelle additionnelle d'environ 1 \$ par rapport à la porte isolée munie simplement d'un coupe-froid. Il n'y a donc aucune raison d'ordre économique d'utiliser des contre-portes. L'intérêt de disposer d'une porte moustiquaire en été est cependant un facteur à considérer.

Quelques précautions sont nécessaires lorsqu'on combine une contre-porte avec une porte isolée, principalement si cette dernière comporte des baguettes décoratives en plastique, comme la chose est courante. Lorsque la partie vitrée de la contre-porte est fermée et que la porte est exposée au rayonnement solaire, la température entre les deux portes peut s'élever au-delà du point de fusion du plastique. Conséquemment, cette combinaison n'est pas judicieuse sur les faces sud et ouest de la maison, à moins que des arbres feuillus ou l'avancée d'un toit ne viennent mettre la porte à l'abri du rayonnement direct.

4.9.3. Résistance au passage de l'air

Ce sont les coupe-froid qui fournissent à la porte sa résistance au passage de l'air. Contrairement aux fenêtres, les portes ne sont pas toujours fournies avec des coupe-froid posés à l'usine; ce travail est souvent fait au chantier. De plus, les coupe-froid des portes doivent affronter des conditions beaucoup plus difficiles que ceux des fenêtres. En effet:

- on ouvre et on ferme les portes beaucoup plus souvent;
- les portes sont sujettes à des déformations plus importantes selon le cycle des saisons.

Le phénomène le plus important à se rappeler, pour bien choisir le type de coupe-froid, est précisément celui des déformations des portes au cours des saisons. Les portes de bois tendent à se bomber vers l'extérieur en hiver en raison des différences d'humidité relative entre l'air intérieur et l'air extérieur. Les portes de métal tendent à se bomber vers l'intérieur, en raison de la différence de température entre leur surface intérieure et leur surface extérieure, quoique d'une façon moins marquée que les portes en bois. Les coupe-froid devraient s'ajuster automatiquement à ces mouvements ou être faciles à ajuster manuellement. Le tableau 4.11 illustre quelques types de coupe-froid avec leurs avantages et leurs inconvénients.










En pratique, il y a généralement lieu que l'utilisateur du bâtiment ajuste périodiquement les coupe-froid s'il veut réduire les fuites d'air au minimum. Le constructeur devrait donc s'efforcer de rendre les utilisateurs conscients de

cette nécessité et leur fournir les instructions appropriées. Cette information pourrait être contenue dans un « manuel du propriétaire ».

4.9.4. Pose des portes

La procédure recommandée à la sous-section 4.8.5 pour la pose des fenêtres convient également à la pose des portes. Toutefois, le besoin d'éviter la distorsion lors de la pose est encore plus important. En effet, la porte mesurant quelque deux mètres de hauteur, une déformation angulaire même minime aura pour résultat des écarts importants.

Tableau 4.11 Sélection du type de coupe-froid

	Pose et matériaux	Avantages et inconvénients
Cloué sur le cadre 	Se cloue sur le jambage. Le modèle en V fonctionne sur le même principe mais est légèrement plus difficile à installer. Les deux se posent plus facilement lorsqu'ils sont vendus pré-perforés. Bronze, aluminium, acier inoxydable.	N'est pas apparent lorsque la porte est fermée. Bonne efficacité. Longue durée. Difficile à régler. Facile à déformer par inadvertance.
Métal avec boudin 	Se cloue ou se visse sur l'arrêt. Le vissage prend plus de temps mais permet un meilleur ajustement. Doit venir légèrement en contact avec la porte, sans toutefois en gêner la fermeture. Aluminium ordinaire ou anodisé. Boudin en vinyle.	Peut s'ajuster si les perforations sont allongées. Durable. Efficace contre les courants d'air, l'eau, le bruit, la lumière, la poussière, l'humidité. Visible toutefois.
Profilé métallique avec boudin 	Se cloue sur l'arrêt. Aluminium avec feutre de laine, de poli ou de coton. Vinyle.	Bloque le passage de l'air, du bruit, de la lumière, de la poussière. Visible toutefois. N'est pas aussi durable que le précédent. Ne peut pas s'ajuster facilement lorsque le boudin n'est plus en contact avec la porte (ou la fenêtre).
Magnétique 	Boudin magnétique de type réfrigérateur. Généralement déjà posé sur un ensemble cadre-porte.	Excellente performance. Suffisamment faible pour absorber les déformations saisonnières des portes d'acier. Peu visible, ne fonctionne qu'avec des portes d'acier.
Mouton-cou-mousse 	Bande de mousse dont une face est adhésive. Se colle sur l'arrêt ou le jambage. Le modèle recouvert de vinyle se cloue.	Se pose en quelques minutes. Ne se voit pas. Bloque le passage de l'air, du bruit, de la lumière, de la poussière, de l'humidité. Courte durée. La mousse perd son élasticité et se brise rapidement. Facile à remplacer.
Cloué au bas de la porte		
Laine flexible 	Se visse sur la face intérieure des portes à ouvrir vers l'intérieur. Aluminium ou acier inoxydable avec mousse ou vinyle.	Ajustable. Efficace. Visible. Peut accrocher les tapis.
Miroir 	Se visse sur la face extérieure des portes ouvrant vers l'intérieur. Lorsqu'on ferme la porte, le coupe-froid remonte. Lorsqu'on la referme, le ligé vient frapper sur le balais et fait descendre le coupe-froid. Aluminium ordinaire ou anodisé, avec garniture en vinyle, néoprène ou feutre.	Utile lorsque le seuil est plat ou qu'il n'y a pas de seuil. Bonne durabilité. Mais peut ne pas se rétracter assez rapidement pour se dégager du seuil ou de la moquette.
Boudin de dessous de porte 	Se place sur le dessous de la porte et se visse sur le devant. Peut s'ajuster si les trous de vissage sont de forme allongée. Aluminium avec garniture de vinyle.	Efficace, durable. Peut être utilisé avec un seuil en bois à celui-ci n'est pas utilisé au milieu. Comporte généralement un lamier. La garniture de vinyle est remplaçable. Toutefois, avant l'installation, un travail de préparation du dessous de la porte peut être nécessaire. On peut devoir remplacer le seuil.
Cloué sur le seuil		
Boudin de vinyle 	Entre en contact avec le dessous de la porte. Celui-ci devrait avoir un biseau d'environ 3 mm pour que l'espace se ferme bien. Existe en plusieurs hauteurs. Il existe aussi un profilé à face inclinée qu'on peut fixer sous la porte pour créer une surface unie. Aluminium ordinaire ou anodisé, avec garniture en vinyle.	Agit comme seuil et coupe-froid. Utile si l'on n'y a pas de seuil ou si le seuil (en bois) est usé. Bonne protection contre les intempéries. Toutefois, à la longue s'aplatit et perd son efficacité. Peut cependant se remplacer.

Chapitre 5

Le chauffage et la climatisation

5.1	Conception du système de chauffage	84
5.1.1	Recommandations	84
5.1.2	Dimensionnement du système	84
5.1.3	Choix du type de chauffage et agencement du système	84
5.2	Systèmes centraux à combustion	85
5.2.1	Recommandations	85
5.2.2	Systèmes au gaz	85
5.2.3	Systèmes au mazout	85
5.3	Systèmes de chauffage électrique	86
5.3.1	Recommandations	86
5.3.2	Plinthes électriques	86
5.3.3	Unités centrales à l'électricité	87
5.4	Thermopompes et systèmes de climatisation	87
5.4.1	Recommandations	87
5.4.2	Thermopompes air-air	87
5.4.3	Systèmes centraux de climatisation	89
5.5	Distribution et régulation de la chaleur	90
5.5.1	Recommandations	90
5.5.2	Systèmes à air pulsé	91
5.5.3	Systèmes à eau chaude	91
5.5.4	Commandes des systèmes de chauffage	92
5.6	Moyens complémentaires de chauffage	93
5.6.1	Recommandations	93
5.6.2	Foyers	93
5.6.3	Poêles à bois	94
5.6.4	Gain passif d'énergie solaire	95
5.6.5	Systèmes actifs de chauffage solaire	97
5.6.6	Chauffage des piscines par énergie solaire	98
5.7	Climatisation d'été au moyen de la ventilation	99
5.7.1	Recommandations	99
5.7.2	Ventilateurs d'évacuation	99

5.1 Conception du système de chauffage

La présente section traite du choix, du dimensionnement et de l'agencement du système de chauffage.

5.1.1. Recommandations

- Éviter de surdimensionner le système ou d'estimer d'une façon approximative la puissance requise.
- Calculer la puissance du système en accord avec les méthodes du HRAI ou de l'ASHRAE.
- S'assurer que la puissance du système projeté est égale ou n'est que légèrement supérieure à la demande calculée.
- Étudier les coûts et la disponibilité des sources d'énergie dans la région avant de faire le choix d'un système.
- Placer l'unité centrale de chauffage aussi près que possible des points à desservir, compte tenu des autres contraintes.
- Relire les autres chapitres du Guide pour vérifier les impacts possibles sur la conception du système de chauffage.

5.1.2. Dimensionnement du système

Le système de chauffage doit être capable d'assurer une température de 22 °C à l'intérieur de la maison. Dans le passé, on a eu tendance à installer des systèmes trop puissants, qui étaient voués à une usure prématurée en raison d'arrêts et de démarrages trop fréquents.

Le fait de ne calculer qu'approximativement la puissance conduit généralement à surdimensionner le système. On peut éviter cela en ayant recours aux méthodes de calcul des pertes de chaleur du HRAI ou de l'ASHRAE.

Au moyen des formules appropriées, on peut déterminer la puissance requise et choisir un appareil d'une puissance égale ou légèrement supérieure à la demande de chauffage. En procédant ainsi, on économise à la fois énergie et argent.

5.1.3. Choix du type de chauffage et agencement du système

Le coût et la disponibilité de la source d'énergie (mazout, gaz, électricité) sont des critères déterminants dans le choix du type de chauffage. Le coût important à connaître est le coût livré à l'édifice. Ce coût s'exprime en dollars par gigajoule (\$/GJ).

Pour déterminer le coût après livraison, on doit connaître l'efficacité annuelle ou saisonnière moyenne de l'équipement de chauffage. Les équipements couramment utilisés de nos jours ont les efficacités saisonnières suivantes: 80% pour le gaz, 65% pour le mazout et 100% pour le chauffage électrique par résistance. En divisant le prix d'achat d'une source d'énergie donnée par la valeur d'efficacité appropriée, on obtient le coût après livraison. Voir le tableau 5.1.

L'unité centrale de chauffage devrait être placée aussi près que possible des points de distribution de la chaleur de façon à réduire au minimum les dimensions du système et à s'assurer que ses composants ne nuiront pas à l'utilisation des espaces.

Avant d'amiter son choix sur un type de chauffage, il est important de lire les sections 5.2 à 5.7.

Tableau 5.1 Coût de la chaleur livrée

	Prix d'achat du combustible, \$/GJ	Efficacité saisonnière de l'équipement de chauffage	Coût de la chaleur livrée à l'édifice, \$/GJ
Gaz	2,90 \$	0,85	4,46 \$
Mazout	3,50 \$	0,65	5,38 \$
Électrique	7,30 \$	1,00	7,30 \$

5.2 Systèmes centraux à combustion

La présente section étudie, en termes de coût initial et de coût d'utilisation, les principaux moyens qui peuvent permettre d'améliorer l'efficacité des unités centrales à combustion.

5.2.1. Recommandations

Chauffage au gaz

Utiliser des unités centrales équipées de dispositifs d'allumage par étincelle installés et ajustés à l'usine.

Utiliser des unités centrales équipées de registres de cheminée installés à l'usine, là où la chose est permise.

Chauffage au mazout

Utiliser des unités centrales équipées de registres de cheminée installés à l'usine.

Utiliser des unités centrales équipées d'une soupape combinant un conduit de mazout à solénoïde et une tête de retenue de flamme.

5.2.2. Systèmes au gaz

Il existe des unités centrales munies d'un dispositif d'allumage intermittent, ou allumage par étincelle électronique, ce qui élimine la nécessité d'une veilleuse (figure 5.1). Lorsque le thermostat demande de la chaleur, l'alimentation démarre et le gaz est enflammé par une étincelle électrique.

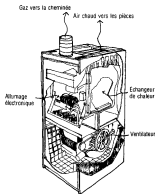


FIGURE 5.1 UNITÉ CENTRALE AU GAZ AVEC ALLUMAGE PAR ÉTINCELLE ET REGISTRE DE CHEMINÉE

Il existe des registres automatiques de cheminée qui permettent de réduire la perte d'air pendant les périodes où l'unité n'est pas en fonctionnement. Lorsque le thermostat arrête l'appareil, le registre de cheminée se ferme, emprisonnant la chaleur résiduelle dans la chambre de combustion et dans l'échangeur de chaleur, d'où le ventilateur la fait circuler à travers la maison. Lorsque le thermostat demande de nouveau du chauffage, le registre s'ouvre, avant l'allumage des brûleurs, pour permettre l'évacuation des gaz de combustion. Un dispositif de sécurité empêche les brûleurs de fonctionner si le registre ne s'ouvre pas.

Le tableau 5.2 indique le coût additionnel de ces dispositifs ainsi que les économies qu'ils permettent de réaliser.

Tableau 5.2 Amélioration du rendement d'un chauffage au gaz

Solution	Installation	Économie annuelle d'énergie* (GJ) (\$)	Coût initial d'acquisition \$	Délai de récupération Années
Allumage par étincelle	Installé à l'usine	6-7 (18-22 \$)	100	6-8
Registre de cheminée	Installé à l'usine	5-10 (15-30 \$)	85	6-8

* L'économie d'énergie procurée par un registre de cheminée dépend des dimensions de l'unité de chauffage, du type de bâtiment et de l'emplacement du bâtiment. Le chiffre le moins élevé s'applique à une maison individuelle située dans la zone de 4 500 degrés-jours et le chiffre le plus élevé, à une maison située dans la zone de 6 500 degrés-jours.

5.2.3. Systèmes au mazout

Dans une unité de chauffage au mazout, le cycle de fonctionnement commence par une activation simultanée de la pompe à mazout, du ventilateur de combustion et de l'allumage. Un jet de gouttelettes de mazout est enflammé par les électrodes; les produits de la combustion cèdent une bonne partie de leur chaleur avant d'être évacués dans l'atmosphère.

Pendant les premières secondes (de 10 à 30 secondes), la pression dans le conduit de mazout et le mouvement de l'air ne sont pas encore adéquats, avec la conséquence que la combustion est habituellement incomplète. Ce phénomène est la principale cause de la formation de suie dans la cheminée. À la fin de la période, la pompe à mazout ne s'arrête pas instantanément et le brûleur continue d'être alimenté pendant quelques secondes; il en résulte encore une combustion incomplète, quoique de façon moins importante.

On peut éliminer ces deux problèmes en plaçant, entre la pompe à mazout et le gicleur, une soupape à solénoïde

à retardement (figure 5.2). Quand l'unité de chauffage se met en marche, la soupape à solénoïde reste fermée et empêche le mazout d'aller au brûleur jusqu'à ce que la pompe ait atteint la pression requise et que le ventilateur du brûleur ait eu le temps de créer le courant d'air traversant la chambre de combustion. À la fin de la période de brûlage, la soupape à solénoïde coupe brusquement l'arrivée de mazout, ce qui empêche le brûleur d'achever la période par une combustion incomplète. La réduction du gaspillage de mazout, à la fin et au début de la période, de même qu'une amélioration générale du fonctionnement engendrent des économies. La réduction de la fréquence des nettoyages permet des économies additionnelles.

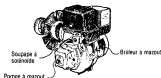


FIGURE 5.2 BRÛLEUR À MAZOUT AVEC SOUPAPE À SOLENOÏDE



FIGURE 5.3 BRÛLEUR À MAZOUT AVEC TÊTE DE RETENUE DE FLAMME

Les registres de cheminée fonctionnent à peu près de la même façon que ceux des unités au gaz¹. Ils retiennent la chaleur résiduelle à l'intérieur de l'unité en empêchant l'air de s'échapper par la cheminée.

Le tableau 5.3 donne un sommaire de ces différentes solutions.

Tableau 5.3 Amélioration du rendement d'un chauffage au mazout

Solution	Installation	Économie annuelle d'énergie* (GJ (\$))	Coût initial d'acquisition \$	Délai de récupération Années
Soupape à solénoïde	Installée à l'usine	1-2 (3-7 \$)	9	3-2
Tête de retenue de la flamme	Installée à l'usine	6-13 (21-45 \$)	Aucun	Immédiate
Registre de cheminée	Installé à l'usine	4-8 (14-28 \$)	85	6-3

* L'économie d'énergie dépend des dimensions de l'unité de chauffage, du type de bâtiment et de l'emplacement du bâtiment. Les économies ne s'additionnent pas nécessairement si on utilise plusieurs des solutions. Le chiffre le moins élevé s'applique à une maison individuelle située dans la zone de 4 000 degrés-jours et le chiffre le plus élevé, à une maison située dans la zone de 6 000 degrés-jours.

5.3 Systèmes de chauffage électrique

La présente section étudie deux types de systèmes de chauffage par résistance électrique. Les recommandations se concentrent sur le recours à de bonnes pratiques d'installation permettant d'économiser l'énergie au maximum. On considère que la conversion d'électricité en chaleur est de 100%, tant pour le chauffage par plinthes que pour le chauffage à générateur central de chaleur.

5.3.1. Recommandations Chauffage par plinthes électriques

- Installer dans chaque pièce, soit un thermostat mural à basse tension, soit un thermostat mural à tension de ligne approuvé par l'ACNOR.
- Dans la cuisine, la salle de bains, les pièces de service et d'entreposage ainsi que dans les vestibules, les plinthes peuvent être à thermostat intégré.

Chauffage par unité centrale à l'électricité

- Installer un thermostat à basse tension ainsi qu'une commande qui permet la mise en marche étagée des éléments de chauffage.

5.3.2. Plinthes électriques

Les plinthes électriques produisent de la chaleur au moyen de fils de résistance ou de liges de résistance. Habituellement, chaque pièce a ses plinthes et son thermostat. Ce système possède une flexibilité dont les systèmes centraux sont dépourvus; il permet de chauffer chaque pièce à la température désirée et de fermer le chauffage lorsque les pièces ne sont pas utilisées.

¹ L'utilisation de registres de cheminée pour le chauffage au mazout est permise à condition que ces dispositifs soient approuvés par l'ACNOR ou l'ULC.

5.3.3. Unités centrales à l'électricité

L'unité centrale doit être localisée le plus près possible (compte tenu des contraintes normales) des points de distribution de la chaleur. Comme les unités à combustion, elle fonctionne avec un ventilateur et des conduits de distribution de l'air chaud. Le thermostat met en marche les serpentins de chauffage de façon étagée lorsqu'il y a une demande de chauffage. La puissance du système, indiquée sur l'appareil, s'exprime en kilowatts; elle est fonction du nombre de serpentins (figure 5.4). Ce type de chauffage a plus de flexibilité que les plinthes, car il permet l'addition de filtres à air, de climatiseurs et de thermopompes. De plus, en faisant circuler l'air, il réduit l'accumulation d'humidité et d'odeurs dans les pièces.

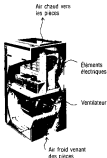


FIGURE 5.4 UNITÉ CENTRALE ÉLECTRIQUE À AIR PULSE

5.4 Thermopompes et systèmes de climatisation

La présente section étudie les thermopompes et les systèmes de climatisation centrale du point de vue de leur coût initial et de leur coût de fonctionnement.

5.4.1. Recommandations Thermopompes

- Dans les régions de 5 000 degrés-jours ou moins, le coefficient de performance des thermopompes devrait être supérieur à 1 à -12°C .
- Dans les régions de plus de 5 000 degrés-jours, ce coefficient devrait être supérieur à 1 à -23°C .
- Si on utilise un système à thermopompe auxiliaire, il doit consister en une unité centrale de chauffage conforme aux indications des sous-sections 5.2.2 et 5.2.3 et en une thermopompe dont les performances sont celles qui sont données aux paragraphes ci-dessus.
- Recourir aux services d'un entrepreneur expérimenté pour l'installation des thermopompes.
- S'assurer qu'il existe un bon service après-vente dans la région.
- Se reporter à la sous-section 5.1.3 pour ce qui a trait à l'emplacement de l'unité intérieure et à la sous-section 5.5.2 pour ce qui a trait au système de distribution.

Systèmes centraux de climatisation

- Examiner la solution de recharge décrite à la section 5.7. Si un système central de climatisation est quand même jugé nécessaire:
- Installer un système dont le rendement énergétique est d'au moins dix kilojoules par watt (kJ/W).
- Retenir les services d'un entrepreneur expérimenté dans l'installation de ce type de système.
- S'assurer que le système n'est pas surdimensionné par rapport au besoin. Le dimensionner en se basant sur les normes du HRAI ou de l'ASHRAE.
- Étudier la possibilité d'utiliser un système mixte à thermopompe plutôt qu'un système ne fournissant que la climatisation.

5.4.2. Thermopompes air-air

La thermopompe air-air est une forme de chauffage électrique. Elle utilise l'énergie électrique pour retirer de la chaleur de l'air extérieur et l'employer pour chauffer l'air intérieur de la maison. On peut la comparer à un réfrigérateur qui fonctionnerait à l'envers (figure 5.5). L'été, on peut renverser le processus pour climatiser l'édifice et dissiper à l'extérieur la chaleur intérieure du bâtiment.

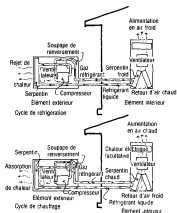


FIGURE 5.5 FONCTIONNEMENT D'UNE THERMOPOMPE

On appelle coefficient de performance (CDP) de l'appareil la mesure de l'efficacité de cette transmission de chaleur. En d'autres termes, le CDP est le quotient de l'effet de chauffage utile net par la quantité d'énergie fournie à l'appareil. Comme on peut utiliser la thermopompe pour la climatisation, la présente section prend en considération à la fois l'énergie dépensée pour le chauffage en hiver et pour la climatisation en été.

Il existe trois grands types de thermopompes : le compresseur à une vitesse, le compresseur à deux vitesses et la thermopompe en système auxiliaire.

La thermopompe à une vitesse

La thermopompe à une vitesse est actuellement la plus répandue. Elle est mise en marche automatiquement par un thermostat. Si le compresseur ne suffit pas pour répondre à la demande, des éléments électriques se mettent en marche pour fournir de la chaleur additionnelle. Le tableau 5.4 étudie les aspects économiques de cette thermopompe.

Divers organismes procèdent actuellement à des études pour mettre au point une thermopompe mieux adaptée au climat du Canada. Parmi les modèles améliorés, signalons la thermopompe à compresseur à deux vitesses, qui se signale par un rendement meilleur dans la gamme des températures extérieures inférieures au point de congélation.

La thermopompe à deux vitesses se caractérise par un fonctionnement plus rapide du compresseur aux températures sous zéro. Les améliorations que ce modèle représente sont indiquées dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 Valeur économique des thermopompes

Système	Coût de l'énergie achetée la première année* \$	Coût initial \$	Délai de récupération** Années
Chauffage électrique	380 \$-570 \$	Cas de référence	—
Unité centrale d'un chauffage au gaz	265 \$-380 \$	Cas de référence	—
Thermopompe standard à une vitesse	290 \$-475 \$	2 400 \$	21-26
Thermopompe standard à deux vitesses	270 \$-395 \$	3 000 \$	22-14
Thermopompe en système auxiliaire	255 \$-380 \$	2 200 \$	14-11

* Le chiffre le moins élevé correspond à la zone de 4 000 degrés-jours; le plus élevé, à la zone de 5 000 degrés-jours.

** Comparaison seulement entre le système électrique et les systèmes à thermopompe.

Thermopompe en système auxiliaire

Si on associe une thermopompe (à une ou deux vitesses) à une unité centrale à combustion, on réalise un système mûre dans lequel la thermopompe n'est utilisée qu'aux températures supérieures à 0 °C environ (figure 5.6). Le principal avantage de ce système provient du fait que le chauffage par combustion est, du moins actuellement, moins coûteux que le chauffage électrique (voir la sous-section 5.1.2). Le tableau 5.4 indique le coût de fonctionnement des thermopompes en système auxiliaire, à une ou deux vitesses, dans des conditions identiques à celles qui étaient données ci-dessus pour les thermopompes fonctionnant en système simple.

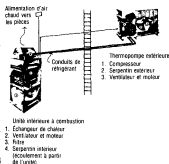


FIGURE 5.6 SYSTÈME À THERMOPOMPE AUXILIAIRE

Les systèmes à thermopompe se caractérisent par un coût initial élevé. Toutefois, si on soustrait le coût d'un système de climatisation de celui d'un système à thermopompe, ce qui est une pratique fréquente, le coût des thermopompes baisse de 1 200 \$ par rapport aux prix indiqués au tableau 5.4.

La thermopompe à une vitesse a un coefficient de performance habituellement supérieur à 1 à -12 °C, et est économique dans les régions de 5 000 degrés-jours et moins. La thermopompe à deux vitesses a un coefficient supérieur à 1 à -23 °C et devient intéressante dans les régions de plus de 5 000 degrés-jours.

Les systèmes à thermopompe auxiliaire devraient consister en une thermopompe d'un des types décrits précédemment et en une unité centrale efficace (voir la section 5.2).

Même la meilleure des thermopompes n'aura pas une performance très élevée si elle n'est pas bien installée. Dans le passé, beaucoup de thermopompes ont été à la fois mal installées et mal entretenues, avec comme conséquence une réduction sensible de leur efficacité. Il est important de ne faire installer des thermopompes que par des entrepreneurs expérimentés dans ce genre de travail. On doit aussi s'assurer qu'on pourra par la suite faire un entretien de qualité.

L'emplacement de l'unité intérieure, l'emplacement du thermostat et la conception des canalisations sont traités respectivement dans les sous-sections 5.2.2, 5.5.4 et 5.5.2.

5.4.3. Systèmes centraux de climatisation

Un système de climatisation refroidit l'air au moyen d'un serpentin situé dans le conduit d'air à la sortie de l'unité centrale, et le ventilateur de l'unité le fait circuler à travers la maison. La chaleur extraite de l'édifice est dissipée à l'extérieur par un condenseur placé à l'extérieur. À remarquer que le Guide présente à la section 5.7 une méthode simplifiée de climatisation qui permet de ne pas faire appel à cette réfrigération mécanique.

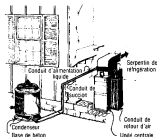


FIGURE 5.7 SYSTÈME TRADITIONNEL DE CLIMATISATION

Les systèmes centraux de climatisation utilisent de l'électricité pour le fonctionnement du compresseur, mais certains sont plus efficaces que d'autres. Les fabricants utilisent pour coter leurs produits la valeur RE (rendement énergétique), qui est le quotient de la chaleur dissipée (en kilojoules) par la puissance requise (en watts). Un système efficace doit avoir un RE d'au moins 10.

Tout comme les thermopompes, les systèmes de climatisation devraient être installés par des entrepreneurs expérimentés, de telle sorte qu'on soit assuré de leur bon fonctionnement. Le choix de la plus petite unité suffisante pour répondre à la demande fera économiser argent et énergie. L'équipement devrait être dimensionné selon les règles du HRAI ou de l'ASHRAE. Un équipement surdimensionné ne réussira pas à réduire l'humidité et pourra voir sa longévité diminuée en raison d'un accroissement du nombre de démarrages.

Si on désire installer la climatisation, on devrait étudier la possibilité d'utiliser simplement une thermopompe. Son coût initial plus élevé est justifié par les économies d'énergie qu'elle procure.

5.5 Distribution et régulation de la chaleur

La présente section porte sur la conception de systèmes de distribution et de régulation propres à réduire l'inefficacité du chauffage dans les divers points d'un logement.

5.5.1. Recommandations Systèmes à air pulsé

- Installer les conduits, les diffuseurs et les grilles conformément avec les normes du HRAI et de l'ASHRAE. Observer particulièrement les règles qui suivent.
- Installer des registres de réglage à tous les branchements.
- Installer des diffuseurs ajustables.
- Pour le retour de l'air vers l'unité centrale, installer moins une bouche de retour par étage.
- Là où on utilise simplement les vides entre soives pour le retour de l'air, ces vides doivent être bien étanchés et de section libre suffisante.
- Enrubanner tous les joints des conduits d'air.
- Disposer les conduits en ligne droite chaque fois que la chose est possible.
- Isoler légèrement les conduits (R: 1,0) pour uniformiser la température de la chaleur aux sorties.
- Dans les pièces situées au-dessous d'espaces non chauffés, installer des sorties d'air dirigeant l'air horizontalement sur le plancher plutôt que verticalement le long des murs.
- Faire le réglage des systèmes en conformité avec les pratiques établies par le HRAI ou l'ASHRAE. Si possible, donner aux utilisateurs les instructions nécessaires pour qu'ils puissent régler la distribution de l'air chaud selon leurs goûts.
- Ne pas placer de conduits dans des murs non chauffés ou des espaces extérieurs.
- Installer des ventilateurs d'une puissance suffisante pour débiter 0,2 m³ d'air par minute par mètre carré de superficie de plancher à chauffer.
- Si le système doit comprendre la climatisation, installer un ventilateur ayant une puissance suffisante pour créer la pression statique additionnelle nécessaire.

Systèmes à eau chaude

- Installer un réseau autorégulateur de distribution d'eau chaude utilisant soit deux tuyaux avec soupapes de réglage, soit un seul tuyau à soupapes de commande automatique.
- Installer des soupapes de réglage et d'arrêt sur tous les radiateurs.

Installer entre les radiateurs et les murs des panneaux isolants à face d'aluminium pour réduire la transmission de chaleur vers l'extérieur.

Isoler les tuyaux d'eau chaude à R: 1,0.

Commandes des systèmes de chauffage

Utiliser des thermostats à basse tension à réglage jour-nuit automatique.

Placer les thermostats sur des cloisons à environ 1,5 m du plancher.

Ne pas les placer sur des murs extérieurs, ni près des fenêtres ou des portes extérieures.

Ne pas les placer sur l'une ou l'autre des faces d'une cloison exposée au soleil, ni sur des cloisons réchauffées sur l'autre face par une cuisinière ou un réfrigérateur, ni sur des cloisons contenant des conduits d'air ou des tuyaux.

Les éloigner des radiateurs, des bouches de sortie d'air chaud et de tout appareil produisant de la chaleur (télévision, lampes, etc.).

Choisir un endroit bien dégagé, où l'air circule sans qu'il y ait pour autant de courant d'air.

Lire à la section 5.3 les indications se rapportant aux thermostats des systèmes de chauffage électrique.

5.5.2. Systèmes à air pulsé

Les systèmes à air pulsé distribuent l'air réchauffé par l'unité centrale au moyen de conduits d'amenée et de conduits de retour. Une mauvaise disposition des conduits aurait pour effet de surchauffer certaines pièces alors que d'autres demeureraient trop froides et amèneraient leurs occupants à modifier le réglage du thermostat. Le système doit être dimensionné et installé en conformité avec les règles du HRAI et de l'ASHRAE; les plus importantes sont énumérées à la sous-section 5.5.1.

Même le meilleur réseau de distribution est sans valeur si l'alimentation en air n'est pas ajustée de façon appropriée, en accord avec les règles du HRAI et de l'ASHRAE. De plus, les utilisateurs devraient recevoir les instructions nécessaires pour régler la température des diverses pièces en ajustant le débit d'air.

Placer les conduits dans les espaces non chauffés ou dans les murs extérieurs provoquerait d'inutiles pertes de chaleur. Si on y est obligé, les joints des conduits devraient être scellés et les conduits eux-mêmes isolés. La résistance thermique de cette isolation devrait être égale à celle de la paroi où ils se trouvent ou qu'ils traversent, et être jamais inférieure à 1,0.

On peut uniformiser la température du logement en élevant la vitesse du ventilateur au-dessus du minimum requis pour le chauffage, car cela réduit la différence de température entre l'air d'alimentation et l'air de retour. Un débit de 0,2 m³ par minute par mètre carré de surface de plancher est désirable. Une puissance de débit plus élevée nécessite aussi l'addition éventuelle d'une thermopompe

ou d'une unité de climatisation; en effet, ces dispositifs exigent un supplément de pression pour compenser la chute de pression dans le serpentin.

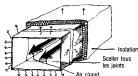


FIGURE 5.8 ISOLATION DES CONDUITS DE CHAUFFAGE

5.5.3. Systèmes à eau chaude

Les systèmes à eau chaude sont généralement utilisés dans les édifices multi-familiaux, où une seule chaudière centrale fournit la chaleur à tout l'édifice. Toutefois, on peut aussi les trouver dans les maisons unifamiliales.

L'eau est chauffée dans la chaudière (entre 50 et 100 °C), pompée dans le système, vers les radiateurs placés dans les pièces, et retournée ensuite vers la chaudière pour y être réchauffée. Les chaudières ont généralement une capacité de 5 à 10 litres, ce qui permet de répondre rapidement à la demande et de réduire les pertes de chaleur à la chaudière même. La source d'énergie peut être le mazout, le gaz ou l'électricité.

Pour fournir une distribution uniforme de la chaleur d'une pièce à l'autre, on devrait utiliser un système autorégulateur tel que ceux des figures 5.9 et 5.10. Le système à deux tuyaux fournit une eau chaude de température uniforme à chaque radiateur. Les soupapes de réglage permettent l'ajustement individuel des radiateurs. Le système à un tuyau avec soupape de commande automatique permet de faire varier l'écoulement de l'eau de façon à s'ajuster aux besoins de chaleur de chaque pièce.

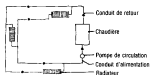


FIGURE 5.9 SYSTÈME À EAU CHAUDE À DEUX CONDUITS

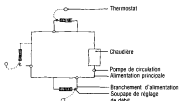


FIGURE 5.10 SYSTÈME À EAU CHAUDE À UN CONDUIT À RÉGLAGE INDIVIDUEL DES RADIATEURS

Quel que soit le système utilisé, on devrait pouvoir, au moyen de radiateurs munis des soupapes appropriées, ajuster le débit de chaleur dans chaque pièce et couper la chaleur dans les pièces inoccupées.

L'émission de chaleur par un radiateur se fait par une combinaison de convection et de rayonnement. L'installation, entre le radiateur et le mur, d'un panneau isolant à face d'aluminium réduit la perte de chaleur par le mur extérieur.

Tout comme les conduits d'un système de chauffage à air pulsé, la tuyauterie d'un système de chauffage à eau chaude ne devrait jamais circuler dans des espaces non chauffés ou dans les murs extérieurs. Tous les tuyaux d'alimentation devraient être isolés ($R: 1,0$) de façon à réduire la dissipation de la chaleur et à uniformiser la température de distribution.

5.5.4. Commandes des systèmes de chauffage

En général, c'est par l'installation de thermostats à basse tension dans les principales pièces qu'on assure la régulation de la température dans un logement. Ces thermostats sont reliés à un relais qui commande le fonctionnement de l'unité centrale. Les thermostats à basse tension sont sensibles à des changements minimes de température; ils mettent l'unité centrale en marche lorsque la température de la pièce desservie descend à 0,5 degré au-dessous de la température de réglage, et l'arrêtent lorsque la température est montée à 0,5 degré au-dessus. Le thermostat à tension de ligne est moins recommandable car il est moins sensible, ne réagissant que lorsque la température a baissé de plusieurs degrés. Cela peut engendrer un accroissement de consommation de combustible, car l'occupant aura tendance à modifier le réglage du thermostat pour éviter l'inconfort des chutes de température. Les thermostats pour le chauffage électrique sont décrits à la section 5.3.

On peut réaliser d'importantes économies d'énergie en réduisant la température lorsque la maison n'est pas occupée ou, la nuit, lorsque les occupants sont moins

sensibles aux baisses de température. Ce réglage peut se faire à la main; il existe aussi des thermostats à réglage automatique. L'économie d'énergie est proportionnelle l'abaissement du thermostat.

Le niveau optimal d'abaissement nocturne du thermostat est très variable selon les personnes. Le tableau 5.5 indique que les économies d'énergie que divers abaissements permettent de réaliser.

Pour fonctionner de façon appropriée, un thermostat doit être placé de façon à ne pas être influencé par des gains ou des pertes de chaleur artificiels. La section 5.1 donne les principales règles se rapportant à ce sujet.

Tableau 5.5 Économies annuelles d'énergie correspondant à divers abaissements du thermostat la nuit (réglage le jour 22 °C)

Réglage de la température	Économie annuelle d'énergie* (GJ (\$))	Coût** (\$)	Débit de récupération Annué
22 °C	Cas de référence		
20 °C	4-8 (12-24 \$)	90	8-4
18 °C	6-12 (18-36 \$)	90	7-3
16 °C	8-16 (24-48 \$)	90	5-2

* Les économies dépendent de l'emplacement et des dimensions de l'unité de chauffage, du type de bâtiment et de l'emplacement du bâtiment. Le chiffre le moins élevé s'applique à une maison individuelle située dans la zone de 4 000 degrés-jours et le chiffre le plus élevé, à une maison située dans la zone de 6 000 degrés-jours. Le système de chauffage est au gaz. Période de température basse; 8 heures.

** Pour un thermostat à abaissement automatique.

5.6 Moyens complémentaires de chauffage

La présente section étudie les systèmes de chauffage qui ne sont pas généralement utilisés comme seule source de chaleur, comme les foyers, les poêles à bois, les systèmes à gain passif d'énergie solaire et les systèmes actifs de chauffage solaire (y compris les systèmes de chauffage des piscines).

5.6.1. Recommandations

Foyers

- Si l'on installe un foyer, le munir de portes de verre ainsi que d'une alimentation directe en air de combustion.
- Utiliser les foyers comportant des dispositifs de chauffage de l'air par convection naturelle ou assistée.
- Étudier la possibilité d'utiliser des poêles-foyers de préférence aux foyers intégrés traditionnels.

Poêles à bois

- S'assurer que les poêles sont installés en conformité avec les recommandations des fabricants et avec la réglementation existante, comme le Code national du bâtiment, de façon à prévenir les risques d'incendie. Consulter aussi la publication de la SCHL intitulée *Le chauffage au bois en toute sécurité*, n° NHA517B.
- Ne jamais combiner un poêle à bois à une unité centrale ordinaire à combustion, à moins qu'il ne s'agisse d'un ensemble vendu à cette fin par un fabricant et que le tout soit conforme à la réglementation.
- Installer des poêles à bois hermétiques.
- Installer des grilles communiquant avec les autres parties de la maison de façon à favoriser la convection de l'air au-dessus du poêle.

Systèmes à gain passif d'énergie solaire

- Se reporter aux sections 2.4 et 2.5 pour ce qui a trait à l'implantation du bâtiment, à l'aménagement paysager et aux fenêtres.
- Étudier la sous-section 5.6.4 ci-après.

Systèmes de chauffage solaire actif

- Si l'on installe un système de chauffage solaire, retenir les services de spécialistes tant pour la conception que pour l'installation.
- Étudier soigneusement, avant de construire, toutes les répercussions de l'installation d'un système solaire sur les autres composants du bâtiment (solidité de la charpente du toit, effets de la neige, effets du vent, etc.).
- N'installer de systèmes solaires sur un bâtiment d'habitation que si le bâtiment a été conçu au départ pour recevoir un tel système, de façon à assurer la compatibilité des composants solaires avec le reste du bâtiment.

- Installer un système de chauffage auxiliaire capable de satisfaire en totalité la demande de chauffage du bâtiment, quel que soit le type de système solaire utilisé, de façon à assurer au bâtiment une source fiable de chaleur.

Les systèmes solaires actifs pour le chauffage des piscines

- Munir les piscines de couvertures isolantes amovibles (quel que soit le type de chauffage utilisé).
- Remplacer le chauffage traditionnel des piscines par un système préfabriqué de chauffage solaire capable de satisfaire la demande de chaleur de la piscine du 15 mai au 15 septembre.
- Faire installer le système par un représentant autorisé du fabricant.

5.6.2. Foyers

En raison de leur conception peu efficace, les foyers traditionnels peuvent entraîner un accroissement de la consommation d'énergie.

Un foyer métallique préfabriqué, n'étant pas intégré à la construction, donne plus de chaleur à la pièce qu'un foyer traditionnel en maçonnerie placé le long du mur extérieur, car une plus grande partie du foyer est en contact avec l'air de la pièce. Toutefois, le foyer traditionnel en maçonnerie est plus compatible avec les dispositifs permettant d'accroître l'efficacité des foyers.



FIGURE 5.11 Foyer métallique préfabriqué

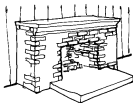


FIGURE 5.12 Foyer de maçonnerie intégré

Tout l'air qu'un foyer évacue par la cheminée doit être remplacé par de l'air extérieur froid. La quantité de chaleur nécessaire au réchauffement de cet air peut être supérieure à celle qui est fournie par le foyer. On peut réduire l'infiltration si le foyer reçoit directement son air de l'extérieur (figure 5.13). La meilleure manière d'assurer la régulation du flux d'air dans le foyer est d'utiliser deux registres, un pour le conduit d'amenée d'air et un autre pour la cheminée; sinon la combustion risque d'être trop vive et la plus grande partie de la chaleur se dissipera par la cheminée. Des portes de verre à l'entrée du foyer peuvent aussi réduire la quantité d'air de la pièce aspirée par le foyer. L'utilisation de conduits d'amenée d'air et de portes de verre peut augmenter l'efficacité d'un foyer de 25%, ce qui est bien supérieur aux pertes de chaleur engendrées par les foyers traditionnels.

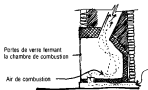


FIGURE 5.13 Foyer à faible consommation d'énergie

Un foyer à circulation d'air est doté d'une efficacité plus grande car il réchauffe l'air de la pièce. Il comporte des bouches qui captent l'air près du sol, le réchauffent en le faisant circuler autour de la chambre de combustion (munie d'une double enveloppe) et le rejettent dans la pièce par les bouches supérieures (figure 5.14). La circulation de l'air se fait par convection naturelle, quoiqu'on puisse aussi l'activer au moyen d'un ventilateur intégré.

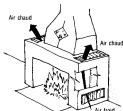


FIGURE 5.14 Foyer à circulation d'air

Le poêle-foyer constitue une intéressante solution de recharge au foyer. Il est muni d'une porte qui, en position ouverte, permet de voir la flamme comme dans un foyer. Quand on ferme la porte, l'efficacité de l'appareil est celle d'un bon poêle.

Dans une maison à forte étanchéité, on ne devrait pas installer de foyer sans le munir d'une alimentation directe en air. Autrement, on pourrait provoquer la sous-alimentation en oxygène de l'unité centrale de chauffage, ce qui pourrait avoir de graves conséquences. Pour assurer une alimentation en air propice à un fonctionnement approprié du système de chauffage, consulter les codes relatifs aux systèmes à combustion.

5.6.3. Poêles à bois

La où l'occupant peut se procurer le bois gratuitement ou à très bon compte, l'utilisation du poêle à bois pour chauffer les maisons devient une solution à considérer. Il est important que toute installation de chauffage au bois soit conforme aux recommandations des fabricants et aux exigences de la réglementation (Code national du bâtiment), de façon à prévenir les risques d'incendie. La figure 5.15 illustre quelques exigences importantes.

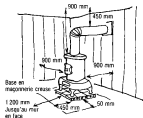


FIGURE 5.15 DÉGAGEMENTS AUTOUR D'UN POÊLE À BOIS

Jusqu'à ce qu'il existe des normes et des équipements adéquats, on ne devrait jamais brancher un appareil au bois à un système existant fonctionnant au mazout, au gaz ou à l'électricité. Parmi les risques que de telles installations comportent, on doit retenir le danger d'allumage s'il y a une fuite de gaz ou le surchauffage des conduits si une interruption du courant électrique empêche le ventilateur de fonctionner. Chose encore plus importante, une telle pratique entraînerait l'annulation de la certification ACNOR ou ULC de l'unité centrale du système de chauffage. Il existe plusieurs appareils mixtes, fonctionnant au bois et au combustible fossile, qui sont approuvés.

Si on envisage d'utiliser de tels appareils, on doit s'assurer qu'ils comportent la certification ACNOR ou ULC. On doit aussi se rappeler que les exigences réglementaires relatives à l'installation des conduits et des cheminées des systèmes au bois ne sont pas les mêmes que pour les systèmes traditionnels. Une observation attentive de la réglementation est nécessaire pour préserver la sécurité des occupants.

Il existe de nos jours des poêles étanches dont l'efficacité peut s'élever jusqu'à 85%. Comme ils sont étanches, on peut régler leur alimentation en air; leur fonctionnement n'engendre pas de courants d'air et la durée de la combustion peut être prolongée. Toutefois, si la combustion est très lente, il peut y avoir formation de créosote. Pour le nettoyage, il est nécessaire que l'intérieur de la cheminée soit facilement accessible.

Pour porter au maximum l'efficacité du poêle, on devrait placer des grilles au plancher et au plafond de la pièce où il se trouve, de façon à favoriser le déplacement de l'air chaud vers les pièces adjacentes. On peut utiliser des ventilateurs électriques pour accélérer la circulation de l'air (figure 5.16).

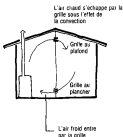


FIGURE 5.16 GRILLES FAVORISANT LA CIRCULATION DE L'AIR

5.6.4. Gain passif d'énergie solaire

Les sections 2.4 et 2.5 ont montré qu'il est possible, par une disposition appropriée de la maison et de ses fenêtres, d'utiliser le rayonnement solaire pour le chauffage des maisons. La présente sous-section décrit les méthodes qui permettent d'augmenter la chaleur fournie à la maison.

Le principe de base du captage passif de l'énergie solaire consiste à orienter l'édifice du côté sud, en plaçant une faible quantité de fenêtres sur les façades est et ouest et une quantité minimale sur la façade nord; les rayons solaires qui pénètrent engendrent de la chaleur lorsqu'ils frappent des objets. Lorsque le rapport entre la superficie de fenestration et la superficie de plancher est élevé, il peut y avoir surchauffage de la pièce. On peut empêcher cet effet de se produire en construisant la maison avec des matériaux ayant une capacité thermique élevée (capacité de stocker la chaleur) comme des planchers de béton, des murs de maçonnerie (figure 5.17), des barils remplis d'eau qui absorberont la chaleur lorsque les rayons solaires les frapperont et qui la rejeteront dans la pièce lorsque le soleil disparaîtra (figure 5.18).

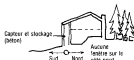


FIGURE 5.17 CAPTAGE ET STOCKAGE PAR MUR-MASSÉ



FIGURE 5.18 CAPTAGE ET STOCKAGE PAR PILE DE BARILS

Il y a deux grandes méthodes de captage passif:

- La méthode du gain direct: les locaux sont directement chauffés par les rayons solaires et la chaleur est stockée par les matériaux de la maison. Voir les sections 2.4 et 2.5 (figure 5.19).
- La méthode du mur-masse: une masse recouverte de verre, frappée par le soleil, capte et stocke la chaleur solaire pour la transmettre ensuite aux locaux (figure 5.20).



FIGURE 5.19 SYSTEME À GAIN DIRECT



FIGURE 5.20 SYSTEME À MUR-MASSE

Le mur Trombe et la serre attenante sont deux dispositifs associés au principe du mur-masse (figures 5.21 et 5.22).

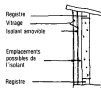


FIGURE 5.21 MUR TROMBE

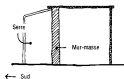


FIGURE 5.22 SERRE ATTENANTE ET MUR-MASSE

Le mur Trombe rayonne de la chaleur vers l'intérieur mais, de plus, réchauffe et fait circuler l'air de la maison, par convection, en la captant à la base et en la rejetant par le haut (figure 5.23). L'été, ce déplacement de l'air peut constituer une ventilation naturelle, si on a installé une bouche d'aération s'ouvrant vers l'extérieur (figure 5.24).

La serre attenante fait aussi circuler de l'air chaud vers les locaux, mais peut engendrer des problèmes d'humidité dans le bâtiment.

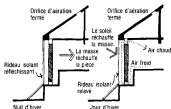


FIGURE 5.23 MUR TROMBE. FONCTIONNEMENT EN HIVER

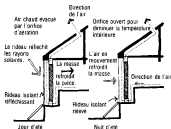


FIGURE 5.24 MUR TROMBE. FONCTIONNEMENT EN ÉTÉ

5.6.5. Systèmes actifs de chauffage solaire

Il y a deux grands types de systèmes actifs de chauffage solaire: les systèmes à stockage à court terme et les systèmes à stockage annuel. En ce moment, au Canada, aucun de ces systèmes n'est rentable pour des applications individuelles. Leurs délais de récupération vont de 20 à 50 ans et plus, aux prix actuels de l'énergie.

Tous ces systèmes utilisent soit l'air, soit l'eau, pour faire circuler la chaleur. Les systèmes à court terme utilisent souvent l'air à cause du coût relativement bas de la pierre concassée généralement utilisée pour le stockage. On peut utiliser l'eau, ou un autre liquide, pour réduire le volume de stockage dans les systèmes annuels. Les systèmes à court terme peuvent aussi utiliser l'eau. Les systèmes à eau doivent toutefois être protégés contre les risques de gel.

Dans le système à stockage à court terme, le fluide (air ou liquide) sert à la transmission de la chaleur circulant à travers les collecteurs solaires, où il est réchauffé, et se dirige vers la chambre de stockage thermique, où il cède sa chaleur. Le système de chauffage de la maison retire la chaleur de la masse selon la demande thermostatique. Les systèmes à court terme satisfont environ 50% de la demande annuelle de chauffage. Pour une maison, un système typique exige 65 m² de surface collectrice et 4,5 m³ de stockage.



FIGURE 5.25 SYSTÈME TYPIQUE DE CHAUFFAGE SOLAIRE

Les systèmes à stockage annuel fonctionnent d'une façon analogue, mais la chambre de stockage est beaucoup plus considérable. Ces systèmes peuvent être conçus pour satisfaire 100% de la demande annuelle de chauffage d'un édifice. Pour une maison, une installation typique exige environ 46 m² de surface collectrice et 150 m³ de stockage.

Les systèmes de chauffage solaire exigent une vaste zone dégagée du côté sud pour les collecteurs solaires.

Ceux-ci sont installés à un angle qui, par rapport à l'horizontale, est de 15 degrés de plus que la latitude du lieu. Se reporter à la sous-section 2.2.4 pour étudier les considérations relatives à la position de la maison sur le terrain. Il faut aussi avoir prévu l'espace pour la chambre de stockage. Pour la réalisation de systèmes de chauffage solaire, on devrait ne retenir les services que de concepteurs et d'entrepreneurs d'expérience.

Des collecteurs solaires installés sur le toit augmentent les charges portées par la toiture. On doit aussi mettre en place un réseau considérable de canalisations reliant les capteurs au stockage et le stockage au système de chauffage. Il est important d'avoir bien prévu tout l'impact de l'équipement solaire sur les autres composants du bâtiment.

Si on étudie la possibilité d'installer un système solaire lorsque les plans sont déjà faits et que la maison est partiellement construite, il peut être difficile de trouver l'espace pour loger l'équipement, faire circuler les tuyaux et conduits, etc. On peut ne pas avoir suffisamment étudié les détails de construction des planchers ou calculé la capacité porteuse du toit. Peu de gens ont une expérience approfondie des systèmes solaires, et les problèmes de construction qui s'y rattachent sont mal connus. On ne devrait installer de systèmes solaires que lorsque la chose a été soigneusement étudiée dès le début de la conception du projet.

La mise en place d'un système solaire ne devrait pas affecter le dimensionnement et l'installation d'un système de chauffage traditionnel. Les systèmes solaires sont rarement capables de satisfaire 100% de la demande de chauffage, étant donné qu'il est fréquent que des problèmes de fonctionnement exigent l'arrêt complet du système. Tout système solaire doit donc être accompagné d'un système auxiliaire complet.

5.6.6. Chauffage des piscines par énergie solaire

L'évaporation de l'eau constitue la principale cause de perte de chaleur d'une piscine extérieure. On devrait toujours, quel que soit le système de chauffage utilisé, recouvrir les piscines extérieures de couvertures isolantes, durant les périodes où elles ne sont pas en usage.

Il existe des systèmes préfabriqués de chauffage solaire capables de remplacer les systèmes traditionnels à combustibles fossiles (figure 5.26). L'eau de la piscine, après être passée dans le filtre, circule dans les collecteurs solaires, y est réchauffée et retourne à la piscine. Ces systèmes coûtent environ 65 \$ par mètre carré de surface collectrice, installation comprise. Une piscine typique exige environ 30 m² de surface collectrice. La saison de fonctionnement d'une piscine extérieure va généralement de 15 mai au 15 septembre. Au cours de cette période, le système solaire devrait être capable de fournir 100% de la demande, à condition qu'on utilise une couverture. Le délai de récupération, par rapport à un système traditionnel, est de 3 à 7 ans.

On doit faire installer le système par un représentant autorisé du fabricant si on veut qu'il fonctionne adéquatement et n'endommage ni la maison ni l'équipement de la piscine.

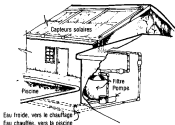


FIGURE 5.26 CHAUFFAGE D'UNE PISCINE PAR ÉNERGIE SOLAIRE

5.7 Climatisation d'été au moyen de la ventilation

La présente section étudie la possibilité d'économiser l'énergie en utilisant, pour la climatisation d'été, un simple ventilateur d'évacuation placé dans le comble.

5.7.1. Recommandations

- Étudier la possibilité d'utiliser, pour la climatisation d'été, un ventilateur d'évacuation placé dans le comble plutôt que les systèmes mécaniques traditionnels.
- Dès le début de la période de chauffage, recouvrir le ventilateur d'un couvercle isolé et muni d'un coupe-froid.
- Relier le ventilateur à un interrupteur facile d'accès.
- Prévoir dans les avant-toits, les pignons ou le toit des ouvertures d'aération de surface suffisante.

5.7.2. Ventilateurs d'évacuation

L'utilisation de systèmes mécaniques de réfrigération pour climatiser les logements pendant l'été est devenue une pratique courante au cours des dernières années, mais le coût initial et le coût d'utilisation de ces systèmes a favorisé la recherche de nouvelles solutions plus économiques. Une construction plus étanche à l'air et une meilleure isolation permettent de réduire, dans une bonne mesure, le besoin de climatisation. Un bon ventilateur d'évacuation peut améliorer la ventilation de la maison et réduire les températures nocturnes en introduisant dans la maison de l'air extérieur plus frais. Pendant le jour, la maison sera généralement plus fraîche que l'extérieur, de telle sorte que le ventilateur n'aura pas à fonctionner; toutefois, si la température intérieure atteint 28 °C, un accroissement du déplacement de l'air pourra procurer une sensation de confort. Une partie de la chaleur intérieure de la maison vient de ce que les plafonds situés directement sous le comble rayonnent de la chaleur, même s'ils sont bien isolés (figure 5.27). Bien que la forte résistance thermique d'un plafond bien isolé atténue grandement ce problème, l'action du ventilateur le diminue encore en abaissant la température du comble.

Il est évident que pendant les vagues de chaleur, alors que la nuit est presque aussi chaude que le jour, la ventilation ne peut à elle seule refroidir la maison. Toutefois, le ventilateur de comble pourra au moins empêcher la température de la maison de s'élever beaucoup au-dessus de la température extérieure, et créera aussi un déplacement de l'air dans la maison.

Le ventilateur doit de préférence être placé dans le comble pour les raisons données plus tôt. Il doit avoir une capacité suffisante pour évacuer tout le volume d'air de la maison au moins une fois toutes les 30 minutes. Les pignons constituent le meilleur emplacement. Si cela n'est pas possible, on peut installer le ventilateur au plafond, dans l'ouverture d'accès au comble. Dans l'un et l'autre cas, l'appareil doit, pour l'hiver, être muni d'un couvercle isolé soigneusement calfeutré. L'ouverture d'accès doit elle aussi être isolée; voir les détails à la sous-section 3.1.2 et à la figure 4.8.

Le ventilateur doit être branché à un interrupteur très accessible, pour pouvoir être actionné facilement. Si le ventilateur est placé dans l'ouverture d'accès, on doit prévoir les ouvertures suffisantes dans les avant-toits, les pignons ou le toit pour permettre l'évacuation de l'air. On doit veiller à ce que l'isolant n'obstrue pas les ouvertures de ventilation des avant-toits. Voir la sous-section 4.2.6.

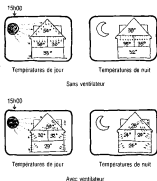


FIGURE 5.27 VENTILATION D'ÉTÉ

Chapitre 6

Chauffage de l'eau chaude domestique

6.1	Eau chaude domestique	102
6.1.1	Recommandations	102
6.1.2	Consommation et économie	102
6.1.3	Dimensionnement du système	103
6.1.4	Chauffe-eau électriques	103
6.1.5	Chauffe-eau au gaz	104
6.1.6	Production d'eau chaude par système solaire	104

6.1 Eau chaude domestique

La présente section étudie l'économie de l'eau chaude, le dimensionnement des chauffe-eau, les divers types de réservoirs et la production d'eau chaude par système solaire.

6.1.1. Recommandations Consommation et économie

- Installer des robinets à débit limité sur tous les lavabos et douches.
- Installer un coude anti-convection sur le tuyau de sortie du chauffe-eau.

Principes de dimensionnement du système

- Pour un logement de trois chambres et moins, installer un chauffe-eau de 0,18 m³ d'une puissance minimale de 4 kW.
- Pour un logement de quatre chambres, installer un chauffe-eau de 0,27 m³ d'une puissance minimale de 6 kW.
- Pour un logement de plus de 4 chambres, étudier la possibilité d'installer plus d'un chauffe-eau.

- Placer le chauffe-eau aussi près que possible des appareils desservis.

Chauffe-eau électriques

- Munir le chauffe-eau d'un revêtement calorifuge additionnel en laine de verre de 25,4 mm d'épaisseur.
- Régler le thermostat à 50 °C.

Chauffe-eau au gaz

- Régler le thermostat à 50 °C.
- Utiliser un appareil dont le conduit d'évacuation comporte un nombre accru de chicanes, pour améliorer la transmission de chaleur.

Systèmes solaires

- Si l'on installe un système solaire de production d'eau chaude, s'assurer de bien connaître les indications du fabricant et du concepteur avant de procéder à l'installation.
- Si l'on doit doter plusieurs maisons identiques de systèmes solaires de chauffage de l'eau chaude, demander au fabricant de fournir des systèmes préfabriqués dimensionnés sur mesures.
- Recourir aux services d'un entrepreneur ayant de l'expérience dans l'installation de ce type de système.

6.1.2. Consommation et économie

Une famille de 4 personnes consomme chaque jour 270 litres d'eau chaude. Le tableau 6.1 donne la répartition de cette consommation.

Tableau 6.1 Consommation quotidienne d'eau chaude d'une famille de quatre personnes

Activité	Consommation Litres
Vaisselle	30
Cuisine	—
Évier de cuisine	25
Lavage	135
Douches et bains	53
Lavabos	27
Cabinets de toilette	—
TOTAL	270

Source: Programme d'efficacité énergétique des résidences. Association canadienne de l'électricité.

Ce tableau indique que la consommation des douches, des éviers et des lavabos représente environ 35% de la consommation totale.

On peut installer des économiseurs directement dans la robinetterie. Si un robinet débite entre 14 et 18 litres d'eau à la minute, l'économiseur peut, sans diminution appréciable de la performance, abaisser ce chiffre à un débit allant de 5 à 8 litres à la minute.

On peut aussi installer des aérateurs aux robinets des éviers et des lavabos. Ces accessoires, en plus d'atténuer l'éclaboussement, réduisent le débit à environ 3 litres par minute en introduisant des bulles d'air dans le jet d'eau. Les robinets pulvérisateurs n'aèrent pas l'eau mais ils réduisent le débit à environ 4 ou 5 litres à la minute en éparpillant le jet en gouttelettes. On peut se procurer des robinets de douche à débit réglable, moyennant un léger supplément de coût.

Le tableau 6.2 indique les économies que ces divers dispositifs permettent de réaliser.

Tableau 6.2 Solutions pour la réduction de la consommation d'eau chaude

Dispositif d'économie	Économie annuelle d'énergie* GJ (\$)	Coût \$	Déjà de récupération Années
Douches: Réducteur de débit	3-5 (22-15 \$)	3-4	Moins d'un an
Commande de réglage de débit	3-4 (22-15 \$)	8-12	Moins d'un an
Robinet: Réducteur de débit	1-2 (7-6 \$)	1-3	Moins d'un an
Aérateur	1-2 (7-6 \$)	5-7	1
Robinet pulvérisateur	1-2 (7-6 \$)	8-10	1-2

* L'économie varie en fonction de la consommation. La colonne de gauche se rapporte à un chauffe-eau électrique et celle de droite, à un chauffe-eau au gaz.

Le tuyau d'eau chaude occasionne une importante perte de chaleur, spécialement dans le premier mètre et demi à partir du chauffe-eau. L'eau chaude pénètre par convection naturelle dans le tuyau, où elle perd sa chaleur au profit de l'air ambiant. Isoler cette partie du tuyau ne servirait qu'à permettre à l'eau chaude de s'avancer encore plus loin jusqu'à la partie non isolée où elle pourrait se refroidir. Mais si le tuyau comporte une section coudée dirigée vers le bas, le mouvement de convection est stoppé à cet endroit et la perte de chaleur est moindre. On peut isoler ce premier tronçon de tuyau (figure 6.1). Le coût initial de ce dispositif anti-convection est d'environ 10 \$. L'économie est d'environ 3 \$ la première année et on récupère cet investissement en un peu plus de trois ans.

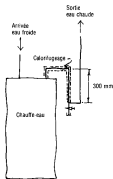


FIGURE 6.1 COUDE ANTI-CONVECTION ISOLÉ

6.1.3. Dimensionnement du système

Il existe communément deux formats de chauffe-eau, 0,18 et 0,27 m³. L'eau est chauffée au moyen d'éléments à résistance électrique ou de brûleurs à gaz. La puissance requise est fonction des habitudes des occupants. On doit connaître non seulement la quantité consommée mais aussi le moment où l'eau chaude est requise. La sous-section 6.1.1 indique les capacités et les puissances recommandées.

6.1.4. Chauffe-eau électriques

Les chauffe-eau électriques fonctionnent à environ 83% d'efficacité annuelle. La transmission d'énergie à l'eau, sous forme de chaleur, est efficace à 100%, mais il y a 14% de perte de chaleur à travers les parois du chauffe-eau. Les chauffe-eau standards sont isolés avec 50 mm de laine de verre pour se conformer à la norme C-191

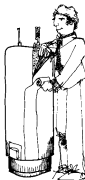


FIGURE 6.2 CALORIFUGEAGE ADDITIONNEL

de l'ACNOR sur la perte de chaleur au repos. On peut ajouter à l'appareil une isolation supplémentaire (figure 6.2), sans oublier de laisser dégagé l'accès aux commandes ou aux connexions électriques.

Les chauffe-eau sont équipés de thermostats permettant de maintenir la température désirée dans le réservoir. On règle souvent le thermostat à 60 °C. Un réglage à 50 °C n'affectera pas le confort des utilisateurs et réduira la perte de chaleur à travers les parois lorsque l'appareil est au repos.

Le tableau 6.3 fait le sommaire des améliorations suggérées.

Tableau 6.3 Réduction de la consommation d'énergie dans les chauffe-eau à l'électricité

Solution	Type d'installation	Économie annuelle d'énergie (GJ) (\$)	Coût \$	Délai de récupération (Années)
Isolant additionnel, 25,4 mm	Installé sur les lieux	0,5 (4 \$)	6	2
Abaissement du thermostat de 60 à 50 °C	Réglé sur les lieux	1 (7 \$)	Aucun	Immédiat

6.1.5. Chauffe-eau au gaz

L'efficacité annuelle d'un chauffe-eau au gaz est d'environ 50%. Environ 12% de l'énergie fournie est perdue par conduction à travers les parois du réservoir, et environ 3% par le tuyau de sortie lorsque l'appareil est au repos. Les 35% qui restent sont perdus dans la cheminée sous forme de gaz de combustion chauds.

Comme dans le cas des chauffe-eau électriques, le réglage à 50 °C réduit la perte de chaleur.

Si le conduit d'évacuation des gaz de combustion, servant d'échangeur de chaleur, comporte un nombre accru de chicanes, la transmission de chaleur au chauffe-eau est plus élevée; il y a moins de chaleur qui se gaspille par la cheminée.

Le tableau 6.4 fait le sommaire des améliorations suggérées.

Tableau 6.4 Réduction de la consommation d'énergie dans les chauffe-eau au gaz

Solution	Type d'installation	Economie annuelle d'énergie GJ (\$)	Coût \$	Délai de récupération Années
Abaissement du thermostat de 80 à 50 °C	Réglé sur les lieux	1 (3 \$)	Aucun	Immédiat
Chicanes additionnelles	À l'usine	1 (3 \$)	Aucun	Immédiat

6.1.6. Production d'eau chaude par système solaire

Il existe actuellement deux types principaux de systèmes solaires de chauffage de l'eau. Le premier comporte un circuit fermé contenant habituellement un liquide antigel; une pompe fait circuler ce liquide dans les collecteurs solaires, où il est réchauffé, et l'amène vers un échangeur de chaleur où il réchauffe l'eau domestique (figure 6.3). Le second système est un système à eau, dans lequel on vide les collecteurs durant les périodes d'inactivité pour prévenir le gel de l'eau. L'eau circule dans les collecteurs, s'y réchauffe, et est acheminée vers un réservoir. On réchauffe l'eau domestique en la faisant passer dans un échangeur de chaleur placé dans le réservoir.

En ce moment, un système solaire coûte approximativement de 430 \$ à 650 \$ par m² de surface collectrice, tout compris (fourniture et installation des collecteurs solaires, du réservoir de stockage thermique, de la tuyauterie, des pompes et des commandes). Une maison individuelle moyenne exige entre 4,5 et 11 m² environ de surface collectrice. Le délai de récupération de ces systèmes va de 18 à 30 ans.

On ne devrait faire installer ces systèmes que par des concepteurs et des entrepreneurs d'expérience.

Les fabricants offrent des ensembles préparés comprenant tous les composants nécessaires. Si un entrepreneur désire équiper plusieurs maisons identiques, le fabricant accédera généralement d'adapter son produit à l'installation projetée.

Il y a lieu de prendre la précaution suivante: si le liquide qui circule dans les collecteurs n'est pas de l'eau, s'assurer que la tuyauterie est conforme à la réglementation en vigueur et ne constitue pas un danger pour la santé.

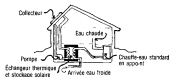


FIGURE 6.3 CHAUFFE-EAU SOLAIRE À CIRCUIT D'ANTIGEL

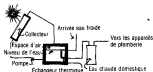


FIGURE 6.4 CHAUFFE-EAU SOLAIRE À ÉCHANGEUR ET CIRCUIT D'EAU VIDANGEABLE

Chapitre 7

L'éclairage et les appareils électroménagers

7.1	Éclairage et appareils électroménagers	106
7.1.1	Recommandations	106
7.1.2	Eclairage	106
7.1.3	Appareils électroménagers	107

7.1 Éclairage et appareils électromagnétiques

La présente section traite des appareils d'éclairage qu'il faut choisir et des endroits où il faut les placer si on veut économiser l'électricité. Elle donne aussi quelques principes directeurs pour le choix des appareils électromagnétiques.

7.1.1. Recommandations

Éclairage

- Utiliser l'éclairage fluorescent de préférence à l'éclairage incandescent, chaque fois que la chose est possible.
- Disposer les appareils de façon à éclairer des zones bien précises. Éviter l'éclairage indirect.
- Poser des interrupteurs muraux pour tous les appareils d'éclairage.

Appareils électromagnétiques

- Choisir les appareils qui utilisent l'énergie de la façon la plus efficace.
- Utiliser des appareils d'une puissance tout juste suffisante pour répondre aux besoins.

7.1.2. Éclairage

Les lampes fluorescentes sont plus efficaces que les lampes à incandescence pour la transformation de l'énergie en lumière; on devrait donc les utiliser chaque fois que la chose est possible. Pour la même quantité d'énergie, elles produisent de 3 à 4 fois plus de lumière que les lampes à incandescence, et durent deux fois plus longtemps. Les lampes fluorescentes de 20 et de 40 W sont les plus utilisées dans le secteur de l'habitation.

Dans les locaux de rangement, l'atelier, la salle de lavage, etc., on recommande l'éclairage « blanc froid standard ». Pour les pièces où on habite, le « blanc chaud » est préférable parce que plus agréable.

Les lampes fluorescentes devraient être munies de diffuseurs, en verre ou en plastique, pour réduire l'éblouissement. On retrouve ces lampes sous forme d'appliques (figure 7.1), au-dessus des comptoirs (figure 7.2) ou sur les côtés des miroirs de salles de bains (figure 7.3).

On devrait installer les appareils d'éclairage aussi près que possible du point d'utilisation (figure 7.3).

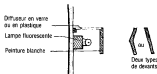


FIGURE 7.1 APPLIQUE FLUORESCENTE

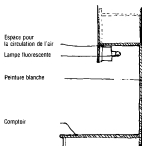


FIGURE 7.2 APPAREIL D'ÉCLAIRAGE FLUORESCENT AU-DESSUS D'UN COMPTOIR

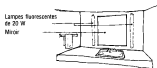


FIGURE 7.3 APPAREIL FLUORESCENT DE SALLE DE BAINS

Pour inciter les occupants à éteindre la lumière dans les pièces non occupées, on devrait relier chaque appareil à un interrupteur mural placé à un endroit très accessible.

Pour favoriser l'utilisation de faibles intensités lumineuses, on peut peindre les pièces en couleurs claires, à réflectance élevée. Le tableau 7.1 donne quelques valeurs de réflectance recommandables.

Tableau 7.1 Valeurs de réflectance des surfaces intérieures*

Surface	Réflectance (%)
Plafond	80-90
Murs	40-60
Planchers	25-45 (Typique)
Amueblement	20-40 (Typique)

* Les fabricants de peinture peuvent fournir ces données.

Bien que les lampes et les appareils fluorescents soient plus coûteux que les lampes et appareils à incandescence de puissance électrique égale, leur meilleure capacité d'éclairage et leur plus grande durabilité les rendent quatre fois plus économiques. Par comparaison avec un éclairage incandescent de puissance électrique égale, l'éclairage fluorescent se paie en 3 100 heures d'utilisation (électricité au coût de 0,027 \$ le kilowattheure). Le tableau 7.2 indique les délais de récupération correspondant à diverses fréquences d'utilisation.

Tableau 7.2 Délai de récupération de l'éclairage fluorescent par rapport à l'incandescence

Heures d'utilisation par jour	Délai de récupération* Années
3	2-8
6	1-4
9	Moins d'un an

* Appareils de puissance électrique égale.

7.1.3. Appareils électroménagers

Les besoins en énergie des divers appareils varient considérablement. Le tableau 7.3 indique la consommation mensuelle estimée des principaux appareils domestiques.

Des appareils similaires construits par des fabricants différents peuvent avoir des consommations d'énergie très différentes. Le tableau 7.4 fait une comparaison entre les principaux types de réfrigérateurs.

Le ministère de la Consommation et des Corporations du Canada, en collaboration avec l'Association canadienne de normalisation, vérifie la consommation d'énergie des appareils et décime des labels (figure 7.4) qui permettent au consommateur de comparer les performances énergétiques des appareils. L'utilisation du plus petit appareil capable de satisfaire la demande est certainement une façon d'économiser argent et énergie.

La question des climatiseurs et des chauffe-eau est traitée respectivement dans les sections 5.4 et 6.1.

Tableau 7.3 Consommation mensuelle d'énergie des principaux appareils

Appareil	Puissance moyenne Watts	Consommation mensuelle kWh	Coût mensuel* \$
Congélateur ordinaire, 0,43 m ³	335	75	1,98
Congélateur sans givre, 0,43 m ³	425	90	2,38
Réfrigérateur-congélateur ordinaire, 8,43 m ³	300	100	2,64
Réfrigérateur-congélateur sans givre, 0,43 m ³	500	150	3,96
Cuisinière	12 500	100	2,64
Lave-vaisselle	1 500	18	0,48
Laveuse	500	6	0,21
Sècheuse	4 800	80	2,11
Chauffe-eau	4 500	500	13,20
Climatiseur autonome (6,3 MJ/h)	935	60-400	1,52-10,56 Pour la saison
Climatiseur autonome (9,5 MJ/h)	1 400	90-600	2,38-15,84 Pour la saison

Tableau 7.4 Consommation mensuelle d'énergie de trois types de réfrigérateurs*

Type de réfrigérateur	Capacité m ³	Consommation** kWh	Taux de consommation kWh/m ³
Dégivrage automatique	0,48	118	246
	0,49	177	361
Dégivrage semi-automatique	0,45	79	165
	0,38	105	276
Dégivrage manuel	0,37	70	189
	0,40	102	255

* Source: ministère de la Consommation et des Corporations du Canada et Association canadienne de normalisation.

** Performance minimale et performance maximale constatées pour les appareils examinés.

Chapitre 8

Comment choisir un ensemble de solutions

8.1	Recommandations	110
8.1.1	Choix des solutions	110
8.1.2	Combinaison des solutions selon une approche concentrée	110
8.1.3	Combinaison des solutions selon une approche diversifiée	110
8.2	Solutions pour l'ensemble du bâtiment	111
8.3	Combinaison des solutions	112
8.3.1	Approche concentrée	112
8.3.2	Approche diversifiée	112
8.4	Augmentation des prix pour divers types de logements	112

Les sections qui précèdent ont passé en revue diverses possibilités d'économie d'énergie applicables à l'enveloppe du bâtiment, au chauffage, à l'approvisionnement en eau chaude et à l'éclairage. La présente section veut indiquer au constructeur :

- comment sélectionner l'ensemble le plus avantageux de solutions, compte tenu des circonstances dans lesquelles le projet se réalise;
- quelle approche il convient d'adopter pour bien combiner les solutions choisies.

La présente section indique, en plus, les répercussions de ces procédés sur le prix d'achat de quatre types de logements.

8.1 Recommandations

Les recommandations qui suivent décrivent :

- Une méthode de sélection des solutions.
- Une approche concentrée, axée sur les composants du bâtiment les plus coûteux à améliorer après construction.
- Une approche diversifiée, qui apporte à tous les composants du bâtiment un ensemble d'améliorations ayant à peu près le même intérêt énergétique.

8.1.1. Choix des solutions

Sélectionner un ensemble de solutions qui semblent devoir intéresser votre clientèle, soit en choisissant parmi les solutions données aux chapitres 4, 5, 6 et 7 du Guide, soit en créant d'autres. Utiliser les indications données à la section 8.2 pour calculer les coûts et les délais de récupération se rapportant à votre projet.

- Calculer le montant supplémentaire que l'adoption de ces solutions est susceptible d'ajouter au prix de vente. Juger si cette augmentation est acceptable pour votre clientèle.
- Calculer les délais de récupération des solutions retenues. Si vous avez choisi des solutions du Guide, utiliser pour le calcul les données du Guide et la méthode suggérée à la section 8.2. Si vous avez retenu d'autres solutions, utiliser la méthode décrite à l'annexe A.
- Les résultats obtenus, vérifier si les prix et les délais de récupération sont toujours susceptibles d'intéresser votre marché-cible (voir la section 9); décider quelles solutions utiliser et faire un choix entre l'approche concentrée et l'approche diversifiée.

8.1.2. Combinaison des solutions selon une approche concentrée

- Modifier graduellement vos plans, vos élévations, vos schémas d'aménagement, en utilisant les suggestions données au chapitre 2 sur la forme du bâtiment, l'aménagement intérieur et l'aménagement du terrain, en tenant compte des dimensions de votre terrain et de vos contraintes de marketing. Les caractéristiques

utilisées à ce stade n'impliquent pas nécessairement d'augmentation de coût.

- Après avoir identifié les principaux éléments qu'il est difficile d'améliorer après construction (les murs extérieurs, le système de chauffage, les divers équipements mécaniques et électriques), leur fixer un niveau de performance aussi élevé que possible compte tenu du prix maximal que vous avez jugé acceptable. Étudier la possibilité d'accroître la performance des portes et fenêtres si vos standards vous paraissent peu élevés par rapport aux indications données aux sections 4.8 à 4.9. Prévoir des sous-sols et des toits auxquels il sera facile, dans le futur, d'ajouter de l'isolation. Laisser un dégagement d'au moins 500 mm entre le mur de fondation et l'unité centrale de chauffage, la tuyauterie, le chauffe-eau, l'équipement de lavage; prévoir un accès au comble; dans le comble, construire des écrans dépressureurs près des avant-toits (voir la section 4.5).
- Ajouter au projet des solutions facultatives pour l'amélioration de la performance d'autres éléments du bâtiment. Ces solutions devraient avoir à peu près les mêmes délais de récupération que ceux des murs extérieurs.
- Si, au moment de la vente, ces solutions facultatives ne sont pas retenues par l'acheteur, fournir à ce dernier l'information générale qui lui permettra de les réaliser plus tard.

8.1.3. Combinaison des solutions selon une approche diversifiée

• Modifier vos plans et vos modèles usuels de façon à y intégrer les recommandations du chapitre 2 sur l'aménagement intérieur, la forme du bâtiment et l'aménagement extérieur.

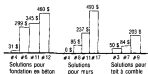
- Cela fait, incorporer dans le projet un ensemble de solutions suggérées dans le Guide. Veiller particulièrement à :
 - apporter un soin spécial à la pose du pare-vapeur et de l'isolant (chapitre 4);
 - doter toutes les parties de l'enveloppe d'un niveau d'isolation élevé (chapitre 4), en choisissant un ensemble de solutions ayant des délais de récupération à peu près semblables;
 - doter le bâtiment de moyens de régler la ventilation et d'abaisser l'humidité (chapitre 3);
 - améliorer l'équipement mécanique et électrique (chapitres 5, 6, 7).

8.2 Solutions pour l'ensemble du bâtiment

Le présent Guide étudie et évalue un nombre considérable de solutions permettant l'économie de l'énergie; les constructeurs doivent choisir celles qui conviennent le mieux aux conditions dans lesquelles ils se trouvent.

Le constructeur peut, soit choisir parmi les solutions présentées dans le Guide, soit mettre au point ses propres solutions. La sélection dépend aussi de la disponibilité des matériaux et de la main-d'œuvre. Les goûts de la clientèle sont également un élément déterminant.

Il est important d'évaluer en profondeur les solutions retenues et d'en déterminer avec précision le coût, l'efficacité et le délai de récupération réels, de façon à assurer leur succès auprès de la clientèle. Pour faciliter la conception des principaux éléments du bâtiment, la figure 8.1 présente diverses solutions comportant une gamme d'augmentations de coût par rapport au bâtiment de référence décrit à la section 4.2.



Notes:

- 1 Étudier la possibilité d'installer des unités au gaz à allumage par étincelle (100 \$ de plus), en plus de choisir une solution pour chacun des éléments qui précèdent.
- 2 Les suppléments de prix sont calculés par rapport au bâtiment de référence décrit à la sous-section 4.2.2.
- 3 Les solutions choisies représentent en principe un accroissement de coût aussi petit que possible par rapport à la résistance thermique retenue.

FIGURE 8.1 CHOIX DE SOLUTIONS POUR L'AMÉLIORATION D'ÉLÉMENTS IMPORTANTS D'UN BÂTIMENT, AVEC LES SUPPLÉMENTS DE PRIX CORRESPONDANTS

Le constructeur doit d'abord vérifier si l'augmentation indiquée est exacte dans son cas. Une fois qu'il a conclu que certaines solutions sont acceptables pour sa clientèle, il doit en calculer le délai de récupération, de façon à pouvoir en informer l'acheteur éventuel.

Dans le cas de solutions tirées du Guide, on peut calculer d'une façon approximative le délai de récupération en utilisant l'information qui en accompagne la description.

On doit connaître le nombre de degrés-jours de la région où on se trouve. En consultant les tableaux, on doit veiller à demeurer cohérent quant au choix du nombre de degrés-jours; on doit aussi s'assurer que l'information qu'on retient se rapporte bien au même type d'énergie que celui qu'on se propose d'utiliser. Le calcul du délai de récupération est facile à effectuer. La méthode, en deux étapes, est décrite ci-après.

1. Calcul de l'économie annuelle d'énergie

Choisir une solution améliorant (par exemple) le mur extérieur. L'économie annuelle d'énergie, en dollars, est égale à $A \times B \times C \times D$, où:

A = L'économie annuelle d'énergie apportée par la solution, d'après le tableau du Guide

B = $\frac{\text{Le nombre de degrés-jours dans la localité où les travaux ont lieu}}{\text{Le nombre de degrés-jours utilisé dans le Guide pour le cas de référence}}$

C = $\frac{\text{Le coût du combustible dans la localité}}{\text{Le coût du combustible utilisé dans le Guide}}$

D = $\frac{\text{La surface de mur extérieur du bâtiment projeté}}{\text{La surface de mur extérieur du bâtiment de référence du Guide.}}$

2. Calcul du délai de récupération

Il est égal à $E \times F \times G$, où:

E = Le délai de récupération indiqué dans le Guide pour la solution choisie

F = $\frac{\text{L'économie annuelle d'énergie apportée par la solution d'après le Guide}}{\text{L'économie annuelle d'énergie dans le cas du bâtiment projeté (résultat du calcul de l'étape 1)}}$

G = $\frac{\text{Le coût additionnel représenté par la solution dans le bâtiment projeté}}{\text{Le coût additionnel de la solution d'après le Guide.}}$

Cette méthode suppose que le niveau d'isolation considéré comme traditionnel par le constructeur est le même que dans le bâtiment de référence utilisé dans le Guide. Même si ce n'est pas le cas, le présent calcul donne une bonne idée du délai de récupération.

Si le constructeur veut choisir une solution qui n'est pas dans le Guide, il doit alors effectuer le calcul détaillé indiqué à l'annexe A.

Quelle que soit son option, le constructeur désireux vérifier les coûts et les délais de récupération des différentes solutions retenues pour chacun des éléments du bâtiment et choisir celles qui, selon lui, conviennent le mieux à son marché. Il décidera aussi s'il est prêt à améliorer seulement un ou deux éléments (par exemple les murs et le chauffage) ou s'il pense que son marché acceptera

des augmentations de prix pour l'amélioration d'autres éléments, comme les plafonds et les murs de fondation. La section 8.3 décrit deux approches applicables à ce genre de décision.

8.3 Combinaison des solutions

Il existe deux approches de base pour la combinaison des solutions: l'approche concentrée et l'approche diversifiée.

8.3.1. Approche concentrée

L'approche concentrée est axée sur les améliorations les plus efficaces. Lorsqu'on utilise cette approche, les éléments pour lesquels il est le plus logique d'introduire des améliorations sont ceux sur lesquels il serait particulièrement difficile ou coûteux d'intervenir plus tard, comme les murs, le système de chauffage et le système d'eau chaude. Si d'autres solutions apportent des économies sans faire monter le prix d'achat au-delà du prix acceptable sur le marché, on les ajoute.

Cette approche peut être justifiée lorsqu'un niveau élevé d'isolation dans tous les éléments du bâtiment (mesuré en termes de délai de récupération) est susceptible d'accroître le prix du bâtiment au-delà de ce que le marché peut accepter, ou encore lorsque la façon la plus efficace d'atteindre un niveau élevé d'efficacité énergétique (spécialement dans la construction à coût modique) est de fournir un haut degré de performance dans quelques éléments pour ensuite laisser le propriétaire compléter lui-même les travaux ou avoir recours à des programmes gouvernementaux. Toutefois, sur le plan du marketing, il serait logique d'offrir ces améliorations au moins comme des caractéristiques facultatives au moment de l'achat (voir le chapitre 9).

8.3.2. Approche diversifiée

Dans l'approche diversifiée, le constructeur sélectionne un certain nombre de solutions comportant des délais de récupération à peu près semblables. Le niveau d'amélioration (jusqu'où on peut aller (et conséquemment le supplément de coût)) varie en fonction du marché. Par exemple, on peut choisir un ensemble de solutions ayant un délai de récupération plutôt rapide (de trois à cinq ans) s'il s'agit d'un type de construction à coût peu élevé, et de 8 à 10 ans et plus s'il s'agit d'un type plus luxueux de construction (voir le chapitre 9). Pour l'équipement mécanique et électrique, les délais de récupération peuvent être différents, en raison de la nature particulière de ces éléments (voir les chapitres 5, 6, 7).

8.4 Augmentation des prix pour divers types de logements

L'augmentation du prix d'achat est un des facteurs les plus importants à considérer dans l'introduction de caractéristiques d'efficacité énergétique. Cette augmentation variera selon le bâtiment et ses dimensions.

Il est important d'étudier les conséquences que tel ensemble de caractéristiques aura sur le prix total. Les

données qui suivent illustrent les accroissements de prix pour:

- une approche concentrée axée sur les murs extérieurs et le système de chauffage;
- une approche diversifiée visant l'ensemble des éléments principaux du bâtiment: les murs de fondation, les murs extérieurs, le plafond et le chauffage.

Ces calculs de prix sont basés sur quatre types de logements de modèle standard:

- maison individuelle à un étage;
- maison individuelle à deux étages;
- maison jumelée;
- maison en rangée.

Les augmentations de prix se rapportent à des solutions offrant un supplément de performance par rapport aux exigences de l'annexe C. Les coûts sont ceux du sud de l'Ontario en 1979.

Les améliorations se partagent en deux groupes. Les délais de récupération sont de 10 ou 12 ans dans le premier groupe, et de 18 à 23 ans dans le second. Les deux comportent une résistance thermique élevée dans les murs de fondation, les murs extérieurs et les plafonds. L'unité centrale au gaz comporte comme amélioration l'allumage par étincelle, et son délai de récupération est d'environ 6 ans. Les tableaux 8.1, 8.2, 8.3 et 8.4 donnent les accroissements de prix correspondants. Les numéros des solutions sont ceux qui ont été utilisés dans les tableaux du chapitre 4.

L'étude de ces résultats révèle que la maison en rangée a la plus petite augmentation de prix, pour les deux catégories de délais de récupération, et que la maison à deux étages a le supplément de prix le plus élevé, également pour les deux catégories. Ce dernier résultat est dû au fait que la surface des murs est beaucoup plus considérable dans le second cas.

Dans ces exemples, le supplément de coût, pour l'approche concentrée, va de 190 \$ à 863 \$; pour l'approche diversifiée, il va de 244 \$ à 1 363 \$.

Si l'on suppose que les prix d'achat sont de 50 000 \$ à 80 000 \$ pour la maison à un étage, de 80 000 \$ à 90 000 \$ pour la maison à deux étages, de 50 000 \$ à 55 000 \$ pour la maison jumelée, et de 45 000 \$ à 50 000 \$ pour la maison en rangée, le supplément, pour l'approche diversifiée la plus coûteuse, est d'environ 1 ou 2% du prix d'achat du logement. Pour l'approche concentrée, le supplément est approximativement égal à la moitié ou aux trois quarts de celui de l'approche diversifiée.

Il convient de noter que les maisons comparées ont des superficies de plancher très différentes.

Tableau 8.1 Maison individuelle à un étage

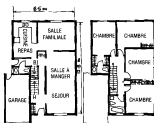
Élément	Catégorie de récupération 1			Catégorie de récupération 2		
	Solu- tion n°	Ré- pé- ri- son Années	Sup- plé- ment de prix \$	Solu- tion n°	Ré- pé- ri- son Années	Sup- plé- ment de prix \$
Sous-sol	5	12	98	8	23	361
Murs extérieurs	6	13	250	12	18	478
Plafond	3	13	79	5	22	188
Unité de chauffage		6	100		6	100
Augmentation de prix, approche diversifiée (tous les éléments)			527			1 127
Augmentation de prix, approche concentrée (murs extérieurs et unité centrale de chauffage seulement)			350			578

Tableau 8.2 Maison individuelle à deux étages

Élément	Catégorie de récupération 1			Catégorie de récupération 2		
	Solu- tion n°	Ré- pé- ri- son Années	Sup- plé- ment de prix \$	Solu- tion n°	Ré- pé- ri- son Années	Sup- plé- ment de prix \$
Sous-sol	5	12	92	8	23	337
Murs extérieurs	6	13	399	12	18	763
Plafond	3	13	89	5	22	188
Unité de chauffage		6	100		6	100
Augmentation de prix, approche diversifiée (tous les éléments)			680			1 388
Augmentation de prix, approche concentrée (murs extérieurs et unité centrale de chauffage seulement)			499			863



REZ-DE-CHAUSSEE

SUPERFICIE DU PLANCHER: 99 m²

REZ-DE-CHAUSSEE

DEUXIEME ETAGE

SUPERFICIE DU PLANCHER: 172 m²

Tableau 8.3 Maison jumelée

Élément	Catégorie de récupération 1			Catégorie de récupération 2		
	Solu- tion n°	Récu- pé- ra- tion Années	Sup- plé- ment de prix \$	Solu- tion n°	Récu- pé- ra- tion Années	Sup- plé- ment de prix \$
Sous-sol	5	12	53	6	23	196
Murs extérieurs	6	13	215	12	18	411
Plafond	3	13	52	5	22	123
Unité de chauffage		6	100	6		100
Augmentation de prix, approche diversifiée (tous les éléments)			420			830
Augmentation de prix, approche concentrée (murs extérieurs et unité centrale de chauffage seulement)			315			611

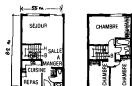
Tableau 8.4 Maison en rangée

Élément	Catégorie de récupération 1			Catégorie de récupération 2		
	Solu- tion n°	Récu- pé- ra- tion Années	Sup- plé- ment de prix \$	Solu- tion n°	Récu- pé- ra- tion Années	Sup- plé- ment de prix \$
Sous-sol	5	12	13	8	23	46
Murs extérieurs	6	13	96	12	18	172
Plafond	3	13	41	5	22	87
Unité de chauffage		6	100	6		100
Augmentation de prix, approche diversifiée (tous les éléments)			244			415
Augmentation de prix, approche concentrée (murs extérieurs et unité centrale de chauffage seulement)			196			272



REZ-DE-CHAUSSÉE

DEUXIÈME ÉTAGE

SUPERFICIE DU PLANCHER: 119 m²

REZ-DE-CHAUSSÉE

DEUXIÈME ÉTAGE

SUPERFICIE DU PLANCHER: 101 m²

Chapitre 9

Comment vendre les caractéristiques d'économie de l'énergie

9.1	Recommandations générales	116
9.2	Principes généraux de marketing	116
9.3	Trois secteurs particuliers du marché	117
9.3.1	Les nouveaux acheteurs	117
9.3.2	Les acheteurs ascendants	118
9.3.3	Les acheteurs descendants	118
9.4	Éléments additionnels de marketing	119
9.4.1	Les facteurs locaux affectant la consommation d'énergie	119
9.4.2	Les caractéristiques des acheteurs	119
9.4.3	Éléments additionnels d'information	119
9.4.4	Comment choisir les caractéristiques énergétiques	119
9.4.5	Présentation des caractéristiques	119
9.4.6	Le manuel du propriétaire	120
9.4.7	Reactions des clients et des acheteurs	120

La présente section étudie les principes de base du marketing et indique au constructeur les approches qu'il peut adopter pour commercialiser les caractéristiques d'économie d'énergie qu'il a choisi d'incorporer à ses projets.

9.1 Recommandations générales

- Après avoir fait l'effort de déterminer quelles caractéristiques énergétiques il y avait lieu de fournir, les faire connaître par une vigoureuse campagne de publicité et prendre le temps de les expliquer aux clients.
- Rappeler aux clients que l'acquisition de caractéristiques énergétiques se traduit par des économies immédiates sur les dépenses en énergie, appelées à se transformer ultimement en économies nettes sur l'ensemble des dépenses liées à la propriété.
- L'approche concentrée se révèle une façon particulièrement souple de procéder, étant donné que le constructeur peut, au moment de la vente, offrir en supplément des caractéristiques facultatives, comme la pose de plus d'isolation au plafond.
- Les constructeurs devraient tenter de persuader les sociétés prêteuses de faire compter, dans le calcul du montant du prêt hypothécaire, le prix supplémentaire d'achat des caractéristiques d'économie d'énergie.
- Les constructeurs devraient distinguer trois marchés différents lorsqu'ils décident de l'approche à choisir pour commercialiser les caractéristiques énergétiques:
 - les nouveaux acheteurs;
 - les acheteurs ascendants;
 - les acheteurs descendants.

9.2 Principes généraux de marketing

Les chapitres précédents ont montré que plusieurs caractéristiques d'économie d'énergie comportent un supplément de coût. Comme l'acheteur doit décider quel prix il est prêt à payer pour obtenir une efficacité énergétique additionnelle, l'étude des solutions techniques d'économie s'est accompagnée du calcul des «délais de récupération», c'est-à-dire des laps de temps nécessaires pour que l'investissement initial soit compensé par les économies de coût.

Les acheteurs de maisons sont intéressés à économiser l'énergie, mais les constructeurs peuvent accélérer ce processus d'acceptation, et ultimement collaborer à la réduction de la demande d'énergie, en fournissant une qualité supérieure de construction et en faisant la promotion de ce type de construction.

L'économie d'énergie est également de nature à aider à vendre des maisons, car les acheteurs s'aperçoivent que l'efficacité énergétique:

- est de plus en plus profitable au fur et à mesure qu'augmente le prix de l'énergie;
- améliore la valeur de revente.

Le fait de comprendre ces avantages constitue donc une puissante incitation à acquérir des logements efficaces sur le plan de l'énergie.

Le marketing des caractéristiques énergétiques s'est beaucoup développé au cours des dernières années. La compréhension d'un certain nombre de principes aidera le constructeur à organiser son marketing.

- Le type de logement, l'emplacement et le prix demeurent les trois principaux critères de sélection d'un logement. L'efficacité énergétique et les autres caractéristiques sont considérées comme nettement moins importantes.
- L'acheteur est de plus en plus conscient de l'importance de l'économie de l'énergie, principalement dans la maison. Deux raisons motivent cette évolution: la hausse constante des prix de l'énergie et les prévisions actuelles concernant l'approvisionnement en énergie, tant sur le marché canadien que sur les marchés internationaux.
 - Une enquête récente faite auprès des acheteurs de maisons de l'ouest du Canada, où le coût du chauffage est particulièrement peu élevé, a révélé que les solutions d'économie d'énergie arrivaient en tête dans les préoccupations des acheteurs.
 - Aux États-Unis, la maison à faible consommation d'énergie se vend bien, auprès de toutes les catégories d'acheteurs et dans une vaste gamme de prix.
- Les caractéristiques énergétiques intéressent les acheteurs de tout âge et de toutes catégories de revenus. Toutefois, les acheteurs de maisons économiques répugnent plus facilement à payer un supplément pour

obtenir ces caractéristiques étant donné que leur souci premier est de réussir à payer chaque mois le prix d'un logement réduit à l'essentiel. Les entrepreneurs doivent tenir compte de ce souci.

- L'espace intérieur habitable et l'apparence extérieure demeurent extrêmement importants. La réduction de l'espace et de la qualité des matériaux visibles, pour compenser le coût des caractéristiques énergétiques, peuvent rencontrer chez les acheteurs une certaine résistance. On peut éviter d'avoir à sacrifier l'espace et la qualité si on réussit à faire comprendre le principe de la récupération de l'investissement grâce à l'accumulation d'économies d'énergie.
- Les acheteurs de maisons coûteuses sont souvent plus conscients de l'économie de l'énergie et acceptent plus facilement que les augmentations de prix correspondantes soient incorporées au prix de base de la maison.
- La capacité d'accepter les caractéristiques énergétiques varie selon qu'il s'agit de l'un ou de l'autre des secteurs suivants du marché: nouveaux acheteurs, acheteurs ascendants, acheteurs descendants (voir la section 9.3).

Ces principes continueront d'évoluer au fur et à mesure que la question de l'énergie continuera de prendre de l'importance et que les acheteurs comprendront mieux la valeur de l'économie de l'énergie.

9.3 Trois secteurs particuliers du marché

Toute caractéristique d'économie d'énergie réduit le coût d'utilisation des logements, toutefois, chacune accroît généralement aussi le montant du paiement initial et des versements mensuels, ce qui affecte de façon différente les divers secteurs du marché décrits ci-après¹.

9.3.1. Les nouveaux acheteurs

Les nouveaux acheteurs sont généralement de jeunes couples ayant un ou deux jeunes enfants. L'épouse a souvent un emploi, auquel cas des frais de garde se soustraient du revenu familial total. Généralement, le couple ne peut pas se permettre des frais de déplacement élevés et un train de vie coûteux. Il n'a à peu près aucune expérience de l'administration et de l'utilisation d'un logement.

Ce type d'acheteurs voit généralement son achat comme un premier pas vers l'acquisition (de trois à cinq ans plus tard) d'un logement plus luxueux, mieux situé et également plus spacieux car les enfants auront grandi. Sa première maison est un simple abri contenant peu de caractéristiques non essentielles telles que les coûteuses caractéristiques énergétiques à long délai de récupération. En même temps, toutefois, ce type d'acheteurs est attiré par la qualité des performances énergétiques et l'abaissement des frais d'utilisation.

Voici quelques principes permettant d'intéresser ce secteur du marché:

- Offrir des logements compacts, de forme simple et dont l'aménagement intérieur entraîne des économies d'énergie, en accord avec les principes décrits au chapitre 2. Ces principes peuvent être mis en pratique sans accroissement du coût.
- Offrir des améliorations de base axées sur la performance thermique des murs extérieurs. Signaler, lorsque tel est le cas, les performances qui vont au-delà des exigences de la réglementation. Indiquer que d'autres améliorations peuvent être apportées plus tard, dans certains cas par le propriétaire lui-même, ou offrir ces caractéristiques comme suppléments facultatifs pouvant être ajoutés au moment de l'achat de la maison ou pendant les travaux.
- Comme la concurrence est vive sur le marché et que les prix doivent être aussi bas que possible, choisir des caractéristiques dont le délai de récupération est de trois à cinq ans, et expliquer aux acheteurs les raisons de ce choix, en relation avec leur période probable de propriété.
- En particulier, noter (là où la chose est applicable²) que la réduction du coût annuel du chauffage est supérieure à l'accroissement correspondant des versements

¹ Il peut exister des variations à l'intérieur de ces secteurs du marché, mais en termes généraux leur description est telle que l'indiquent les sous-sections 9.3.1., 9.3.2. et 9.3.3.

² Cette observation ne s'applique que si le créancier reconnaît les suppléments de prix correspondant aux caractéristiques énergétiques et augmente le montant du prêt hypothécaire et si le constructeur a choisi des caractéristiques qui ont une incidence sur le coût.

hypothécaires et que cette différence ne fera que s'accroître, au fur et à mesure qu'augmentera le coût de l'énergie.

9.3.2. Les acheteurs ascendants

Les acheteurs ascendants sont généralement des couples ayant de grands enfants. Leurs moyens financiers sont supérieurs à ceux des premiers acheteurs. Le salaire du mari a augmenté. Dans plusieurs cas, l'épouse peut maintenant travailler à plein temps. Les enfants vont à l'école et les frais de garderie sont minimes ou nuls. Fait encore plus important, ces acheteurs ont vendu leur première maison et disposent de liquidités relativement importantes.

Ils prévoient habiter la maison jusqu'à ce que les enfants aient grandi, soit généralement de 8 à 10 ans et plus. Ils veulent du confort et des commodités; ils sont prêts à payer pour les obtenir, en partie parce que le mari dispose de moins de temps pour les travaux de bricolage. Ils sont conscients que leur maison représente un investissement et préfèrent généralement de grandes maisons individuelles. L'expérience qu'ils ont acquise avec leur première maison les a rendus conscients de l'importance des frais d'utilisation et ils sont prêts à s'intéresser aux avantages des caractéristiques énergétiques. Étant donné la durée de la période pendant laquelle ils prévoient habiter la maison, ils peuvent être prêts à prendre en considération des délais de récupération plus longs (de 8 à 10 ans, par exemple). Plus on s'éleve dans cette catégorie, plus l'intérêt porté à la qualité de la maison, y compris à son efficacité énergétique, prend le pas sur celui qui est porté aux délais de récupération.

Le constructeur peut offrir à ce groupe d'acheteurs une gamme étendue de solutions. Les principes suivants s'appliquent à ce secteur du marché:

- Offrir un niveau très élevé d'efficacité énergétique, soit selon l'approche diversifiée (proposition d'un bloc de caractéristiques), soit selon l'approche concentrée (construction de murs extérieurs à résistance élevée, accompagnée de diverses améliorations facultatives). La durée prévue de la période de propriété de ce type d'acheteur amène à penser que ces maisons devraient comporter des caractéristiques énergétiques allant au-delà de la réglementation et ayant des délais de récupération de 8 à 10 ans (et même plus, dans la portion supérieure de la catégorie).
- Expliquer la notion de récupération; à l'aide de la figure 1.3, discuter de l'augmentation des prix de l'énergie au cours des prochaines années.

9.3.3. Les acheteurs descendants

Les acheteurs descendants sont des couples dont les enfants ont grandi et quitté la maison, ou des personnes seules. En général, ces acheteurs ne s'attendent pas à ce que leur revenu continue de s'accroître et désirent éviter de réduire le capital qu'ils ont épargné. Ils disposent de liquidités importantes, grâce à la vente de leur propriété précédente.

Ces acheteurs, comme ceux du groupe précédent, prévoient habiter leur maison relativement longtemps. Ils

accordent aussi de l'importance au confort et aux commodités; par rapport à leur maison précédente, ils apprécient la diminution des frais de fonctionnement et des travaux d'entretien. Ils sont très conscients de la valeur d'investissement de leur maison. Leur préférence va vers une maison plus petite (mais pas nécessairement moins coûteuse), individuelle, jumelée ou en rangée. Le fait de savoir qu'après la retraite ils disposeront d'un revenu relativement stationnaire les oriente encore davantage vers l'économie d'énergie. Toutefois, ces acheteurs, en raison de leur âge, sont moins intéressés à exécuter eux-mêmes des travaux d'amélioration énergétique. Face à ce groupe, le constructeur procédera selon les principes suivants:

- Proposer un ensemble complet de caractéristiques énergétiques (approche diversifiée) à performance élevée ou seulement des murs extérieurs à haute résistance thermique (approche concentrée) accompagné d'un choix de caractéristiques facultatives. Signaler qu'il en coûte plus cher et qu'il est plus difficile de faire des améliorations plus tard.
- Choisir des caractéristiques ayant des délais de récupération de 8 à 10 ans (ou plus, éventuellement).
- Dans les discussions avec ces clients, s'efforcer de relier les améliorations énergétiques aux caractéristiques de leur maison précédente, pour mettre en relief l'économie résultant du fait d'habiter un logement plus compact et plus efficace.
- Être préparé à discuter de l'évolution des prix de l'énergie; signaler l'importance du coût de l'énergie pour des occupants à revenu fixe.
- Signaler l'effet des caractéristiques d'économie sur la valeur de revente.

Le tableau 9.1 fait le sommaire des deux types de combinaisons de solutions, pour les trois secteurs du marché.

Tableau 9.1 Approches à la combinaison de solutions pour les trois secteurs du marché

Approche	Nouveaux acheteurs	Acheteurs ascendants	Acheteurs descendants
Approche concentrée, accompagnée de suggestions pour améliorations ultérieures		*	
Approche concentrée, avec choix d'améliorations facultatives au moment de la vente	*	*	*
Approche diversifiée		*	*

9.4 Éléments additionnels de marketing

En plus de ce concept de la division du marché en trois grands secteurs, on peut identifier quelques notions additionnelles utiles aux constructeurs dans leurs activités de marketing.

9.4.1. Les facteurs locaux affectant la consommation d'énergie

● Être bien renseigné sur des points tels que les degrés-jours de la localité où l'on se trouve³, la direction et la vitesse des vents dominants, la fréquence des vagues de froid.

● Être bien informé sur le prix local des différentes sources d'énergie, la facilité d'approvisionnement et l'évolution des prix à court terme.

● Étudier quel type d'information les médias locaux et les autres sources accessibles à la clientèle donnent sur des questions telles que l'augmentation du prix de l'énergie, les risques de pénurie et autres prévisions d'ordre général. C'est en se basant sur cette information que les acheteurs éventuels détermineront dans quelle mesure ils sont prêts à investir dans l'économie de l'énergie lorsqu'ils achèteront une maison.

9.4.2. Les caractéristiques des acheteurs

● Établir le profil de votre marché-cible: âge, revenu, nombre d'enfants, habitudes, niveau d'instruction.

● Définir les aspects des solutions énergétiques qui sont susceptibles d'intéresser tel type de client appartenant à tel secteur du marché, comme le délai de récupération, le coût maximal acceptable; tenir compte du fait que l'intérêt pour une question varie selon les niveaux de compréhension.

9.4.3. Éléments additionnels d'information

● Par l'entremise de votre association de constructeurs, établir quel intérêt le public de la région a manifesté dans le passé pour les aspects énergétiques des logements mis en vente; quelles caractéristiques ont pu, qui achète, quels sont les suppléments de prix qui sont acceptés, quelles sont les réactions des propriétaires après une ou deux années de chauffage.

● Rechercher cette information à l'échelle du Québec, du Canada, de l'Amérique du Nord, par l'entremise des publications spécialisées et des associations de constructeurs.

9.4.4. Comment choisir les caractéristiques énergétiques

● N'éliminer au départ aucune des solutions, y compris le choix du type de logement, l'agencement intérieur, la disposition de la maison sur le terrain, l'aménagement paysager, les détails de construction.

● Calculer les suppléments de prix par rapport à un bâtiment strictement conforme aux exigences de la réglementation. Estimer approximativement les délais de récupération (sous-section 8.2.1. et annexe A).

● Choisir entre l'approche diversifiée, qui apporte à l'ensemble du bâtiment une série d'améliorations ayant des délais de récupération similaires, et l'approche concentrée, qui met l'accent sur l'amélioration des éléments sur lesquels il est difficile d'intervenir après construction, tels les murs et le système de chauffage. L'approche concentrée peut comporter la proposition d'améliorations facultatives que le client peut, soit acheter avec la maison, soit réaliser lui-même par la suite au moment où il peut se le permettre.

● Relier les délais de récupération aux secteurs appropriés du marché. Les acheteurs modestes sont plus sensibles aux questions de supplément de coût et de délai de récupération que les acheteurs plus fortunés.

● Ne pas perdre de vue que le logement doit d'abord satisfaire les aspirations et les besoins de base de l'acheteur. Ne pas compter sur les caractéristiques énergétiques pour compenser l'omission de qualités essentielles.

9.4.5. Présentation des caractéristiques

● Souligner aux acheteurs que le bâtiment est doté de caractéristiques qui vont au-delà des exigences de la réglementation.

● Souligner aux acheteurs que la forme du bâtiment, les matériaux et la qualité d'exécution sont bien traditionnels.

● Dans l'approche concentrée, expliquer à l'acheteur qu'il peut choisir les caractéristiques qu'il préfère, qu'il peut les obtenir maintenant ou qu'il peut se les procurer plus tard. Lui signaler toutefois qu'il épargne de l'argent s'il achète les améliorations en même temps que le bâtiment de base car elles sont généralement plus coûteuses à réaliser après construction.

● Présenter des maquettes de certaines caractéristiques: par exemple la composition d'un mur, d'un plafond (figure 9.1). Les exposer dans une maison-témoïn ou dans le bureau des ventes. Utiliser des échantillons fixés sur la maquette ou à proximité (figure 9.1). Utiliser des tableaux et des diagrammes de grand format pour illustrer les caractéristiques énergétiques (figures 9.2, 9.3). Utiliser aussi ces tableaux dans les dépliants publicitaires. Dans tous les cas, signaler que tous les isolants ont reçu le sceau d'homologation de la SCHL.



FIGURE 9.1

³ Voir la publication n° 1556P du Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches sur le bâtiment, Ottawa, Ontario, K1A 0R5.



FIGURE 9.2



FIGURE 9.3

- Être prêt à expliquer en quoi consistent les caractéristiques, quel est leur effet, pourquoi elles sont importantes et, éventuellement, en quoi consiste le concept de délai de récupération. Expliquer aussi que l'économie d'énergie va se continuer longtemps après que le supplément de prix aura été compensé, ce qui fait de la maison un bon investissement tant pour le premier acheteur que pour les acheteurs subséquents.
- Signaler que le soin apporté à la conception a eu pour résultat un bâtiment amélioré dont la forme générale, l'agencement interne et l'aménagement paysager engendrent des économies d'énergie sans coût d'achat additionnel.
- Vérifier si votre personnel de vente et les agents immobiliers sont familiers avec les caractéristiques, s'ils sont capables de les signaler et de les expliquer.

9.4.6. Le manuel du propriétaire

Pour mettre en lumière le sérieux des travaux et des études qui ont précédé la conception et la construction, le constructeur peut rédiger un manuel du propriétaire, axé sur les caractéristiques énergétiques de la maison. Ce manuel servira aussi de guide au propriétaire pour l'utilisation et l'entretien du bâtiment et enseignera aux occupants comment tirer le maximum de bénéfices de ses caractéristiques énergétiques. Il peut aussi contenir de l'information sur les méthodes par lesquelles on peut assurer la durabilité de la maison au moyen d'un entretien approprié. Le guide devrait traiter des points suivants:

- habitudes quotidiennes propres à assurer un haut degré d'efficacité énergétique;
- rappels sur la diminution de l'humidité et la ventilation d'hiver;
- information sur le fonctionnement et l'entretien des principaux appareils, spécialement l'équipement de chauffage et le chauffe-eau;
- suggestions pour faire contribuer l'aménagement paysager à la réduction des pertes de chaleur en hiver et des gains de chaleur en été;
- recommandations pour l'entretien des surfaces extérieures et intérieures, des portes et des fenêtres;
- rangement, dans une chemise, des garanties et des polices d'assurance; utilisation d'un cartable pour conserver les dossiers sur le coût de l'énergie, les taxes, les primes d'assurance, les versements hypothécaires;
- quelques publications* du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada: *Payez moins, chauffez mieux. Cent façons d'économiser chez soi* énergie et dollars et *Emprisonnons la chaleur*.

9.4.7. Réactions des clients et des acheteurs

- Au cours de vos conversations avec vos clients, profiter de l'occasion pour vous informer de leurs opinions, de leurs intérêts et de leur degré de compréhension par rapport aux caractéristiques d'économie, y compris la présentation.
- Discuter des performances des maisons avec quelques propriétaires, après au moins une saison de chauffage.
- Utiliser cette information pour améliorer votre produit et votre marketing.

* L'Énergie la dernière édition paraît.

Annexes

Annexe A Méthode de calcul des pertes de chaleur et des délais de récupération, à l'usage des constructeurs	122
Annexe B Données pour le calcul des pertes de chaleur	131
Annexe C Normes de performance thermique utilisées dans le présent ouvrage	136
Annexe D Comparaison des solutions préconisées dans le présent ouvrage avec les Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments	-

Annexe A

Méthode de calcul des pertes de chaleur et des délais de récupération, à l'usage des constructeurs

La présente annexe contient une méthode et des données grâce auxquelles un constructeur peut calculer lui-même les coûts annuels de chauffage et les économies qui découlent des améliorations. Il sera ainsi en mesure d'évaluer des solutions qui ne sont pas décrites dans le Guide. La méthode comporte un certain nombre de simplifications, mais elle est suffisamment exacte pour les fins indiquées.

Pour évaluer des solutions non décrites dans le Guide, il est nécessaire de pousser l'étude à un degré de détail plus grand que ce que fait le Guide. Il est nécessaire, par exemple, de calculer la réduction de résistance thermique causée par l'ossature (ponts thermiques). Il est également nécessaire, dans le cas des murs de fondation, d'étudier séparément la partie située sous le sol, la partie située au-dessus du sol et la région de la solive de pourtour, plutôt que de procéder par facteurs globaux de perte de chaleur comme nous le faisons au chapitre 4.

Pour utiliser la présente méthode, le constructeur doit connaître:

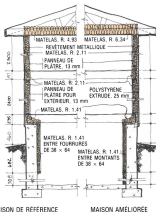
- les dimensions de la maison étudiée;
- les matériaux utilisés dans la maison de référence et dans la maison étudiée;
- le coût de l'amélioration étudiée;
- le prix local de l'énergie qui sera utilisée;
- les degrés-jours de la localité (voir l'annexe B).

A.1. Exemple

La maison utilisée dans le présent exemple est une maison individuelle de deux étages à plan rectangulaire, sans retraits ni saillies. Les détails de la maison sont donnés ci-dessous, tant pour la maison de référence que pour la maison étudiée. L'amélioration comprend aussi l'allumage par étincelle pour l'unité centrale de chauffage au gaz (figure A.1).

Autres données:

Nombre d'étages:	2
Dimensions en plan:	9 m x 9,56 m
Superficie de la fenestration:	
— au sous-sol:	4 m ²
— au rez-de-chaussée:	12 m ²
— au deuxième étage:	8 m ²
Superficie des portes:	4 m ²
Système de chauffage:	au gaz
— maison de référence:	avec veilleuse habituelle
— maison améliorée:	avec allumage par étincelle
Espacement des montants:	
— rez-de-chaussée:	400 mm
— deuxième étage:	600 mm
Fenêtres: à double vitrage,	R: 0,3
Portes: isolées, en acier,	R: 1,0
Changements d'air:	par hypothèse, 0,3 changement par heure
Emplacement:	Oshawa, Ontario, 4 150 degrés-jours
Coût du gaz:	0,11 \$/m ³ 0,003 \$/MJ



MAISON DE RÉFÉRENCE

MAISON AMÉLIORÉE

FIGURE A.1

A.1.1. Première étape: calcul des superficies

$$\text{Périmètre} = 2 \times (9,0 + 9,56) = 37,12 \text{ m}$$

$$\text{Superficie du plafond} = 9,0 \times 9,56 = 86,04 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie des murs du deuxième étage} &= 2,300 \times 37,12 = 85,38 \\ &\text{moins fenêtres} \quad - \quad 8,0 \\ &= 77,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Région de la solive de pourtour au deuxième étage} = 0,197 \times 37,12 = 7,31 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie des murs du rez-de-chaussée} &= 2,400 \times 37,12 = 89,09 \\ &\text{moins fenêtres} \quad - \quad 12,0 \\ &\text{moins portes} \quad - \quad 4,0 \\ &= 73,09 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

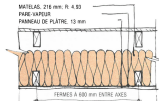
$$\text{Région de la solive de pourtour au rez-de-chaussée} = 0,235 \times 37,12 = 8,72 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie du mur de fondation au-dessus du sol} &= 0,460 \times 37,12 = 17,08 \\ &\text{moins fenêtres} \quad - \quad 4,0 \\ &= 13,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

A.1.2. Deuxième étape: calcul des résistances thermiques

On trouve les données de base au tableau B.2.

Plafond de la maison de référence:

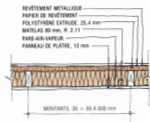


	Résistance à travers l'isolant	Résistance à l'endroit de la ferme
Pellicule d'air, surface inférieure	0,105	0,105
Panneau de plâtre 0,0062 × 13	0,081	0,081
Ossature 0,0087 × 89	—	0,774
Isolant	4,930	$\frac{127}{216} \times 4,93 = 2,899$
Pellicule d'air, surface supérieure	0,030	0,030
	5,146	3,889

Les fermes étant à 600 mm entre axes, la membrure inférieure représente environ les 38/600 de la surface du plafond, soit 7%. Pour 100 m² de surface de plafond, 7 m² sont de l'ossature, et 93 m² sont isolés.

Par conséquent, la valeur R après rajustement est:

$$\frac{100}{\frac{93}{5,146} + \frac{7}{3,889}} = 5,03.$$

Mur amélioré du deuxième étage:

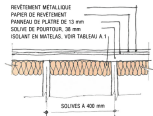
	Résistance à travers l'isolant	Résistance à travers les montants
Pellicule d'air, extérieur	0,030	0,030
Revêtement métallique	0,123	0,123
Papier de revêtement	0,011	0,011
Polystyrène extrudé		
$0,0347 \times 25,4 = 0,881$	0,881	0,881
Matelas isolants	2,11	—
Ossature $0,0087 \times 89 = 0,774$	—	0,774
Panneau de plâtre		
$0,0062 \times 13 = 0,081$	0,081	0,081
Pellicule d'air, intérieur	0,120	0,120
	<u>3,356</u>	<u>2,020</u>

Dans les murs, le pourcentage d'ossature est légèrement plus élevé, à espacement égal, que dans les plafonds, en raison de la présence de portes, de fenêtres, de montants doubles à l'endroit des intersections, etc. Pour un espacement de 600 mm, chaque portion de 100 m² de surface de mur comporte environ 11 m² en ossature et 89 sans ossature. Pour un espacement de 400 mm, les proportions passent respectivement à 19 et 81 m².

La résistance thermique, après rajustement, devient donc :

$$\frac{100}{\frac{89}{3,356} + \frac{11}{2,020}} = 3,13.$$

Région de la solive de pourtour au deuxième étage de la maison de référence:

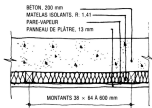


La perte de chaleur à travers la solive de pourtour est complexe; de plus, il serait particulièrement fastidieux de calculer avec précision le rajustement compensant l'interruption de l'isolant par les solives. On peut remplacer les calculs par le tableau A.1, qui donne les valeurs corrigées pour les ponts thermiques des solives et du faux-plancher.

Tableau A.1 Résistances thermiques corrigées, région de la solive de pourtour

Résistance du matelas	Résistance corrigée
1,41	1,17
1,76	1,47
2,11	1,67
2,47	1,84
3,52	2,80
4,93	3,94

Pellicule d'air, extérieur	0,030
Revêtement métallique	0,123
Papier de revêtement	0,011
Panneau de plâtre 0,0062 x 13	0,081
Solive de pourtour 0,0087 x 38	0,331
Isolant (voir tableau A.1)	1,57
Pellicule d'air, intérieur	0,120
	<u>2,366</u>

Mur de fondation au-dessus du sol:

	Résistance à travers l'isolant	Résistance à travers les montants
Pellicule d'air, extérieur	0,030	0,030
Béton $0,00045 \times 200 = 0,090$	0,090	—
Matelas isolants	1,41	—
Ossature $0,0087 \times 64 = 0,557$	—	0,557
Panneau de plâtre $0,0062 \times 13 = 0,081$	0,081	0,081
Pellicule d'air, intérieur	0,120	0,120
	<u>1,731</u>	<u>0,878</u>

$$\text{Résistance thermique ajustée: } \frac{1,00}{\frac{89}{1,731} + \frac{11}{0,878}} = 1,56$$

Mur de fondation sous la surface du sol, maison de référence:

Dans ce cas, plutôt que de calculer la résistance thermique, il est préférable de calculer un facteur de perte de chaleur pour une bande verticale d'un mètre de largeur. Cette démarche est utilisée dans les tableaux 4.1 et 4.2; on s'en sert ici pour la portion souterraine seulement. Consulter la figure B.2.

Isolant à R: 1,41, posé jusqu'à 600 mm sous la surface du sol:

$$\text{Facteur de perte de chaleur} = 0,67 \text{ W}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$$

Jusqu'à 900 mm sous la surface du sol:

$$\text{Facteur de perte de chaleur} = 0,58 \text{ W}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$$

Par interpolation, pour 682 mm sous la surface du sol:

$$\text{Facteur de perte de chaleur} = 0,65 \text{ W}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$$

A.1.3. Troisième étape: calcul des facteurs G

Les facteurs G représentent les facteurs de perte globale de chaleur (FPC). On les calcule pour la conduction et la convection (changements d'air).

Conduction à travers l'enveloppe

Après avoir calculé, au moyen de la méthode illustrée ci-dessus, toutes les résistances thermiques de la maison de référence et de la maison améliorée, on peut les réunir sous forme de tableau:

	Superficie (m ²)	Maison de référence		Maison améliorée	
		R (m ² ·°C/W)	S/R (W/°C)	R (m ² ·°C/W)	S/R (W/°C)
Plafond	86,04	5,03	17,11	6,48	13,28
Murs du deuxième étage	77,38	2,28	33,94	3,13	24,72
Solive de pourtour, 2 ^e étage	7,31	2,37	3,08	3,17	2,31
Murs du rez-de-chaussée	73,09	2,12	34,48	2,98	24,53
Solive de pourtour, rez-de-chaussée	8,72	1,87	4,66	2,67	3,27
Fondation, au-dessus du sol	13,08	1,56	8,38	1,56	8,38
Fenêtres	24,00	0,30	80,00	0,30	80,00
Portes	4,00	1,00	4,00	1,00	4,00
	Périmètre (m)	FPC (W/°C·m)	Périmètre × FPC	FPC (W/°C·m)	Périmètre × FPC
Fondation, au-dessous du sol	37,12	0,65	24,13	0,44	16,33
TOTAUX			209,78 W/°C		176,62 W/°C

Changement d'air

Le volume de la maison est approximativement égal à la somme des dimensions verticales de la figure A.1 multipliée par la superficie du plan:

$$7,38 \times 9,0 \times 9,58 = 635 \text{ m}^3$$

Le volume d'air changé par heure est donc de: $635 \times 0,3 = 191 \text{ m}^3$.

Il faut 0,335 watt-heure d'énergie pour réchauffer d'un degré Celsius chaque mètre cube d'air qui pénètre dans la maison.

La perte de chaleur par changement d'air est donc de: $191 \times 0,335 = 63,99 \text{ W/°C}$.

Le facteur de perte de chaleur totale (facteur G) est le suivant:

- pour la maison de référence: $G = 209,78 + 63,99 = 274 \text{ W/°C}$
- pour la maison améliorée: $G = 176,62 + 63,99 = 241 \text{ W/°C}$.

On peut aussi exprimer ces nombres en mégajoules par heure et par degré Celsius en les multipliant par $3,6 \times 10^{-3}$.
Donc:

- maison de référence: $G = 274 \times 3,6 \times 10^{-3} = 0,986 \text{ MJ}/(\text{h} \cdot \text{°C})$
- maison améliorée: $G = 241 \times 3,6 \times 10^{-3} = 0,868 \text{ MJ}/(\text{h} \cdot \text{°C})$.

Ces facteurs signifient que dans le cas de la maison de référence, si la température extérieure est plus froide d'un degré Celsius que la température intérieure de la maison, 0,986 MJ d'énergie est dissipé à l'extérieur, à chaque heure, par le toit, les murs, les fenêtres et les portes, ainsi que par infiltration-exfiltration. Si la température extérieure est plus froide de 10 °C, ce sont alors 9,86 MJ qui sont dissipés à chaque heure.

A.1.4. Quatrième étape: calcul du coût annuel du chauffage et calcul de l'économie annuelle

La valeur en degrés-jours qui caractérise une localité est une mesure de l'intensité et de la durée de la saison froide à cet endroit. Si on multiplie le facteur G de la maison par le nombre de degrés-jours, on obtient la quantité approximative d'énergie brute dissipée par la maison pendant une année.

Pour la maison de référence, le calcul est le suivant:

$$\begin{aligned} \text{Perte brute d'énergie} &= 0,866 \times 4\,130 \times 24 \text{ (pour convertir les degrés-jours en degrés-heures)} \\ &= 97\,700 \text{ MJ.} \end{aligned}$$

Toutefois, comme l'a montré la section 2.1, seule une partie de cette perte est absorbée par le système de chauffage. Le reste, la « chaleur gratuite », provient du soleil, des appareils, des occupants eux-mêmes. Bien que la quantité de chaleur gratuite puisse varier beaucoup d'une maison à l'autre, on peut l'évaluer en moyenne à environ 26 000 MJ par année.

Pour la maison de référence, le calcul est le suivant:

$$\begin{aligned} \text{Énergie fournie par le système de chauffage} &= 97\,700 - 26\,000 \\ &= 71\,700 \text{ MJ.} \end{aligned}$$

Toutefois, l'unité centrale de chauffage au gaz n'est efficace qu'à 65%, comme l'indique le tableau 5.1. Par conséquent, on doit acheter plus de chaleur qu'il n'en est réellement fourni à la maison.

$$\begin{aligned} \text{En conséquence, l'énergie achetée} &= \frac{71\,700}{0,65} \\ &= 110\,300 \text{ MJ} \\ \text{et le coût annuel du chauffage} &= 110\,300 \times 0,003 \\ &= 331 \text{ \$} \end{aligned}$$

De la même façon, pour la maison améliorée:

$$\begin{aligned} \text{Perte brute d'énergie} &= 0,866 \times 4\,130 \times 24 \\ &= 88\,000 \text{ MJ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Énergie fournie par le système de chauffage} &= 88\,000 - 26\,000 \\ &= 60\,000 \text{ MJ.} \end{aligned}$$

En ignorant, pour le moment, l'augmentation d'efficacité due à l'allumage par étincelle,

$$\begin{aligned} \text{Énergie achetée} &= \frac{60\,000}{0,65} \\ &= 92\,300 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coût annuel du chauffage} &= 92\,300 \times 0,003 \\ &= 277 \text{ \$} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Économie due à l'amélioration de l'enveloppe} &= 331 \text{ \$} - 277 \text{ \$} \\ &= 54 \text{ \$} \end{aligned}$$

À ce montant on doit ajouter l'économie attendue de l'allumage par étincelle. Le tableau 5.2 indique que cette économie varie entre 18 \$ et 20 \$. Comme la maison est dans une zone relativement tempérée, utilisons le chiffre le moins élevé.

$$\text{En conséquence, l'ÉCONOMIE ANNUELLE} = 54 \text{ \$} + 18 \text{ \$} = 72 \text{ \$}.$$

A.1.5. Cinquième étape: calcul du délai de récupération

C'est évidemment chaque constructeur qui est le mieux placé pour calculer ses propres suppléments de prix pour les mesures d'amélioration énergétique. Toutefois, pour illustrer le processus de la récupération, nous utiliserons les montants donnés dans les tableaux des chapitres 4 et 5.

Supplément de coût total (S.C.)

Plafond. Solution n° 3, tableau 4.7:

$$\text{S.C.} = 126 \times \frac{86 \text{ (superficie du plafond de la présente maison)}}{76 \text{ (superficie du plafond de la maison de référence)}} = 155 \$$$

Murs. Solution n° 6, tableau 4.4:

$$\text{S.C.} = 312 \times \frac{157 \text{ (superficie du mur y compris l'épaisseur du plancher du 2^e étage)}}{142} = 345 \$$$

Fondation. Solution n° 8, tableau 4.1:

$$\text{S.C.} = 283 \times \frac{37,12 \text{ (périmètre)}}{33,5} = 314 \$$$

Unité centrale au gaz à allumage par étincelle. Tableau 5.2:

$$\frac{100 \$}{}$$

S.C. TOTAL

$$914 \$$$

$$\text{Quotient du supplément de coût par l'économie de combustible de la première année} = \frac{914}{72} = 12,7$$

Consulter le tableau des délais de récupération, figure B.4. Le délai de récupération est de 10 à 12,5 ans.

A.2. Notes sur la méthode de calcul des pertes de chaleur

La méthode décrite ci-dessous a été mise au point par Scanada Consultants. Elle est basée sur des méthodes standards comme celles de l'ASHRAE ou de HRAI, mais ces méthodes ont été modifiées empiriquement de façon à s'ajuster aux résultats d'études de consommation réelle d'énergie. Les aspects touchés sont le renouvellement de l'air, la chaleur gratuite et les pertes de chaleur sous le niveau du sol.

A.2.1. Le renouvellement de l'air

Il existe très peu de données sur le volume des changements d'air dans les maisons. Celles dont on dispose tendent à indiquer qu'un tiers de changement d'air par heure est un chiffre typique pour une maison moderne bien isolée, et en même temps une bonne limite inférieure, au-dessous de laquelle il y a risque de condensation.

En conséquence, si l'enveloppe du bâtiment devait être construite de façon très étanche, comme le recommande la section 4.1, et que le renouvellement accidentel de l'air était inférieur à cette limite, il serait nécessaire de ventiler mécaniquement pour obtenir à peu près ce niveau de renouvellement. Des études récentes ont également montré que, alors que le fait d'isoler une maison qui ne l'était pas auparavant peut améliorer de façon importante son étanchéité à l'air, l'amélioration de l'isolation d'une maison déjà bien isolée n'a pas d'effet appréciable sur son étanchéité.

Ainsi la présente méthode, appliquée à la construction nouvelle, n'alloue rien pour des améliorations à l'étanchéité; du même coup, elle permet d'épargner du temps et des efforts en éliminant les calculs élaborés effectués dans d'autres méthodes relativement au passage de l'air par les fentes.

Il est certain qu'il se construit encore de nos jours des maisons qui excèdent de beaucoup le taux d'un tiers de changement d'air par heure, mais ce fait est généralement dû à la médiocrité de l'exécution. Il est impossible de prédire, simplement en se servant de calculs, si de telles défaillances vont se produire, et encore moins de les mesurer.

A.2.2. La chaleur gratuite

La méthode de calcul tient compte du fait que, pour un ménage donné habitant une maison d'une forme et d'une orientation données, la chaleur fournie par les appareils électroménagers, les occupants et le soleil demeure à peu près constante, quelle que soit la perte de chaleur brute de la maison, et cela en termes absolus plutôt qu'en termes de pourcentage de la perte de chaleur. D'autres méthodes utilisent un facteur constant de modification pour les degrés-jours dans le calcul des pertes de chaleur de la maison de référence et de la maison améliorée, et cela a tendance à sous-évaluer les économies réalisées. La présente méthode ne modifie pas les degrés-jours mais soustrait un montant constant des pertes brutes de chaleur de la maison de référence et de la maison améliorée. Si on désire seulement prévoir les économies, et non le coût du chauffage, il n'est pas nécessaire d'estimer la quantité de chaleur gratuite avec beaucoup de précision, étant donné qu'elle est éliminée du calcul des économies.

Ces considérations appellent des commentaires. Si on améliore considérablement la conception d'une maison, la production quotidienne de chaleur gratuite, au début de l'automne et à la fin du printemps, peut excéder la perte brute de chaleur de ce jour et on devra ouvrir les fenêtres pour empêcher la température de monter. La chaleur gratuite sera partiellement « gaspillée » et sa contribution à la satisfaction de la demande annuelle de chauffage ne demeurera pas constante. Toutefois, à l'intérieur des limites d'amélioration du présent Guide, cet effet sera vraisemblablement minime et on peut se permettre de laisser la chaleur gratuite constante. Si, par contre, l'écart entre les pertes brutes de chaleur de la maison de référence et celles de la maison améliorée était considérable (si celles-ci étaient, disons, inférieures à la moitié des premières) on ne pourrait plus se permettre cette simplification.

A.2.3. Pertes de chaleur sous le niveau du sol

Comme nous l'avons déjà signalé, les connaissances des spécialistes du bâtiment sur cette question sont limitées. La méthode utilisée ici est basée sur un modèle mis au point par le Conseil national de recherches il y a plusieurs années¹. Des relevés faits récemment sur des installations réelles ont indiqué que ce modèle est généralement juste. Toutefois, comme sa destination originelle était le calcul des pertes de chaleur instantanées, pour fin de conception des murs, nous l'avons modifié pour pouvoir l'utiliser pour le calcul des pertes annuelles de chaleur.

L'une de ces modifications consiste à tenir compte du fait que la température des sous-sols tend naturellement à être plus basse que celle des principales pièces de séjour. Dans les types de maisons où une partie des principales pièces de séjour est située sous le niveau du sol, et où, par conséquent, on cherche à maintenir une température assez élevée, cette méthode tend à sous-évaluer les pertes de chaleur.

¹ BOULEAU, G.G. et J.K. LATTI, *Calculation of Basement Heat Losses*, Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches sur le bâtiment, NRC 19477, 060-1988.

Annexe B

Données pour le calcul des pertes de chaleur

Tableau B.1 Degrés-jours dans diverses localités du Québec *

Localité	Degrés-jours au-dessous de 18 °C	Localité	Degrés-jours au-dessous de 18 °C
Acton Vale	4 620	La Tuque	5 426
Alma	5 830	Laval	4 466
Amos	6 277	Lemoyville	4 809
Ancienne-Lorette	5 110	Léry	4 420
Anjou	4 470	Les Saules	5 010
Arvida	5 526	Lévis	4 900
Asbestos	4 744	Loretteville	5 120
Aylmer	4 740	Louiseville	4 910
Bagotville	5 775	Magog	4 647
Baie-Comeau	5 997	Malartic	6 110
Beaconsfield	4 470	Maniwaki	5 317
Beauport	4 950	Masson	4 794
Bedford	4 470	Melane	5 538
Beloeil	4 540	Mégantic	5 195
Brossard	4 470	Mont-Joli	5 353
Buckingham	4 911	Mont-Laurier	5 189
Cacouna	5 400	Montmagny	4 988
Campbell's-Bay	5 050	Montréal	4 472
Camp-de-Valcartier	5 120	Montréal-Nord	4 480
Chicoutimi	5 436	Mont-Royal	4 470
Coaticook	4 881	Nicheguon	7 956
Contrecoeur	4 710	Noranda	6 220
Cowansville	4 580	Outremont	4 470
Dolbeau	6 050	Percé	5 174
Dorval	4 470	Pierrefonds	4 470
Drummondville	4 678	Pincourt	4 420
Farnham	4 624	Piessville	5 020
Fort-Chimo	8 498	Pointe-Claire	4 470
Fort-Coulonge	5 050	Pointe-Gatineau	4 740
Gagnon	7 400	Port-Alfred	5 720
Gaspé	5 372	Port-Carrie	6 000
Gatineau	4 740	Poste-de-la-Baleine	8 995
Gentilly	4 850	Privilège	4 520
Gracefield	5 070	Québec	5 080
Gratby	4 590	Richmond	4 680
Harrington-Harbour	6 009	Rimouski	5 226
Havre-Saint-Pierre	6 110	Rivière-du-Loup	5 482
Hemmingford	4 620	Roberval	5 792
Hull	4 740	Rock-Island	4 800
Iberville	4 490	Rosemère	4 580
Inoucoust	8 995	Rouyn	6 220
Joliette	4 752	Sainte-Agathe-des-Monts	5 344
Jonquière	5 850	Sainte-Anne-de-Bellevue	4 420
Kenogami	5 658	Saint-Canut	4 900
Knob-Lake	8 227	Saint-Félicien	5 956
Knowlton	4 630	Sainte-Foy	4 900
Kovik-Bay	9 550	Saint-Hubert	4 489
Lachine	4 470	Saint-Hubert-de-Témiscouata	5 780
Lachute	4 914		
Laféche	4 520		
La Malbaie	5 361		
La Salle	4 470		

* Source: Supplément au Code national du bâtiment du Canada, 1985.

Localité	Degrés-jours au-dessous de 18 °C
Saint-Hyacinthe	4 583
Saint-Jean	4 490
Saint-Jérôme	5 030
Saint-Jovite	5 350
Saint-Lambert	4 470
Saint-Laurent	4 481
Saint-Nicolas	4 850
Schefferville	8 227
Senneterre	6 074
Sept-Îles	6 136
Shawinigan	5 007
Shawville	5 046
Sherbrooke	4 585
Silery	4 900
Sorel	4 741
Sutton	4 779
Tadoussac	5 332
Témiscamingue	5 220
Theftord-Mines	5 221
Trois-Rivières	4 963
Thurso	4 784
Val-d'Or	6 146
Valleyfield	4 415
Varennes	4 520
Verchères	4 585
Verdun	4 470

Localité	Degrés-jours au-dessous de 18 °C
Victoriaville	4 919
Ville-Marie	5 494
Waterloo	4 580
Westmount	4 470
Windsor	4 630

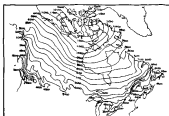


FIGURE B1. CARTE DU CANADA INDICANT
LES DEGRÉS-JOURS

Tableau B.2. Valeur de résistance thermique de divers matériaux de construction¹

Description	Résistance thermique* (valeur R)	
	Par unité ^{1/2} d'épaisseur	Pour l'épaisseur indiquée
Pellicules à surface d'air		
Mouvement d'air stable à l'horizontale, passage de la chaleur vers le haut		0,105
Mouvement d'air stable à l'horizontale, passage de la chaleur vers le bas		0,152
Mouvement d'air stable à la verticale, passage de la chaleur à l'horizontale		0,120
Déplacement d'air — quel que soit l'endroit		0,030
Lames d'air — parées de matériaux non réfléchissants		
— dimension minimale de 12 mm		
Horizontale, passage de la chaleur vers le haut		0,150
Horizontale, passage de la chaleur vers le bas		0,180
Verticale, passage de la chaleur à l'horizontale		0,171
Lames d'air ayant moins de 12 mm à la moindre dimension		0
Lames d'air — parées de matériaux réfléchissants**		
— dimension minimale de 12 mm		
Lame horizontale parée d'un côté, passage de la chaleur vers le haut		0,324
Lame horizontale parée des deux côtés, passage de la chaleur vers le bas		0,332
Lame horizontale parée d'un côté, passage de la chaleur vers le bas		0,980
Lame horizontale parée des deux côtés, passage de la chaleur vers le bas		1,034
Lame verticale parée d'un côté, passage de la chaleur à l'horizontale		0,465
Lame verticale parée des deux côtés, passage de la chaleur à l'horizontale		0,480
Lames d'air ayant moins de 12 mm dans leur moindre dimension		0

* En m² · °C/W.

** En millimètres d'épaisseur.

^{1/2} Ces valeurs ne peuvent servir de base de calcul dans les régions où la moyenne annuelle des degrés-jours situés au-dessus de 4 000 degrés-jours.

Description	Résistance thermique* (valeur R)	
	Par unité ^{††} d'épaisseur	Pour l'épaisseur indiquée
Isolant		
Laine minérale et fibre de verre	0,020 8	
Fibre cellulosique	0,025 3	
Vermiculite	0,014 4	
Fibre de bois	0,023 1	
Copeaux de bois	0,016 9	
Amiante pulvérisé	0,020 1	
Polystyrène expansé, conforme à la norme ONGC F41-GP-14a (1972)		
— TYPE 1	0,025 7	
— TYPE 2	0,027 7	
— TYPE 3	0,029 8	
— TYPE 4	0,034 7	
Isolant rigide en fibre de verre, pour toit	0,027 7	
Liège naturel	0,025 7	
Panneau rigide d'uréthane ou d'isocyanurate	0,042 0	
Panneau d'agréats minéraux	0,018 2	
Panneau de paille comprimée	0,013 9	
Carton-fibre	0,019 4	
Matériaux de charpente		
Billes de cèdre et bois de construction	0,009 2	
Autres billes en bois tendre ou bois de construction	0,008 7	
Béton		
— 2 400 kg/m ³	0,000 45	
— 1 760 kg/m ³	0,001 3	
— 480 kg/m ³	0,006 9	
Bloc de béton — à 3 cellules		
Agrégat de sable et de gravier		
— 100 mm		0,125
— 200 mm		0,195
— 300 mm		0,225
Agrégat de cendre		
— 100 mm		0,195
— 200 mm		0,302
— 300 mm		0,332
Agrégat léger		
— 100 mm		0,264
— 200 mm		0,352
— 300 mm		0,400
Matériaux de revêtement d'ossature		
Contreplaqué de bois tendre	0,008 7	
Panneau de particules en forme de natte	0,008 7	
Revêtement isolant en carton-fibre	0,016 5	
Revêtement en plaque de plâtre	0,006 2	
Papier de revêtement	0,000 4	
Papier vaporetanche kraft enduit d'asphalte	Négligeable	
Pare-vapeur en polyéthylène	Négligeable	

* En m² °C/W.

** En millimètres d'épaisseur.

Résistance thermique* (valeur R)

Description	Résistance thermique* (valeur R)	
	Par unité** d'épaisseur	Pour l'épaisseur indiquée
Matériaux de parement		
Parement de carton-fibre	0,010 7	
Parement de bois tendre parement à mi-bois de 18 mm sur 184 mm posé à recouvrement		0,139
Parement à clin de 12 mm sur 184 mm posé à recouvrement		0,143
Parement à clin de 19 mm sur 235 mm posé à recouvrement		0,185
Parement de contreplaqué de 9 mm posé à recouvrement		0,103
Parement de brique		
Argile ou schiste — 100 mm		0,074
Béton et silico-calcaire — 100 mm		0,053
Parement de stucco	0,001 4	
Parement métallique		
Planche à clin horizontale		0,123
Planche à clin horizontale avec fond de clouage		0,246
Planche verticale à rainure en V		0,123
Planche verticale et tasseau		Négligeable
Matériaux de toiture		
Recouvrement de toiture enduit de bitume (en rouleau)		0,025
Bardeaux d'asphalte		0,078
Couverture multicouche		0,058
Bardeaux de bois		0,165
Pierre concassée non séchée	0,000 6	
Matériaux de finition intérieure		
Plaque de plâtre et support	0,008 2	
Enduit au plâtre — agrégat de sable	0,001 4	
Enduit au plâtre — agrégat léger	0,004 4	
Contreplaqué	0,008 7	
Carton-fibre pressé	0,005 0	
Carton-fibre isolant	0,016 5	
Panneau de particules en forme de latte	0,008 7	
Moquette et tréssade fibreuse		0,366
Moquette et tréssade caoutchouée		0,226
Revêtement de sol élastique		0,014
Terrazzo — 25 mm		0,014
Couvre-plancher en bois dur		
— 9,5 mm		0,060
— 19 mm		0,120
Carreaux en fibre de bois		
— 13 mm		0,209

* En m² · °C/m.

** En millimètres d'épaisseur.

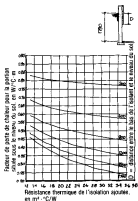


FIGURE 82. FACTEURS DE PERTES DE CHALEUR POUR LES MURS DE FONDATION

MUR DE FONDATION DESCENDANT À 1 790 mm SOUS LE NIVEAU DU SOL

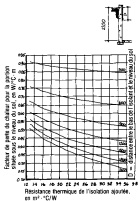


FIGURE 83. FACTEURS DE PERTES DE CHALEUR POUR LES MURS DE FONDATION

MUR DE FONDATION DESCENDANT À 2 100 mm SOUS LE NIVEAU DU SOL

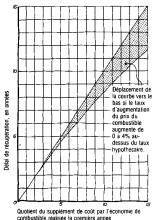


FIGURE 84. TABLEAU DES DÉLAIS DE RÉCUPÉRATION

Annexe C**Normes de performance thermique utilisées dans le présent ouvrage**

On trouvera ci-après les principales normes d'isolation thermique qui ont servi de points de référence au présent ouvrage. Elles sont dérivées, soit des *Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments*, soit du *Code national du bâtiment* (éditions antérieures à 1980), soit de textes analogues.

1- Les valeurs de résistance thermique minimale utilisées sont indiquées dans le tableau C.1.

Tableau C.1. Résistances thermiques minimales

Élément	Résistance thermique
Mur de fondation en béton ou maçonnerie	1,41
Mur de fondation en bois traité	2,11
Plancher au-dessus d'un espace non chauffé, plancher en porte-à-faux	3,52
Mur	2,11
Toit à comble	4,93
Toit plat ou toit en pente légère à plafond incliné	3,52
Périmètre des dalles sur le sol contenant des conduits ou des tuyaux de chauffage	1,76
Périmètre des dalles sur le sol ne contenant pas de conduits ou de tuyaux de chauffage	1,41

2- L'isolation autour des dalles de béton sur le sol doit descendre au moins jusqu'à 600 mm sous le niveau du sol extérieur et être placée de façon à ne pas empêcher la chaleur du bâtiment d'atteindre le sol sous leur périmètre, là où les murs extérieurs ne sont pas supportés par des emplacements situés sous la ligne de gel.

3- Lorsque les murs de fondation enclosent un espace chauffé, leur partie supérieure doit être isolée, depuis le dessous du plancher supérieur, au moins jusqu'à 600 mm sous le niveau du sol extérieur.

Si le mur de fondation est construit en blocs creux, on doit utiliser un des moyens suivants de réduction de la convection à l'intérieur du mur:

- remplir les cellules des blocs;
- au niveau du sol, ou sous le niveau du sol, placer au moins une épaisseur de polyéthylène entre deux rangs de blocs;
- placer au moins un rang de blocs semi-massifs au niveau du sol ou sous le niveau du sol;
- toute autre méthode similaire.

4- Sur la face intérieure de la partie du mur de fondation située sous le niveau du sol, on doit protéger l'isolant contre l'humidité au moyen d'un pare-vapeur ou utiliser un isolant résistant à l'humidité; l'isolant en matelas doit recevoir une protection supplémentaire contre l'humidité au moyen d'un pare-vapeur distinct.

L'isolant placé sur la face intérieure des murs de fondation doit être en contact étroit avec les murs et être scellé au sommet et à la base pour éviter la circulation de l'air.

5- L'isolant doit être placé de façon à ne pas nuire au passage de l'air dans les avant-toits, les toits et les combles.

6- À l'exception des endroits où l'isolant est posé sur le platelage de toiture, on doit laisser entre le dessus de l'isolant et le dessous du platelage un espace libre d'au moins 152 mm:

- pour les toits dont la pente est de moins de 1:6;
- pour les toits dont la pente est de plus de 1:6 et où le revêtement intérieur est appliqué sur la face inférieure de membrures structurales s'étendant du faîte du toit au sommet des murs.

Annexe D

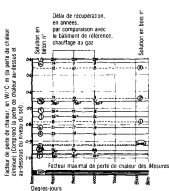
Comparaison des solutions préconisées dans le présent ouvrage avec les Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments

Les Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments ont été publiées en 1978 par le Comité associé du Code national du bâtiment. Comme le Code national du bâtiment, ce texte est purement consultatif et n'acquiesce une valeur réglementaire que s'il est adopté par une autorité telle qu'une province, une municipalité, la SCHL, etc. La présente annexe n'a donc en ce moment qu'une valeur informative.

Les figures qui suivent indiquent la relation qui existe entre les diverses solutions décrites au chapitre 4 et les résistances minimales proposées dans les Mesures. Elles indiquent également les délais de récupération, ce qui aide à établir quelles sont les façons les plus économiques de se conformer aux Mesures.

Considérons par exemple une solution d'amélioration de l'isolation d'un mur pour un bâtiment situé dans la zone de 6 000 degrés-jours. La figure D-3 indique que toutes les solutions 6 à 14 inclusivement excèdent la résistance minimale exigée par les Mesures pour la zone de 6 000 DJ. La solution 8 est celle qui offre le délai de récupération le plus court, même si elle excède la résistance minimale par une marge plus considérable que les solutions 6 et 7, qui ont respectivement des délais de récupération de 11 et 9 ans. (À noter que le délai de récupération est mesuré par rapport au bâtiment de référence du présent ouvrage, et non par rapport à la valeur minimale des Mesures. La solution 8 est donc vraisemblablement la façon la plus économique de satisfaire aux Mesures dans la zone de 6 000 DJ, à condition toutefois que:

- le coût soit le même que celui qui est indiqué dans le présent ouvrage,
- la solution soit compatible avec les méthodes habituelles de travail du constructeur.



* Calculé sur la base de la résistance minimale (1,5) et de la profondeur minimale (600 mm sous la surface du sol) indiquées dans les Mesures, et en utilisant la figure B-7.

FIGURE D.1 MURS DE FONDATION

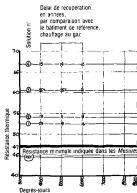


FIGURE D.2 PLANCHERS

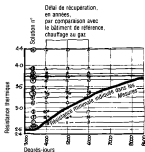


FIGURE D.3 MURS

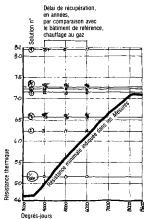


FIGURE D.4 COMBLES

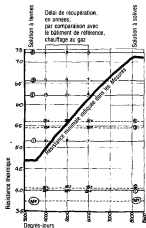


FIGURE D.5 TOITS PLATS ET TOITS EN PENTE LÉGÈRE À PLAFOND INCLINÉ

Index

Abréviations et facteurs de conversion, XV

Agencement intérieur d'un logement, 13-14

Aménagement paysager, 14-16

Appareils électroménagers, 107

Calculs, 121-130

Facteurs de perte de chaleur des murs de fondation sous la surface du sol, 126-127

Résistance thermique du mur et du plafond, 123-125

Chaleur

Conduction, 7

Convection, 7

Équilibre dans un logement, 6

Pertes sous le niveau du sol, 8

Rayonnement, 7

Récupération, 23

Climatisation, 89

Combinaison de solutions selon une approche concentrée, 112

Combinaison de solutions selon une approche diversifiée, 112

Conditions de confort, 9-10

Coût-avantages, 8-9

Changements dans les paiements mensuels, 9

Coût global, 9

Délai de récupération, 8-9

Données, 131-138

Degrés-jours, 131-132

Délais de récupération, 135, 137-138

Valeurs isolantes, 132-135

Eau chaude domestique, 101-104

Chauffe-eau au gaz, 104

Chauffe-eau électrique, 103

Dimensionnement, 103

Réducteurs de débit, 102-103

Systèmes solaires, 104

Éclairage, 105-107

Énergie, 1-4

Prévisions de coût, 3

Tendances de l'utilisation, 2

Tendances du coût, 3

Utilisation actuelle, 2

Énergie solaire

Chauffage de l'eau domestique, 104

Chauffage des bâtiments, 83

Chauffage des piscines, 98

Gain passif d'énergie solaire, 95-97

Fenêtres, 76-79

Accroissement de la résistance thermique, 76-77

Étanchéité à l'air, 77-78

Pose, 79-79

Fondation, 33-47

Application de l'isolant à l'extérieur, 35

Application de l'isolant à l'intérieur, 36-38

Bois traité, 34

Dépassement au-dessus du sol, 34

En sol humide, 35

Planchers de sous-sol, 35

Vides sanitaires, 34

Forme du bâtiment, 11-13

Foyers, 93-94

Humidité, 21

Atténuation, 21

Condensation de surface, 21

Condensation non visible, 21

Niveau d'humidité, 21

Origine, 21

Implantation du bâtiment, 14-16

Isolation

Des murs, 52-61

Des planchers, 48-51

Effets de la compression des matelas, 32

Fonctionnement, 7

Matériaux isolants rigides, 53

Marketing, 115-120

Acheteurs ascendants, 118

Acheteurs descendants, 118

Nouveaux acheteurs, 117-118

Principes de marketing, 116-117

Pare-air vapeur

Fonction, 22

Pose, 26-30

Plinthes électriques, 86

Poêles à bois, 94-96

Portes, 79-81

Accroissement de la résistance thermique, 79-80

Étanchéité à l'air, 80

Pose, 80-81

Recommandations

Agencement intérieur, 10-11

Aménagement extérieur, 11

Aménagement paysager, 11

Amenée d'air extérieur au plénum de retour d'air, 19

Appareils, 106

Chauffage à air pulsé, 90

Chauffage à eau chaude, 90-91

- Chauffage au gaz, 85
 - Chauffage au mazout, 85
 - Chauffage électrique, 86
 - Chauffage électrique de l'eau domestique, 102
 - Chauffage central, 84
 - Chauffage de l'eau domestique au gaz, 102
 - Chauffage par gain passif de chaleur solaire, 93
 - Chauffage solaire, 93
 - Chauffage solaire de l'eau domestique, 102
 - Chauffage solaire des piscines, 93
 - Climatisation, 99
 - Combinaison de solutions selon une approche concentrée, 110
 - Combinaison de solutions selon une approche diversifiée, 110
 - Conduit d'évacuation, 19
 - Dimensionnement du système d'eau chaude, 102
 - Eclairage, 106
 - Fenêtres, 78
 - Forme du bâtiment, 10
 - Foyers, 93
 - Isolation des fondations, 33
 - Isolation des murs, 52
 - Isolation des planchers, 48
 - Isolation des toits à comble, 62
 - Isolation des toits plats et des toits en pente légère à plafond incliné, 69
 - Marketing, 116
 - Pare-air-vapeur, 26
 - Portes, 79
 - Récupération de la chaleur, 23
 - Systèmes centraux d'évacuation, 20
 - Thermopompes, 87
 - Thermostats, 91
 - Ventilation, 18
- Résistance thermique**
- Calcul, 30-31
 - Tables, 132-134
- Thermopompes, 87-89**
- Thermostats, 92**
- Toits, 62-76**
- À comble, 62-69
 - Plats ou en pente légère à plafond incliné, 69-76
- Transport de la chaleur, 90-92**
- Par air pulsé, 91
 - Par eau, 91-92
- Ventilation, 17-20**
- Besoins estivaux, 18
 - Conduit d'amenée d'air frais au plénum de retour d'air, 19
 - Conduit d'évacuation, 19
 - Évacuation centrale, 20
 - Toits à comble, 63-64
 - Ventilateurs d'évacuation, 19