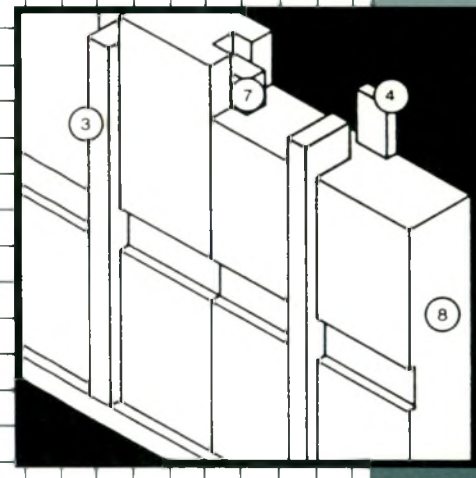
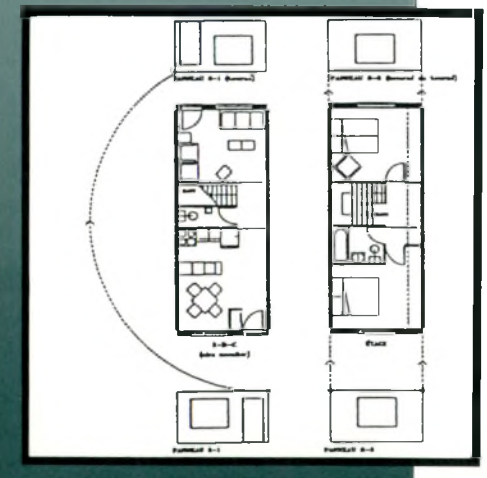
SCHL CMHC
Question habitation, comptez sur nous

Société d'habitation du Québec

Construction industrialisée des maisons en rangée

au moyen de panneaux muraux





La Maison évolutive, version industrialisée

CONSTRUCTION INDUSTRIALISÉE DES MAISONS EN RANGÉE
AU MOYEN DE PANNEAUX MURAUX

Étude réalisée par **Avi Friedman** et **Vince Cammalleri**
Programme La maison à coût abordable
École d'architecture, Université McGill

Juillet 1994

Canada

Québec

Bien que la présente étude ait été financée par la Société d'habitation du Québec et la Société canadienne d'hypothèques et de logement, les vues exprimées sont celles des auteurs, et les bailleurs de fonds n'en sont aucunement responsables.

Les produits commerciaux, fabricants et personnes mentionnés dans le rapport ne sont pas par le fait même approuvés par les auteurs.

Maison évolutive et *Grow Home* sont des marques déposées, et tous les droits de propriété intellectuelle y afférant, dont le concept, les plans, les dessins, les descriptions et les données techniques sont protégés et appartiennent à la société North American Grow Home Limited.

An English version of this document is also available.

ABRÉGÉ

La présente étude a pour but d'examiner la manière dont la Maison évolutive peut être adaptée à une méthode de production industrialisée au moyen de panneaux préfabriqués, ainsi que d'en établir les répercussions sur les plans de la qualité, de l'économie et de la performance technique. Le projet comportait une méthode d'évaluation couramment employée en Amérique du Nord, une adaptation du design, de même qu'une estimation comparative du prix de revient de panneaux préfabriqués et des méthodes de construction traditionnelles.

Après avoir sondé 109 fabricants, neuf types de panneaux muraux ont été retenus aux fins de l'évaluation parmi les 55 réponses reçues. La méthode d'évaluation des panneaux préfabriqués fondée sur 34 variables a été mise au point pour déterminer dans quelle mesure les possibilités offertes dans un contexte donné étaient appropriées et convenables. D'après les résultats, tous les types de panneaux préfabriqués sont d'une qualité supérieure à celle de la construction traditionnelle, surtout en ce qui a trait à l'efficacité énergétique et à la qualité d'exécution. Les seuls inconvénients que présente l'emploi de panneaux préfabriqués tiennent à leur maniabilité relativement aux méthodes de construction traditionnelles, particulièrement s'il faut apporter des modifications sur place, et au fait qu'ils perturbent le cours normal des travaux de construction.

Un cadre propre à la construction industrialisée de la Maison évolutive a été élaboré par l'adaptation du plan de l'habitation dans le but de procurer une marge de manoeuvre suffisante au constructeur et des économies d'échelle au fabricant. Les critères de conception architecturale, modulaire et technique ont été établis à partir des vues exprimées par les fabricants, constructeurs et occupants des ensembles résidentiels évolutifs. Une vaste gamme de plans schématiques ont été dessinés pour l'habitation, comportant un nombre limité de composants simples et courants. En tout, neuf configurations de panneaux ont été proposés, six pour les élévations des façades avant et arrière, et trois pour les murs latéraux des dernières maisons de la rangée. Grâce à l'emploi de cloisons de petite dimension et d'usage courant, il a été possible d'obtenir différentes configurations pour les entrées et les salles de bains, de même que d'apporter sur place et sans trop de difficultés les modifications demandées par le client.

Pour déterminer dans quelle mesure les panneaux préfabriqués étaient susceptibles de réduire le prix de revient de la construction, nous avons examiné les prix de plusieurs composants préfabriqués, dont les murs extérieurs, les planchers, les cloisons et les murs de séparation. L'analyse a révélé que les panneaux préfabriqués peuvent effectivement concurrencer, pour la plupart, les méthodes traditionnelles. Toutefois, l'ampleur des économies peut varier considérablement selon le type des panneaux, le degré de préfabrication et le composant en question. On a constaté qu'en incluant les planchers et les cloisons dans les composants préfabriqués il est

possible de réaliser des économies appréciables (jusqu'à concurrence de 6 %). Pour la construction de 30 logements ou plus, les économies s'élèveraient jusqu'à 95 000 $ (3 150 $ l'unité).

L'analyse d'évaluation, d'adaptation et de coûts a fait ressortir plusieurs aspects du logement industrialisé qui devraient faire l'objet d'une enquête exhaustive et détaillée. Les recommandations formulées de mener une étude plus poussée portaient sur quatre domaines : 1) facteurs relatifs au transport et au levage, y compris l'optimisation du poids, des dimensions et de la configuration des panneaux pour assurer l'efficacité du transport et du montage; 2) économies indirectes résultant de durées de construction écourtées, d'une quantité moindre de matériaux gaspillés et du service après vente; 3) mise au point de produits, de logiciels et de services correspondant davantage aux besoins des constructeurs et des acheteurs; 4) études de commercialisation visant à évaluer le potentiel de certains types d'assemblage préfabriqués dans le contexte nord-américain et à en promouvoir les avantages.

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine how the Grow Home can be adapted to an industrialized method of production using prefabricated panel systems, and to determine what implications this would have in terms of quality, economy and technical performance. The project included an evaluation systems currently available in North America, an adaptation to the unit's design, and a cost estimate comparing prefabricated systems with conventional construction methods.

Following a survey of 109 manufacturers, 9 types of panel systems were selected for evaluation based on 55 responses received. A method for evaluating prefabricated panel systems based on 34 variables was developed to assess the adequacy and suitability of the options available for a given context. The results indicated that all types of prefabricated panels could provide a level of quality which is superior to that of conventional construction, particularly in the area of energy efficiency and craftsmanship. The only drawbacks to the use of prefabricated panel systems were found in their flexibility relative to conventional construction, particularly for on-site modifications, and in their disruption of the builders' traditional operational routines.

A framework for the industrialization of the Grow Home was developed by adapting the unit's design to provide sufficient flexibility for the builder and economies of scale for the manufacturer. Architectural, modular and technical design criteria were established based on feedback from manufacturers, builders, and occupants of existing Grow Home projects. A wide range of options for the dwelling's layout was generated using a small number of simple, standard components. Nine panel configurations were proposed in all, six for the front and back elevations and three for the side walls of the end units. The use of small, standard interior partitions provided various configurations for entrances and bathrooms, while enabling changes to be made fairly easily on site in response to a client's request.

The potential for prefabricated systems to reduce construction costs was addressed by examining the costs of several prefabricated components, including exterior walls, floors, partitions and dividing walls. The analysis demonstrated that prefabricated panel systems can, for the most part, provide a competitive alternative to conventional construction. The magnitude of the savings, however, can vary significantly depending on the type of panel system, the degree of prefabrication and the component in question. By extending the scope of prefabricated components to include floors and partitions, it was found that substantial savings (up to 6%) were possible. For the construction of 30 or more units, this represents savings of up to $95,000 ($3,150 per unit).

The evaluation, adaptation and cost analysis revealed several aspects of industrialized housing which could benefit from a more comprehensive and detailed investigation. Recommendations for further study were proposed in 4 areas: 1) transportation and lifting considerations, including optimization of panel weight, size and configuration to maximize transportation and assembly efficiency, 2) indirect cost savings associated with shorter construction periods, reduced material wastage and after-sale service, 3) development of products, software and services to better suit the needs of builders and buyers, and 4) marketing studies aimed at assessing the potential for specific types of prefabricated assemblies in the North American context, and at promoting their benefits.

TABLE DES MATIÈRES

ABRÉGÉ

ABSTRACT

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE i

1. INTRODUCTION 1
   1.1 La Maison évolutive 2
   1.2 Potentiel de préfabrication 4

2. PORTÉE ET OBJECTIFS 7

3. ÉTUDE DES PANNEAUX ET DES PRODUITS 9
   3.1 Sondage sur les panneaux courants en Amérique du Nord 9
   3.2 Analyse et évaluation des panneaux 16
      3.2.1 La préfabrication et l'industrie nord-américaine de la construction résidentielle 16
      3.2.2 Évaluation et sélection des panneaux 19

4. ADAPTATION DU PLAN 21
   4.1 Méthode 21
   4.2 Plans d'étage de base 22
   4.3 Critères de design 23
      4.3.1 Design architectural 23
      4.3.2 Design modulaire 26
      4.3.3 Design technique 27
   4.4 Processus de design 28
      4.4.1 Dimensions générales 28
      4.4.2 Configuration et orientation de l'escalier 31
      4.4.3 Cloisons intérieures 35
      4.4.4 Logements adaptés 41
      4.4.5 Murs extérieurs 42

5. ANALYSE DES COÛTS 51
   5.1 Méthode 51
   5.2 Construction traditionnelle 52
   5.3 Composants préfabriqués 57
      5.3.1 Valeurs équivalentes des composants préfabriqués 57
      5.3.2 Panneaux muraux extérieurs 59
      5.3.3 Composants combinés 61
      5.3.4 Observations sur certains panneaux 63

6. CONCLUSIONS 65

7. RECOMMANDATIONS POUR UNE ÉTUDE PLUS APPROFONDIE 69
7.1 Facteurs relatifs au transport et au levage 69
7.2 Économies indirectes 70
7.3 Mise au point de produits, de logiciels et de services 71
7.3.1 Mise au point de produits 71
7.3.2 Mise au point de logiciels 72
7.3.3 Services plus étendus 72
7.4 Études de marché 73

BIBLIOGRAPHIE 75

FABRICANTS PARTICIPANTS 76

ANNEXES
A. Liste des fabricants 77
B. Liste des fabricants québécois 81
C. Évaluation des panneaux 85
D. Plan et devis préliminaires (utilisés pour estimation de coût) 101
E. Sommaire des renseignements obtenus des fabricants (document distinct)
F. Documentation des fabricants (document distinct); 5 volumes

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. Jacques Trudel et André Poitras, de la Société d'habitation du Québec, ainsi que M. Peter Russell et Mme Maria-Hanna Siedlikowski de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, pour leur intérêt et leur apport précieux au cours de l'étude. Nous sommes particulièrement redevables à Mme Paola DeGhenghi pour son travail dans le cadre de la production de dessins assistés par ordinateur et l'élaboration d'options concernant les modèles normalisés pour la deuxième partie de l'étude, ainsi qu'à Mme Ann Drummie, pour son concours concernant l'examen et l'évaluation des panneaux muraux.

Nous sommes également reconnaissants à M. Michel Catrice qui nous a fourni les détails aux fins des estimations de coûts élémentaires, ainsi qu'aux divers fabricants qui n'ont pas ménagé leur temps et leurs efforts : MM. Laurier Dechêne, Tony Mammone, Claude Bouchard, Pierre Goulet, Konrad Breuers et Raymond Couture. Sans leur coopération, cette étude n'aurait pu être réalisée.

Un dernier mot de remerciement à M. David Covo, professeur à l'École d'architecture McGill, qui a bien voulu nous donner accès aux installations informatiques de l'école ainsi qu'à M. David Morin pour la mise en pages de ce document.

SOMMAIRE

La présente étude a pour but d'examiner la manière dont la Maison évolutive peut être adaptée à une méthode de production industrialisée au moyen de panneaux préfabriqués, et d'en déterminer les répercussions sur les plans de la qualité, de l'économie et de la performance technique. Le projet a été réalisé en trois volets. Le premier consistait à faire des recherches sur les panneaux qu'on trouve actuellement en Amérique du Nord, ainsi qu'en une évaluation des options retenues pour la Maison évolutive. Pour le deuxième volet, le plan schématique de l'habitation a été adapté pour les besoins du procédé de préfabrication et pour donner une marge de manoeuvre au constructeur, puis une estimation financière a déterminé si d'importantes économies étaient possibles avec la préfabrication, en se servant de la version adaptée de la Maison évolutive. Enfin, les résultats de l'étude ont été analysés et des recommandations formulées d'après les conclusions.

● SONDAGE SUR LES PANNEAUX ET ÉVALUATION

Pour le premier volet de l'étude, nous avons commencé par faire un sondage des fabricants de panneaux d'Amérique du Nord. Sur une liste de 304 entreprises, le tiers a été retenu, dont nous avons obtenu des renseignements. Nous avons reçu des réponses de 55 fabricants, et neuf types de panneaux ont été sélectionnés aux fins de l'évaluation pour déterminer leur potentiel d'économies et leur applicabilité aux aménagements résidentiels. Une méthode d'évaluation des panneaux préfabriqués a été mise au point pour déterminer dans quelle mesure les options étaient appropriées et convenables. Un modèle a été mis au point, et deux ensembles d'attributs ont fait l'objet de corrélations, d'une pondération et d'une quantification pour une application en particulier. Une liste de 28 exigences (ou qualités souhaitables) a été dressée, d'où ont découlé 34 critères d'évaluation qualitatifs et quantitatifs. Une cote de pondération a été attribuée à chacun des critères eu égard à son importance dans un contexte donné. L'évaluation était plutôt axée sur le point de vue du constructeur, car nous présumions que la mesure dans laquelle les panneaux préfabriqués gagneraient en popularité serait fonction des intérêts de ce dernier.

Tout compte fait, la performance des panneaux préfabriqués a été supérieure à celle des méthodes de construction traditionnelle. Malgré les écarts notables entre les cotes de certains critères, la marge entre les résultats définitifs n'était pas très grande. En général, les panneaux préfabriqués ont reçu une cote supérieure pour ce qui est des critères de performance technique et de la qualité d'exécution. Quant aux caractéristiques relatives à l'environnement et à la durabilité, les deux méthodes se sont révélées à peu près égales. Les seules lacunes attribuables aux panneaux préfabriqués étaient leur maniabilité par rapport à la construction traditionnelle, particulièrement en ce qui concerne les modifications sur place, et le fait qu'ils

perturbent le cours normal des travaux du constructeur, ce qui pourrait les rendre moins attrayants sur le marché.

L'évaluation a permis de constater que tous les genres de panneaux préfabriqués peuvent offrir une qualité supérieure à ceux en usage en construction traditionnelle, particulièrement en ce qui concerne l'efficacité énergétique et la qualité d'exécution. Il reste à savoir si ces caractéristiques, qui font le produit plus commercialisable, intéresseront suffisamment le constructeur moyen, que ce soit directement ou indirectement. Tout produit, qu'il constitue ou non une innovation, sera privilégié seulement si son acheteur a intérêt à l'acquérir. Dans le contexte de la construction résidentielle, celui qui doit payer les frais énergétiques n'est pas le constructeur; il est donc peu vraisemblable que l'efficacité énergétique supérieure des panneaux intéresse le constructeur moyen. Par contre, la capacité des panneaux préfabriqués d'offrir une meilleure qualité et une plus grande efficacité énergétique au même prix ou meilleur marché que les méthodes traditionnelles peut être un moyen efficace et attrayant pour le constructeur de vendre son produit.

● ADAPTATION DU PLAN SCHÉMATIQUE ET ANALYSE DES COÛTS

Un cadre propre à la construction industrielle de la Maison évolutive a été fixé pour le second volet de l'étude par l'adaptation du modèle afin qu'il se prête mieux aux procédés de fabrication. Cette démarche visait à assurer une marge de manoeuvre suffisante au constructeur et des économies d'échelle au fabricant, en offrant toute une gamme de possibilités comportant des éléments simples et d'usage courant. Les critères de conception architecturale, modulaire et technique ont été déterminés à partir d'entrevues et de consultations avec les fabricants, en majeure partie, et à partir des réactions exprimées dans une évaluation post-occupation des ensembles évolutifs. Étant donné qu'il fallait, dans ce contexte, procéder à la manipulation d'éléments courants à l'intérieur de modules établis, le logiciel CAO s'est révélé un instrument efficace pour produire et éprouver différentes solutions de rechange. Même si l'on avait déjà tenu compte des facteurs environnementaux dans l'évaluation des panneaux, le plan schématique du logement a été adapté pour tenir compte du prix, de la qualité, du potentiel de commercialisation et de l'accessibilité. Deux versions de la Maison évolutive ont été examinées, soit le modèle jumelé et le modèle en rangée, sous quatre angles : dimensions générales, configuration et orientation de l'escalier, cloisons intérieures et murs extérieurs. Des logements de 4,9 mètres, plus larges et plus faciles à adapter aux fins de l'accessibilité que les logements de 4,3 mètres, ont été considérés à tous les stades de la conception.

Même si la souplesse d'une ossature de bois ne peut être égalée par une structure préfabriquée, le nombre d'options offertes pour le plan intérieur, comportant un nombre limité d'éléments courants, était suffisant pour le plan schématique intérieur et les élévations extérieures. Neuf configurations de panneaux ont été proposées : six pour les élévations des façades avant et arrière et trois pour les murs latéraux des maisons d'extrémité. Il est possible d'agencer les panneaux de différentes façons selon la disposition intérieure des pièces. Les modèles de maisons en rangée peuvent être aménagés grâce à différentes combinaisons de panneaux, entre deux et quatre, tandis que les modèles jumelés et d'extrémité peuvent en nécessiter de trois à six. Grâce à l'utilisation de petites cloisons intérieures courantes, il a été possible d'obtenir diverses configurations pour les entrées et les salles de bains, de même que d'apporter des modifications facilement, sur place, à la demande de l'acheteur.

Pour savoir dans quelle mesure les maisons préfabriquées pouvaient réduire les coûts de construction, nous avons examiné le prix de plusieurs composants

préfabriqués, dont des murs extérieurs, des planchers, des cloisons et des murs de séparation. Pour comparer les coûts des maisons usinées avec ceux des méthodes traditionnelles de construction, une ventilation des coûts élémentaires de la main-d'oeuvre et des matériaux a été effectuée pour les méthodes traditionnelles de construction, en regard des coûts réels fournis par sept constructeurs de Maisons évolutives. L'analyse a montré que les panneaux préfabriqués peuvent constituer, pour la plupart, une solution de rechange compétitive aux méthodes de construction traditionnelles. Cependant, l'importance des économies peut varier considérablement selon le type de panneaux, le degré de préfabrication et le composant en question.

Par rapport aux valeurs équivalentes d'une construction pleine dimension à ossature de bois, les économies les plus importantes ont été réalisées grâce à l'utilisation de panneaux ouverts à revêtement et d'autres composants préfabriqués installés au moyen de méthodes de construction traditionnelles, car elles s'élevaient en moyenne à 50 % pour les murs extérieurs, ce qui prouve que la préfabrication peut être plus économique, si l'on compare une méthode avec l'autre. Des économies comparables sont possibles avec les autres types de panneaux en accroissant le degré de préfabrication. Ainsi, l'adjonction de finitions intérieures ou extérieures sur ces panneaux permet d'en obtenir dont le prix est encore plus intéressant. Par contre, des réductions totales s'élevant normalement à environ 2 % ou 3 % ne seraient peut-être pas suffisantes pour faire baisser le prix de vente d'une maison. Ceci est en partie attribuable au fait qu'un assez petit pourcentage du prix total de la maison est imputable à son enveloppe (environ 14 %). Si l'on augmente le nombre de composants préfabriqués pour inclure les planchers et cloisons intérieures, il est possible de réaliser des économies appréciables (jusqu'à concurrence de 6 %). Pour la construction de 30 unités ou plus, les économies atteindraient 95 000 (3 250 $ l'unité). La question est de savoir si ces économies seraient suffisantes pour inciter le constructeur moyen à adopter des méthodes de construction nouvelles ou inusitées.

Il pourrait être nécessaire d'étudier d'autres mesures pour inciter les constructeurs à intégrer ces éléments dans leurs programmes de travail. Une possibilité serait de simplifier la gestion des travaux de construction. Si l'élément préfabriqué ne perturbait pas le cours normal des opérations du constructeur moyen, les possibilités d'acceptation pourraient être meilleures. Pour ce faire, il faudrait accroître la maniabilité des éléments, c'est-à-dire créer un produit qui s'intègre bien aux opérations, ou alors offrir un bâtiment complet, le produit étant fabriqué, livré et installé par le même constructeur.

Comme pour l'introduction de tout nouveau produit, il faut informer le constructeur et l'acheteur des avantages d'une construction préfabriquée. Le consommateur a besoin d'être mis au courant des économies énergétiques qu'il peut réaliser grâce à un bâtiment hermétique. Quant au constructeur, il devrait savoir que la préfabrication entraîne moins de gaspillage de matériaux, de sorte qu'il en coûte moins cher pour nettoyer les lieux et enlever des débris de construction. En outre, l'assemblage plus rapide peut se traduire par des économies au chapitre des frais d'administration et de financement. Les ralentissements de travaux de construction attribuables aux intempéries peuvent également être diminués, comme la possibilité de vandalisme et de cambriolage, car l'enveloppe du bâtiment peut être fermée en quelques heures. Les exigences relatives à la main-d'oeuvre spécialisée sont également moindres, comme les éléments de garantie qui relèvent du fabricant. Il faut mettre l'accent sur la manière dont les travaux peuvent être simplifiés, ce qui allège le fardeau de la gestion.

● RECOMMANDATIONS

Par suite de l'analyse d'évaluation, d'adaptation et des coûts, nous avons constaté que plusieurs aspects du logement industrialisé mériteraient de faire l'objet d'une enquête plus exhaustive et détaillée. Plusieurs recommandations ont été formulées pour que des travaux de recherche, de développement et de commercialisation soient entrepris dans quatre secteurs :

• Transport et levage

Déterminer les répercussions exactes des frais de transport et de levage à divers endroits au Québec, au Canada et à l'étranger, compte tenu de la disponibilité et du coût de la main-d'oeuvre, des matériaux et de la machinerie. L'étude devrait viser à optimiser les caractéristiques du produit, tels le poids, les dimensions et la configuration des panneaux pour assurer l'efficacité maximale du transport et de l'assemblage, c'est-à-dire en fonction de la durée du montage et du nombre des travailleurs.

• Économies indirectes

Évaluer les coûts indirects de la construction préfabriquée pour obtenir une estimation plus réaliste des économies éventuelles qui avantageraient le constructeur et, ultimement, le consommateur. Les trois principaux facteurs susceptibles de réduire les frais du constructeur n'ont pas été quantifiés : 1) réduction de la durée de la construction, grâce à des périodes d'assemblage écourtées et moins de retards attribuables aux intempéries, ce qui réduit les frais d'administration, de financement et de supervision; 2) moins de gaspillage de matériaux et frais de déblaiement moins élevés, grâce à l'utilisation efficace de matériaux, et quantité moindre de matériaux entreposés sur le chantier, donc moins de dommages dûs à l'exposition aux intempéries, au vandalisme et au cambriolage; 3) moins d'exigences relatives aux services après vente, puisque l'assemblage des composants se fait dans des conditions déterminées au préalable, qui garantissent que les matériaux sont secs, propres et droits, d'où une qualité d'exécution généralement supérieure.

• Mise au point de produits, logiciels et services

Concevoir et mettre au point des produits correspondant davantage aux besoins des constructeurs et des acheteurs, afin de les faire accepter plus rapidement sur une grande échelle. Il faudrait donc, plus précisément, accroître le degré de préfabrication de certains composants et en offrir une gamme plus vaste. Il conviendrait d'inclure les finitions intérieures ou extérieures, de même que les services d'électricité et de plomberie, et offrir un plus grand choix de parements extérieurs. Les composants préfabriqués seraient plus répandus si l'on apportait des solutions de rechange rentables et convenables en recourant à la préfabrication d'éléments autres que les murs extérieurs, c'est-à-dire les murs de séparation, les planchers, les toits et les cloisons.

Mettre au point des logiciels pour exécuter efficacement une ou plusieurs des fonctions suivantes : optimiser l'efficacité des ressources (main-d'oeuvre et matériaux) concernant la préfabrication des composants; contrôler la production et la distribution des stocks de matériaux et de composants préfabriqués; les estimations de coûts; ainsi qu'un système graphique informatisé et interactif que pourrait utiliser l'acheteur éventuel pour créer son plan schématique et choisir la finition.

Augmenter l'éventail de services du fabricant, qui assumerait désormais la responsabilité du transport, du levage, de l'installation, de la main-d'oeuvre, de la formation et de l'inspection, de même que des garanties et du service après vente.

•Étude de marché

Évaluer le potentiel de certains types d'assemblages préfabriqués en Amérique du Nord et en promouvoir les avantages. Une évaluation des considérations d'ordre architectural, technique, pratique et juridique pourrait être d'un apport précieux pour le développement, car il serait ainsi possible de cerner les points forts, les points faibles et les incompatibilités de la préfabrication sur un marché particulier.

Enfin, il y aurait lieu d'informer constructeurs et consommateurs des avantages d'une construction préfabriquée, et pour qu'on voie d'un bon oeil le logement industrialisé en général et les éléments préfabriqués en particulier. L'avenir est prometteur, car ces éléments favoriseraient une meilleure qualité, une plus grande efficacité énergétique et des prix concurrentiels.

1. INTRODUCTION

De l'avis général, l'industrialisation du logement présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles de construction. L'assemblage des éléments, panneaux ou composants, dans des conditions contrôlées en usine, donne un produit de qualité supérieure qui améliore l'efficacité énergétique de la plupart des habitations. En chantier, le montage rapide et efficace réduit les possibilités d'endommagement attribuable aux intempéries, particulièrement par temps froid, ou encore au stockage des matériaux et au vandalisme. La durée du déblaiement et le prix des matériaux sont réduits parce qu'il y a moins de gaspillage, la gestion et la coordination des travaux de construction sont simplifiées, et il n'est pas nécessaire dans la plupart des cas d'avoir une équipe nombreuse de travailleurs spécialisés sur le chantier de construction d'immeubles d'habitation. Bien que les possibilités d'économies soient appréciables, particulièrement en ce qui concerne les plans les plus courants et les volumes de production élevés, dans bien des cas elles peuvent être contrebalancées par les frais de livraison, d'installation et le stockage, par les frais plus élevés de fonctionnement d'une usine en hiver lorsque la demande est faible, et enfin, au cours des années où le bâtiment est au ralenti.

Malgré ces nombreux avantages, les Canadiens ont tardé à se faire construire des maisons préfabriquées. En fait, la vente de maisons usinées a baissé d'environ 7 % en 1992 par rapport au maximum de 1974, alors qu'elles constituaient 20 % des mises en chantier [2][5]. Au Québec, 16 % des maisons construites en 1990 étaient préfabriquées, dont 7 % étaient de construction à panneaux et 6 % de construction modulaire [10]. Par ailleurs, les maisons usinées gagnent en popularité dans des pays comme le Japon, les États-Unis et la Suède. Aux États-Unis, les maisons usinées comptent pour 58 % des mises en chantier, dont 15 % sont des *maisons mobiles* et 37 % des constructions à panneaux [1]. En Suède, ce chiffre atteint les 90 %. Le pourcentage assez faible de maisons usinées au Canada est attribuable à toutes sortes de raisons débattables. Lors d'une conférence tenue sur cette question à Calgary en 1985, on a conclu qu'il fallait s'attaquer à trois éléments majeurs : la qualité, l'impression et le prix [3]. Une étude récemment commanditée par la SCHL, qui portait sur l'expérience d'autres pays, a mis en lumière deux grands débouchés pour les maisons usinées au Canada : construction de logements à prix abordables à l'intention des familles à faible revenu; emploi de techniques perfectionnées pour réduire les frais de production et meilleure qualité [2].

Il semble qu'il faille, d'abord et avant tout, réduire les frais de construction et ultérieurement le prix de vente, pour faire la promotion des maisons usinées. Même si certaines formes de préfabrication coûtent moins cher que les méthodes de construction traditionnelles, il arrive souvent que les économies soient minimes, donc insuffisantes pour inciter les constructeurs d'habitations à modifier leurs méthodes de fonctionnement habituelles, ou pour offrir aux acheteurs d'une

première maison une solution plus abordable que ce qu'on trouve actuellement sur le marché.

Il va de soi que le type du logement, de même que son plan schématique, sa configuration et ses dimensions ont une incidence tant sur le prix d'une construction traditionnelle que sur celui d'une construction préfabriquée. Il est convenable qu'un design souple, simple, efficace et de dimension réduite soit plus économique sous une forme préfabriquée que sous d'autres formes plus usitées.

Eu égard à ce potentiel, l'objet de la présente étude était d'examiner les possibilités qu'offrirait la préfabrication d'un design particulier, et de guider la manière dont il pourrait être optimisé pour s'adapter aux procédés de fabrication et réduire les coûts davantage. Le modèle retenu est la Maison évolutive - issu de recherches visant à résoudre le problème du logement abordable dans le contexte urbain - qui a été mis en oeuvre avec succès dans la région de Montréal. L'analyse portait sur le point de vue du constructeur, et a été réalisée dans le contexte du marché québécois de l'habitation.

● 1.1 LA MAISON ÉVOLUTIVE

Il s'agit d'une maison en rangée de 93 mètres carrés et d'une largeur de 4,3 mètres (figure 1.1). Elle a été mise au point par une équipe de chercheurs du programme La maison à coût abordable de l'Université McGill, qui avaient décidé de relever un défi lancé dans ce domaine, avec la participation de la Société d'habitation du Québec et de la Société canadienne d'hypothèques et de logement [13]. Au rez-de-chaussée se trouvent la cuisine, la salle de bains et le séjour. On avait proposé que l'étage soit libre de cloisons (bien qu'on puisse éventuellement y aménager deux chambres et une seconde salle de bains) pour réduire les frais et permettre au propriétaire d'aménager le logement à son goût. Un prototype pleine dimension a été commandé par Dow Canada et construit sur le campus de McGill, et le public a pu le visiter pendant un mois. Peu de temps après le démontage de la maison témoin, plusieurs ensembles résidentiels s'inspirant du concept de la Maison évolutive ont été mis en chantier. Au cours des 18 premiers mois, environ 1 000 logements ont été construits dans quelque 25 nouveaux lotissements de la région de Montréal et dont le prix variait entre 69 000 $ et 95 000 $.

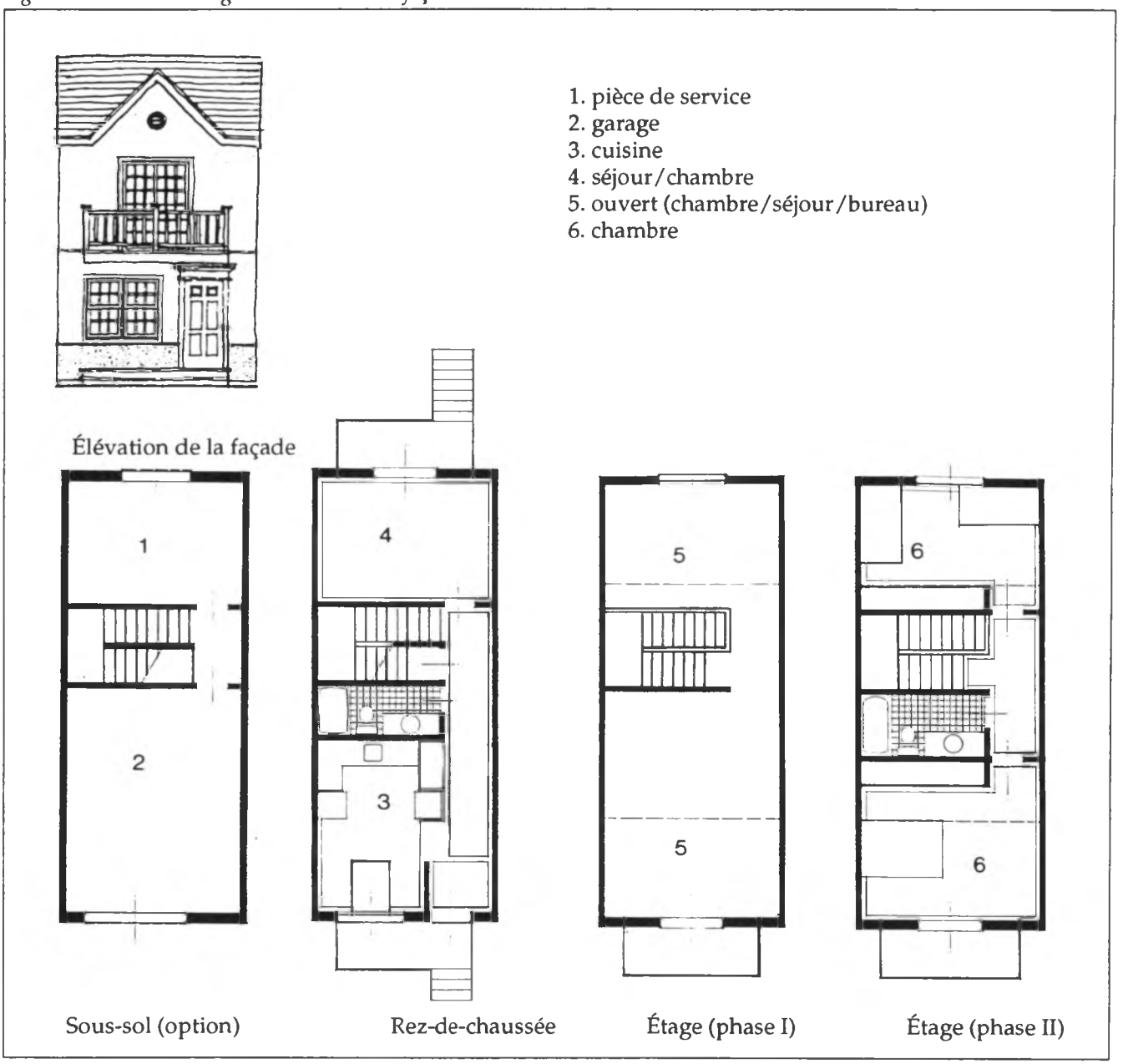
Il en a résulté quelques interprétations intéressantes du concept de la Maison évolutive. La largeur (4,3 mètres) est restée la même dans tous les cas, mais chacun des constructeurs a modifié les dessins en fonction des goûts et des budgets de son propre marché. Le plan initial, où l'espace était subdivisé et la plomberie et les cages d'escaliers étaient centralisées, a été modifié le plus souvent pour mettre en valeur la pleine profondeur de l'espace (figure 1.2). Dans la plupart des ensembles, l'étage est cloisonné et fini, certains comportant des salles de bains grand luxe, avec douche séparée et bain à remous. De nombreux constructeurs ont fourni un placage de brique pour les murs extérieurs afin d'en accroître la qualité et donner une impression de permanence, tandis que d'autres ont utilisé un granulat à base de ciment. Tous les logements comportent un sous-sol, ce qui permet d'accroître la surface habitable jusqu'à concurrence de 46,5 mètres carrés, et dans quelque 15 % des maisons un garage intérieur a été aménagé. Certains logements ont été dotés de vestibules et de penderies, tandis que dans un ensemble, des garages séparés ont été ajoutés.

Une évaluation de sept ensembles résidentiels (325 logements) a été réalisée pour déterminer dans quelle mesure ils répondaient aux exigences fonctionnelles et au budget des acheteurs [8]. Il y a eu un sondage auprès des occupants et des interviews

des constructeurs. Les résultats du sondage, bien que préliminaires, ont permis de cerner les avantages et inconvénients de la formule une fois mise en oeuvre. Ils ont montré que, malgré les obstacles imposés par les règlements et des plans d'emplacement qui laissaient parfois à désirer, les ensembles résidentiels correspondaient aux besoins du marché sur les plans de l'accessibilité de la fonctionnalité et de l'esthétique. En outre, les constructeurs ont souscrit au concept en raison de sa souplesse et de l'efficacité de la construction.

L'expérience a par conséquent prouvé que les dimensions, le plan et la configuration d'une maison en rangée à façade étroite ne posent pas de problème pour la plupart des constructeurs et des acheteurs. Son succès témoigne d'un besoin bien défini et qu'il s'agit d'une solution de rechange réalisable dans le cadre de la prestation de logements à prix abordables. Il est possible que l'industrialisation du concept apporte des méthodes de construction meilleur marché.

Figure 1.1 : Plans d'étage et élévation de la façade avant de la Maison évolutive

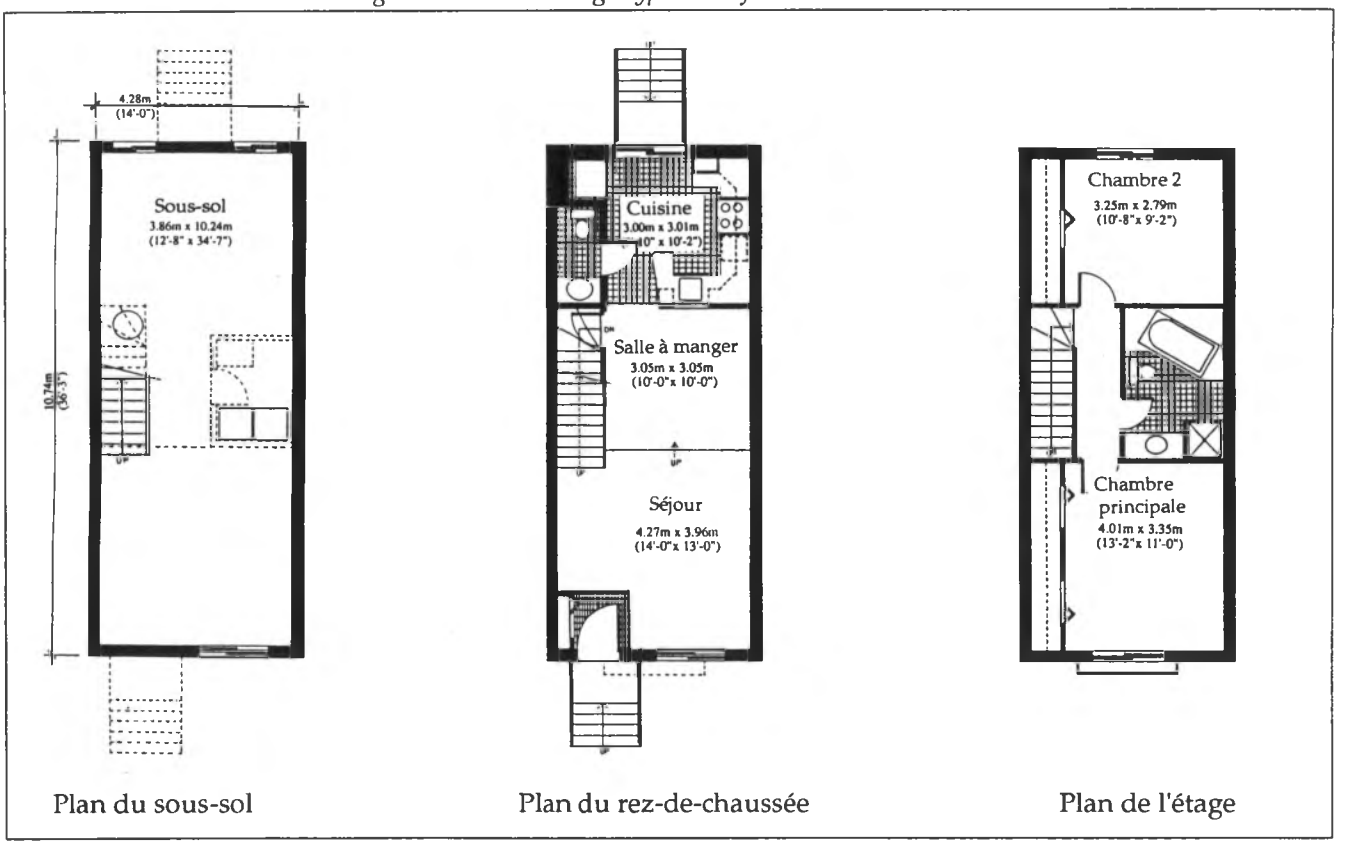


● 1.2 POTENTIEL DE PRÉFABRICATION

Étant donné que la prestation de logements abordables joue pour beaucoup dans la promotion du logement usiné, le modèle évolutif a été utilisé en raison de son potentiel d'économie. Des stratégies de design simples et efficaces réduisent au minimum les frais de développement, de construction et de fonctionnement. La configuration de maisons en rangée à façade étroite permet d'économiser considérablement sur le coût du terrain et de l'infrastructure, ainsi que sur les frais de fonctionnement, car les pertes de chaleur sont limitées à deux murs exposés et à une toiture de dimension réduite. Cette dimension de 4,3 mètres représente aussi le seuil fixé pour un plancher constitué de solives de 38 x 235 mm à c.c. de 400 mm; si la largeur est majorée de 300 mm il faut renforcer la structure, ce qui peut coûter jusqu'à 25 % de plus, surtout si l'on utilise des solives ordinaires. En outre, les cloisons porteuses ne sont plus nécessaires à l'intérieur de l'habitation, ce qui rend l'espace très polyvalent.

Le prix de la construction ne dépasse pas les 40 000 $ parce que la maison est petite, la distribution des pièces est simple et les matériaux usuels sont utilisés efficacement. Compte tenu de la dénatalité en Amérique du Nord, le confort des occupants n'est pas nécessairement compromis par une plus petite habitation. En éliminant les contours irréguliers et les décalages, on peut s'attendre à ce que des économies soient réalisées à tous les stades de la construction, de la cave au grenier. Par exemple, le périmètre d'une forme rectangulaire est inférieur d'environ 20 % à celui d'un logement en forme de L ayant la même superficie. Les coûts de la main-d'oeuvre et des matériaux peuvent aussi être réduits par la simplification des travaux et par la normalisation des dimensions des éléments de charpente et de parement. Il y a ainsi un minimum de joints et de détails complexes.

Figure 1.2 : Plan d'étage types modifiés



Les travaux de finition d'une habitation interviennent pour environ le tiers du prix total de la construction et nécessitent une main-d'oeuvre nombreuse. Il est possible de modifier la périodicité et l'ampleur de ces coûts si l'espace intérieur offre une marge de manoeuvre. Si, par exemple, l'étage n'est pas cloisonné au moment de l'achat (à la façon d'un grenier), on peut économiser jusqu'à 5 000 $. Cet espace pourra être aménagé par le propriétaire à son gré. Aussi sera-t-il plus facile de modifier la distribution des pièces, mais également d'offrir une vaste gamme de choix aux acheteurs sans compliquer indûment le processus de la construction. On pense que ceci a été l'un des grands atouts de ces ensembles résidentiels bâtis, les acheteurs étant désireux de personnaliser leur logement et d'être en mesure d'adapter le design à leur budget. Il a été possible d'apporter sur demande les modifications de dernière heure au plan de l'étage, et puisque les dimensions et l'emplacement des ouvertures étaient partout identiques, la plupart des constructeurs ont pu poursuivre la construction de la structure et de l'enveloppe avant de mettre la dernière main aux travaux intérieurs.

Les avantages des méthodes de préfabrication peuvent être entièrement mis à profit grâce à la petite dimension, à la configuration et à la disposition efficace de la Maison évolutive. En général, ces méthodes optimisent l'efficacité du montage de la structure, si bien qu'elles conviennent à plusieurs stades de la préfabrication. Notamment, un rectangle de 4,3 x 11 mètres se prête bien à la préfabrication modulaire et au transport. La configuration et la symétrie extérieure simple permettent d'accélérer et de faciliter la construction et le montage des panneaux. Les dessins techniques sont basés sur des dimensions standard pour les matériaux, ce qui réduit au minimum le découpage et l'ajustage, ainsi que le gaspillage de matériaux. Et la préfabrication d'assemblages empaquetés est d'autant plus aisée. En utilisant des fermes de toit de dimension et d'inclinaison standard, la toiture peut se construire en un clin d'oeil. Grâce à ces fermes qui courent du devant à l'arrière de la maison, il n'est pas nécessaire d'avoir des cloisons de charpente à l'étage et l'espace s'en trouve moins contraignant.

On s'est beaucoup servi de composants préfabriqués dans les ensembles bâtis. Outre les fermes de toit, on a choisi des chambranles de porte et de fenêtres, des armoires de cuisine, des main-courantes, des escaliers extérieurs de béton et des éléments structurels (solives en I) préfabriqués pour simplifier le montage et réduire la durée de la construction. L'emploi de ces composants constitue un point de départ pour la mise au point de la version industrialisée de la Maison évolutive, car d'autres éléments préfabriqués (murs, planchers, toitures, fondations, etc.) feraient partie d'un ensemble complet.

2. PORTÉE ET OBJECTIFS

L'étude avait pour objet d'examiner la manière dont la Maison évolutive pouvait être adaptée à une méthode de production industrialisée au moyen de panneaux préfabriqués, ainsi que de déterminer quelles en seraient les répercussions sur les plans de la qualité, de l'économie et de la performance technique. L'analyse visait à établir un cadre propre à la préfabrication et à la distribution de la Maison évolutive, et aussi à déterminer à quels obstacles et préoccupations il fallait s'attaquer. Elle équivalait à ce titre à une étude de pré-faisabilité, départ d'une investigation plus exhaustive et détaillée.

Voici les neuf principaux objectifs fixés pour la recherche :

1. Adapter la Maison évolutive, sur les plans technique et architectural, de manière à ce que la production puisse en être optimisée.
2. Évaluer les aspects techniques, économiques et qualitatifs de la production industrialisée de la Maison évolutive basée sur des panneaux.
3. Tracer les grandes lignes du matériel et du logiciel à concevoir pour la construction industrialisée de la Maison évolutive.
4. Analyser les aspects du transport de la maison industrialisée.
5. Étudier les possibilités d'ajouter à la Maison évolutive industrialisée d'autres composants préfabriqués au Québec.
6. Préparer les dessins et devis préliminaires concernant le matériel et le logiciel du système.
7. Comparer l'économie et la qualité de la construction traditionnelle à ossature de bois de la Maison évolutive et la version industrialisée à panneaux.
8. Rédiger un rapport dans le but de diffuser les conclusions de la recherche au sein de l'industrie du bâtiment.
9. Délimiter et recommander un programme de recherche plus approfondi visant à optimiser l'industrialisation des maisons au moyen de composants ou d'éléments préfabriqués.

Nos recherches se sont limitées aux panneaux préfabriqués. D'autres types de procédés de construction intégrés, comme la préfabrication modulaire ou sectionnelle, ont donc été exclus de l'analyse. Deux versions de la Maison évolutive individuelle, c'est-à-dire le modèle jumelé et le modèle en rangée, ont été étudiées. Les travaux ont été répartis en trois volets : 1) étude de produits et de marchés; 2) adaptation des plans et estimation des coûts; 3) analyse des résultats, éléments à étudier davantage et préparation du rapport. En somme, la collecte d'informations

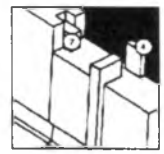
et l'évaluation des solutions de rechange ont constitué le premier volet du projet. Plus précisément, les quatre étapes étaient les suivantes :

1. Mener un sondage sur les panneaux actuellement sur le marché nord-américain
2. Évaluer ces panneaux sur les plans de la technologie, de l'économie et de la qualité;
3. Sélectionner un ou plusieurs modèles de panneaux;
4. Mener un sondage sur les autres composants préfabriqués au Québec pour la construction résidentielle.

Pour le second volet, le plan de la Maison évolutive a été adapté en fonction des procédés d'industrialisation, puis les coûts ont été estimés au regard des solutions retenues. Les cinq étapes étaient les suivantes :

1. Conception préliminaire du matériel propre à l'ensemble :
   i. Choisir un modèle de panneaux et adapter la Maison évolutive à ce modèle;
   ii. Optimiser la Maison évolutive sur les plans de la durabilité, de l'adaptabilité, de l'accessibilité et de l'esthétique;
   iii. Dresser la liste des produits de fabricants québécois susceptibles d'optimiser l'ensemble complet.
2. Conception préliminaire du logiciel pour l'ensemble (c.-à-d. un cadre propre à l'industrialisation de la Maison évolutive) au moyen d'une formule courante de conception assistée par ordinateur (CAO).
3. Analyse préliminaire des exigences relatives au transport du bâtiment industrialisé.
4. Premiers dessins et devis du matériel et du logiciel de l'ensemble, au moyen d'un logiciel CAO courant.
5. Estimation du coût de l'ensemble industrialisé au moyen d'un logiciel courant, et évaluation des coûts et avantages en regard des procédés de construction traditionnelle à ossature de bois.

3. ÉTUDE DES PANNEAUX ET DES PRODUITS



Pour le premier volet de l'étude, nous avons mené un sondage auprès des fabricants de panneaux des États-Unis et du Canada, puis nous avons déterminé des catégories pour chaque modèle et obtenu les prospectus de chacun d'entre eux. Nous avons mis au point une méthode d'évaluation dans le but d'avoir une perspective plus logique, systématique et scientifique des solutions de rechange à retenir, en se fondant sur les conclusions de recherches antérieures et sur le point de vue du constructeur.

Les recherches se sont concentrées uniquement sur les panneaux qui offraient les meilleures possibilités d'économie, d'après les résultats d'une étude antérieure [9]. L'étude devait porter sur un modèle de la Maison évolutive et ses variations sous deux formes : la maison en rangée et la maison jumelée. Même si les méthodes et les approches employées pour l'analyse sont d'application générale, elles ont été qualifiées ou quantifiées pour des maisons en rangée dans le contexte du marché de l'habitation au Québec. Nous avons mis l'accent sur le point de vue de l'entrepreneur, car nous estimions que ce serait l'optique la plus appropriée pour une étude pratique dont l'objet est une acceptation sur une grande échelle.

3.1 SONDAGE SUR LES PANNEAUX COURANTS EN AMÉRIQUE DU NORD

Sur la liste des fabricants de panneaux figuraient 304 entreprises du Canada et des États-Unis. Nous nous sommes mis en rapport avec environ le tiers (105) de ces fabricants pour leur demander de nous fournir des renseignements de base sur leurs produits et services. Huit d'entre eux n'étaient plus en affaires ou leur téléphone avait été débranché. Nous avons reçu des réponses de 55 fabricants, dont 10 traitaient exclusivement avec des entrepreneurs en construction commerciale. On trouvera à l'Annexe A une liste générale des fabricants, tandis qu'à l'Annexe B figurent les fabricants de panneaux et composants du Québec.

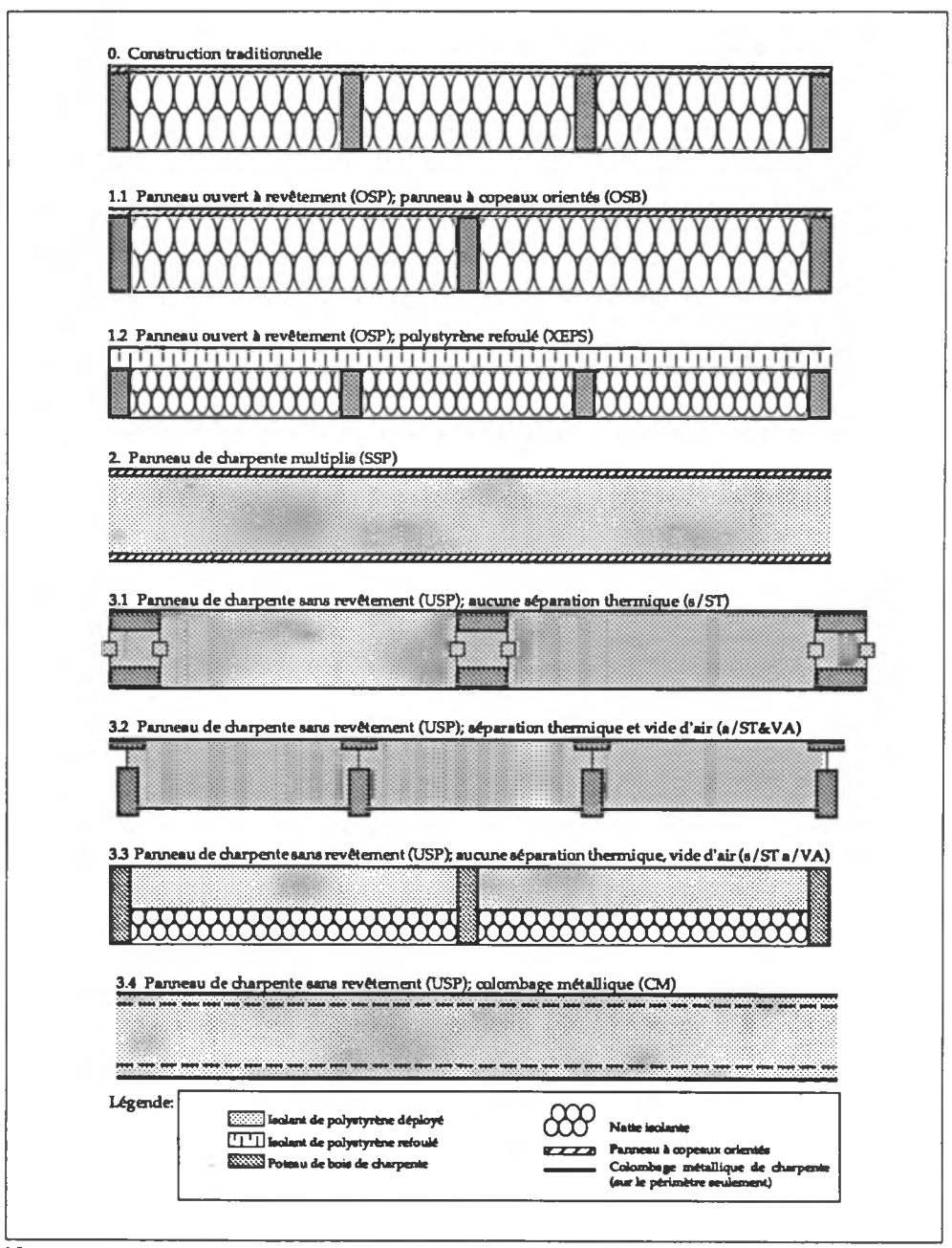
Il existe de nombreux types de panneaux, éléments et composants préfabriqués qu'il est possible de combiner à différents stades pour constituer un panneau complet. Dans une récente étude réalisée par Ginter Inc. pour la SHQ et la SCHL, on a évalué le coût de ces différents panneaux [9]. D'après les résultats de cette étude, neuf types de panneaux tombant dans trois catégories générales ont été sélectionnés aux fins d'une évaluation, car ils semblaient être les plus abordables et

offrir le meilleur potentiel d'économie. Le profil de section transversale de ces panneaux, illustré à la figure 3.1, se présente comme suit :

1. Panneaux à revêtement ouverts (OSP)
   1.1 Panneaux à copeaux orientés (OSB)
   1.2 Revêtement de polystyrène refoulé[1] et déployé[2] (XEPS)

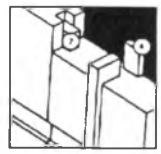
2. Panneaux de charpente multiplis (SSP)
   2.1 Avec polystyrène déployé[2] et mouluré (MEPS)
   2.2 Avec polystyrène refoulé[1] (XEPS)
   2.3 Avec polyuréthane ou polyisocyanurate (PUR/ISO)

Figure 3.1 : Sections horizontales de panneaux muraux préfabriqués



[1] Le terme extrudé est également utilisé pour traduire l'expression "extruded"
[2] Le terme expansé et également utilisé pour traduire l'expression "expanded"

3. Panneaux de charpente sans revêtement (USP)
   3.1 Avec séparation thermique
   3.2 Avec séparation thermique et vide d'air
   3.3 Sans rupture thermique; avec vide d'air
   3.4 Avec colombage métallique.



Les méthodes de construction sur ossature de bois ont aussi été évaluées pour comparaison. Chaque méthode comportait plusieurs variations particulières au fabricant. Il a donc fallu faire une distinction entre ces variations lorsqu'elles ont été jugées d'une certaine importance pour l'évaluation. Notamment, les fabricants n'utilisent pas tous le même type de planches de parement et d'isolants, ou encore le même type de joint de montage. Une brève description de chaque méthode et de certaines variations est fournie aux figures 3.2 à 3.11.

Figure 3.2 Construction traditionnelle (0) tirée de construction de maisons efficaces au plan énergétique, SCHL, 1982

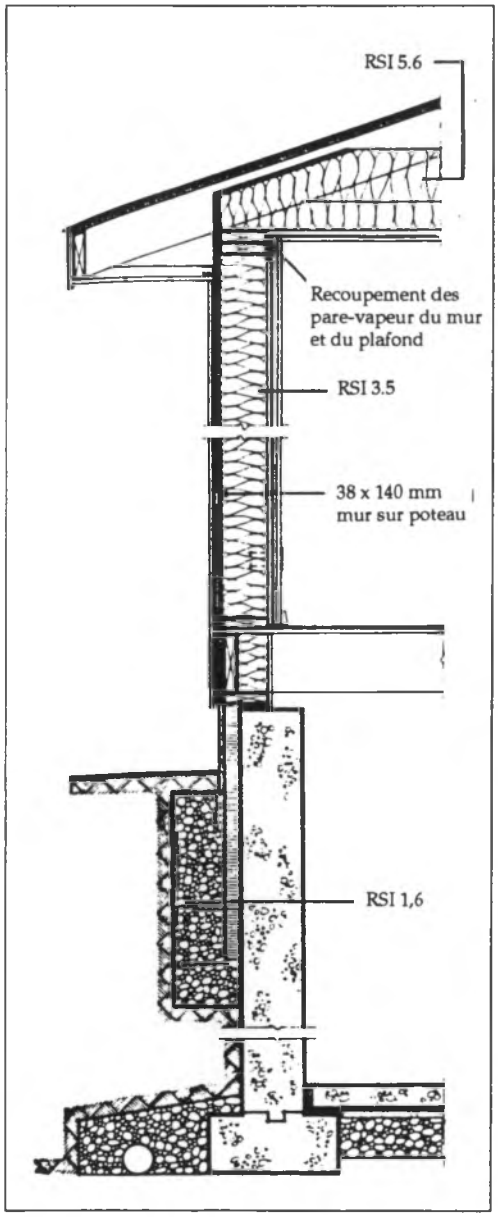


Figure 3.3 Panneaux à revêtement XEPS ouverts (1.2) Construction d'une Maison évolutive sur le campus de l'université McGill.

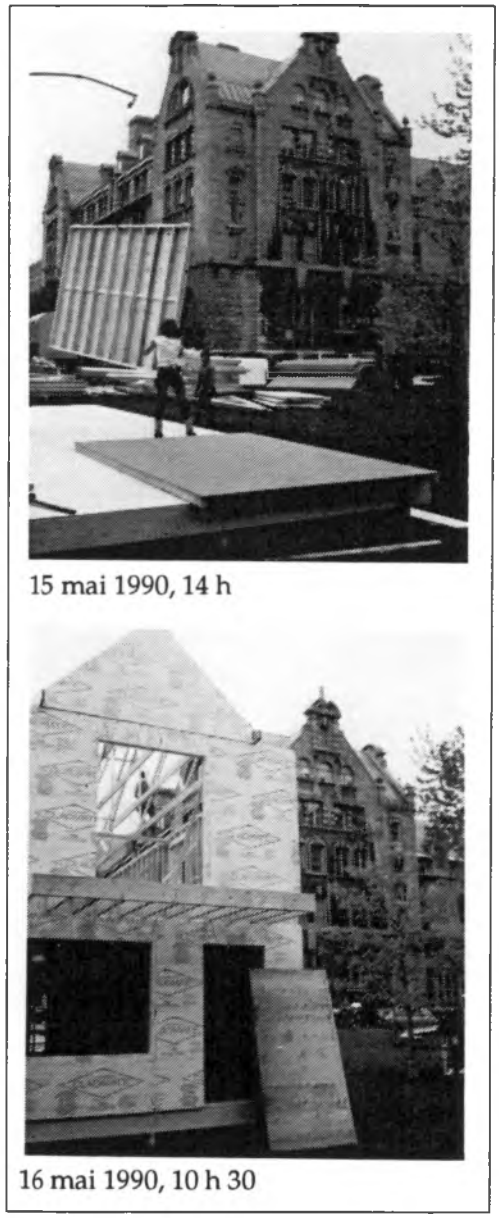


Figure 3.4 Panneaux de charpente multiplis (SSP) (2.0) Sections murales

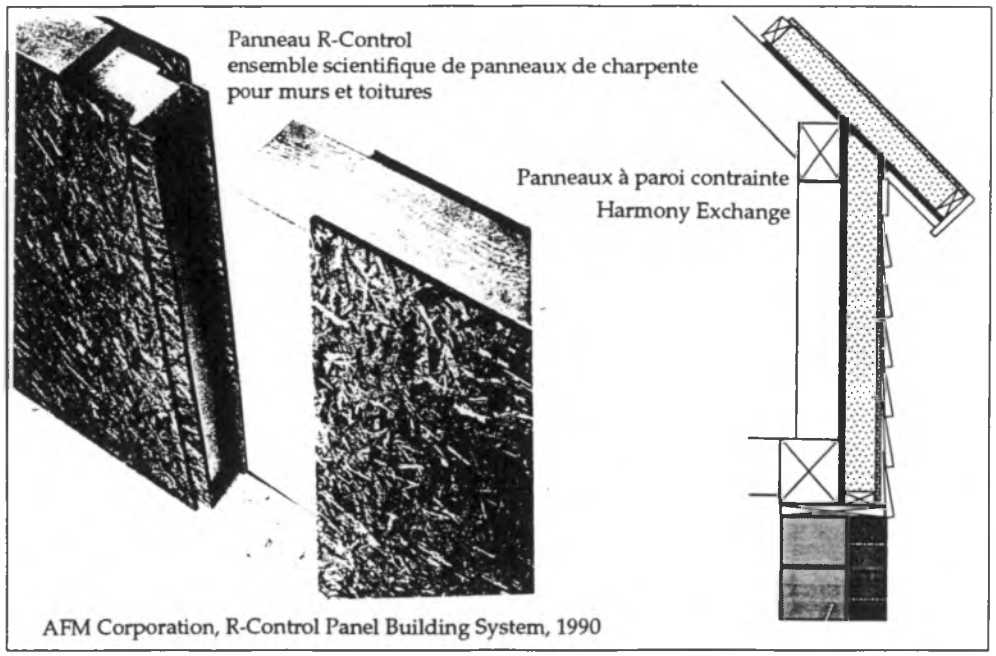
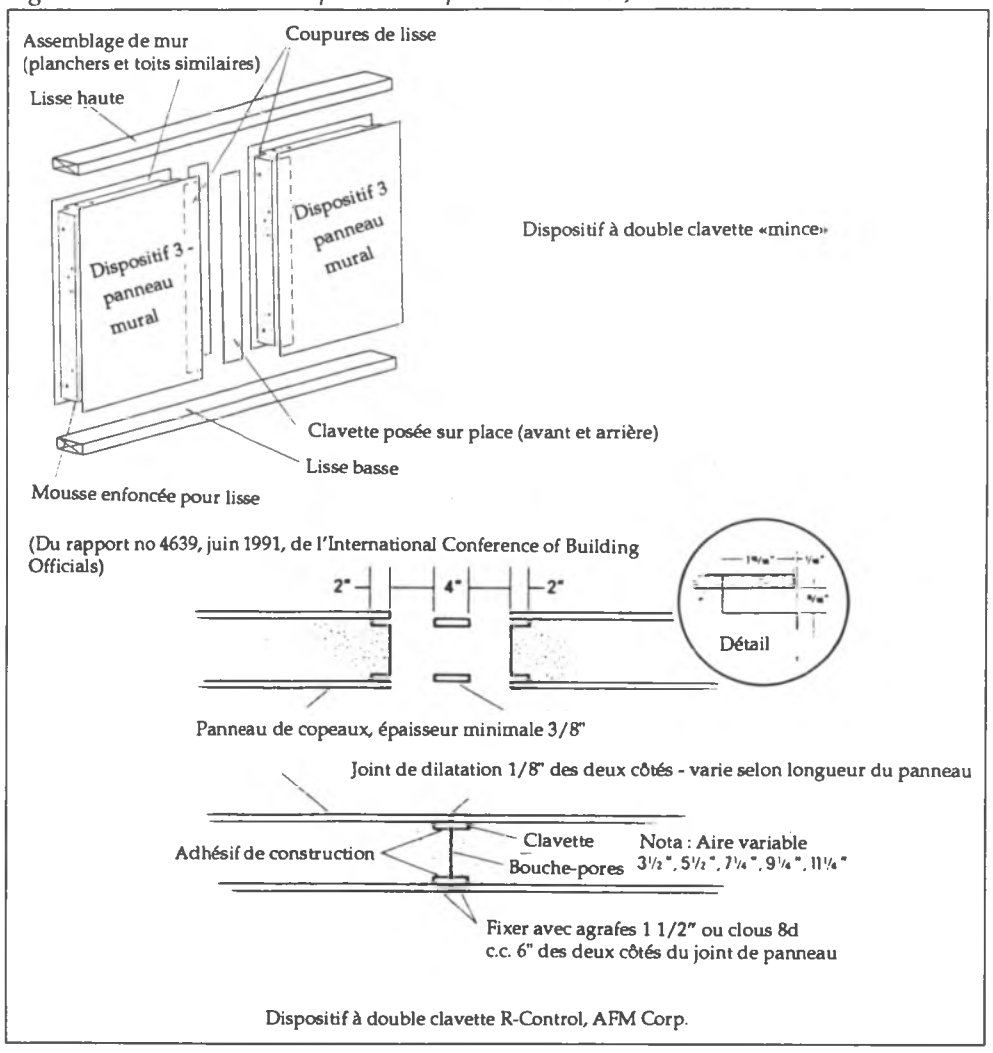
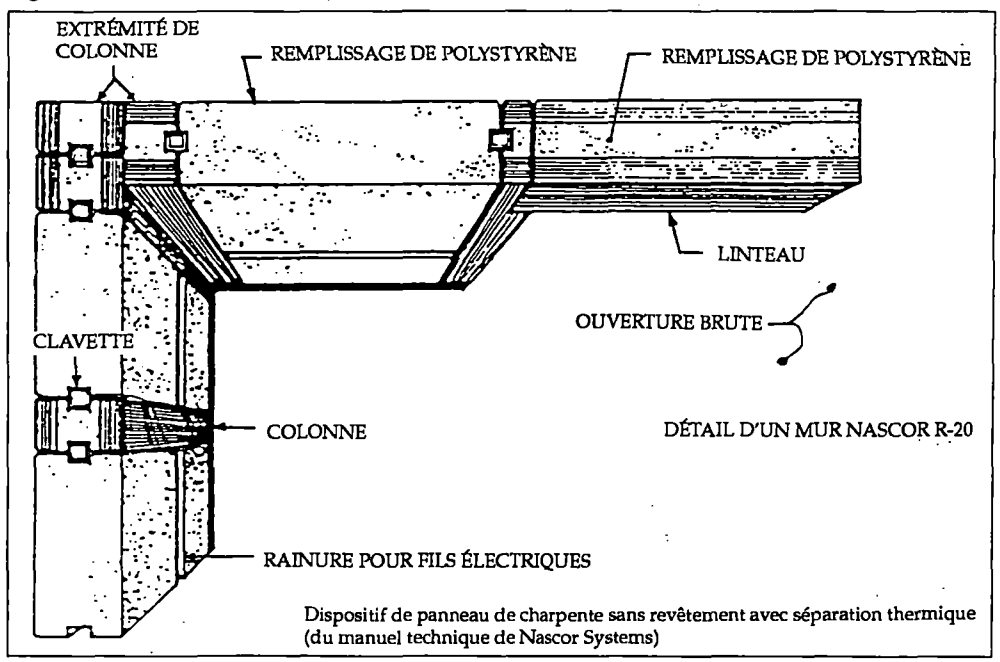


Figure 3.5 Panneaux de charpente multiplis (SSP) (2.0) Joints



Dispositif à double clavette R-Control, AFM Corp.

Figure 3.6 Panneaux de charpente sans revêtement (USP) (3.1)



Dispositif de panneau de charpente sans revêtement avec séparation thermique (du manuel technique de Nascor Systems)

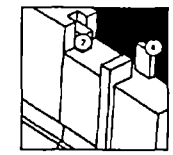
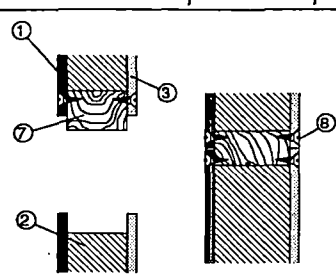


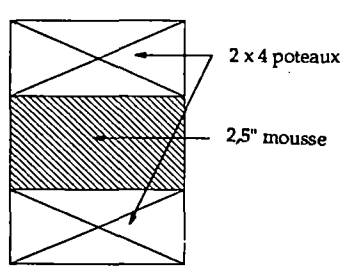
Figure 3.7 Panneaux de charpente multiplis (SSP) (2.0) Joints



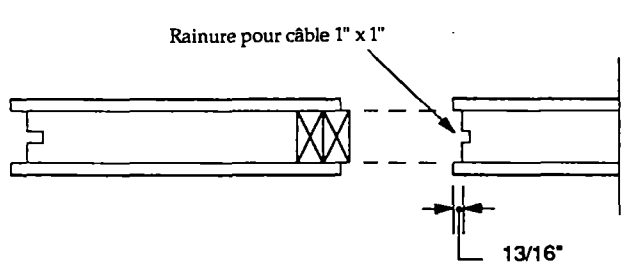
1. Revêtement OSB 7/16"
2. Mousse 3-9/16"
3. Mur sec 1/2"
7. Clavette 2x4
8. Vis pour mur sec

OUVERT FERMÉ

Détail d'un panneau à clavette simple 2x de Atlas Industries



Clavette lamellée avec séparation thermique



Ensemble de poteaux à clavette double 2x pour double platelage de type J 2x4 clavette

(tiré de Energy Design Update, Ensemble de panneaux et de construction à âme de mousse, 1992)

Figure 3.8 Panneaux de charpente sans revêtement avec séparation thermique et vide d'air (3.2)

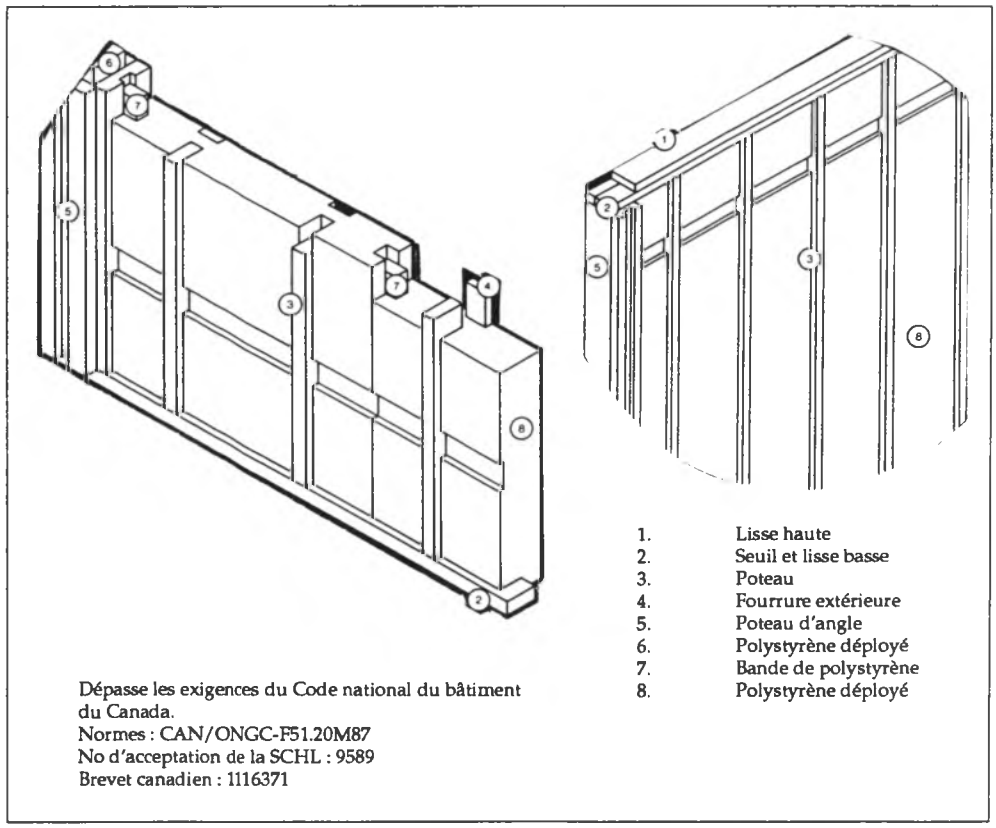
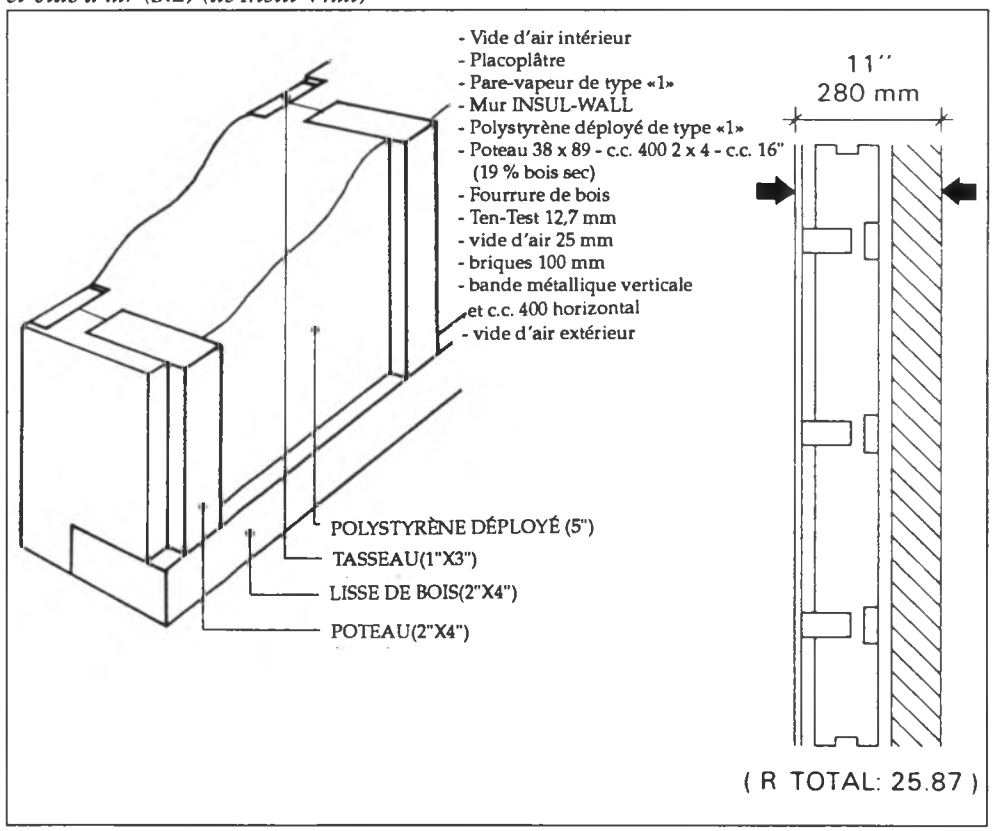


Figure 3.9 Panneaux de charpente sans revêtement avec séparation thermique et vide d'air (3.2) (de Insul-Wall)



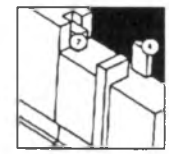


Figure 3.10 Panneaux de charpente sans parement et séparation thermique avec vide d'air (3.3) (Solar Wall de la brochure Superblock)

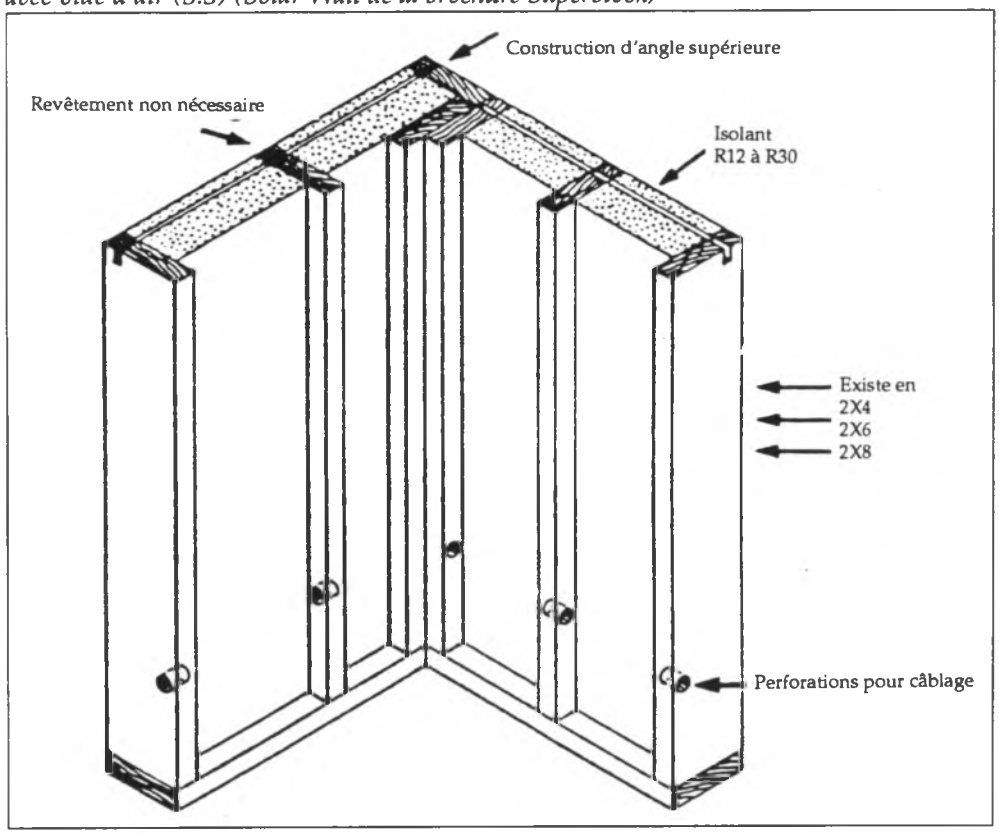
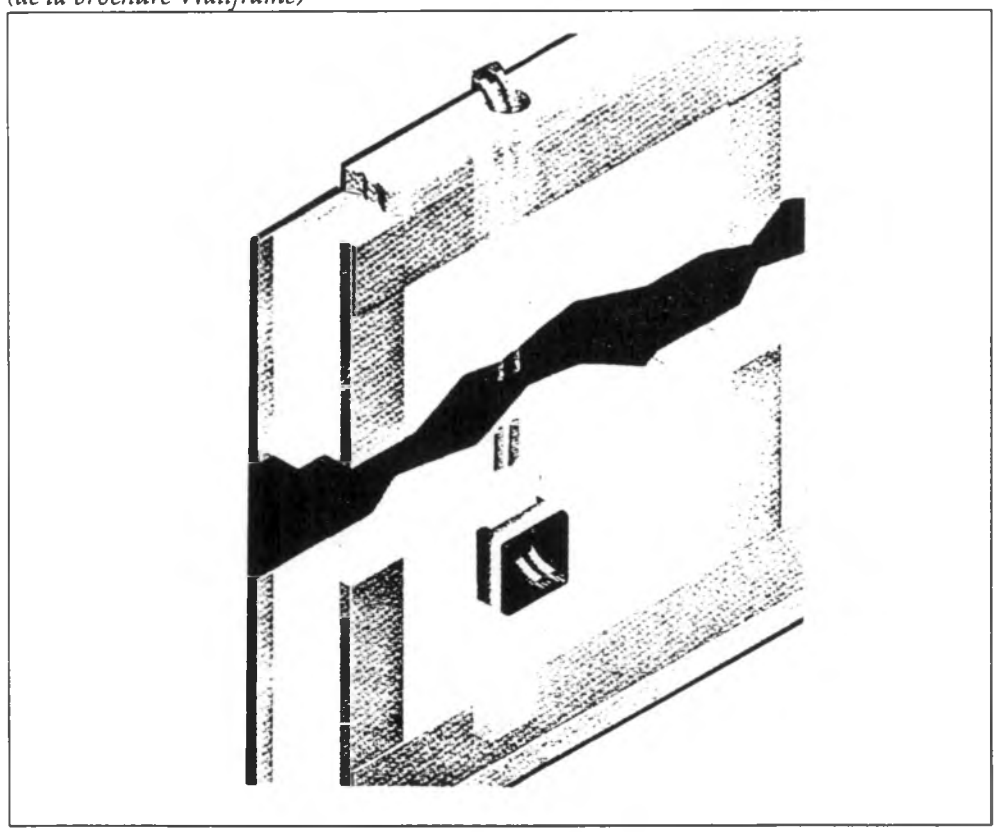


Figure 3.11 Panneaux de charpente sans revêtement avec colombage métallique (3.4) (de la brochure Wallframe)



● 3.2 ANALYSE ET ÉVALUATION DES PANNEAUX

En fin de compte, ce sont les constructeurs d'habitations qui peuvent assurer le succès de matériaux, de produits ou de procédés de construction. Or, l'industrie du bâtiment résidentiel a toujours tardé à changer, particulièrement dans le cas de nouveaux produits ou méthodes [7]. Les panneaux préfabriqués existent depuis des années, mais la plupart des constructeurs pensent encore qu'il s'agit d'une nouvelle méthode de construction. Eu égard à cette mentalité bien spéciale, l'étude de tout élément de construction préfabriquée doit s'attacher au point de vue du constructeur. En outre, toute évaluation doit être faite en regard des méthodes de construction traditionnelles, car elles sont actuellement employées dans l'industrie, ainsi que des matériaux, procédés et produits le plus susceptibles de passer facilement dans l'usage. À cet égard, il y aurait lieu de traiter de plusieurs caractéristiques de la construction résidentielle, car elles sous-tendront l'établissement des exigences d'un élément préfabriqué et, ultérieurement, des critères d'évaluation.

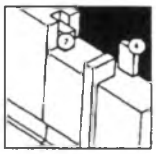
3.2.1 La préfabrication et l'industrie nord-américaine de la construction résidentielle

Les structures d'organisation de l'industrie de la construction comptent parmi les plus complexes. Dans le secteur du logement, l'évolution du processus de construction a produit un mode de fonctionnement sobre et bien particulier qui s'est rationalisé au fil des ans et s'est détaché du cadre industriel général. Il va de soi qu'un changement ne soit pas accepté d'emblée à l'intérieur d'un secteur qui a ses traditions, mais la situation n'est pas désespérée. Plusieurs aspects de l'industrie doivent être pris en considération.

D'abord, la plupart des entreprises de construction résidentielle sont de petites entreprises locales, et le plus souvent des entreprises familiales. Au Québec, 90 % des entreprises de construction comptent cinq travailleurs permanents ou moins [4][6]. Leur vulnérabilité aux cycles de la conjoncture économique les amène à évaluer prudemment, et parfois à rejeter les produits et techniques qui ne leur sont pas familiers. Par surcroît, certains constructeurs se sont vus obligés de réduire au minimum leurs frais généraux, ce qui ne les incite pas à faire de gros investissements ou à mettre sur pied un bureau central généreusement doté en personnel [11]. Ainsi, il arrive souvent que toutes les fonctions de gestion, d'administration et de conception soient remplies par le constructeur.

Cette forme d'intégration à petite échelle crée un cercle fermé où la communication se limite au constructeur avec ses sous-traitants et, de temps à autre, avec l'acheteur [12]. C'est un réseau où les ressources sont fortement interdépendantes, dont les procédés sont bien établis et les voies de communication simplifiées. À l'intérieur de ce cercle fermé, la majeure partie et parfois la totalité des travaux de construction sont impartis à des sous-traitants auxquels le constructeur a tendance à faire appel de manière répétée pour former son équipe. Leurs relations de travail sont exemptes de formalité, et les prix et les conditions de travail fluctuent très peu, ce qui simplifie encore les voies de communication. Un constructeur serait donc sans doute peu disposé à imposer une nouvelle méthode ou un nouveau produit à un sous-traitant par crainte de le perdre. En outre, le constructeur souhaite peut-être entretenir sa relation avec un fournisseur de longue date qui lui garantit une réduction de prix.

En ce qui a trait aux maisons individuelles, les méthodes de construction sont rationalisées à tel point qu'il n'est pas toujours nécessaire d'avoir des dessins d'exécution détaillés, car chacun des membres de l'équipe sait très bien ce qu'il



doit faire. Les opérations sont donc hautement efficaces, et le produit en fait foi. En général, le plan, les méthodes de construction et les matériaux des maisons construites par un entrepreneur en particulier se ressemblent beaucoup, malgré les variations de style qu'il est possible d'intégrer dans le produit de base sans le modifier. Les constructeurs se passent maintenant d'architecte, et privilégient les services moins chers de techniciens indépendants ou qu'ils emploient. Il arrive souvent que le constructeur prenne des décisions en matière de design, parfois à la suite d'une simple conversation. L'information ou les conseils techniques sont obtenus directement du fabricant, qui conçoit ses produits pour qu'ils s'intègrent aisément au cours normal des travaux. Il semble que les constructeurs d'habitations hésitent généralement à accepter le changement parce qu'ils ne veulent pas perturber ce fonctionnement et compliquer la séquence prévue des travaux.

C'est la nature même du marché qui accentue le problème. L'achat d'une maison est le plus gros investissement que la plupart des gens font dans leur vie. Le choix de la maison est fonction de divers facteurs, dont la culture, les goûts personnels et les tendances populaires. Pour ceux qui accèdent à la propriété, la valeur de revente éventuelle de la maison compte pour beaucoup, de là l'importance de l'attrait de la maison pour le marché en général. Le constructeur doit donc tenir compte des préférences et des aspirations de spéculateurs. Il arrive qu'un produit nouveau soit rejeté si l'on estime que ces aspirations seront compromises, même si le constructeur lui-même est convaincu de la supériorité du produit.

Pour convaincre le constructeur

Pour que la préfabrication devienne monnaie courante il faudra répondre à plusieurs des exigences du constructeur. Il est primordial d'assurer un avantage économique au constructeur. Tout produit qui, d'une façon ou d'une autre, n'augmente pas le rendement de l'investissement risque fortement d'être rejeté. Cela peut-être fait directement par une réduction des frais généraux, du coût de la main-d'oeuvre et du prix des matériaux, ou indirectement par un produit plus commercialisable que celui qu'offre actuellement un constructeur. Le simple fait qu'un produit soit nouveau ou novateur ne fera pas nécessairement augmenter le chiffre d'affaires, à moins que le consommateur ne perçoive un rapport qualité-prix supérieur.

Les qualités d'un produit sont liées à plusieurs aspects, c'est-à-dire l'accessibilité, l'attrait et l'efficacité énergétique de la maison, ainsi que la possibilité de la personnaliser. La mesure dans laquelle les éléments, matériaux et composants influent sur ces exigences varie d'un produit à un autre. Pour des raisons évidentes, le prix de vente du logement est le principal facteur à cet égard, surtout pour les nouveaux propriétaires. Outre les frais généraux, le prix des matériaux et le coût de la main-d'oeuvre, la possibilité pour l'acheteur de participer à la construction peut également jouer en ce qui concerne l'accessibilité de la maison. Cela est particulièrement vrai pour les travaux de finition, qui constituent une forte proportion de la main-d'oeuvre nécessaire et du prix total (jusqu'à concurrence de 30 %). S'il était possible pour le consommateur de se charger de ces travaux, le prix de vente des habitations baisserait sensiblement.

Étant donné que l'attrait des logements est largement fonction des goûts et des priorités de nature personnelle, l'entrepreneur qui est en mesure d'offrir tout un éventail d'options à l'acheteur éventuel disposera d'un atout majeur de commercialisation. Par conséquent, la facilité avec laquelle un logement peut être adapté à des exigences particulières, tant au stade de la fabrication que de la construction, compte pour beaucoup dans la décision d'adopter une méthode ou un produit. Dans un sondage que menait récemment la Structural Insulated Panel

Association auprès de 107 constructeurs et architectes, la raison la plus fréquemment évoquée pour laquelle les répondants ne se serviraient pas de panneaux de charpente isolés tenait à leur préoccupation concernant les limitations de design [14]. Quand viendra le moment d'habiter la maison, la possibilité pour l'acheteur de la personnaliser, que ce soit par une modification ou par la décoration, sera aussi un facteur primordial. Toute méthode qui gênerait ou entraverait cette liberté sera interprétée comme une lacune, sans égard à la qualité technique qu'elle pourrait assurer.

Il importe aussi que le produit ou la méthode ne perturbe pas l'efficacité des opérations et les voies de communication simplifiées du constructeur. Le cheminement usuel des travaux de construction se base sur une série de modules bien définis. Les fonctions de chaque corps de métier sont bien définies, et le travail de chacun a une incidence sur le rendement d'un autre. Des innovations peuvent survenir dans l'un ou l'autre de ces corps de métier, mais il peut y avoir réticence si plus d'un métier est touché, ou encore si un changement dans un métier a des répercussions sur le travail d'un autre. Si nous décomposions les éléments physiques de la maison, nous nous trouverions en présence d'un agencement hiérarchique de systèmes (enveloppe), de sous-systèmes (murs), de composants (fenêtres) et de matériaux (verre). Plus l'élément est volumineux, plus grande est l'interdépendance opérationnelle et physique des métiers. Par conséquent, l'incidence d'un élément nouveau de moindre importance (p. ex., matériau de verre) est moins grande que celle d'un élément à la tête de la hiérarchie (bloc-fenêtre, colombage), de sorte que le premier sera plus propice au changement. L'innovation au niveau des gros systèmes risque plus d'être acceptée si elle prend la forme d'un ensemble complet qui comprend matériaux et main-d'oeuvre, et qui n'exige donc pas que les autres métiers soient disposés à accepter le changement.

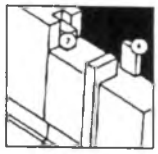
Il ne faut pas non plus oublier l'usage bien ancré qui consiste à travailler avec des documents de construction très simples. Parce qu'il n'y a normalement aucune possibilité d'obtenir les conseils de spécialistes, il faudrait que toute communication écrite ou verbale concernant l'innovation soit présentée de manière brève et concise et qu'on précise les coûts qui en découlent. Une information concrète et nette sera acceptée bien avant le jargon technique ou les caractéristiques détaillées des produits. La simplicité est de mise pour la conception, le montage et la communication.

Autres exigences

Outre ces aspects qui influent directement sur les possibilités d'acceptation du produit par les constructeurs, il est également nécessaire de fournir une habitation efficace, sous trois angles généraux : l'habitabilité, le degré d'entretien et la sécurité. L'habitabilité a trait à l'espace intérieur du bâtiment dans la mesure où l'enveloppe y exerce une influence. L'aspect, le confort thermique, l'insonorisation et la qualité de l'air sont tous des éléments à ne pas négliger. Le degré d'entretien peut être évalué à trois niveaux : le nettoyage général ou l'entretien saisonnier, la réparation ou le remplacement des matériaux de construction, les composants et appareils fixes, ainsi que l'entretien à long terme sur tout le cycle de vie du bâtiment. Les aspects relatifs à la sécurité portent sur le risque d'effondrement, la facilité d'accès pour les cambrioleurs et la résistance aux sinistres (fortes rafales de vent ou de pluie et incendies).

Deux derniers facteurs doivent entrer en ligne de compte, l'accessibilité et la durabilité. L'accessibilité d'un logement est évaluée au regard des éléments prévus pour les occupants ayant des troubles physiques, auditifs ou visuels, de même que des occupants hypersensibles. Pour dessiner une maison durable, il faut tenir compte de l'épuisement des richesses naturelles et des autres éléments nocifs.

3.2.2 Évaluation et sélection des panneaux



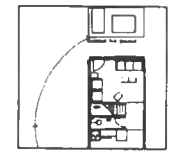
Une méthode propre à l'évaluation des panneaux préfabriqués a été élaborée pour juger dans quelle mesure les options proposées étaient appropriées et convenables, et aussi pour guider les aménagements futurs en mettant en lumière les points forts, les lacunes et les incompatibilités de certains articles qu'il y aurait lieu de réviser ou d'améliorer. Le modèle d'évaluation est composé de deux ensembles d'attributs qui ont fait l'objet d'une corrélation, d'une pondération et d'une quantification pour une application particulière.

Nous avons commencé par définir 28 caractéristiques (par suite de ce qui précède) qui décrivent les exigences relatives à la performance des panneaux préfabriqués. Des critères d'évaluation ont ensuite été établis à partir de ces exigences, chacun ayant été coté sur une échelle de 1 (très faible) à 5 (excellent). Nous avons coté 30 critères, puis nous les avons groupés sous six catégories générales : qualités environnementales, performance technique, durabilité, maniabilité/adaptabilité, facilité d'assemblage et qualité d'exécution. Un facteur de pondération allant de 1 (sans importance) à 5 (très important) a été attribué à chacun des critères selon son importance pour une application particulière (design, type d'habitation, emplacement, climat, etc.). Le panneau ayant reçu la cote pondérée la plus élevée représente la meilleure solution pour ce contexte particulier. Les exigences ont été rédigées de manière à remplir l'objet énoncé, c'est-à-dire proposer un produit destiné à l'exportation et capable d'être accepté sur le plan pratique par le constructeur moyen. On trouvera à l'Annexe C un résumé et les détails de l'évaluation.

Tous les panneaux préfabriqués ont reçu une cote supérieure à celle des méthodes de construction traditionnelles une fois fixée la moyenne pondérée. Les panneaux muraux préfabriqués ont été jugés exceptionnels, en général, au regard des critères de performance technique et de qualité d'exécution. Les caractéristiques relatives à l'environnement et à la durabilité étaient similaires parmi les panneaux évalués. Le seul inconvénient que présentaient les panneaux préfabriqués était leur manque de souplesse par rapport aux méthodes traditionnelles, surtout en ce qui concerne les modifications sur place, ainsi que le fait qu'ils perturbent le cours normal des travaux de construction, ce qui risque de ne pas les faire accepter d'emblée sur le marché.

Des écarts appréciables ont été notés relativement à certains des critères pour différents types de panneaux, mais dans l'ensemble les cotes ne variaient pas beaucoup. Puisque les cotes relatives étaient sensibles à de légères variations des critères d'évaluation ou des facteurs d'importance, il a été décidé de procéder à l'adaptation de la Maison évolutive sans s'en tenir à l'analyse d'un panneau particulier. Le processus d'adaptation et l'analyse des coûts ont alors été exécutés au moyen de tous les panneaux évalués, sauf un. Par suite de l'évaluation, les panneaux de charpente sans revêtement à colombage métallique ont été exclus de l'analyse approfondie, car nous avons conclu qu'ils se prêtaient mieux à la construction commerciale. Quant aux trois types de panneaux multiplis, ils n'ont pas été étudiés séparément parce que le matériel constituant l'âme de ce genre de panneaux de charpente a très peu d'effet sur le processus d'adaptation.

4. ADAPTATION DU PLAN



Pour les besoins du volet suivant de l'étude, différents plans ont été dessinés pour optimiser le processus de préfabrication, en se basant surtout sur l'information glanée dans les interviews des fabricants et des constructeurs. Ces interviews et consultations avaient pour objet de nous renseigner sur les opérations de traitement et de montage, de savoir quelles conditions seraient les plus favorables pour la plupart des constructeurs (c'est-à-dire pour leur faire accepter les panneaux préfabriqués) et de déterminer les solutions les plus économiques par la modification des plans.

Nous avons élaboré un cadre pour l'industrialisation de la Maison évolutive en adaptant le plan du logement pour qu'il se prête mieux au processus de fabrication. Le but de cet exercice était de formuler un guide sur la manière de structurer le design d'un type précis d'habitation en se servant de composants standard sans trop en compromettre la maniabilité. La normalisation des composants préfabriqués permettrait de réaliser les économies d'échelle et, ultérieurement, d'accroître l'accessibilité du logement. Ce serait également une façon d'introduire la fabrication de composants en série et de garder des pièces en réserve pour différents plans. Un plan modifiable permettrait au constructeur d'offrir toutes sortes de possibilités, et rendrait l'habitation plus commercialisable. Bien que la Maison évolutive ait servi d'étude de cas dans le processus de normalisation, cette approche pourrait être utilisée pour d'autres genres d'habitations.

Le plan de la maison a été adopté en fonction de plusieurs aspects en même temps. Bien que les considérations d'ordre environnemental soient intervenues dans l'évaluation des panneaux, ce sont le prix, la qualité, le potentiel de commercialisation et l'accessibilité du logement qui sont entrés en ligne de compte au cours de la conception. Plus précisément, les versions jumelées et en rangée de la Maison évolutive ont été modifiées dans le but de réaliser quatre grands objectifs :

1. Économiser par la réalisation du plein potentiel des panneaux préfabriqués
2. Mettre le plan au point de manière à mieux tenir compte des besoins et des préférences de l'acheteur
3. Améliorer la qualité technique par la modification de procédés de montage
4. Modifier le plan du logement pour en assurer l'accessibilité

● 4.1 MÉTHODE

L'adaptation de la Maison évolutive aux fins de l'industrialisation a été réalisée en trois étapes. Nous avons commencé par choisir un modèle de travail. Celui-ci était basé sur quatre versions de la Maison évolutive, vendues dans la région de Montréal. La construction des logements a été observée de près, les constructeurs ont été interviewés et les occupants sondés.

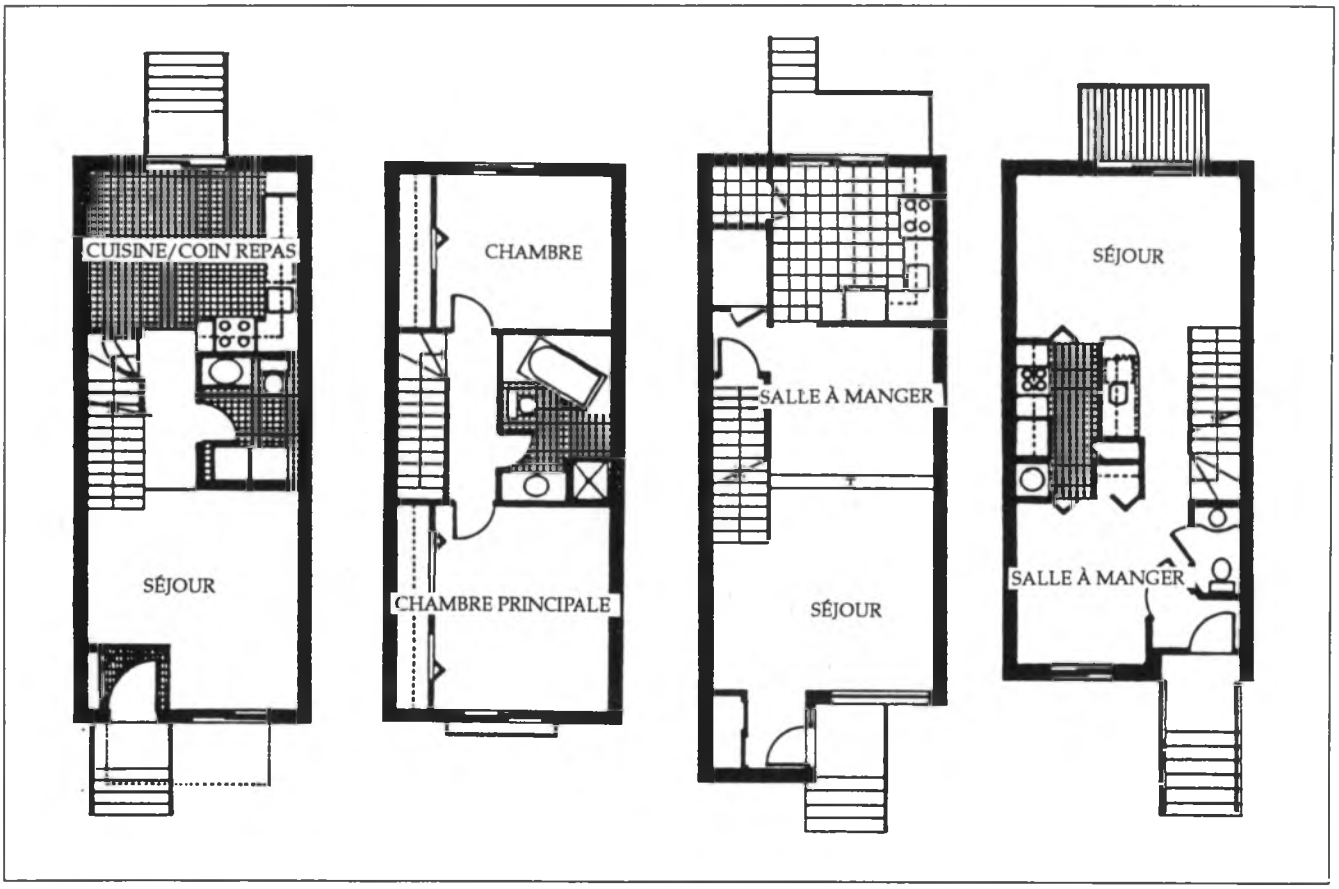
Au cours de la deuxième étape, un ensemble de critères a été établi dans le but de guider le processus d'optimisation du design. Des lignes directrices ont été rédigées sous trois angles : le design architectural, pour répondre aux préférences et exigences exprimées par l'occupant; la normalisation modulaire, qui portait sur les procédés de préfabrication; les facteurs techniques, dans le but d'améliorer la qualité des produits en mettant leurs points forts en valeur et en éliminant leurs points faibles, pour chaque type de système.

Enfin, nous avons optimisé le plan des maisons témoins de manière à nous conformer aux critères de design architectural, modulaire et technique. Ces travaux ont été exécutés simultanément pour les six types de panneaux. Le nombre d'options que nous pourrions générer pour le plan intérieur au moyen des quatre plans témoins a été jugé suffisant pour offrir l'assortiment et la marge de manoeuvre voulus à différents acheteurs éventuels. Nous avons aussi étudié la possibilité d'adapter le logement aux besoins des handicapés physiques.

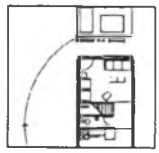
● 4.2 PLANS D'ÉTAGE DE BASE

D'après ce que nous avons vu des différents ensembles résidentiels comportant des maisons de type évolutif, il est nécessaire d'avoir un plan souple. Bien que la plupart des ensembles comportaient une disposition très similaire, il n'y en avait pas deux tout à fait identiques. Tous les constructeurs avaient modifié les plans d'étage pour satisfaire aux exigences de l'acheteur local. Bien souvent, ces modifications avaient été apportées sur place, spontanément, après une conversation.

Figure 4.1 : Configuration différentes



Malgré les différentes modifications apportées aux plans de l'étage par les entrepreneurs, l'aménagement général de l'espace était assez semblable, et prenait l'une ou l'autre de trois formes. Le premier (et plus populaire) était un plan ouvert, comportant un escalier d'un côté de la maison et une cuisine à l'arrière. Dans le second plan, il y avait une cuisine au milieu du logement, séparant la salle à manger à l'avant du séjour à l'arrière; quant au troisième, une salle de bains figurait au centre pour séparer les deux espaces, le séjour se trouvant normalement à l'avant. La figure 4.1 donne des exemples de ces aménagements. Vu leur succès sur le marché, ces plans ont été utilisés comme point de départ pour le processus d'optimisation. Pour injecter un peu de variété, le plan de la première Maison évolutive témoin a été ajouté aux plans de base de l'étage.



● 4.3 CRITÈRES DE DESIGN

Avant de passer à la modification des plans, il fallait établir un ensemble de critères pour guider le processus de design. Ces critères avaient pour but d'optimiser le design architectural, modulaire et technique de l'habitation. Quatre grandes sources d'information ont été utilisées à cette fin :

1. Résultats d'une évaluation post-occupation de Maisons évolutive construites dans la région de Montréal
2. Interviews et entretiens avec des représentants des fabricants de panneaux
3. Résultats d'une évaluation de panneaux préfabriqués effectuée au cours de la première partie de l'étude
4. Norme de l'ACNOR sur l'accessibilité des bâtiments et autres installations (CAN/CSA-B651-M90).

4.3.1 Design architectural

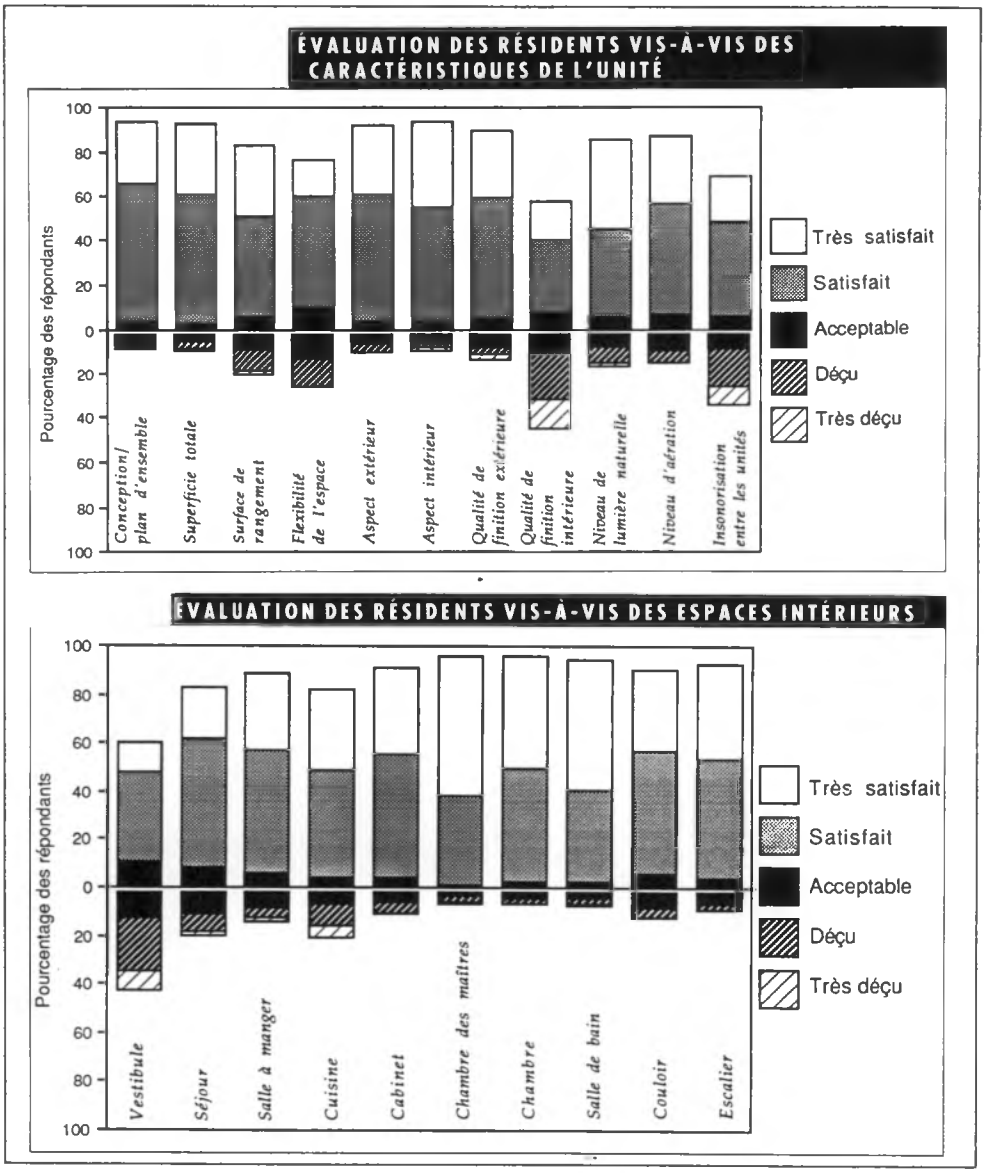
Les modifications de nature architecturale sont fondées principalement sur les résultats d'une évaluation post-occupation de 196 Maisons évolutives construites dans la région de Montréal entre février 1991 et janvier 1992. Nous nous intéressions à quatre éléments. Premièrement, le degré de satisfaction exprimé au regard de chacune des 11 caractéristiques du logement et de 10 espaces intérieurs a permis de cerner les secteurs qu'il y avait lieu d'améliorer. Malgré le grand enthousiasme manifesté pour chacun des paramètres, il y aurait tout de même lieu d'améliorer certains secteurs. Nous avons aussi tenu compte des différents niveaux de satisfaction exprimés par les occupants de maisons de conception différente.

Deuxièmement, les préférences des occupants au moment de l'achat ont permis de déterminer les attentes générales du marché local. Bon nombre de ces préférences étaient couvertes dans les plans de maison, mais le besoin d'offrir des options telles qu'un garage, un sous-sol et une troisième chambre est ressorti. En troisième lieu, nous avons fait enquête sur les motifs d'achat pour savoir ce qui avait le plus attiré l'acheteur, ainsi que ce qui était pour lui une source d'appréhension. Outre le prix, le motif le plus fréquemment mentionné pour l'achat et qui constitue la prémisse de la présente étude, plusieurs autres caractéristiques sont ressorties. Enfin, nous avons demandé aux occupants de suggérer des améliorations générales qui pourraient être apportées dans leur logement. Dans les deux derniers cas, les résultats de l'enquête correspondaient étroitement au degré de satisfaction de l'occupant et aux préférences qu'il avait exprimées. Les résultats de l'enquête portant sur les quatre secteurs se trouvent aux figures 4.2 et 4.3. Voici par ordre d'importance les lignes directrices formulées à partir de ces résultats.

Améliorer
- Veiller à ce que la qualité de la finition ne soit pas compromise
- Redessiner l'entrée pour qu'elle soit plus fonctionnelle et privée
- Assurer un niveau supérieur d'insonorisation entre les logements
- Rendre le plan de la cuisine plus fonctionnel et l'agrandir
- Prévoir plus d'espaces de rangement au rez-de-chaussée et à l'étage
- Éliminer les éléments rigides qui empêchent de modifier la maison.

Perfectionner
- Niveau de lumière naturelle
- Ventilation transversale
- Séjour
- Salle à manger
- Cabinet de toilette (rez-de-chaussée)
- Buanderie.

Figure 4.2 : Degré de satisfaction de l'occupant concernant les caractéristiques et l'espace intérieur de la maison



Ne pas modifier

- Design et plan schématique global
- Dimension totale
- Aspect extérieur
- Aspect intérieur
- Qualité du parement extérieur
- Toutes les pièces de l'étage :
  Salle de bains
  Chambre principale
  Chambre
  Couloir
  Escaliers.

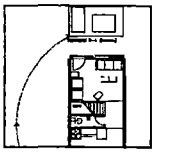


Figure 4.3 : Résultats du sondage des occupants

PRÉFÉRENCES DES ACHETEURS ET CARACTÉRISTIQUES SOUHAITÉES

CARACTÉRISTIQUES SOUHAITÉES D'UNE MAISON NEUVE[1]	(%)
Deuxième grande salle de bains	9,5
Grand jardin privé	7,7
Espaces de rangement suffisants	6,7
Éclairage naturel	6,4
Sous-sol	5,8
Garage	4,3
Deuxième chambre spacieuse	4,0
Aire ouverte	4,0
Quantité suffisante d'espace total	3,7
Cuisine fonctionnelle	3,7
Maison à étage	3,7
Stationnement particulier	3,4
Qualité de la finition intérieure	3,1
Bon emplacement/quartier	3,1

NOMBRE PRÉFÉRÉ DE CHAMBRES À COUCHER[2]	(%)
Une chambre	0,5
Deux chambres	54,6
Trois chambres	43,8
Quatre chambres	0,5
Plus de quatre chambres	0,5

CHERCHANT UNE MAISON NEUVE[2]	58,5%

EMPLACEMENT PRÉFÉRÉ[3]	(moy.)
Centre-ville	1,4
À dix minutes du centre-ville	2,9
Banlieue	4,1
Petite ville	3,3
Campagne	2,9

TYPE D'HABITATION PRÉFÉRÉ[4]	(moy.)
Maison individuelle	3,5
Maison jumelée	2,6
Maison en rangée	2,5
Copropriété	1,4

1. Attributs les plus fréquemment mentionnés; pourcentage basé sur 327 entrées
2. Selon le pourcentage des répondants
3. Priorité moyenne sur une échelle de 1 à 5
4. Priorité moyenne sur une échelle de 1 à 4

MOTIFS D'ACHAT

IMPORTANCE DES CARACTÉRISTIQUES CHOISIES[1]	(moy.)
Aspect extérieur	3,9
Disposition intérieure	4,5
Prix	4,8
Placement	4,0
Terrain privé	4,1
Stationnement particulier	3,9

QUALITÉS ATTRAYANTES[2]	(%)
Prix	17,8
Disposition générale	9,7
Quantité totale d'espace	8,3
Emplacement-lieu	6,3
Sous-sol utilisable	4,7
Deuxième grande salle de bains	4,0
Aire ouverte	3,8
Maison à deux niveaux	3,8
Éclairage naturel	3,6
Deuxième chambre spacieuse	3,1

1. Moyenne des répondants sur une échelle de 1 (sans importance) à 5 (très important)
2. Par pourcentage : 290 éléments les plus fréquemment mentionnés sur une liste de 444.

AMÉLIORATIONS SUGGÉRÉES

CHANGEMENT PROPOSÉ	(%)
Rangement dans la cuisine	14,4
Modifier entrée	10,1
Maison plus large (16')	8,6
Modifier plan de la cuisine	8,3
Plus de fenêtres/lumière naturelle	5,5
Ajouter/modifier rangement	4,0
Terrain plus grand	4,0
Modifier agencement du stationnement	3,7

Basé sur un pourcentage; 327 entrées

Caractéristiques à conserver
- Deux niveaux
- Deuxième grande salle de bains à l'étage
- Bricolage possible
- Sous-sol utilisable (lumière naturelle).

Options à offrir
- Troisième chambre
- Garage
- Logement plus large (16') (4,9 mètres)
- Logement accessible.

4.3.2 Design modulaire

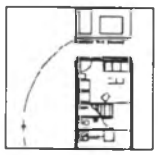
Les modifications apportées en fonction de la préfabrication étaient basées sur la modularisation de la maison et la normalisation des composants. Nous avons interviewé les fabricants de six différents genres de panneaux sur les façons d'en améliorer l'efficacité du design et du montage. La plupart ont reconnu que leurs panneaux coûtent normalement un peu plus cher que ceux en usage dans la construction traditionnelle en ce qui concerne les maisons individuelles construites sur commande. Le plus important potentiel de réduction des coûts pourrait se matérialiser seulement avec des économies d'échelle - volume, normalisation et répétition.

Tous les fabricants étaient d'avis que la Maison évolutive pourrait être construite à meilleur prix avec des panneaux muraux préfabriqués par opposition à une construction traditionnelle en raison de la simplicité du design.

Certaines des recommandations formulées s'appliquaient à tous les genres de murs préfabriqués :

- Garder un plan simple et rectangulaire; la préfabrication coûte plus cher s'il y a des lignes interrompues et des angles
- Créer un design réduisant au minimum la main-d'oeuvre et la manutention de matériaux sur les lieux
- Maximiser la taille des panneaux pour en minimiser la quantité
- Prévoir des panneaux simples (rectangulaires) pour réduire les frais de production
- Minimiser le nombre d'ouvertures dans les panneaux, ce qui exige beaucoup de main-d'oeuvre
- Même si les dimensions des ouvertures n'influencent pas le prix du panneau (une fois qu'une table d'atelier est réglée pour une certaine ouverture, la quantité de travail demeure la même pour toutes les dimensions), il est plus efficace de les pratiquer à une hauteur standard, c'est-à-dire qu'il est plus facile de travailler avec des linteaux standard
- Prévoir des dimensions d'ouvertures qui correspondent aux dimensions standard des portes et des fenêtres (des fenêtres sur commande coûteraient plus cher).

Les avis des fabricants étaient partagés quant à certaines autres recommandations. Les représentants des fabricants de panneaux de charpente sans revêtement ont formulé des recommandations semblables à celles des fabricants de panneaux ordinaires. Par contre, les panneaux de charpente ont fait l'objet de différentes stratégies d'économie.



Les panneaux sans revêtement et les panneaux ordinaires sont assis sur une colonne ou des poteaux d'ossature murale pour en assurer le support. La plupart des représentants des entreprises qui fabriquent ces panneaux ont suggéré de supprimer les colonnes superflues à l'intérieur des panneaux. S'en tenir à des longueurs de 600 mm pour les panneaux, et positionner les fenêtres entre ces derniers permettraient de réaliser des économies de matériaux et de main-d'oeuvre, car il ne serait pas nécessaire d'inclure des éléments d'appui supplémentaires à l'intérieur du panneau. Un fabricant (le seul à espacer ses poteaux à 400 mm) prétendait que ceci ne changerait rien au prix de ses panneaux, car les ouvertures des fenêtres ont besoin d'être renforcées de toute manière. S'il n'est pas possible de centrer une ouverture sur un module de 600 mm, il faudrait s'efforcer d'en aligner une avec un poteau. Aucun fabricant n'a recommandé l'emploi de panneaux de charpente sans revêtement pour les toitures, car même si ce type de construction est réalisable, elle ne peut que compliquer les processus de fabrication et de montage, et coûte généralement plus cher qu'une construction traditionnelle.

Étant donné que les panneaux de charpente multiplis sont taillés plutôt que construits autour de colonnes ou de poteaux, les recommandations relatives à ces panneaux différaient quelque peu de celles concernant les panneaux ordinaires et sans revêtement. On a recommandé notamment que les panneaux soient dimensionnés en unités de 1 200 mm (1,2 mètre) (largeur standard de la plupart des matériaux de revêtement) afin de prévenir le découpage et le gaspillage. Si ce n'est pas possible, il serait bon de prévoir un panneau d'embout comportant une section de 600 mm, de manière à ce que la dernière demi-feuille puisse être utilisée sur un panneau similaire ou opposé. Aucune contrainte quant aux dimensions ou à l'emplacement des ouvertures n'a été exprimée, sauf qu'il faut un espacement suffisant entre le côté d'une ouverture et l'extrémité d'un panneau, soit environ 300 mm normalement.

Dans la plupart des cas, les recommandations d'économie d'un fabricant n'avaient pas d'incidence sur celles d'un autre. Il était donc possible de concevoir des panneaux satisfaisant tous les critères mentionnés en même temps.

4.3.3 Design technique

L'évaluation faite pour le premier volet de l'étude a mis en lumière certains des avantages et des inconvénients des panneaux préfabriqués. Les lignes directrices ci-dessous visent à accroître la performance technique de la maison sans modification notable. Certains de ces points font maintenant partie des méthodes d'un certain nombre des fabricants interviewés. Ils ne changeraient en rien la configuration des panneaux muraux, mais ils sont susceptibles d'influer sur la performance globale du bâtiment et sont donc dignes de mention.

Panneaux de charpente sans revêtement et ordinaires

- Calfeutrer et poser des tiges d'appui par-dessous, par-dessus et entre les lisses et sablières pour rendre l'enveloppe du bâtiment plus hermétique
- Poser un carton-fibre de 12,7 mm sur les panneaux de charpente sans revêtement pour améliorer la performance phonique
- La fourrure diagonale qui recevra les panneaux de charpente sans revêtement devrait être ancrée aux lisses et sablières, non pas aux poteaux muraux
- Bien que superflu sur le plan technique, il est bon de poser une membrane et un pare-vapeur sur les faces extérieures et intérieures des panneaux muraux de charpente sans revêtement, ce qui en accroît la performance à peu de frais

- Là où les panneaux sont parallèles aux solives du plancher, il faudrait poser une seconde solive près de la solive de bordure afin de faciliter le clouage du panneau mural (accessible seulement de l'intérieur) et d'améliorer la performance structurelle (éviter de ne pas clouer plus loin que le revêtement de plancher).

Panneaux de charpente multiplis

- Les ouvertures, qui exigent des compétences et des outils spéciaux, devraient être pratiquées en usine. Ceci rend le procédé un peu moins souple, mais la simplification et la réduction de la main-d'oeuvre sur place peuvent être plus économiques, et les ouvertures pourront toujours être modifiées plus tard.

4.4 PROCESSUS DE DESIGN

Le processus de design visait à assurer suffisamment de marge de manoeuvre au constructeur et des économies d'échelle au fabricant par l'offre d'une vaste gamme d'options pour l'habitation au moyen de quelques composants standard et simples. Ceci permettrait la préfabrication en série de composants sans qu'il soit nécessaire d'avoir un plan définitif. Les modifications du plan schématique intérieur pourraient être apportées sur place par le simple ajout ou remplacement de composants.

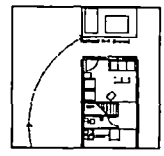
Ce processus a évolué à partir de l'intérieur, en commençant par une analyse générale et fondamentale des dimensions modulaires globales de la maison, s'est poursuivi avec des configurations plus précises du plan intérieur et s'est terminé par les murs extérieurs. C'était le cheminement qui convenait le mieux, car la maniabilité et l'applicabilité des murs extérieurs préfabriqués et standard étaient largement fonction du plan intérieur. Quatre aspects de la maison ont été examinés :

1. Dimensions générales
2. Configuration et orientation de l'escalier
3. Cloisons intérieures
4. Murs extérieurs.

Nous avons conçu une méthode assistée par ordinateur (CAO), car il fallait manipuler des composants standard à l'intérieur de modules établis, et c'était une manière efficace de susciter et de trouver différentes solutions. Notre but était d'établir un cadre général pour l'industrialisation éventuelle de la Maison évolutive et de ses variantes. L'étude pourrait, par exemple, servir de fondement à la mise au point d'un logiciel propre à contrôler la production et la distribution de pièces. En outre, les données qu'elle renferme pourraient être facilement utilisées sous forme graphique par l'acheteur éventuel désireux de visionner la disposition de sa maison et de choisir les produits de finition. Les données pourraient être utilisées de plusieurs façons; toutefois, l'étude se limitait à établir un cadre de normalisation qu'il serait possible d'étoffer pour d'autres applications.

4.4.1 Dimensions générales

La première étape de la normalisation était liée à la configuration générale de la maison et ses dimensions. Chaque niveau a été divisé en trois sections : une aire centrale, plus petite que les autres et renfermant l'escalier, ainsi que les sections avant et arrière, l'une plus grande que l'autre, et prévues pour des fonctions différentes, au rez-de-chaussée et à l'étage (figure 4.4a). Les options ont été catégorisées d'après la fonction principale de l'aire centrale du rez-de-chaussée. Toute aire vide ou désignée comme espace ouvert peut servir à plus d'une fonction.

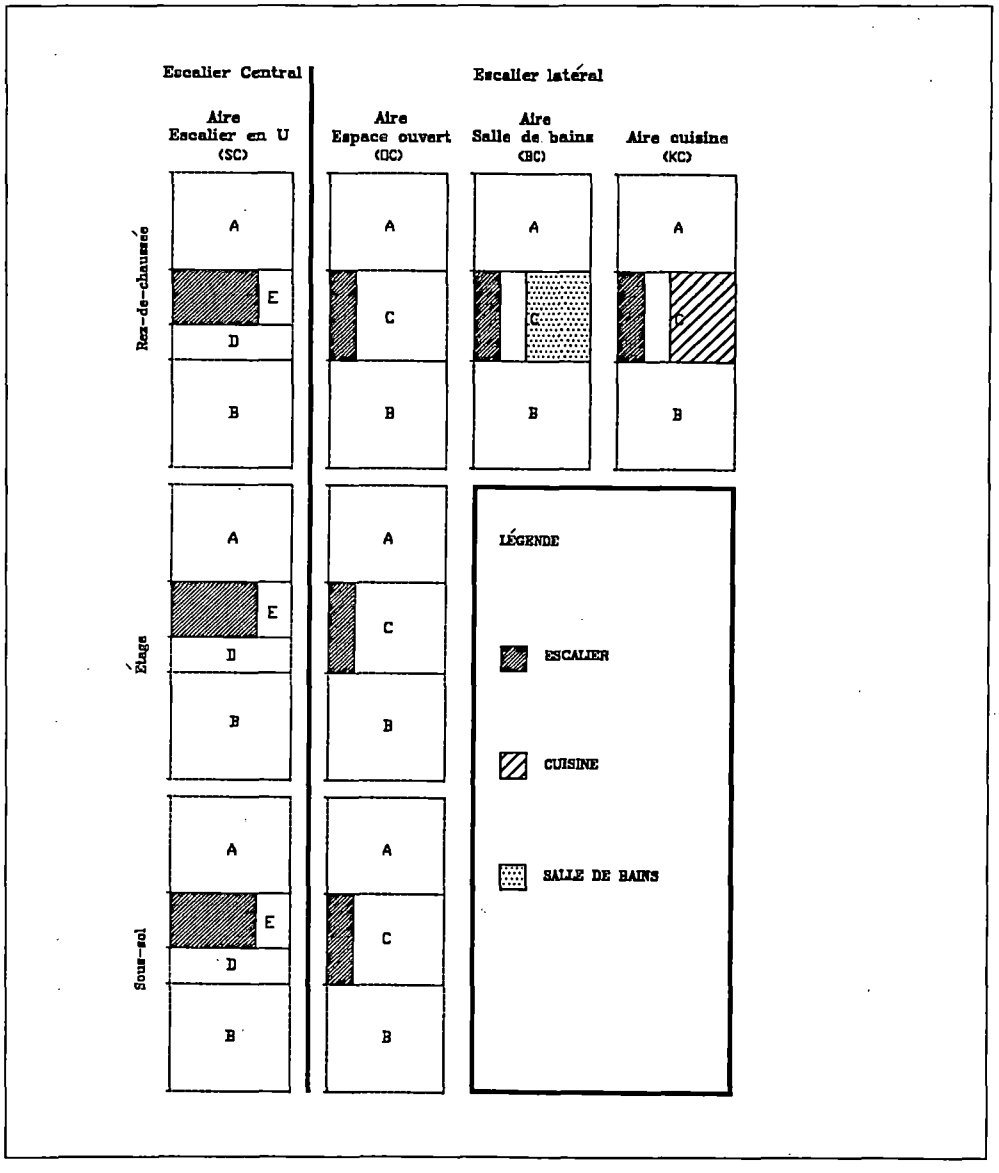


Quatre aménagements de base ont été réalisés pour le rez-de-chaussée sur les premiers plans décrits précédemment et le plan schématique véritable des Maisons évolutives. Ces maisons comportent une aire escalier, une aire ouverte, une aire toilette et une aire cuisine. Pour ce qui est du sous-sol et des niveaux supérieurs, le nombre d'aménagements est assujetti au type de pièces qui s'y trouvent. Seules les deux premières options s'appliquent à ces plans.

Au rez-de-chaussée, le plus grand module (A) est généralement prévu pour un séjour ou une cuisine avec coin repas. Les modules plus petits (B et C) sont prévus pour la salle à manger, la cuisine et la salle de bains. À l'étage, tous les modules peuvent être utilisés pour aménager une chambre, un cabinet de travail, une salle de jeu ou une salle de bains. Il semble que le design soit le plus efficace lorsque le module central (C) est utilisé pour la salle de bains, et que le plus grand des deux qui restent (A, B) est réservé à la chambre principale.

Les dimensions modulaires ont été établies à partir de l'information tirée de l'évaluation post-occupation. Il n'était pas fait mention des dimensions des pièces

Figure 4.4a : Segmentation des plans d'étage

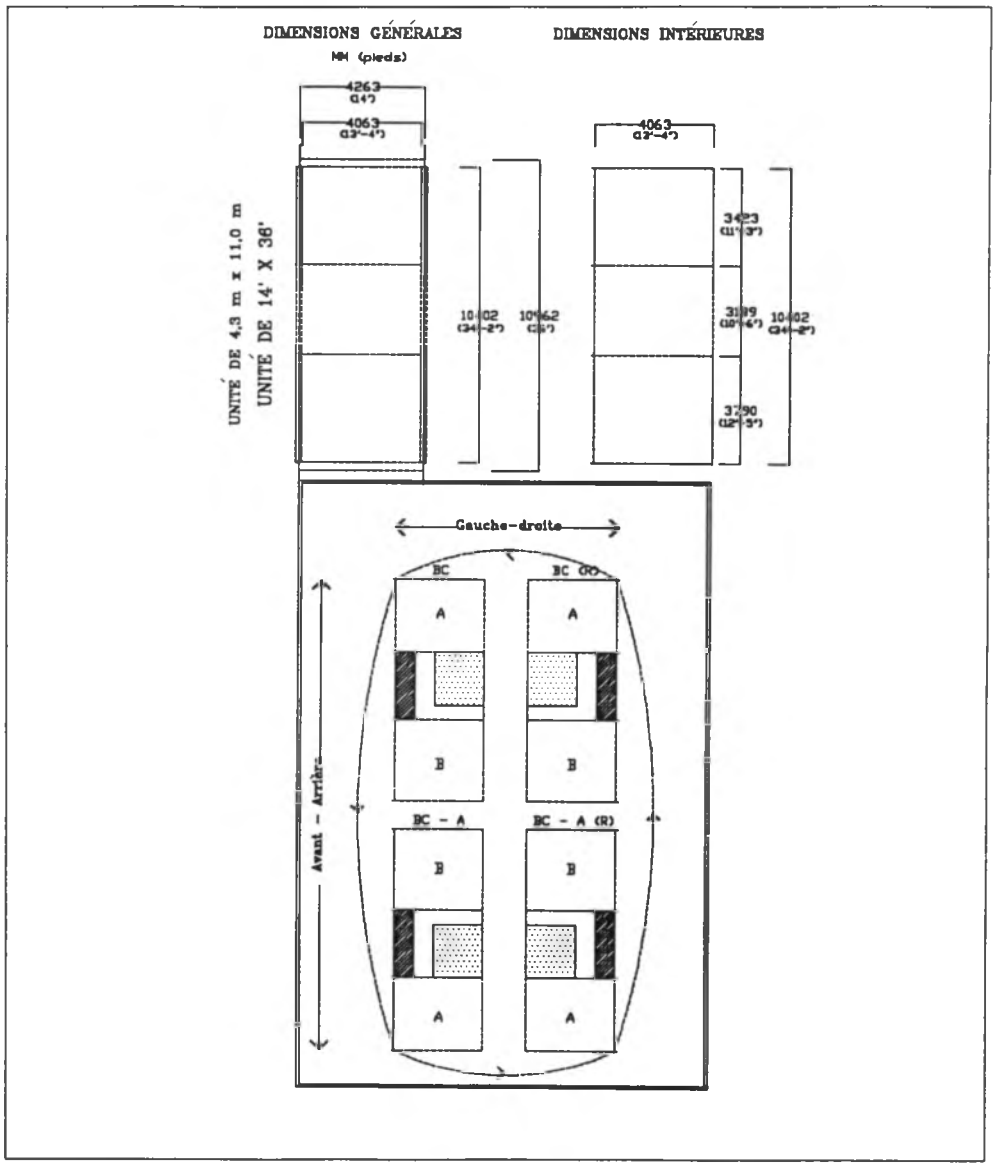


dans le questionnaire remis aux occupants, mais elles sont similaires à celles des maisons bâties. Nous avons légèrement agrandi la cuisine vu une certaine déception exprimée à cet égard.

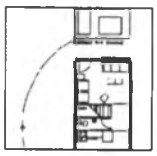
La disposition du sous-sol a été analysée au même titre que les autres niveaux parce que le sondage a nettement indiqué que les occupants y attachent de l'importance. Cet espace peut être utilisé de multiples façons, mais le plus souvent il est utilisé pour l'une ou plusieurs des fonctions suivantes : rangement, garage, atelier, buanderie, salle de bains, salle de jeu, cabinet de travail ou chambre. Le sous-sol peut être supprimé dans les maisons accessibles aux handicapés.

Outre qu'elles servent de cadre d'analyse, les trois sections peuvent aussi devenir des modules pour un plancher préfabriqué et ainsi accroître la polyvalence du logement. Si l'on souhaite un espace plus défini ou articulé, par exemple, il suffira pour changer le niveau de la jonction des panneaux de vérifier le mur de fondation ou celui du bâtiment près de cette section du mur.

Figure 4.4b : Option inversées



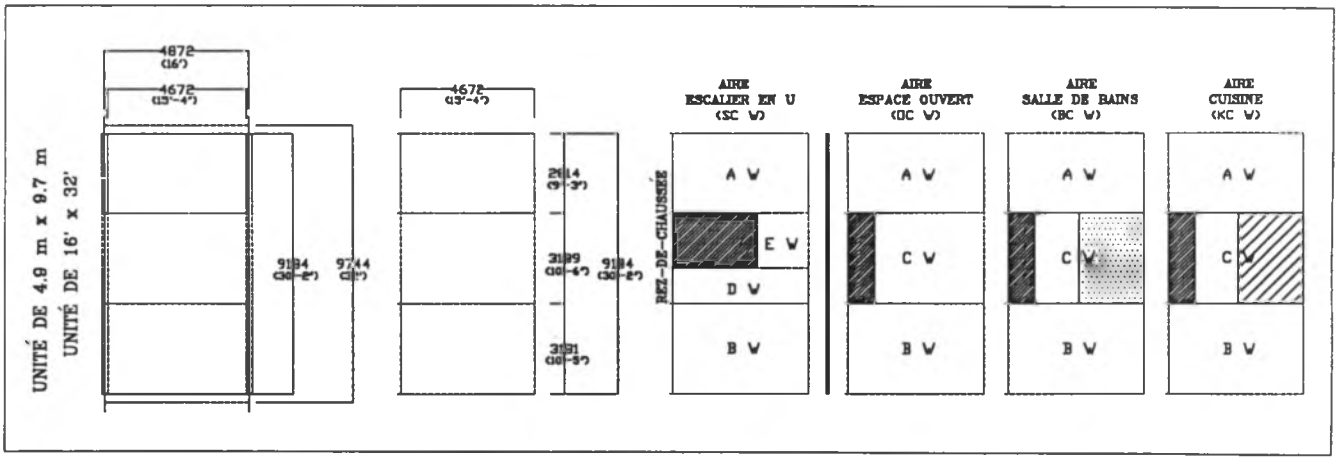
La manière dont les habitations sont groupées ainsi que leur emplacement ont une incidence sur l'utilisation possible d'un espace de même que sur la quantité de lumière qui s'y introduira. Selon le contexte, il est possible qu'on préfère une orientation particulière. Le constructeur voudra peut-être aménager les aires toilettes dos à dos dans les maisons adjacentes, tandis que les acheteurs souhaiteraient avoir une cuisine exposée au sud, et l'ajout d'une fenêtre sur le mur latéral d'une unité d'extrémité pourrait nécessiter un plan d'étage inversé. La figure 4.4b illustre quatre options possibles que permet l'inversion des unités de logement de l'avant à l'arrière, de gauche à droite, ou les deux. En inversant de l'avant à l'arrière, par exemple, le plus grand module doit forcément se trouver à l'avant ou à l'arrière de la maison. C'est ce qui déterminera aussi l'emplacement de la chambre principale à l'étage. Au rez-de-chaussée, il serait possible d'entrer dans la maison soit par la cuisine, soit par le séjour.



La configuration et l'orientation du plan peuvent changer l'aspect des habitations, tant individuellement que collectivement, mais les quatre versions du plan d'étage compliqueraient l'analyse. Cette dernière portera donc uniquement sur les quatre options de base illustrées à la figure 4.4a. Il est néanmoins possible dans la plupart des cas d'inverser la maison dans une direction ou dans l'autre sans changer outre mesure les composants standard nécessaires.

Puisque 14 % des répondants au sondage se sont prononcés en faveur d'une maison plus large, une cinquième option a été proposée (figure 4.4c). Il serait possible de construire une maison de 4,9 x 9,7 mètres à partir de l'un ou l'autre des quatre plans dessinés pour le modèle de 4,3 mètres. Même si l'analyse porte surtout sur les maisons de 4,3 mètres, il faut mentionner que la version de 4,9 mètres conviendrait mieux à certaines applications. Le plus grand avantage d'une maison plus large tient au fait qu'on peut plus facilement l'adapter aux besoins des personnes handicapées. De plus, il est plus aisé d'y aménager un vestibule, bien que les proportions des pièces s'en trouvent modifiées.

Figure 4.4c : Maison plus large



4.4.2 Configuration et orientation de l'escalier

Dans une habitation aussi simple et étroite que la Maison évolutive, de nombreux aspects du plan intérieur changeront en fonction de l'escalier. Les dimensions, la nature, la configuration, l'orientation et l'emplacement de l'escalier ont une incidence sur tout, à partir de la dimension des pièces jusqu'à l'aspect général et la disposition fonctionnelle de l'espace. La possibilité pour l'entrepreneur d'offrir différentes

options et d'opérer des changements sur les lieux est donc rattachée au genre d'escalier qu'il aura choisi.

En général, la construction d'un escalier exige plus de main-d'oeuvre que les autres travaux de charpenterie. Une fois en place, il n'est pas facile de le modifier, surtout s'il s'agit de pratiquer une ouverture de dimension différente dans le plancher. Avec un escalier préfabriqué, il serait possible d'offrir plusieurs options sans modifier l'ouverture dans le plancher, et les modifications pourraient être apportées sur place en inversant ou en remplaçant les modules d'escalier. Compte tenu de son potentiel pour assurer une plus grande polyvalence et la normalisation des pièces, l'escalier a été examiné comme une partie intégrante des composants préfabriqués. La figure 4.5 illustre trois modules pour chaque type d'escalier. L'ouverture qu'il faut faire dans le plancher pourrait accueillir un panneau de plancher central. Si elle était de dimension standard, plusieurs modules pourraient être utilisés. Le seul endroit où l'escalier peut déroger est le sous-sol, où il n'a pas d'incidence sur la pose d'un composant préfabriqué et peut rentabiliser l'espace.

Les caractéristiques de l'escalier peuvent influencer le design de l'espace intérieur de plusieurs façons. D'abord, la dimension de l'escalier dictera les dimensions des espaces qui l'entourent, surtout dans une petite maison. La largeur de l'escalier a été fixée à 914 mm, et à 1 500 mm (1,5 mètre) dans les maisons adaptées. Il s'agit de limites pratiques jugées minimales, compte tenu des contraintes d'espace dans une maison en rangée à façade étroite et des monte-charges mécaniques à installer dans les maisons adaptées. Le type d'escalier (en U ou rectiligne) déterminera la possibilité d'avoir un plan à aire ouverte, tandis que son emplacement aura un effet sur la dimension des pièces à une extrémité et à l'autre. Ces deux derniers éléments ont déjà été déterminés par la division de l'espace intérieur en trois modules distincts.

Certaines incidences de la configuration et de l'orientation de l'escalier sur le plan intérieur sont illustrées à la figure 4.6. Il existe beaucoup d'autres possibilités, mais ces diagrammes montrent comment l'escalier peut influer sur le potentiel d'utilisation de l'espace et, ultimement, sur l'adaptabilité de l'espace. En règle générale, ce sera l'orientation de l'escalier (direction - vers le haut ou vers le bas) qui déterminera la possibilité d'aménager un garage au sous-sol. Le genre d'escalier (tournant ou rectiligne) aura aussi une influence sur plusieurs aspects de la disposition. Sur le plan architectural, des marches d'angle font que le bout de l'escalier doit se terminer par une main courante ou une cloison, ce qui modifie l'aspect général de l'espace puisqu'on peut se servir d'une partie supplémentaire du mur pour y placer des meubles ou des éléments décoratifs.

Sur le plan fonctionnel, l'espace est utilisé plus efficacement avec des marches d'angle, car un palier séparé n'est pas nécessaire. Par contre, un escalier rectiligne aboutissant à un palier permet un accès plus sûr du rez-de-chaussée au sous-sol (où on installera vraisemblablement une porte) ainsi qu'un accès plus privé à la salle de bains. L'aire la moins touchée par l'escalier est l'étage, où l'orientation de l'escalier (de l'avant à l'arrière et vice versa) déterminera l'emplacement de la plus grande chambre (normalement la chambre principale), c'est-à-dire à l'avant ou à l'arrière de la maison. On a prévu l'accès à l'étage par des marches d'angle pour optimiser l'utilisation de l'espace. Quant aux logements adaptés, il faudrait toujours prévoir un escalier rectiligne avec palier.

Figure 4.5 : Configurations d'escalier et modules préfabriqués

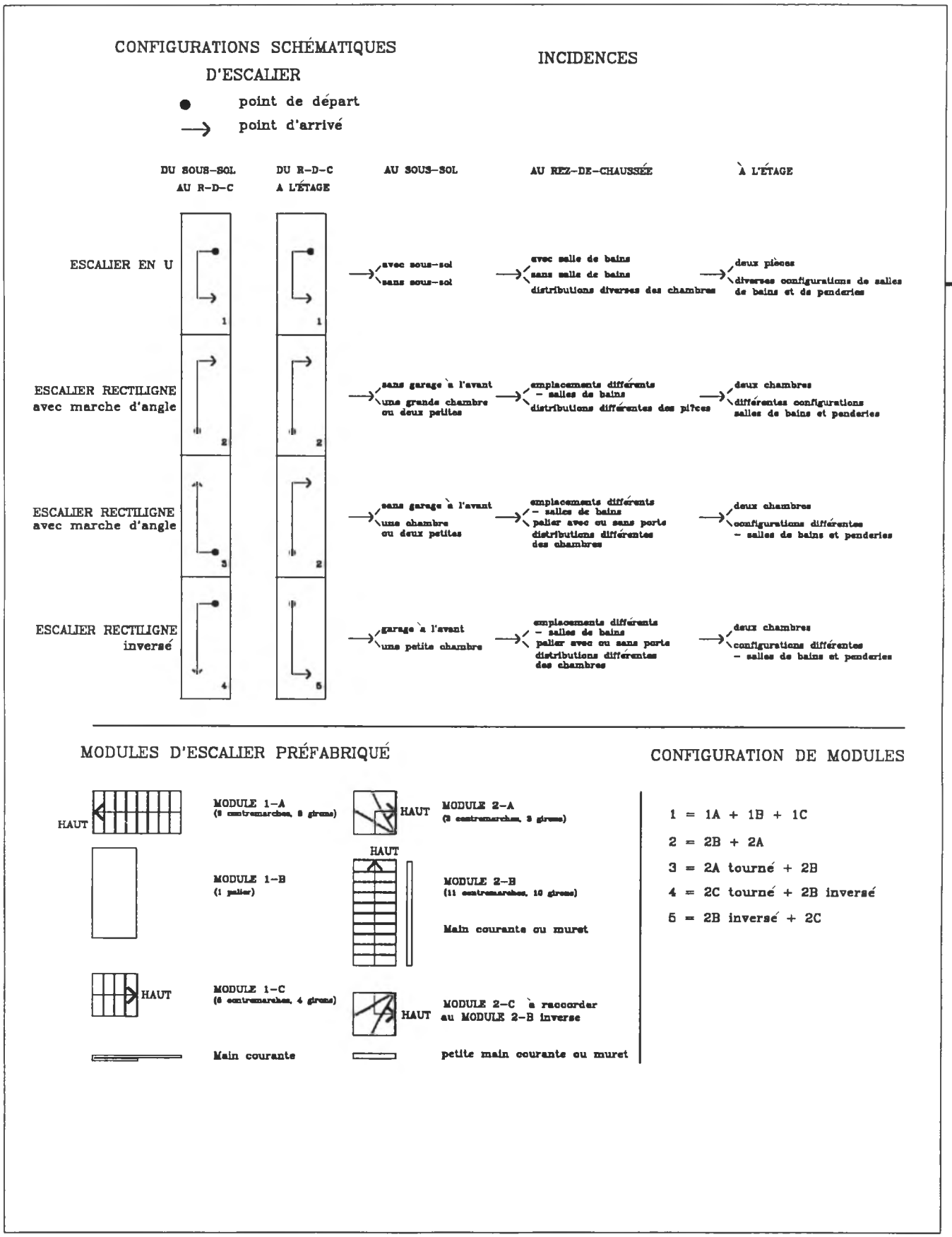
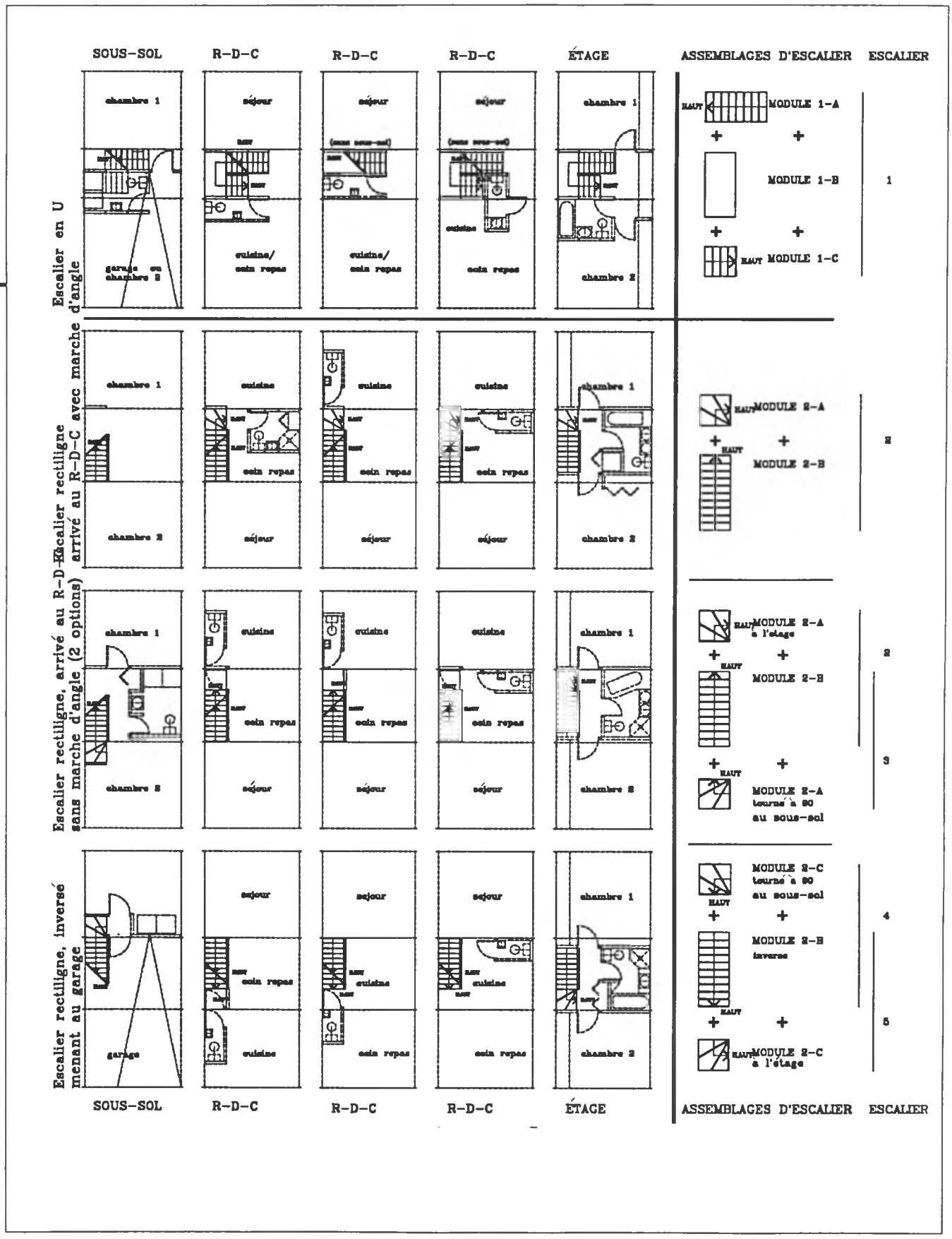
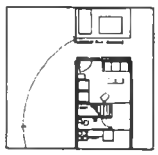


Figure 4.6 : Incidence de l'escalier sur les divers plans intérieurs



4.4.3 Cloisons intérieures



La plupart des constructeurs de Maisons évolutives interrogés étaient d'avis que le fait d'offrir des options, particulièrement de salles de bains et de cuisines, leur permettait d'attirer la clientèle. En outre, l'évaluation post-occupation a clairement montré que ces pièces sont d'importance primordiale pour les acheteurs éventuels. Cependant, certains occupants se sont dits insatisfaits de l'entrée et du nombre des espaces de rangement, de même que de l'emplacement de la laveuse et de la sécheuse. Dans une maison aussi petite que celle-ci, ces pièces contiennent la plupart, voire toutes, les cloisons intérieures.

Les cloisons intérieures et la finition sont également dignes d'intérêt, car elles représentent quelque 30 % des coûts de construction. Il serait possible de les réduire en les transférant soit à l'acheteur (c.-à-dire lui vendre des habitations non finies ou partiellement finies), soit au fabricant. Ce dernier exigerait que les panneaux muraux extérieurs soient fermés (avec des panneaux de placoplâtre déjà installés) ou que les cloisons intérieures soient préfabriquées, livrées et installées de manière économique.

Vu la petitesse des maisons, la charpenterie des cloisons intérieures est minime. Toute tentative de réduire les coûts par la préfabrication des cloisons intérieures devrait viser un degré élevé de normalisation tout en offrant une marge de manoeuvre suffisante au constructeur et la possibilité d'un montage simplifié à l'acheteur. Cela peut être réalisé par l'utilisation de composants de petite dimension et faciles à manier, qu'il sera possible de monter selon toutes sortes de configuration, que ce soit durant la construction ou après l'occupation.

Trois cloisons standard ont été mises au point pour les salles de bains et les entrées : 614 mm, 914 mm et 2 020 mm. Bien que le montage en série de petites cloisons puisse nécessiter plus d'éléments de charpente qu'une seule cloison continue, une plus grande maniabilité, la rapidité de montage et la normalisation pourraient entraîner des économies d'échelle susceptibles de compenser le coût supplémentaire des matériaux. La figure 4.7 illustre 15 différentes configurations de salles de bains au sous-sol, au rez-de-chaussée et à l'étage comportant les mêmes cloisons standard. Elles présentent différentes possibilités, notamment pour une baignoire extra grande, un lavabo double, une douche séparée, une lingerie et un coin laveuse/sécheuse. La figure 4.8 montre six possibilités d'aménagement du hall d'entrée avec différents emplacements pour la penderie. L'entrée peut être entièrement ouverte ou semi-fermée, ou être un vestibule. Ces configurations ne sont que quelques-unes des options possibles avec des cloisons modulaires. Dans la figure 4.8, la ligne brisée désigne le plus grand vestibule qui convient au logement adapté.

Il faut préciser que la cuisine n'a pas été examinée dans la même mesure que les autres pièces parce que les armoires exigent déjà beaucoup de préfabrication. Une fois qu'un espace a été déterminé pour la cuisine, des composants standard peuvent être utilisés pour configurer différemment les plans de travail et les armoires. Aux fins de cet exercice, nous avons choisi des espaces dimensionnés en sections d'un pied (30 cm), ainsi que les largeurs normales pour le réfrigérateur et la cuisinière, pour l'installation d'armoires de cuisine de dimensions normales.

Figure 4.7 : Configurations facultatives de salles de bains au moyen de cloisons standard

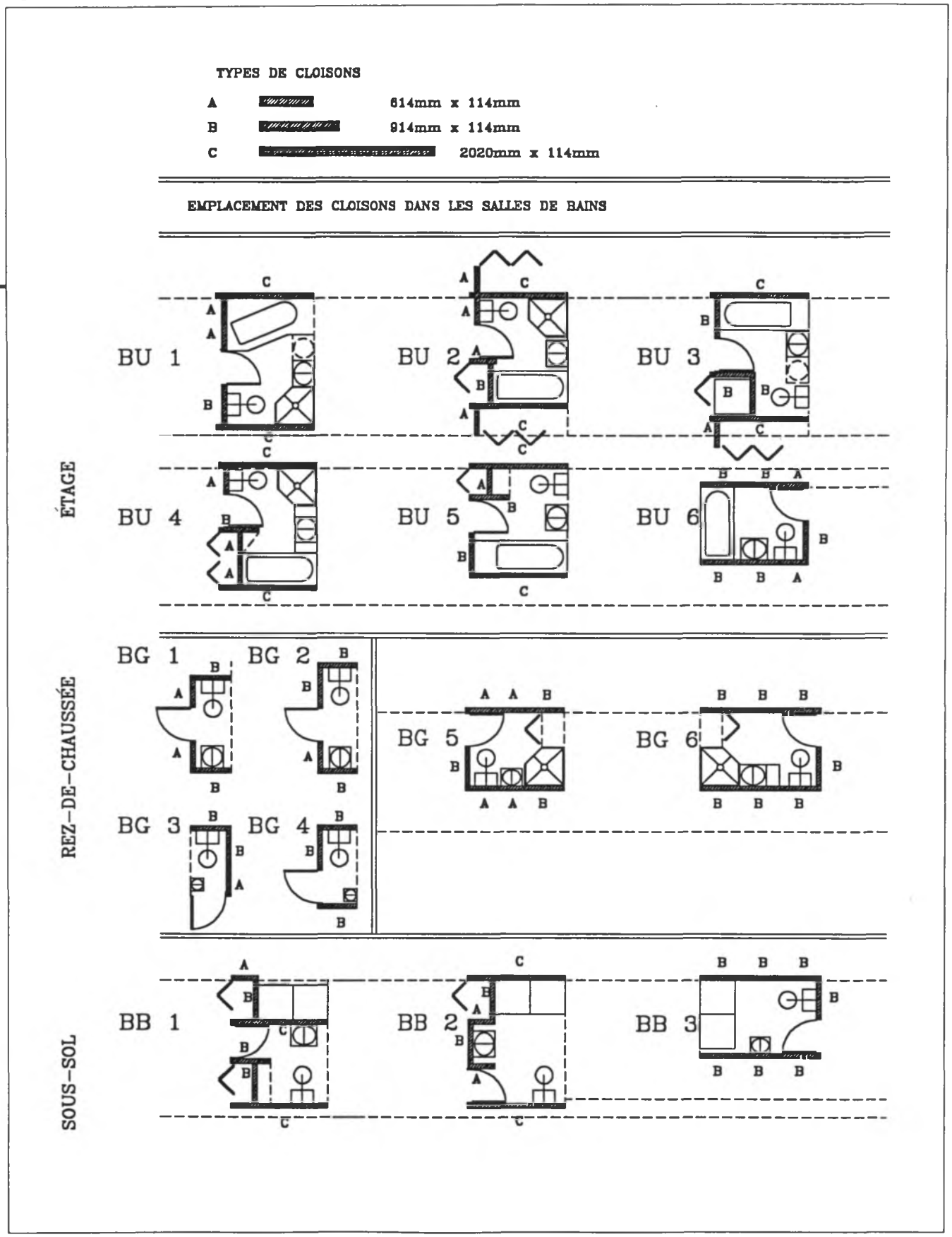
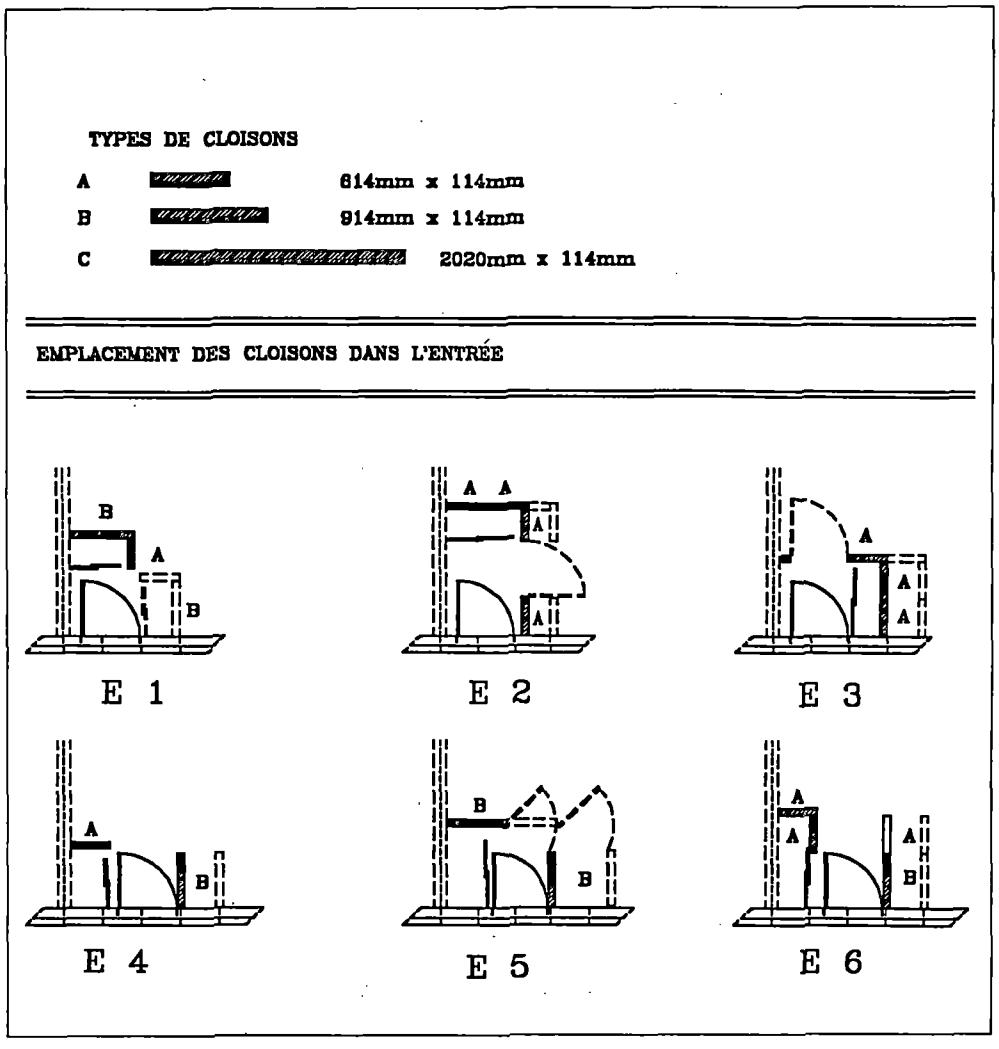
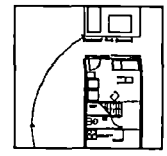


Figure 4.8 : Configurations facultatives des entrées au moyen de cloisons standard





Schémas intérieurs facultatifs

Après que l'escalier, les salles de bains et les entrées ont été normalisés, il existe toutes sortes de possibilités de disposition intérieure de l'habitation si ces éléments sont traités comme des modules. On peut voir à la figure 4.9 certaines options qui peuvent être réalisées en déplaçant et substituant les modules de salles de bains et d'entrées. Des exemples de la manière dont ces diagrammes se traduisent en plans d'étage se trouvent aux figures 4.10, 4.11 et 4.12, pour le rez-de-chaussée, le sous-sol et l'étage respectivement.

Il importe de noter que les configurations d'escaliers, de salles de bains et d'entrées ne sont pas toutes applicables à chacun des plans schématiques. Comme on le dit plus haut, l'orientation, le genre et l'emplacement de l'escalier influent sur l'applicabilité des options aux autres modules. La compatibilité des modules d'escalier, des salles de bains et des entrées pour ce qui touche la disposition générale est illustrée à la figure 4.13. Le plus souvent, c'est au rez-de-chaussée qu'on aura le plus de marge de manoeuvre. Comme les occupants sont assez satisfaits des pièces de l'étage, aucune modification n'a été apportée à la disposition générale. Abstraction faite de la salle de bains, tout ce qu'on peut changer à l'étage est la configuration des deux chambres, en intervertissant l'emplacement des penderies.

Figure 4.9 : Plans schématiques

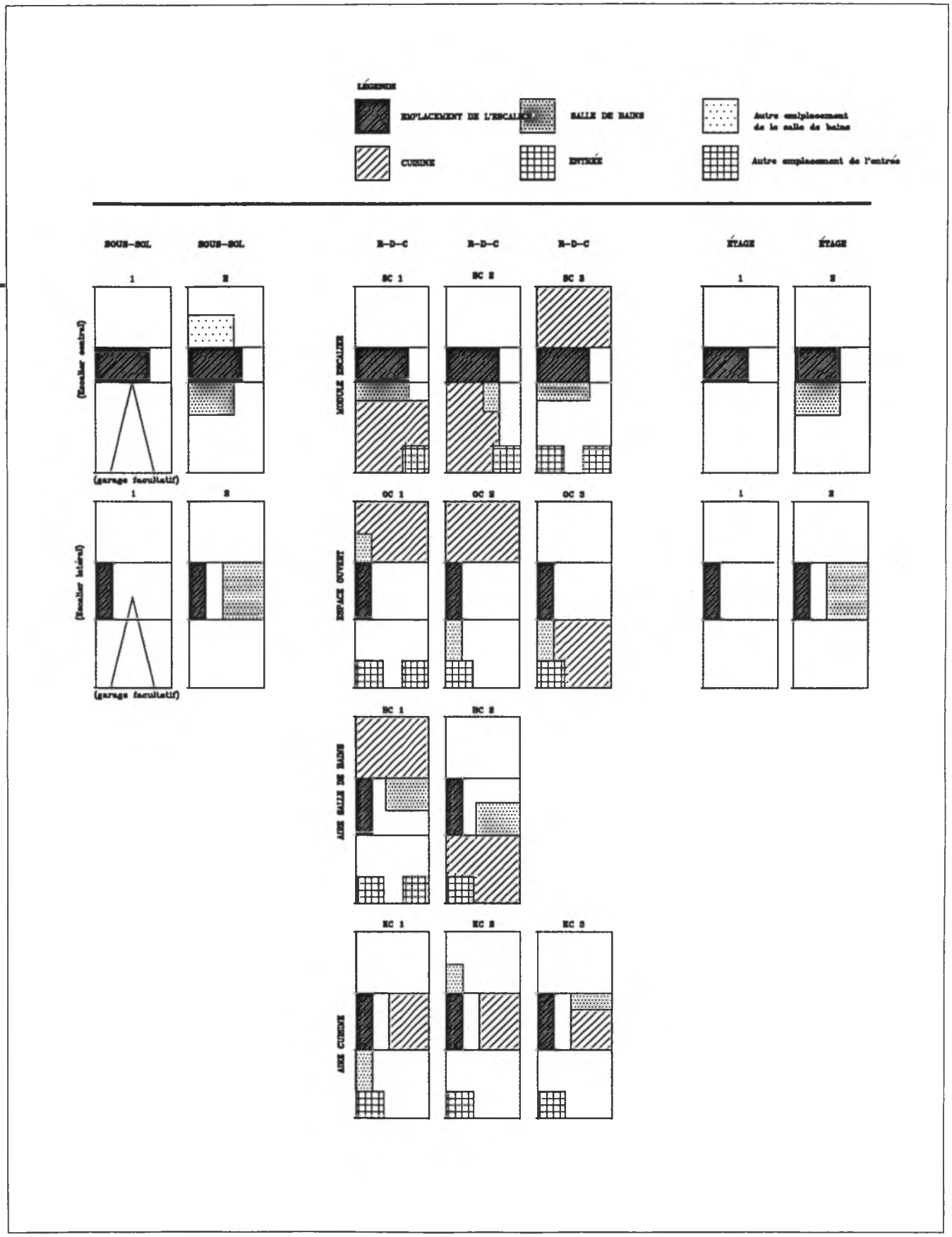


Figure 4.10 : Emplacement des cloisons au rez-de-chaussée

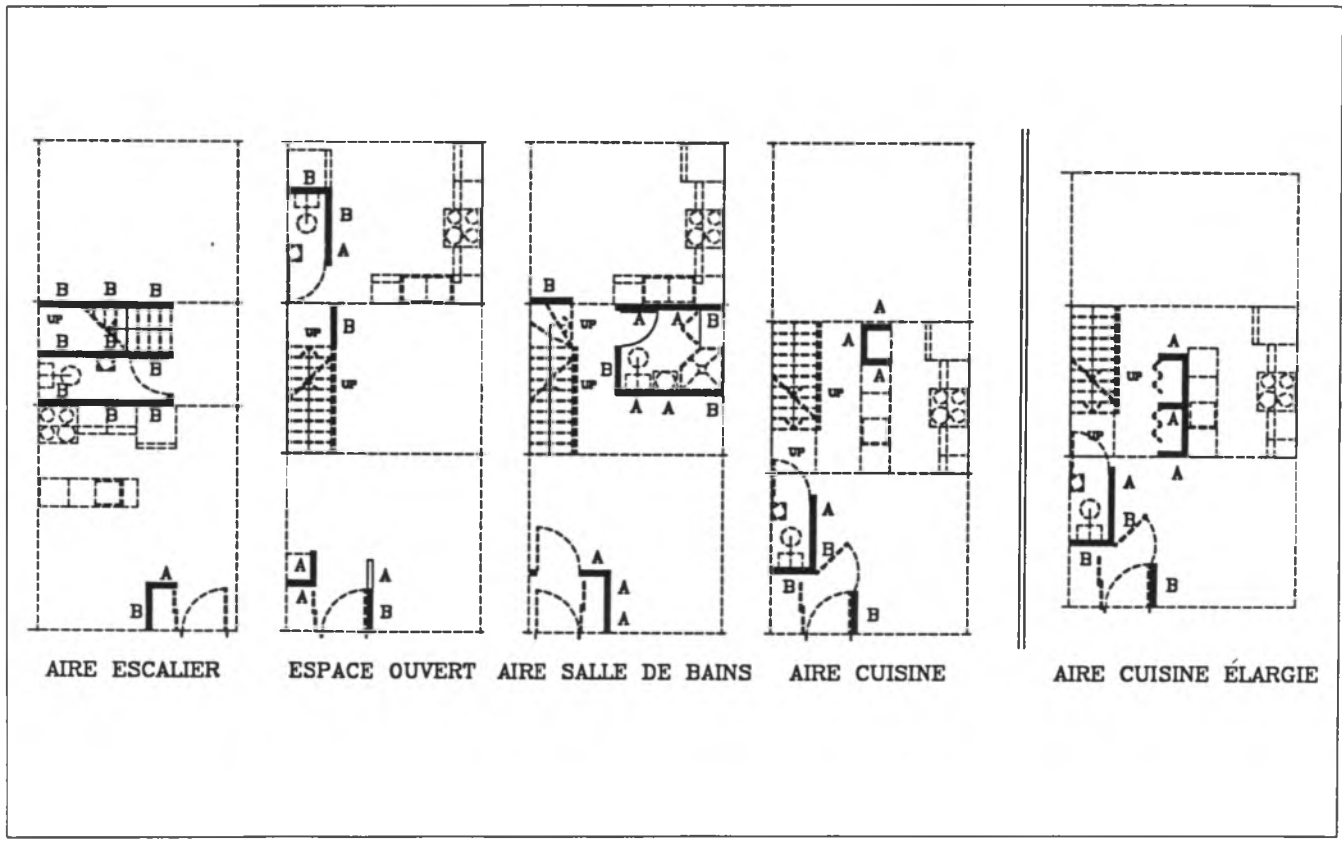


Figure 4.11 : Emplacement des cloisons au sous-sol

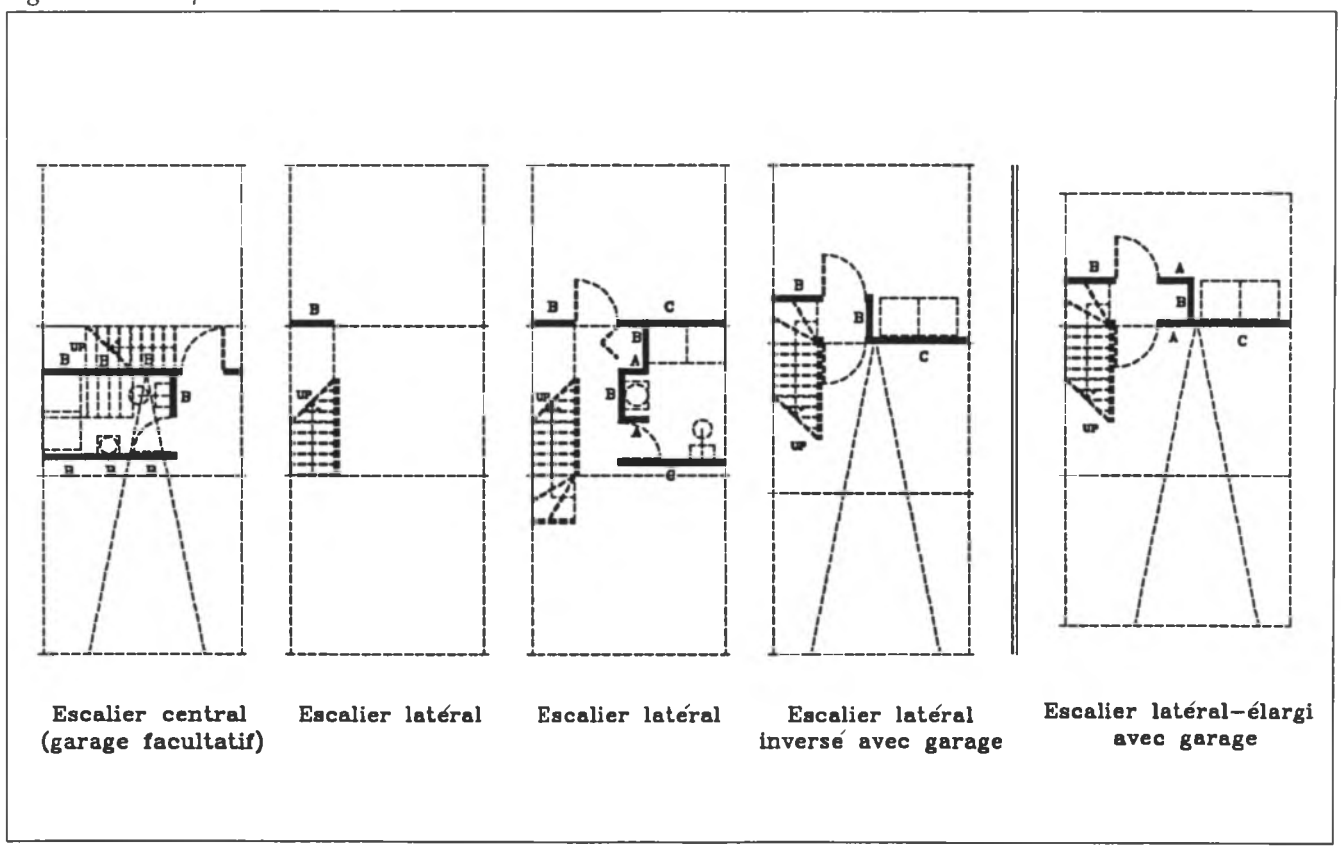


Figure 4.12 : Emplacement des cloisons à l'étage

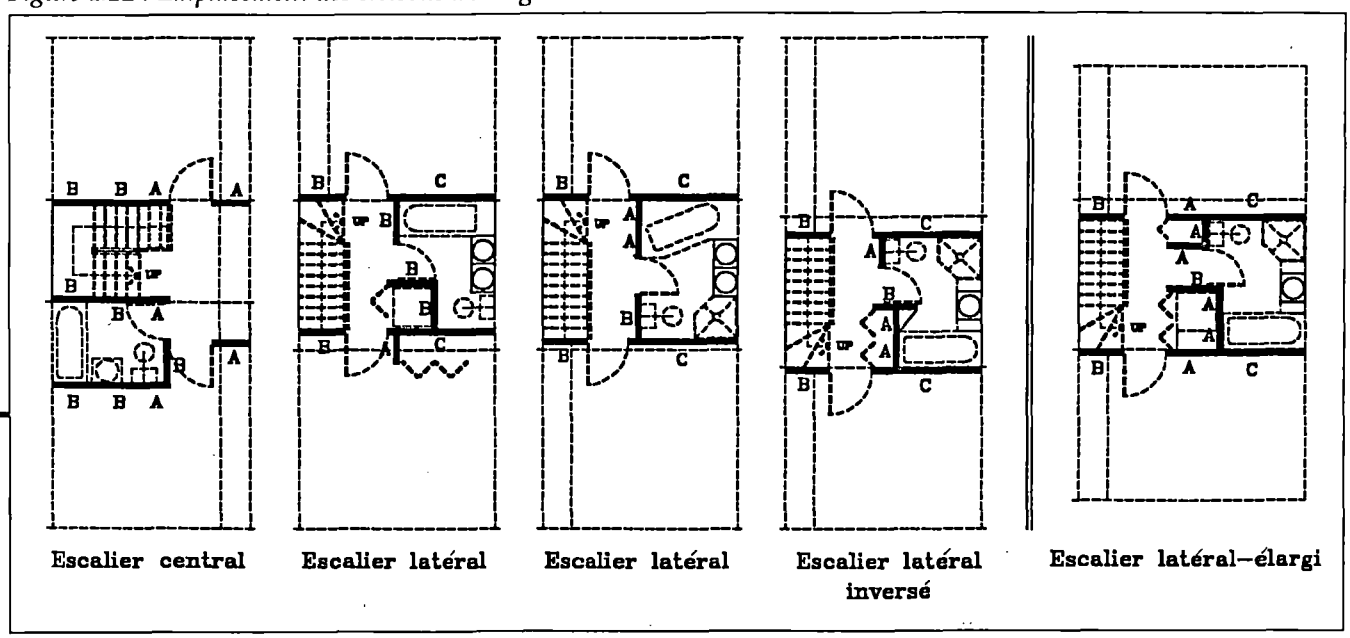


Figure 4.13 : Applicabilité des configurations d'entrée, de salle de bain et d'escalier aux plans facultatifs

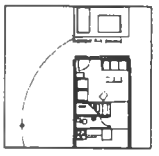
	SOUS-SOL				REZ-DE-CHAUSSÉ											ÉTAGE			
	Escaler central		Escalier latéral			Escaler central		Escalier latéral								Escaler central		Escalier latéral	
	1	2	1	2	SC1	SC2	SC3	OC1	OC2	OC3	BC1	BC2	KC1	KC2	KC3	1	2	1	2
Entrée																			
Type E-1					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
Type E-2					•	•	•	•	—	—	•	•	—	•	•				
Type E-3					•	•	•	•	—	—	•	•	—	•	•				
Type E-4					•	•	•	•	—	—	•	•	—	•	•				
Type E-5					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
Type E-6					•	•	•	•	—	—	•	•	—	•	•				
Salle de bain																			
Type BB-1	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	—	—	S/O	S/O	S/O	S/O	—	S/O	—
Type BB-2	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	• [1]	• [1]	S/O	S/O	S/O	S/O	•	S/O	•
Type BB-3	S/O	•	S/O	—	•	—	•	S/O	S/O	S/O	• [2]	• [2]	S/O	S/O	S/O	S/O	•	S/O	• [2]
Type BG-1	• [3]	•	• [3]	•	—	•	NR	NR	NR	NR	S/O	S/O	NR	NR	NR	• [3]	—	• [3]	—
Type BG-2	• [3]	•	• [3]	•	—	•	NR	NR	NR	NR	S/O	S/O	NR	NR	NR	• [3]	—	• [3]	—
Type BG-3	• [3]	•	• [3]	•	•	—	•	•	•	•	S/O	S/O	•	•	•	• [3]	—	• [3]	—
Type BG-4	• [3]	•	• [3]	•	—	•	NR	NR	NR	NR	S/O	S/O	NR	NR	NR	• [3]	•	• [3]	•
Type BG-5	S/O	•	S/O	•	NR	NR	NR	S/O	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	S/O	•	S/O	•
Type BG-6	S/O	•	S/O	—	•	•	•	S/O	S/O	S/O	• [2]	• [2]	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	• [2]
Type BU-1	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	—	—	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	•
Type BU-2	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	—	—	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	•
Type BU-3	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	—	—	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	•
Type BU-4	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	—	—	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	•
Type BU-5	S/O	•	S/O	•	—	—	—	S/O	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	S/O	NR	S/O	•
Type BU-6	S/O	•	S/O	•	•	—	•	S/O	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	S/O	•	S/O	•
Escalier	Du sous-sol				Arrivée au R-D-C											Arrivée à l'étage			
Type-1	—	—	S/O	S/O	•	•	•	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O
Type-2	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	•	—	—	•	•	—	•	•	S/O	S/O	•	•
Type-3	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	S/O	S/O	—	—
Type-4	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	S/O	S/O	—	—
Type-5	S/O	S/O	•	•	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	S/O	S/O	•	•

Nota:

[1] Peut être utilisé, mais ne constitue pas une utilisation efficace de l'espace
[2] Peut être utilisé s'il est tourné; porte et cloison peuvent être interverties
[3] Peut comporter petite salle de bains dans la configuration ouverte possible

Légende:	
•	Possible
—	Impossible
NR -	Non recommandé
S/O	Sans objet

En outre, les différents aspects que peuvent prendre l'intérieur ne se limitent pas aux options illustrées ici. Il y a encore de nombreuses possibilités de modification, particulièrement s'il s'agit de changements secondaires (souvent sur place).

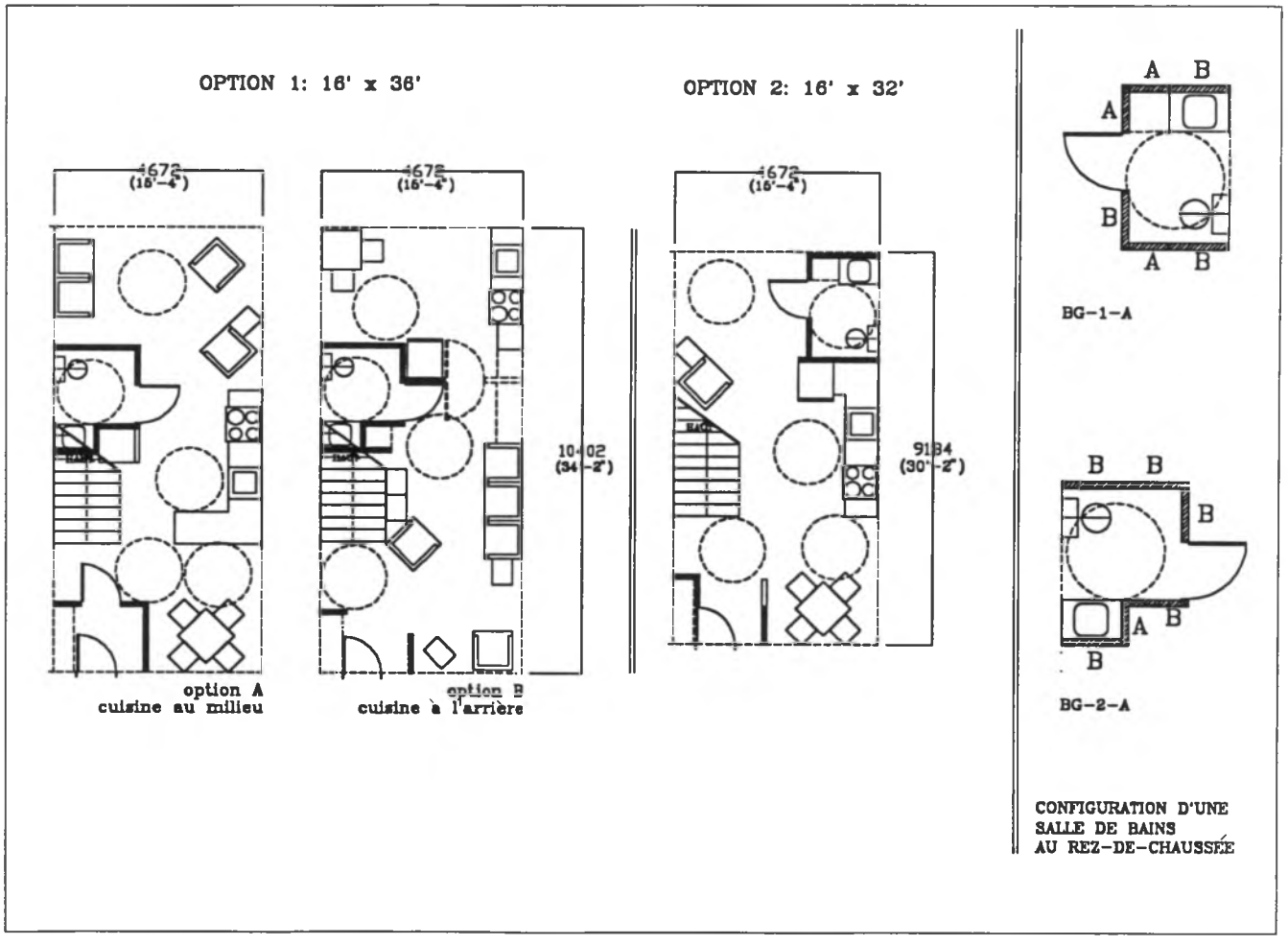


4.4.4 Logements adaptés

Nous nous sommes penchés sur la possibilité d'offrir un logement accessible aux personnes handicapées en s'astreignant à la configuration de la Maison évolutive. Nous avons examiné deux solutions de logements d'un étage dotés d'un monte-charge mécanique (figures 4.14, 4.15). Dans les deux cas, nous nous sommes servis de cloisons intérieures standard pour les configurations de la salle de bains et de l'entrée. Le premier schéma comporte une surface de 108 mètres carrés (4,9 x 11 m), offrant deux options pour le rez-de-chaussée : la cuisine au centre ou à l'arrière. Le cabinet de toilette se trouve au rez-de-chaussée dans les deux cas, quoiqu'il puisse être supprimé si l'on souhaite avoir un espace habitable plus grand. À l'étage se trouve une chambre donnant sur l'avant de la maison et une seconde chambre ou un cabinet de travail à l'arrière.

Le deuxième plan plus petit s'étend sur 95 mètres carrés de surface habitable (4,9 x 9,7 m). L'aire ouverte au rez-de-chaussée comporte la cuisine au centre, et l'étage comprend une chambre et un petit séjour. On peut, dans les deux cas, inverser la salle de bains à l'étage afin de pouvoir y entrer par des pièces différentes.

Figure 4.14 : Maisons adaptées, rez-de-chaussée

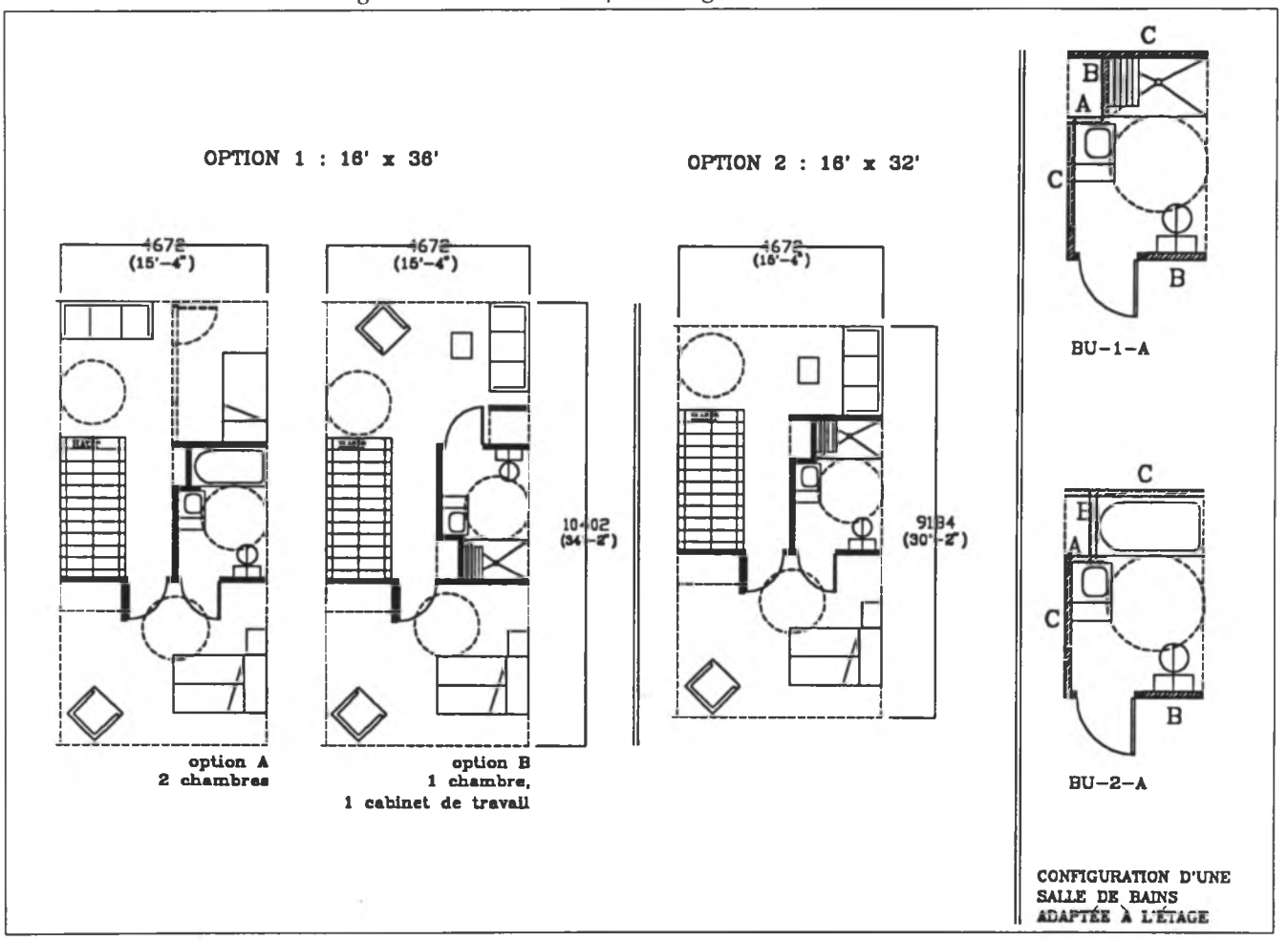


À l'instar des maisons de 4,3 m, il ne s'agit que de quelques possibilités à offrir avec des modules standard pour les entrées et les salles de bains. Une étude plus poussée visant à adapter et à transformer les plans usuels permettrait un choix de logements adaptés.

4.4.5 Murs extérieurs

On a voulu en concevant des panneaux muraux extérieurs standard permettre l'exécution de toute une gamme de plans schématiques intérieurs tout en tenant compte des recommandations des fabricants pour réaliser des économies. On nous a notamment conseillé d'employer des panneaux plus grands, et de pratiquer autant que possible des ouvertures simples et de dimensions standard entre les éléments de charpente du mur. Tous les panneaux ont été configurés d'après ces recommandations (figure 4.16). Seulement deux options ont été retenues concernant

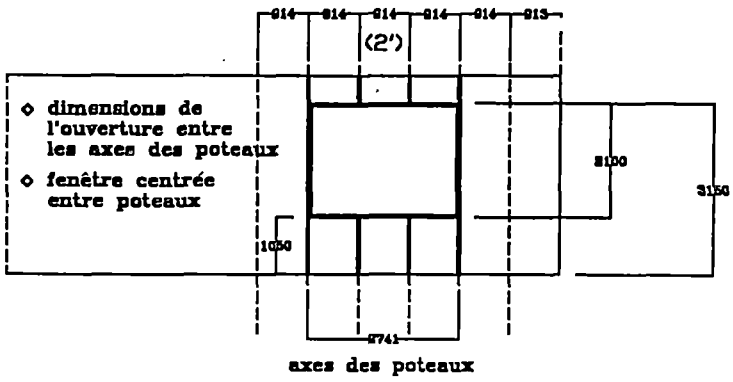
Figure 4.15 : Maisons adaptées, étage

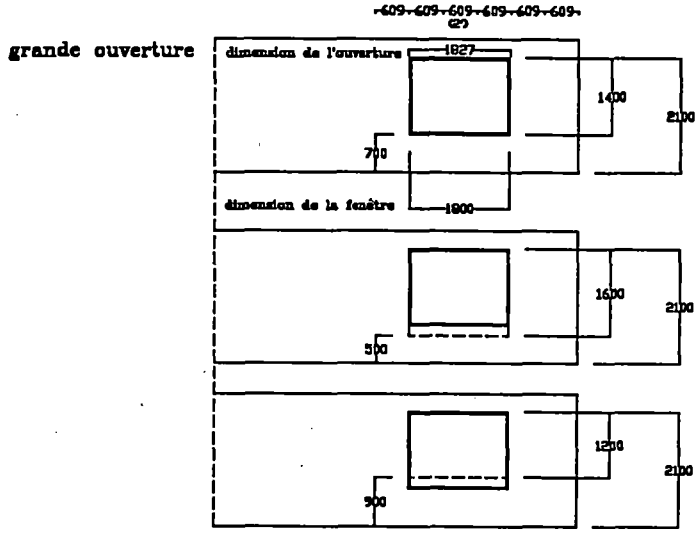


la largeur des ouvertures pour un espacement de 600 mm entre les poteaux, et rien n'a été changé à la hauteur standard prévue pour un linteau de 38 x 235 mm. Quant à la profondeur, elle peut être modifiée plus facilement, car elle n'a aucune incidence sur l'efficacité du processus de fabrication.

En tout, neuf configurations de panneaux ont été proposées : six pour les élévations des façades avant et arrière (figure 4.17) et trois pour les murs latéraux des maisons d'extrémité (figure 4.18). Les versions en rangée de la maison peuvent comprendre

Figure 4.16 : Normalisation des ouvertures dans les panneaux





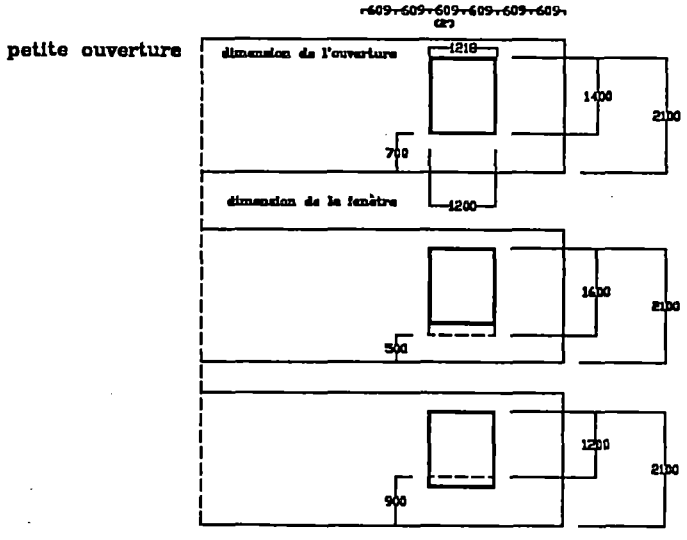


Figure 4.17 : Panneaux muraux avant et arrière

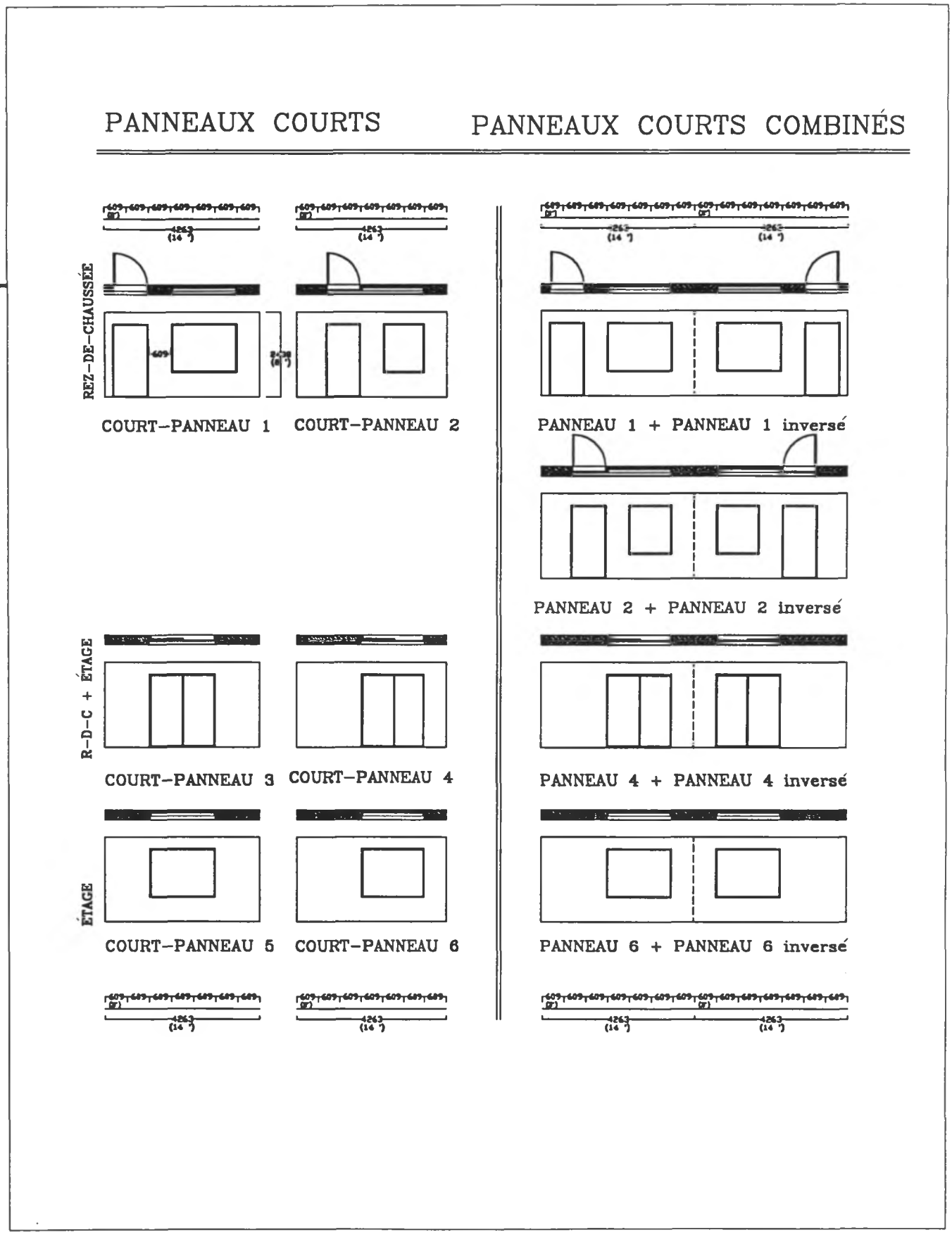
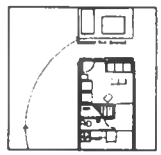
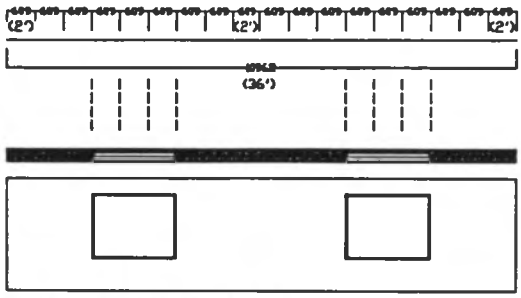


Figure 4.18 : Panneaux muraux d'extrémité

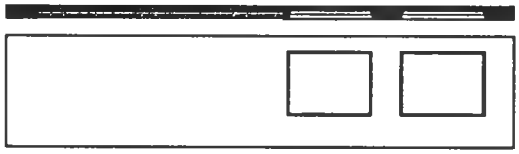


PANNEAUX LONGS

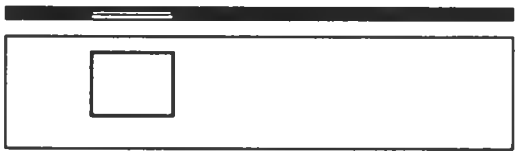


LONG–PANNEAU 1

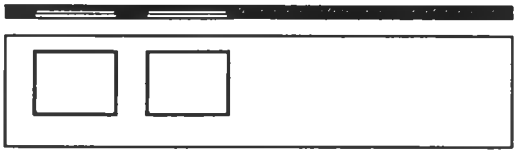
LONG–PANNEAU 2



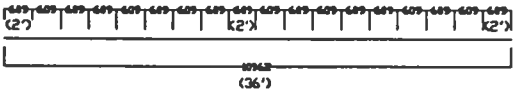
LONG–PANNEAU 3



LONG–PANNEAU 2 inversé



LONG–PANNEAU 3 inversé



deux à quatre panneaux, tandis que les versions jumelées et les maisons d'extrémité en nécessiteraient de trois à six. La compatibilité des panneaux et des plans d'étage est illustrée à la figure 4.19.

Les panneaux destinés à la version de 4,9 mètres auraient la même configuration générale, bien que les 600 mm supplémentaires s'ajouteraient soit entre la fenêtre et la porte (pour l'aménagement de certains vestibules), au bout du panneau, soit en ajoutant un pied (30 cm) à une extrémité ou l'autre (pour les panneaux comportant une ouverture centrale).

La plus grande difficulté que présente la normalisation des panneaux muraux extérieurs est de s'en tenir à un nombre minimal de panneaux tout en offrant un intérieur agréable et fonctionnel dans chacun des plans schématiques. Il y a deux moyens fondamentaux de réduire le nombre de panneaux standard. La première consiste à les dessiner afin qu'ils puissent être intervertis en fonction du plan schématique de l'avant et de l'arrière, ou des côtés gauche ou droit du même logement ou de logements différents. La deuxième méthode est plus rigide, car il faut rendre les panneaux réversibles. Ainsi, on peut installer les panneaux à l'avant ou à l'arrière, d'un côté ou de l'autre, sans en changer l'orientation. Il faudrait à cette fin que le profil du panneau soit symétrique, ce qui n'est le cas que des panneaux de charpente multiplis. Il est impossible d'inverser les panneaux de charpente sans revêtement, car ils comportent des rainures ou un vide d'air pour le

Figure 4.19 : Applicabilité des panneaux aux plans facultatifs de l'étage

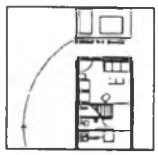
	REZ-DE-CHAUSSÉE																						ÉTAGE							
	Escalier central						Escalier latéral																Escalier central				Escalier latéral			
	SC1		SC2		SC3		OC1		OC2		OC3		BC1		BC2		KC1		KC2		KC3		Option 1		Option 2		Option 1		Option 2	
	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B
Short Panels																														
Type S-1	—	•	—	•	•	• [3]	•	—	•	—	•	•	•	—	•	•	•	•	•	•	•	•	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]
Type S-1 inversé	•	•	•	•	•	—	•	—	—	•	—	•	•	•	—	•	•	•	—	•	—	•	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]
Type S-2	—	• [2]	—	• [2]	•	• [3]	•	• [3]	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]
Type S-2 inversé	•	• [2]	•	• [2]	•	•	•	•	—	•	—	•	•	•	—	•	•	•	—	•	—	•	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]	• [1]
Type S-3	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Type S-4	S/O	•	S/O	•	S/O	• [3]	S/O	• [3]	S/O	• [3]	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	• [1]
Type S-4 inversé	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	• [3]	S/O	• [3]	S/O	•	S/O	• [3]	S/O	•	S/O	•	S/O	•	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Type S-5	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•
Type S-6	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•
Type S-6 inversé	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	•	•	•	•	•	•	•	•

	REZ-DE-CHAUSSÉE																						ÉTAGE							
	Escalier central						Escalier latéral																Escalier central				Escalier latéral			
	SC1		SC2		SC3		OC1		OC2		OC3		BC1		BC2		KC1		KC2		KC3		Option 1		Option 2		Option 1		Option 2	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Panneaux longs																														
Type L-1	• [4]	•	• [4]	•	•	•	—	—	—	—	—	—	•	—	•	—	•	•	—	•	—	•	—	—	—	—	—	—	—	—
Type L-2	• [4]	•	• [4]	•	•	•	•	—	—	—	—	•	•	—	•	•	—	•	•	•	•	•	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]
Type L-2 inversé	•	•	•	•	• [4]	•	—	•	• [4]	•	•	—	• [4]	•	•	—	•	•	—	•	•	•	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]	• [6]
Type L-3	—	•	—	•	—	•	—	—	—	—	—	•	—	—	—	•	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Type L-3 inversé	—	• [3]	—	• [3]	—	• [3]	—	• [5]	—	•	—	—	—	• [5]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota:
[1] Selon la disposition des chambres et l'emplacement des penderies
[2] Selon la disposition des chambres
[3] Possible SEULEMENT avec fenêtre ou porte étroite
[4] Hauteur de la fenêtre correspondant à la hauteur du plan de travail
[5] Selon l'emplacement de l'entrée
[6] Selon la destination de la pièce (chambre à coucher ou cabinet de travail)

Légende:
• Possible
— Impossible
NR - Non recommandé
S/O- Sans objet

câblage électrique, de sorte qu'ils présentent nettement une face intérieure et une face extérieure.



Les figures 4.20 et 4.21 illustrent la réversibilité et la rotation des panneaux courts (avant et arrière) et des panneaux longs (bout), respectivement. Dans les deux cas, la réversibilité et la rotation du panneau sont plus faciles si les fenêtres sont centrées. On donne aux figures 4.22, 4.23 et 4.24 certains plans pouvant être exécutés au moyen de divers modules pour l'entrée, la salle de bains et l'escalier. Le nombre de cloisons et panneaux nécessaires pour un plan en particulier se trouve à la figure 4.25.

Figure 4.20 : Rotation et possibilité d'inverser les panneaux muraux courts

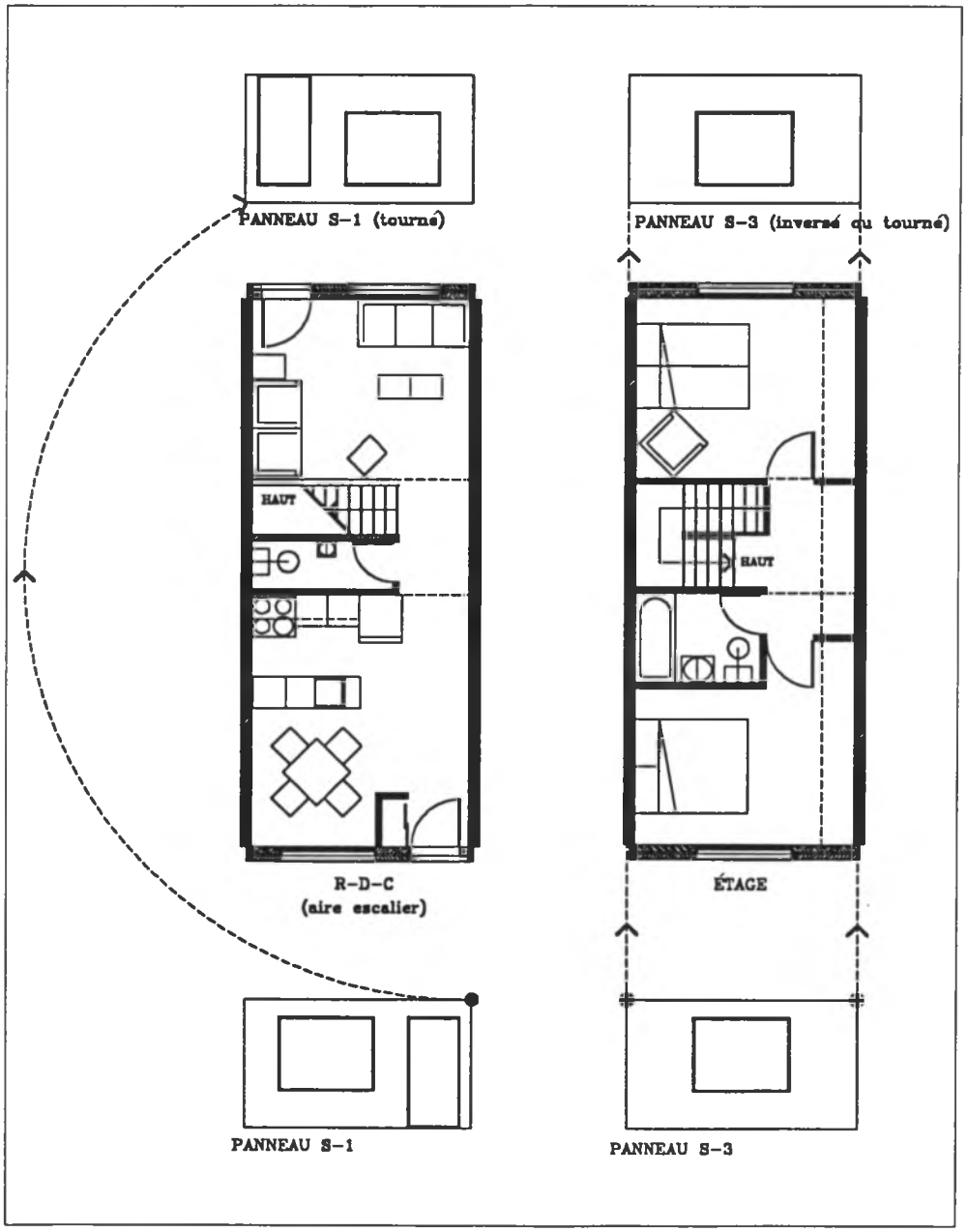


Figure 4.21 : Rotation et possibilité d'inverser les panneaux muraux longs

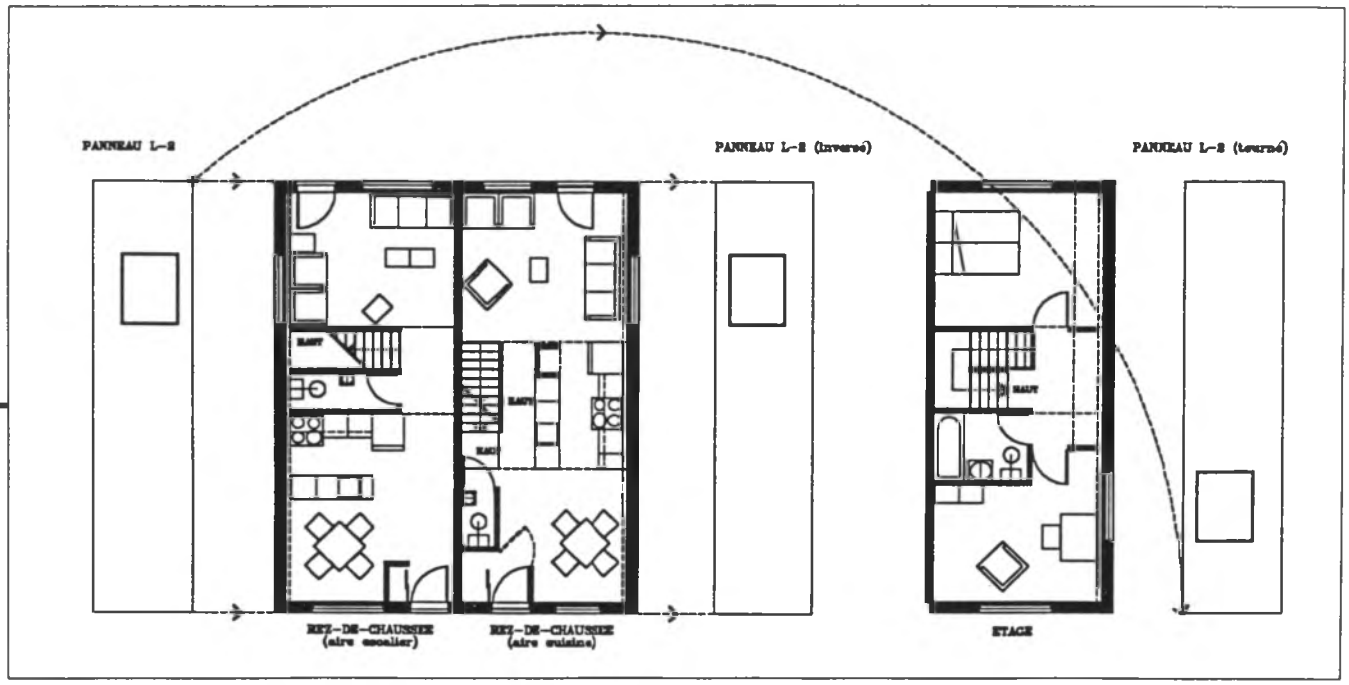


Figure 4.22 : Examples d'aménagements du rez-de-chaussée au moyen de composants standard

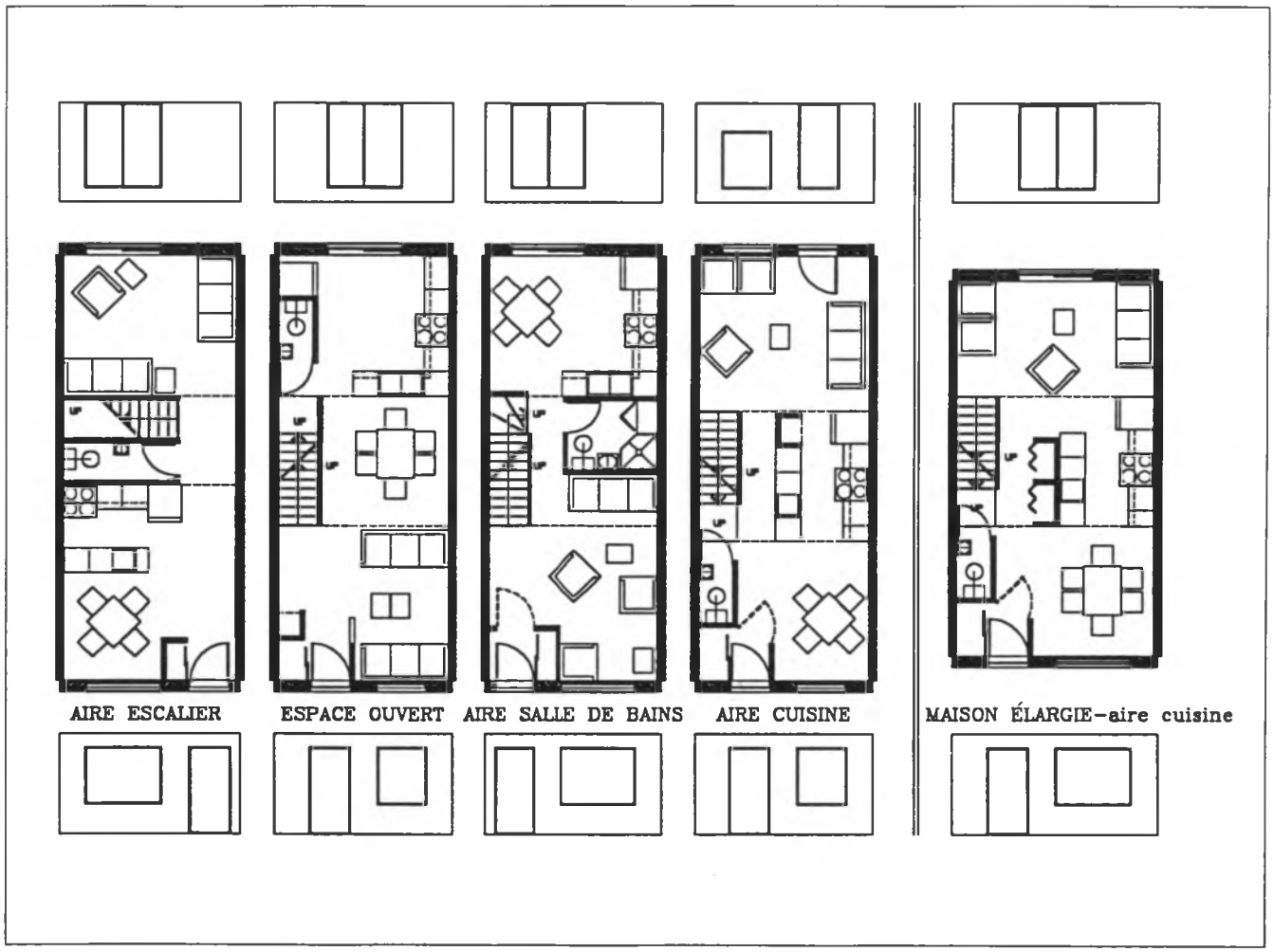


Figure 4.23 : Exemples d'aménagements du sous-sol au moyen de composants standard

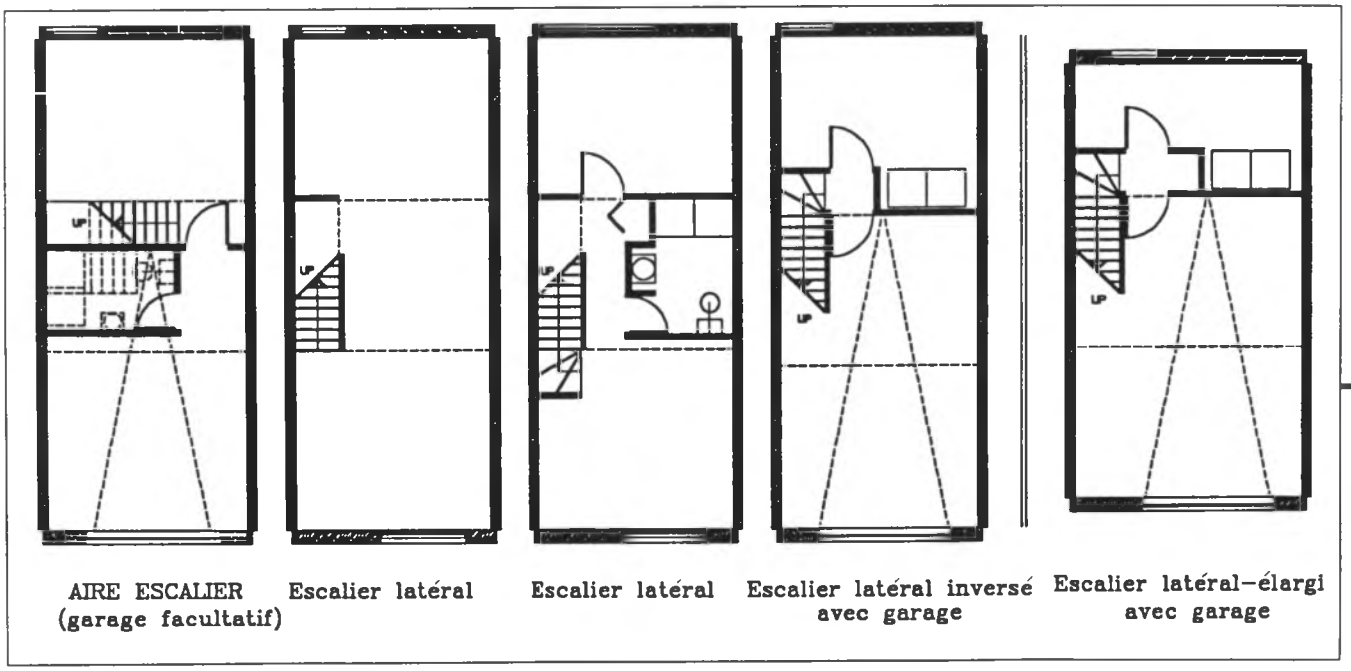


Figure 4.24 : Exemples d'aménagements d'étage au moyen de composants standard

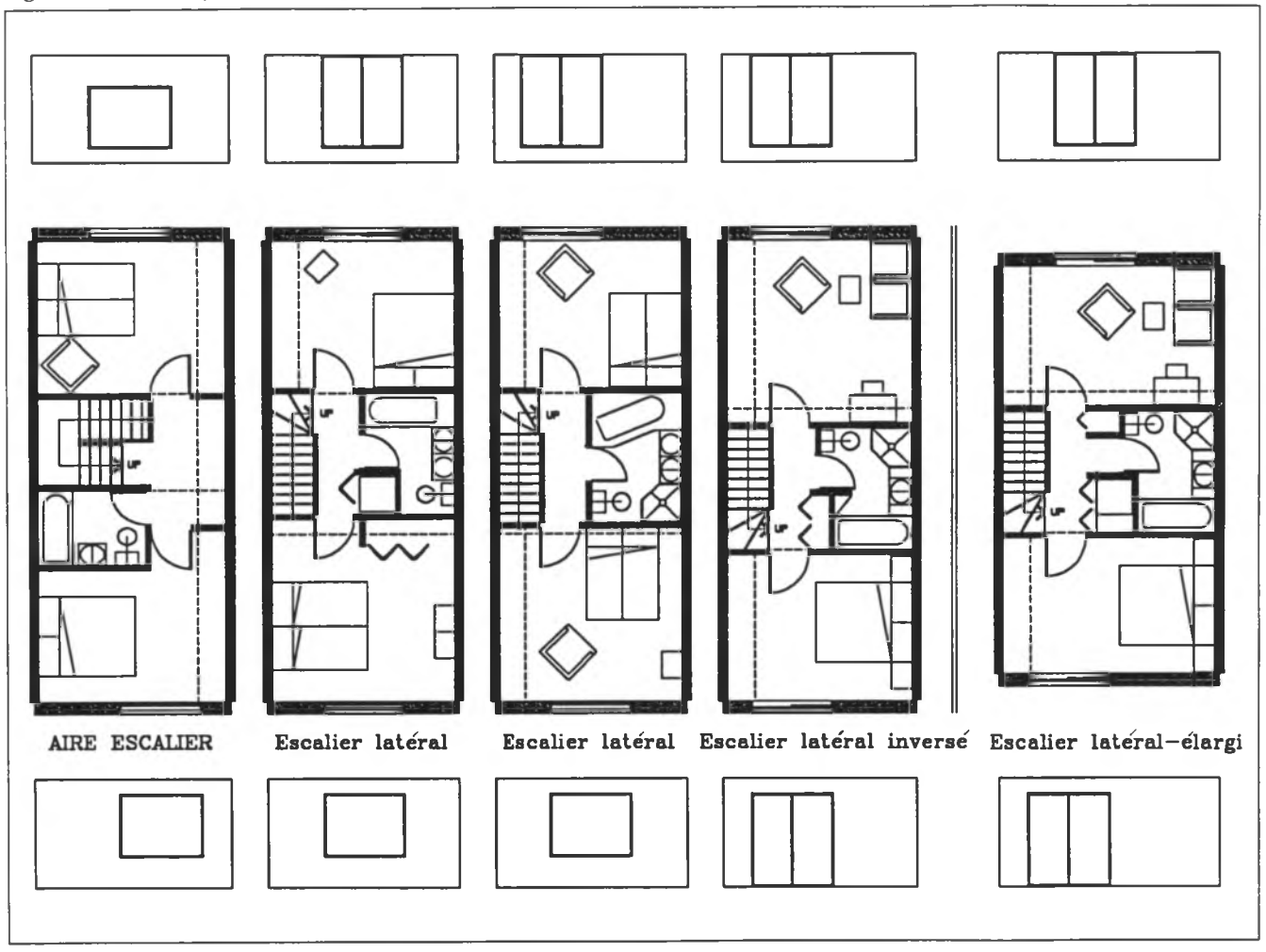
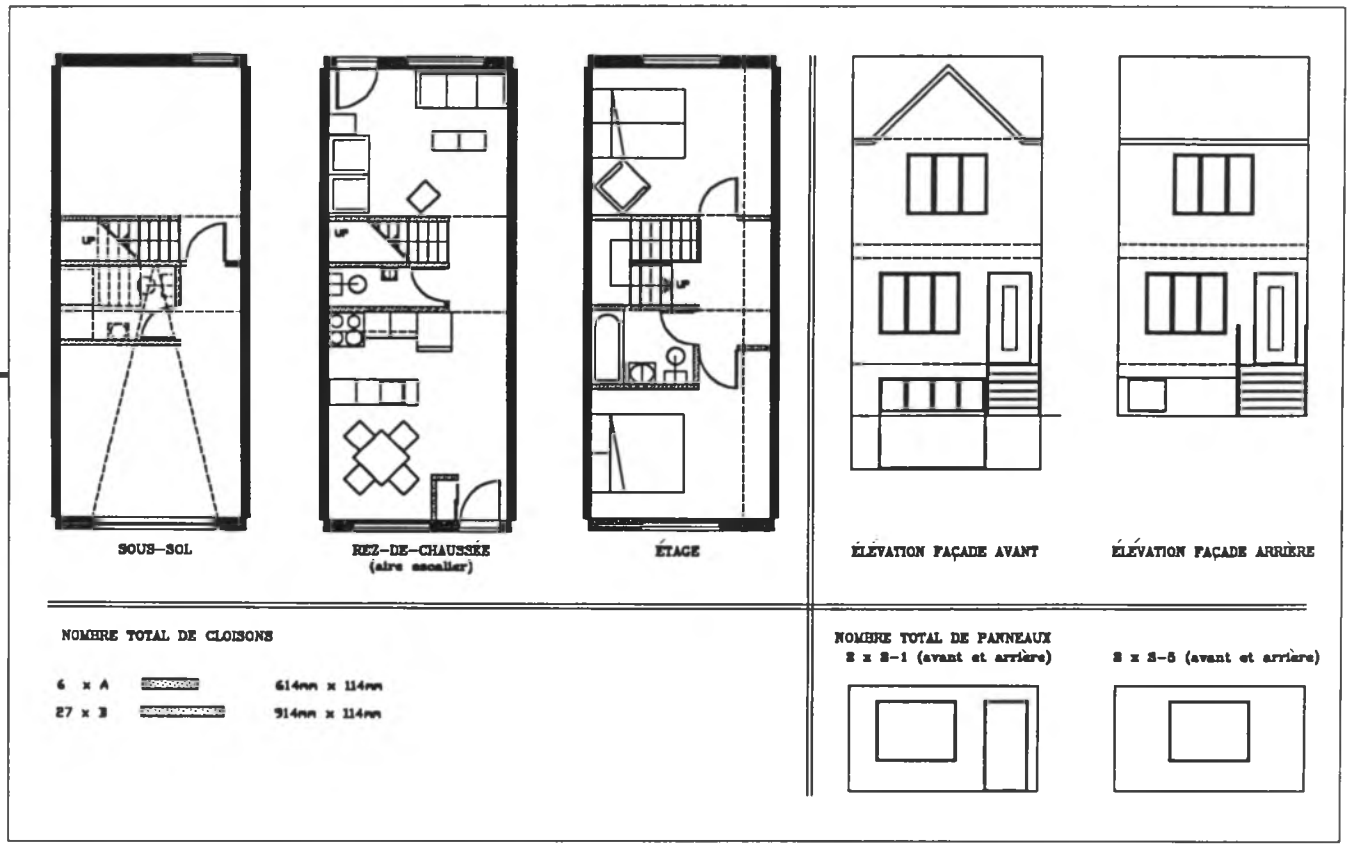


Figure 4.25 : Composants nécessaires pour exemples de plans et d'élévations



La plupart des fabricants nous ont conseillé l'usage de panneaux latéraux pleine dimension pour réduire au minimum le travail à exécuter sur place. Cependant, là où les frais de transport et de levage sont critiques, il pourrait être souhaitable d'utiliser des panneaux plus petits qui peuvent être soulevés par une équipe de deux ou trois hommes. La répartition de l'espace en trois segments comme on l'a fait pour le premier volet de l'analyse pourrait servir de repère pour le dimensionnement des panneaux plus petits. L'usage de panneaux taillés en sections de 600 mm (60 cm) serait susceptible de réduire le découpage et le gaspillage de matériaux. Les coûts estimatifs figurant dans la prochaine section portent sur des panneaux de bout pleine dimension, mais des panneaux plus petits se prêtent mieux à la normalisation et, ce qui est encore plus important, procurent une plus grande marge de manoeuvre, comme on l'a démontré pour la normalisation des cloisons intérieures. Les composants plus petits offrent au surplus la possibilité de vendre des trousses de pièces détachées que le propriétaire peut monter lui-même. Non seulement le montage est-il simplifié du fait que les composants sont moins lourds et volumineux, encore est-on rassuré à la pensée de ne pas devoir utiliser des grues ou appareils de levage spéciaux.

5. ANALYSE DES COÛTS

$1,842	$1,423	$1,84
$2,017	$1,489	$2,01
$2,310	$1,349	$2,31
$4,434	$3,462	$4,43
$2,271	$1,330	$2,27
$2,646	$1,973	$2,64
$2,271	$1,330	$2,27
$2,271	$1,330	$2,27

Nous avons fait une estimation comparée des coûts des panneaux préfabriqués et des méthodes de construction traditionnelles pour déterminer s'il était possible de réaliser d'importantes économies par la préfabrication au moyen de versions adaptées de la Maison évolutive. Nous avons également examiné la possibilité d'intégrer d'autres composants préfabriqués chez des fabricants de panneaux, de même que les frais de transport.

● 5.1 MÉTHODE

L'un des plans mis au point dans la section précédente a été choisi pour les estimations de coûts. Il n'était pas nécessaire d'estimer les coûts de chacun des plans, car ils ne sont pas suffisamment dissemblables pour influencer la comparaison. La maison sélectionnée était le modèle à aire ouverte avec cuisine à l'arrière (Annexe D). Les diverses versions de ce modèle sont représentées dans quelque 80 % des habitations vendues dans la région de Montréal, et jouissent d'une popularité constante auprès des acheteurs. Il s'agit d'une maison jumelée de 4,3 x 11 mètres, avec sous-sol non fini. Les murs extérieurs sont de brique (deux niveaux à l'avant, un niveau sur les côtés et à l'arrière), l'étage est fini et compte deux chambres et une seconde salle de bains, de même qu'un balcon.

Le plan du modèle a été examiné par un tiers afin d'obtenir une estimation de coûts élémentaires fondée sur des méthodes de construction traditionnelles. Par la suite, cette estimation a été confrontée aux chiffres obtenus des constructeurs de sept ensembles résidentiels évolutifs à Montréal afin d'expliquer tout écart. Les modifications nécessaires ont été apportées et l'estimation a servi de fondement à la comparaison avec les maisons préfabriquées.

Le même plan a été distribué à chacun des cinq fabricants de panneaux dans le but d'obtenir des estimations de coûts, ainsi qu'un autre fabricant spécialiste des planchers préfabriqués. Les fabricants ont également été appelés à fournir le prix des articles suivants :

Matériaux (panneaux muraux)
Main-d'oeuvre (estimative sur place)
Électricité (plus ou moins d'installations électriques, de manière approximative)
Exigences du transport et frais connexes

Les estimations demandées portaient sur 1, 10 et 30 habitations. D'autres éléments préfabriqués ont également été étudiés : toitures, parquets, sous-sols, cloisons et escaliers. Nous nous sommes aussi renseignés sur le coût des panneaux «à valeur ajoutée», c'est-à-dire dont le revêtement, le parement, le placoplâtre et le câblage électrique sont installés ou fournis par le fabricant.

● 5.2 CONSTRUCTION TRADITIONNELLE

Les estimations reçues concernant certains panneaux préfabriqués comprenaient des matériaux autres que les composants du panneau. D'autres estimations ne portaient que sur une partie du mur, de sorte qu'une main-d'oeuvre supplémentaire est nécessaire sur les lieux pour parachever l'enveloppe du bâtiment. Alors, pour constituer un cadre propre à la comparaison des panneaux préfabriqués, l'estimation des coûts d'une construction traditionnelle a été ventilée par élément plutôt que par métier, puis chaque élément a été subdivisé en composantes de main-d'oeuvre et de matériaux. Les éléments de coûts ont été entrés dans les cellules d'un tableau informatique, car ainsi les valeurs individuelles relatives à la construction traditionnelle peuvent facilement être substituées aux estimations de composants préfabriqués. En outre, cette formule permettait d'ajuster le prix des matériaux ou les tarifs des salaires qui varient selon l'emplacement des chantiers. La composante main-d'oeuvre est liée aux économies éventuelles qui pourraient être réalisées si l'acheteur était en mesure d'exécuter certains travaux.

Les coûts estimatifs ont été comparés à ceux obtenus de sept constructeurs qui ont réalisé des ensembles évolutifs à Montréal entre février 1991 et janvier 1992. Le coût de construction de la maison témoin selon les méthodes traditionnelles a été estimé à 57 720 $, par opposition à une moyenne de 45 020 $ pour les sept constructeurs. Cet écart s'explique par trois principaux facteurs : les réductions de prix consenties aux constructeurs en raison du volume d'achat, la hausse du prix des matériaux sur une période de 12 mois et le choix d'une maison jumelée aux fins de démonstration (la plupart des constructeurs ayant construit des maisons en rangée par groupes de 4 à 8). La différence est totalisée comme suit :

Estimation	57 720 $
Réduction de 10 %	-5 772 $
	51 948 $
5 % du prix des matériaux (5 % x 30 796 $)	-1 540 $
	50 408 $
Coût supplémentaire d'une maison d'extrémité	-3 000 $
	47 408 $

Dans le cas d'une construction traditionnelle, on s'entend généralement pour dire qu'il est possible d'obtenir une réduction de 10 % sur les matériaux et la main-d'oeuvre pour seulement dix logements, bien que cette réduction n'augmente pas appréciablement avec l'accroissement du nombre des logements. Les constructeurs nous en ont fourni les preuves, car ils ont tous signalé avoir reçu une réduction de 10 %, même si le nombre des habitations en construction variait entre 12 et 78. Le prix unitaire pour 10 et 30 maisons a donc été estimé à 51 948 $.

Il faut préciser que ces coûts ne représentent pas l'option la moins coûteuse, mais ils sont un exemple du type de construction qu'on trouve le plus communément dans les ensembles bâtis. En substituant quelques matériaux, tel l'extérieur de brique et les fenêtres, on peut payer beaucoup moins cher. Par exemple, un parement d'aluminium coûte environ 2 250 $ de moins qu'un parement de brique. Par surcroît, on peut économiser à peu près 1 000 $ en choisissant des fenêtres coulissantes en vinyle plutôt que des fenêtres en bois revêtues d'aluminium. Bien que la substitution des matériaux ne soit pas négligeable au chapitre des économies, elle n'influe pas normalement sur le coût de la charpente du bâtiment, et n'a donc aucune importance dans la comparaison des coûts avec les systèmes de panneaux préfabriqués.

Estimation des coûts élémentaires
Construction traditionnelle

Code	Description	Unité	Quantité	Prix unitaire			Coût total		Total	(%)
				Matériau	M.-d'oeuvre	Total	Matériau	M.-d'oeuvre		
2	TRAVAUX PRÉPARATOIRES						$440	$1288	$1729	(3.0%)
2.1	Préparation						$87	$589	$676	(1.2%)
2.1.1	Excavation	cu.m.	108.50	$0.00	$4.66	$4.66	$0	$506	$506	
2.1.2	Drainage	m.	21.10	$4.13	$3.95	$8.08	$87	$83	$170	
2.2	Remblayage						$353	$699	$1053	(1.8%)
2.2.1	Sous dalle	cu.m.	12.90	$12.23	$17.50	$29.73	$158	$226	$384	
2.2.2	Drainage	cu.m.	1.90	$22.00	$6.12	$28.12	$42	$12	$53	
2.2.3	Général	cu.m.	26.40	$5.82	$17.50	$23.32	$154	$462	$616	
3	BÉTON						$2560	$2736	$6296	(10.9%)
3.1	Semelles						$578	$554	$1132	(2.0%)
3.1.1	Béton	cu.m.	6.03	$82.30	$31.45	$113.75	$496	$190	$686	
3.1.2	Coffrages	sq.m.	18.20	$4.50	$20.00	$24.50	$82	$364	$446	
3.2	MURS						$1839	$1424	$3263	(5.7%)
3.2.1	Béton	cu.m.	11.70	$82.30	$16.72	$99.02	$963	$196	$1159	
3.2.2	Barres d'armature	ton	0.07	$622.00	$500.00	$1122.00	$43	$35	$77	
3.2.2	Coffrages	sq.m.	70.20	$11.87	$17.00	$28.87	$833	$1193	$2027	
3.3	Dalle						$142	$759	$901	(1.6%)
3.3.1	Béton	sq.m.	43.00	$1.90	$11.60	$13.50	$82	$499	$581	
3.3.2	Treillis	sq.m.	43.00	$1.41	$1.95	$3.36	$61	$84	$144	
3.3.3	Finition	sq.m.	43.00	$0.00	$4.10	$4.10	$0	$176	$176	
3.4	Préfabrication								$1000	(1.7%)
3.4.1	Escalier avant	unit	1.00			$600.00	(90%)	(10%)	$600	
3.4.2	Escalier arrière	unit	1.00			$400.00	(90%)	(10%)	$400	
4	MAÇONNERIE						$2015	$3249	$5263	(9.1%)
4.1	Briquetage						$1310	$2425	$3735	(6.5%)
4.1.1	Mur avant	sq.m.	16.20	$24.44	$45.24	$69.68	$396	$733	$1129	
4.1.2	Mur latéral	sq.m.	28.40	$24.44	$45.24	$69.68	$694	$1285	$1979	
4.1.3	Mur arrière	sq.m.	9.00	$24.44	$45.24	$69.68	$220	$407	$627	
4.2	Accessoires						$17	$40	$56	(0.1%)
4.2.1	Solin	m.	20.00	$0.83	$1.98	$2.81	$17	$40	$56	
4.3	Maçonnerie de bloc (parpaing)						$688	$784	$1472	(2.6%)
4.3.1	Mur mitoyen	sq.m.	25.20	$27.30	$31.13	$58.43	$688	$784	$1472	
5	ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES						$169	$1025	$1194	(2.1%)
5.1	Main courante						$169	$1025	$1194	(2.1%)
5.1.1	Escalier avant	m.	4.30	$9.43	$57.26	$66.69	$41	$246	$287	
5.1.2	Escalier arrière	m.	7.70	$9.43	$57.26	$66.69	$73	$441	$514	
5.1.3	Balcon	m.	5.90	$9.43	$57.26	$66.69	$56	$338	$393	

Estimation des coûts élémentaires
Construction traditionnelle (suite)

Code	Description	Unité	Quantité	Prix unitaire Matériau	Prix unitaire M.-d'oeuvre	Prix unitaire Total	Coût total Matériau	Coût total M.-d'oeuvre	Total	(%)
6	BOIS ET PLASTIQUES						$7764	$4700	$12464	(21.6%)
6.1	charpente de bois						$5699	$3797	$9496	(16.5%)
6.1.1	Murs (2X6)						$1456	$808	$2264	(3.9%)
6.1.1.1	Mur latéral	m.	276.00	$2.10	$1.10	$3.20	$580	$304	$883	
6.1.1.2	Mur avant	m.	146.00	$2.10	$1.10	$3.20	$307	$161	$467	
6.1.1.3	Mur arrière	m.	110.00	$2.10	$1.10	$3.20	$231	$121	$352	
6.1.1.4	Mur mitoyen	m.	240.00	$1.41	$0.93	$2.34	$338	$223	$562	
6.1.2	Plancher (2X10)						$1636	$584	$2220	(3.8%)
6.1.2.1	Rez-de-chausée	m.	220.50	$3.50	$1.25	$4.75	$772	$276	$1047	
6.1.2.2	Étage	m.	220.50	$3.50	$1.25	$4.75	$772	$276	$1047	
6.1.2.3	Balcon	m.	26.40	$3.50	$1.25	$4.75	$92	$33	$125	
6.1.3	Toit						$463	$208	$671	(1.2%)
6.1.3.1	Fermes	unit	8.00	$57.93	$26.00	$83.93	$463	$208	$671	
6.1.4	Intérieur						$285	$188	$473	(0.8%)
6.1.4.1	Cloisons (2X4)	m.	202.00	$1.41	$0.93	$2.34	$285	$188	$473	
6.1.5	Escalier						$173	$477	$650	
6.1.5.1	Tirants	m.	13.40	$3.50	$8.00	$11.50	$47	$107	$154	
6.1.5.2	Girons	m.	28.40	$2.16	$10.00	$12.16	$61	$284	$345	
6.1.5.3	Muret	m.	46.00	$1.41	$1.86	$3.27	$65	$86	$150	
6.2	Revêtement						$1232	$1096	$2327	(4.0%)
6.2.1	Murs (1/2)	sq.m.	107.00	$4.92	$4.37	$9.29	$526	$468	$994	
6.2.2	Planchers (5/8)	sq.m.	84.70	$5.03	$4.37	$9.40	$426	$370	$796	
6.2.3	Toits (5/8)	sq.m.	55.50	$5.03	$4.65	$9.68	$279	$258	$537	
6.3	Fourrure						$455	$436	$891	(1.5%)
6.3.1	Sous-sol (2X4)	m.	168.00	$1.41	$0.93	$2.34	$237	$156	$393	
6.3.2	Parement (1X3)	m.	131.40	$0.67	$1.42	$2.09	$88	$187	$275	
6.3.3	Mitoyen s.-s (2X3)	m.	100.00	$1.30	$0.93	$2.23	$130	$93	$223	
6.4	Boiserie						$2065	$903	$2968	(5.1%)
6.4.1	Instal. bâtie						$1435	$403	$1838	(3.2%)
6.4.1.1	Arm./mur cuisine	m.	5.50	$133.00	$22.73	$155.73	$732	$125	$857	
6.4.1.2	Arm./plancher cui	m.	3.20	$146.50	$77.55	$224.05	$469	$248	$717	
6.4.1.3	Table de toilette	unit	1.00	$235.00	$30.00	$265.00	$235	$30	$265	
6.4.2	Main courante						$52	$128	$180	(0.3%)
6.4.2.1	Escalier	m.	12.50	$4.13	$10.27	$14.40	$52	$128	$180	
6.4.3	Garnitures						$524	$314	$838	(1.5%)
6.4.3.1	Plinthes	m.	68.70	$3.94	$3.27	$7.21	$271	$225	$495	
6.4.3.2	Cadres de porte	unit	4.00	$63.25	$22.45	$85.70	$253	$90	$343	
6.4.4	Rayons						$54	$57	$111	(0.2%)
6.4.4.1	Garde-robe	m.	7.30	$7.42	$7.80	$15.22	$54	$57	$111	

Estimation des coûts élémentaires
Construction traditionnelle (suite)

Code	Description	Unité	Quantité	Prix unitaire Matériau	Prix unitaire M.-d'oeuvre	Prix unitaire Total	Coût total Matériau	Coût total M.-d'oeuvre	Total	(%)
7	IMPERMÉABILISATION						$2950	$2148	$5098	(8.8%)
7.1	Toiture						$336	$310	$646	(1.1%)
7.1.1	Bardeaux	sq.m.	55.50	$5.33	$5.19	$10.52	$296	$288	$584	
7.1.2	Feutre	sq.m.	55.50	$0.72	$0.40	$1.12	$40	$22	$62	
7.1.3	Tôle						$367	$390	$757	(1.3%)
7.1.3.1	Solin	m.	29.50	$1.80	$7.25	$9.05	$53	$214	$267	
7.1.3.2	Sous-face	sq.m.	11.60	$5.50	$12.15	$17.65	$64	$141	$205	
7.1.4	Plancher balcon	unit	1.00	$250.00	$35.00	$285.00	$250	$35	$285	
7.2	Imperméabilisation						$82	$163	$245	(0.4%)
7.2.1	Enduit de fondat.	sq.m.	35.10	$2.35	$4.64	$6.99	$82	$163	$245	
7.3	Pare-vapeur						$82	$156	$238	(0.4%)
7.3.1	Murs	sq.m.	107.00	$0.36	$0.69	$1.05	$39	$74	$112	
7.3.2	Plafond	sq.m.	43.00	$0.36	$0.75	$1.11	$15	$32	$48	
7.3.3	Dalle	sq.m.	43.00	$0.36	$0.60	$0.96	$15	$26	$41	
7.3.4	Sous-sol	sq.m.	35.10	$0.36	$0.69	$1.05	$13	$24	$37	
7.4	Pare-air						$132	$73	$204	(0.4%)
7.4.1	Membrane	sq.m.	107.00	$1.23	$0.68	$1.91	$132	$73	$204	
7.5	Isolation thermique						$1064	$406	$1471	(2.5%)
7.5.1	Murs	sq.m.	107.00	$4.64	$1.91	$6.55	$496	$204	$701	
7.5.2	Sous-sol	sq.m.	35.10	$3.00	$1.29	$4.29	$105	$45	$151	
7.5.3	Toit	sq.m.	43.00	$7.24	$2.13	$9.37	$311	$92	$403	
7.5.4	Mur mitoyen	sq.m.	50.40	$3.00	$1.29	$4.29	$151	$65	$216	
7.6	Parement						$887	$650	$1537	(2.7%)
7.6.1	Mur arrière	sq.m.	12.40	$13.65	$10.00	$23.65	$169	$124	$293	
7.6.2	Mur latéral	sq.m.	52.60	$13.65	$10.00	$23.65	$718	$526	$1244	
8	PORTES ET FENÊTRES						$4334	$1533	$5867	(10.2%)
8.1	Portes						$1307	$700	$2007	(3.5%)
8.1.1	Entrée	unit	1.00	$235.00	$35.00	$270.00	$235	$35	$270	
8.1.2	Intérieur	unit	4.00	$33.00	$29.00	$62.00	$132	$116	$248	
8.1.3	Penderie 1000	unit	7.00	$108.00	$61.00	$169.00	$756	$427	$1183	
8.1.4	Penderie 300	unit	2.00	$92.00	$61.00	$153.00	$184	$122	$306	
8.2	Fenêtres						$3027	$833	$3860	(6.7%)
8.2.1	Battants 180/160	unit	2.00	$582.00	$119.00	$701.00	$1164	$238	$1402	
8.2.2	Battants 180/140	unit	1.00	$360.00	$119.00	$479.00	$360	$119	$479	
8.2.3	Coulissantes 180	unit	1.00	$189.00	$119.00	$308.00	$189	$119	$308	
8.2.4	Coulissantes 90	unit	1.00	$126.00	$119.00	$245.00	$126	$119	$245	
8.2.5	Patio	unit	2.00	$594.00	$119.00	$713.00	$1188	$238	$1426	

Estimation des coûts élémentaires
Construction traditionnelle (suite)

Code	Description	Unité	Quantité	Prix unitaire Matériau	Prix unitaire M.-d'oeuvre	Prix unitaire Total	Coût total Matériau	Coût total M.-d'oeuvre	Total	(%)
9	FINITION						$5339	$6719	$12057	(20.9%)
9.1							$1389	$2468	$3858	(6.7%)
9.1.1	Murs	sq.m.	107.00	$3.14	$5.32	$8.46	$336	$569	$905	
9.1.2	Cloisons	sq.m.	91.00	$3.14	$5.32	$8.46	$286	$484	$770	
9.1.3	Plafonds	sq.m.	83.40	$3.14	$6.69	$9.83	$262	$558	$820	
9.1.4	Sous-sol	sq.m.	60.30	$3.14	$5.32	$8.46	$189	$321	$510	
9.1.5	Mur mitoyen	sq.m.	100.8	$3.14	$5.32	$8.46	$317	$536	$853	
9.2	Carrelage						$730	$543	$1273	(2.2%)
9.2.1	Plancher	sq.m.	8.70	$43.00	$31.90	$74.90	$374	$278	$652	
9.2.2	Base	m.	12.50	$14.25	$11.06	$25.31	$178	$138	$316	
9.2.3	Mur	sq.m.	5.50	$32.30	$23.07	$55.37	$178	$127	$305	
9.3	Peinture						$862	$2660	$3523	(6.1%)
9.3.1	Murs et cloisons	sq.m.	281.40	$1.91	$4.64	$6.55	$537	$1306	$1843	
9.3.2	Planfonds	sq.m.	83.40	$2.39	$5.65	$8.04	$199	$471	$671	
9.3.3	Portes/chambranles	sq.m.	17.20	$1.83	$10.83	$12.66	$31	$186	$218	
9.3.4	Plinthes	m.	68.70	$1.37	$10.15	$11.52	$94	$697	$791	
9.4	Moquette						$772	$307	$1079	(1.9%)
9.4.1	Chambres	sq.m.	33.40	$15.17	$5.00	$20.17	$507	$167	$674	
9.4.2	Escalier	sq.m.	14.00	$18.96	$10.00	$28.96	$265	$140	$405	
9.5	Vinyle						$169	$67	$236	(0.4%)
9.5.1	Cuisine	sq.m.	13.00	$12.97	$5.19	$18.16	$169	$67	$236	
9.6	Parqueterie						$1416	$673	$2089	(3.6%)
9.6.1	Séjour	sq.m.	26.35	$53.75	$25.53	$79.28	$1416	$673	$2089	
15	MÉCANIQUE	sous-traitance					(60%)	(40%)	$4500	(7.8%)
16	ÉLECTRICITÉ	sous-traitance					(50%)	(50%)	$3250	(5.6%)
	TOTAL						$30,796	$26,923	$57,719	(100.0%)

● 5.3 COMPOSANTS PRÉFABRIQUÉS

$1,842	$1,423	$1,84
$2,017	$1,489	$2,01
$2,310	$1,349	$2,31
$4,434	$3,462	$4,43
$2,271	$1,330	$2,27
$2,646	$1,973	$2,64
$2,271	$1,330	$2,27
$2,271	$1,330	$2,27

Nous avons reçu les estimations du coût de huit types de panneaux. Deux d'entre eux étaient des versions à valeur ajoutée de panneaux standard, l'un comportant un fini intérieur, l'autre un fini intérieur et extérieur faisant partie intégrante du mur. Quatre fabricants ont fourni des estimations de planchers (trois traditionnels et un motif particulier), et deux estimations de cloisons intérieures ont été envoyées. Les fabricants étaient d'avis que le montage de panneaux préfabriqués a peu d'incidence sur le coût des installations électriques et de plomberie, à l'exception des panneaux de charpente multiplis qui font gonfler les frais de main-d'oeuvre de 5 % au niveau du câblage électrique. Les tarifs de la main-d'oeuvre étaient fixés à 85 $ l'heure pour une équipe de trois hommes (un charpentier et deux manoeuvres). Les coûts, qui ne comprennent pas le terrain, l'infrastructure, les frais généraux et les profits de l'entrepreneur, étaient ceux en vigueur en novembre 1992. Les frais de transport étaient ceux de la région de Montréal.

5.3.1 Valeurs équivalentes des composants préfabriqués

La figure 5.1 donne une comparaison du prix de divers composants préfabriqués et de leurs équivalents utilisés en construction traditionnelle. Pour les besoins de l'analyse, les frais de transport ont été isolés du prix des composants, puis ont été calculés au prorata du volume de chaque composant. On a constaté que l'emploi de panneaux muraux préfabriqués peut faire économiser entre 9 % dans le cas de panneaux de charpente sans revêtement et 50 % dans le cas des panneaux à revêtement ouverts. Dans cette optique, il est évident que la préfabrication offre des avantages économiques, mais elle risque d'avoir peu d'incidence sur le prix global de la maison. Étant donné que dans la Maison évolutive les éléments muraux extérieurs (y compris l'intérieur et le parement d'aluminium) comptent pour 14 % (8 000 $) du prix total de la maison, les économies que peuvent procurer la préfabrication de l'enveloppe étaient appréciables.

Les prix du mur de séparation ont été isolés de ceux des autres murs parce qu'il fait l'objet d'exigences particulières en ce qui concerne le bruit et le feu. La réglementation sur les matériaux et la construction du mur de séparation n'est pas identique dans toutes les localités. Même si certains panneaux préfabriqués ont été soumis à des essais de résistance au feu, les autorités municipales ne les approuvent pas tous. Si ces murs sont traités comme des composants distincts, il est plus facile d'évaluer ce qu'il en coûte de les construire au moyen de méthodes différentes.

Les économies résultant de l'emploi de murs extérieurs préfabriqués n'étaient pas évidentes dans le cas du mur de séparation, sauf pour les panneaux à revêtement ouverts. Bien qu'il soit assez long, ce mur est la simplicité même, car il ne comporte pas d'ouvertures ou d'irrégularités. De plus, il n'exige pas beaucoup de main-d'oeuvre sur place, puisqu'il nécessite peu de découpage ou d'ajustage. Il est normalement insonorisé et ignifugé grâce à de multiples couches de placoplâtre, à une natte isolante et aux profilés de fourrure résistants. Il est possible que les qualités d'étanchéité à l'air des panneaux préfabriqués soient excessives pour un usage qui ne demande que ce genre de construction simple. Les écarts de coût variaient entre des économies de 10 % à 34 % pour les panneaux à revêtement ouverts et des majorations de 54 % pour un genre de panneaux de charpente sans revêtement.

En outre, la préfabrication des planchers et cloisons peut concurrencer les méthodes de construction traditionnelles, malgré la grande variabilité des estimations de montages identiques. Nous avons reçu les estimations de quatre fabricants de planchers préfabriqués, dont trois utilisaient des méthodes de construction traditionnelles (2 panneaux et 1 découpé d'avance), tandis que le quatrième

Figure 5.1 : Prix comparés des composants préfabriqués et des éléments équivalents en construction traditionnelle

Valeurs équivalentes des composants préfabriqués

	Valeur en construction traditionnelle			Coût de construction préfabriquée [1]			Différence de coût l'unité [1]			Différence de coût total [1]			Frais partiels de trans.	
	Matériaux	M.-d'oeuvre	Total	Matériaux	M.-d'oeuvre	Total	1 unités	10 unités	30 unités	1 unités	10 unités	30 unités		
MURS EXTÉRIEURS														
1.1. OSP/38x140mm A/OSB	$1,842	$1,423	$3,265	$1,190	$325	$1,515	-$1,750	-$1,454	-$1,454	-$1,750	-$14,538	-$43,614	$260	
1.2. OSP/38x89 mm A/XEPS	$2,017	$1,489	$3,506	$1,605	$325	$1,930	-$1,576	-$1,264	-$1,264	-$1,576	-$12,640	-$37,920	$260	
2.1. SSP/OSB des deux côtés	$2,310	$1,349	$3,659	$4,630	$255	$4,885	$1,226	$1,592	$615	$1,226	$15,919	$18,447	$280	[2]
2.1.a. SSP/valeur ajoutée	$4,434	$3,462	$7,896	$5,628	$255	$5,883	-$2,013	-$1,223	-$2,400	-$2,013	-$12,234	-$72,000	$280	[2],[3]
3.1. USP/sans vide d'air	$2,271	$1,330	$3,601	$2,304	$64	$2,368	-$1,233	-$991	-$1,110	-$1,233	-$9,913	-$33,291	$75	
3.1.a. USP/s. vide d'air/val. ajoutée	$2,646	$1,973	$4,619	$2,560	$64	$2,624	-$1,995	-$1,664	-$1,796	-$1,995	-$16,643	-$53,865	$75	
3.2. USP/sép. thermique et vide d'air	$2,271	$1,330	$3,601	$2,675	$300	$2,975	-$626	-$427	-$501	-$626	-$4,266	-$15,028	$190	
3.3. USP/s. sép. thermique; vide d'air	$2,271	$1,330	$3,601	$3,072	$215	$3,287	-$314	-$118	-$118	-$314	-$1,183	-$3,548	$320	
MURS DE SÉPARATION														
Traditionnelle - 2 x 4	$339	$223	$562	$321	$185	$506	-$56	-$10	-$10	-$56	-$99	-$298	$140	
	$497	$491	$988	$612	$36	$648	-$340	-$274	-$306	-$340	-$2,736	-$9,180	$25	
	$497	$491	$988	$710	$170	$880	-$108	-$57	-$79	-$108	-$567	-$2,362	$70	
2.1. SSP/OSB des deux côtés	$648	$526	$1,174	$1,399	$150	$1,549	$375	$492	$183	$375	$4,924	$5,478	$95	[2],[4]
2.1.b. SSP/valeur ajouté	$807	$794	$1,601	$1,740	$150	$1,890	$289	$449	$71	$289	$4,491	$2,133	$95	[2],[4]
3.1. USP/ sans vide d'air	$648	$556	$1,204	$1,296	$36	$1,332	$128	$182	$115	$128	$1,818	$3,456	$25	
3.2. USP/sép. thermique et vide d'air	$648	$556	$1,204	$1,290	$170	$1,460	$256	$298	$261	$256	$2,976	$7,832	$100	
3.3. USP/s. sép. thermique; vide d'air	$648	$556	$1,204	$1,728	$125	$1,853	$649	$677	$677	$649	$6,767	$20,302	$180	
PLANCHERS														
Traditionnels	$1,970	$922	$2,892	$2,439	$635	$3,074	$182	$410	$410	$182	$4,097	$12,292	$100	[5]
	$1,970	$922	$2,892	$1,714	$504	$2,218	-$674	-$496	-$607	-$674	-$4,957	-$18,198	$30	
	$1,970	$922	$2,892	$2,342	$470	$2,812	-$80	$57	-$13	-$80	$574	-$388	$100	
Solivage de type V	$1,970	$922	$2,892	$2,200	$300	$2,500	-$392	-$303	-$503	-$392	-$3,028	-$15,084	$20	[5]
CLOISONS														
Traditionnelles	$285	$188	$473	$240	$85	$325	-$148	-$107	-$107	-$148	-$1,072	-$3,216	$100	
	$571	$672	$1,243	$582	$24	$666	-$577	-$486	-$519	-$577	-$4,860	-$15,579	$20	

[1] Transport non compris; basé sur une réduction de 10% pour 10 unités ou plus en construction traditionnelle
[2] Coût du système comprend 5% de main-d'oeuvre supplémentaire pour câblage électrique
[3] Prix comparé à un mur ordinaire avec placage d'aluminium
[4] Basé sur mur simple entre unités
[5] Construction avec matériaux déjà coupés

Légende:
OSP: Panneau à copeaux orientés
SSP: Panneau à revêtement ouvert
USP: Panneau de charpente sans revêtement
OSB: Panneau à copeaux orientés

présentait un plancher qui lui est propre et doit être assemblé sur place (solivage en V). Si l'on tient compte des frais de transport, seulement deux des planchers sont économiques. Une estimation portant sur des panneaux de planchers préfabriqués (installés au moyen de méthodes de construction traditionnelles) et le plancher particulier à un fabricant a donné des économies de 23 % et 14 % respectivement. Deux estimations ont été reçues pour des cloisons intérieures constituées de panneaux préfabriqués, l'une portant uniquement sur l'ossature, l'autre comprenant la finition à murs secs. Les deux se sont révélés meilleur marché que les cloisons ordinaires, les économies se situant à 31 % et 46 % de leur valeur équivalente.

$1,842	$1,423	$1,84
$2,017	$1,489	$2,01
$2,310	$1,349	$2,31
$4,434	$3,462	$4,43
$2,271	$1,330	$2,27
$2,646	$1,973	$2,64
$2,271	$1,330	$2,27
$2,271	$1,330	$2,27

Nous avons également reçu des estimations de sous-sols et de toitures composés de panneaux de charpente multiplis. S'ils sont bien installés, ces panneaux permettent l'aménagement d'un sous-sol sec, confortable et éconergique. Cependant, le prix élevé des produits de bois étanchéisés font qu'il en coûte plus cher, soit 1 300 $, de les utiliser par opposition à un sous-sol en béton. Cette différence devient néanmoins négligeable si le volume de production dépasse les 30 unités. Étant donné que ces sous-sols coûtent moins cher à finir et à chauffer, ils pourraient être une solution de rechange intéressante pour l'acheteur.

Il en a été de même pour la toiture, avec une majoration de 900 $ l'unité. Malgré leur prix plus élevé, les panneaux multiplis pour former l'ossature du toit mériterait qu'on les examine de près parce qu'ils permettent de récupérer l'espace du grenier. Avec des pentes de 6:12, il est possible d'obtenir une hauteur libre de 2,4 mètres dans une maison de 11 mètres. En supposant que 40 % de l'espace serait habitable, on pourrait ajouter 19 mètres carrés de superficie à la Maison évolutive. Il faudrait en outre tenir compte du coût d'un étage supplémentaire et d'un escalier ou d'une trappe d'accès. Par ailleurs, les panneaux multiplis utilisé pour l'ossature du toit peuvent constituer un moyen simple et efficace de construire un plafond cathédrale.

L'escalier est l'élément où la préfabrication offre le plus de maniabilité. La préfabrication de modules comme il est décrit dans la section précédente facilite les modifications sur place et réduit la durée de l'installation tout en assurant un produit plus solide, donc de meilleure qualité. L'estimation reçue de l'un des fabricants ne s'est pas révélée concurrentielle par rapport à la construction traditionnelle. Il est cependant peu probable que les constructeurs hésitent à accepter ce genre de produits, car l'escalier ne coûte pas très cher (environ 500 $).

5.3.2 Panneaux muraux extérieurs

La préfabrication de panneaux muraux est beaucoup plus économique que les méthodes de construction traditionnelles, quoique son incidence sur le prix total de la maison soit faible, soit entre 1 % et 3 %. Les coûts de construction associés à plusieurs genres de systèmes de panneaux muraux extérieurs sont résumés à la figure 5.2. En ce qui concerne les matériaux et la main-d'oeuvre, on a conclu que les prix de tous les panneaux muraux extérieurs concurrençaient la construction traditionnelle, à l'exception des panneaux de charpente standard (panneaux à copeaux orientés des deux côtés), qui ont ajouté 1 200 $ au prix de la maison. Ce sont les versions à valeur ajoutée des panneaux de charpente multiplis et des panneaux de charpente sans revêtement qui offrent le plus grand potentiel d'économie, c'est-à-dire environ 2 000 $ l'unité. Au deuxième rang venaient les panneaux à revêtement ouverts, avec des réductions moyennes de 1 660 $ l'unité. Les économies associées aux panneaux de charpente sans revêtement variaient entre 300 $ et 1 200 $ l'unité. Frais de transport compris, la plupart de ces économies deviennent marginales. Par surcroît, avec des frais de transport et de manutention de plus de 450 $, certaines économies se transforment en dépenses supplémentaires.

Figure 5.2 : Ventilation du prix des panneaux muraux extérieures préfabriqués

Ventilation du prix des panneaux extérieurs préfabriqués/maison jumelée

	Construction traditionnelle	Panneaux à rev. ouverts 38 x 140 mm	Panneaux à rev. ouverts 38 x 89 mm	Panneaux de charpente multiplis Âme de polystyrène déployé Standard	Panneaux de charpente multiplis Âme de polystyrène déployé Val. ajoutée [1]	Panneaux de charpente sans revêtement a/ TB-s/AS Standard	Panneaux de charpente sans revêtement a/ TB-s/AS Valeur ajoutée	Panneaux de charpente sans revêtement a/TB-a/AS	Panneaux de charpente sans revêtement s/TB-a/AS
2 TRAVAUX PRÉPARATOIRES									
2.1 Préparation	$676	$676	$676	$676	$676	$676	$676	$676	$676
2.2 Remblayage	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053
3 BÉTON									
3.1 Semelles	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132
3.2 Murs	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263
3.3 Dalle	$901	$901	$901	$901	$901	$901	$901	$901	$901
3.4 Préfabrication	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000
4 MAÇONNERIE									
4.1 Maçonnerie de brique	$3,735	$3,735	$3,735	$3,735	$0	$3,735	$3,735	$3,735	$3,735
4.2 Accessoires	$56	$56	$56	$56	$56	$56	$56	$56	$56
4.3 Maçonnerie (Parpaing)	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472
5 ACCESSOIRES DE MÉTAL									
5.1 Main courante	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194
6 BOIS ET PLASTIQUE									
6.1 Charpente de bois	$9,497	$6,437	$6,437	$6,801	$6,526	$6,801	$6,801	$6,801	$6,801
6.4 Boiserie	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968
7 IMPERMÉABILISATION									
7.1 Toit/tôle	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403
7.2 Imp. à l'humidité	$245	$245	$245	$245	$245	$245	$245	$245	$245
7.3 Pare-vapeur	$238	$238	$238	$126	$126	$238	$126	$238	$238
7.4 Pare-air	$204	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
7.5 Isolation	$1,471	$1,471	$1,230	$770	$770	$770	$770	$770	$770
7.6 Parement	$1,537	$1,537	$1,537	$1,537	$0	$1,537	$1,537	$1,537	$1,537
8 PORTES ET FENÊTRES									
8.1 Portes	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007
8.2 Fenêtres	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860
9 FINITION									
9.1 Placoplâtre	$3,858	$3,858	$3,858	$3,858	$2,953	$3,858	$2,953	$3,858	$3,858
9.2 Carreaux de céramique	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273
9.3 Peinture	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523
9.4 Moquette	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079
9.5 Vinyle	$236	$236	$236	$236	$236	$236	$236	$236	$236
9.6 Parqueterie	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089
15 MÉCANIQUE	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500
16 ÉLECTRICITÉ	$3,250	$3,250	$3,250	$3,205	$3,205	$3,250	$3,250	$3,250	$3,250
17 SYSTÈME		$1,515	$1,930	$4,885	$5,883	$2,368	$2,624	$2,975	$3,287
TOTAL PARTIEL		$55,971	$56,145	$58,947	$53,493	$56,487	$55,726	$57,094	$57,406
TRANSPORT [2]		$600	$600	$500	$500	$150	$150	$470	$500
TOTAL [3]	$57,720	$56,571	$56,745	$59,447	$53,993	$56,637	$55,876	$57,564	$57,906
Total / Mètres carrés [4]	$617	$604	$606	$635	$577	$605	$597	$615	$619
10 UNITÉS	$51,948	$51,095	$51,285	$54,041	$49,232	$51,032	$50,360	$51,991	$52,330
30 UNITÉS	$51,948	$51,095	$51,285	$53,064	$48,055	$50,902	$50,217	$51,917	$52,330

[1] Contient bardage Innearseal : devrait être comparé à une maison à bardage d'aluminium estimé à 55 503 $.

[2] Frais de livraison dans la région de Montréal.

[3] Prix total ne comprend PAS terrain, infrastructures, taxes, ou frais généraux et profits du constructeur.

[4] Basé sur 93,5 m2; (sous-sol non compris).

$1,842	$1,423	$1,84
$2,017	$1,489	$2,01
$2,310	$1,349	$2,31
$4,434	$3,462	$4,43
$2,271	$1,330	$2,27
$2,646	$1,973	$2,64
$2,271	$1,330	$2,27
$2,271	$1,330	$2,27

Les réductions associées à ces panneaux peuvent aussi être facilement contrebalancées par de simples retouches, spécialement dans le cas des panneaux qui ne nécessitent pas les méthodes de construction traditionnelles. Si l'on décide notamment d'ajouter un pare-air ou un revêtement en carton-fibre (pour insonoriser) sur l'extérieur, les économies pourraient se volatiliser.

Les coûts relatifs à 10 et 30 maisons ont été calculés à partir d'une réduction de 10 % pour la construction traditionnelle et les réductions individuelles offertes par chacun des fabricants. Le plus souvent, il n'y avait aucun avantage à construire des unités multiples, car en général les réductions consenties pour les panneaux préfabriqués étaient égales ou inférieures à celles d'une construction traditionnelle. Les panneaux de charpente étaient les seuls produits qui faisaient l'objet de réductions plus élevées (20 %) pour des commandes de 30 unités et plus. Il est possible que des commandes de 100 unités et plus soient encore plus économiques.

5.3.3 Composants combinés

L'une des façons d'économiser au maximum est d'utiliser différents composants offrant un bon rapport qualité-prix et d'éliminer les moins rentables. La figure 5.3 présente la combinaison la plus avantageuse de composants préfabriqués par chacun des fabricants. Dans les cas où les prix des planchers préfabriqués n'étaient pas économiques chez un fabricant en particulier, on a utilisé la méthode du plancher privé. Manifestement, les économies (figurant entre parenthèses) sont plus importantes lorsque les composants sont combinés. Généralement parlant, l'adjonction d'un plancher préfabriqué privé majorait les économies de 15 000 $ pour 30 unités. De même, la préfabrication de cloisons traditionnelles a permis d'économiser encore 3 000 $ et 15 000 $ dans le cas de deux fabricants, et la préfabrication d'un mur de séparation traditionnelle, réalisable par trois des fabricants, pouvait faire économiser jusqu'à 9 200 $ de plus pour 30 unités.

Les estimations portant sur les panneaux muraux «à valeur ajoutée» combinés avec d'autres composants ont montré qu'il était possible d'épargner 2 400 $ l'unité dans le cas des panneaux multiplis et 3 600 $ dans le cas des panneaux sans revêtement. Avec les frais de transport, ces économies tombent à 1 900 $ et 3 400 $ respectivement. Des économies similaires pourraient être réalisées avec des panneaux à revêtement ouverts, ce qui permettrait de réduire de 2 300 $ le prix des matériaux et de la main-d'oeuvre, ou de 1 700 $ avec la livraison. Quant aux panneaux de base sans revêtement, les économies étaient inférieures relativement aux matériaux et à la main-d'oeuvre, soit 700 $ à 1 000 $ l'unité.

Les économies accrues que permettent de réaliser les composants combinés pourraient intéresser les constructeurs, surtout pour la construction de maisons multiples. Pour des quantités de 30 unités et plus, il est possible d'économiser jusqu'à 95 000 $ grâce à des panneaux sans revêtement «à valeur ajoutée», ce qui équivaut à une réduction de 6 % du prix total de la maison. Les panneaux à revêtement ouverts ont permis d'économiser 44 000 $, tandis que les maisons à panneaux de charpente multiplis comportant une finition extérieure de bois coûtaient 72 000 $ de moins qu'une maison à bardage d'aluminium. À l'exception des panneaux de charpente sans revêtement et sans vide d'air, un plancher privé était compris dans tous les composants combinés.

Ventilation du prix des composants préfabriqués combinés/maison jumelée

	Construction traditionnelle	Panneaux à rev. ouverts 38 x 140 mm	Panneaux de charpente multiplis/âme EPS Val. ajoutée [1]	Panneaux de charpente sans revêtement a/ TB-s/AS Valeur ajoutée	a/TB-a/AS	s/TB-a/AS
2 TRAVAUX PRÉPARATOIRES						
2.1 Préparation	$676	$676	$676	$676	$676	$676
2.2 Remblayage	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053	$1,053
3 BÉTON						
3.1 Semelles	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132	$1,132
3.2 Murs	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263	$3,263
3.3 Dalle	$901	$901	$901	$901	$901	$901
3.4 Préfabrication	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000	$1,000
4 MAÇONNERIE						
4.1 Maçonnerie de brique	$3,735	$3,735	$0 ($3,735)	$3,735	$3,735	$3,735
4.2 Accessoires	$56	$56	$56	$56	$56	$56
4.3 Maçonnerie (Parpaing)	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472	$1,472
5 ACCESSOIRES DE MÉTAL						
5.1 Main courante	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194	$1,194
6 BOIS ET PLASTIQUE						
6.1 Charpente de bois	$9,497	$2,510 ($6,987)	$3,634 ($5,863)	$2,875 ($6,622)	$3,347 ($6,150)	$3,909 ($5,588)
6.4 Boiserie	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968	$2,968
7 IMPERMÉABILISATION						
7.1 Toit/tôle	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403	$1,403
7.2 Imp. à l'humidité	$245	$245	$245	$245	$245	$245
7.3 Pare-vapeur	$238	$238	$126 ($112)	$126 ($112)	$238	$238
7.4 Pare-air	$204	$0 ($204)	$0 ($204)	$0 ($204)	$0 ($204)	$0 ($204)
7.5 Isolation	$1,471	$1,471	$770 ($701)	$770 ($701)	$770 ($701)	$770 ($701)
7.6 Parement	$1,537	$1,537	$0 ($1,537)	$1,537	$1,537	$1,537
8 PORTES ET FENÊTRES						
8.1 Portes	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007	$2,007
8.2 Fenêtres	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860	$3,860
9 FINITION						
9.1 Placoplâtre	$3,858	$3,858	$2,953 ($905)	$1,757 ($2,101)	$3,432 ($426)	$3,858
9.2 Carreaux de céramique	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273	$1,273
9.3 Peinture	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523	$3,523
9.4 Moquette	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079	$1,079
9.5 Vinyle	$236	$236	$236	$236	$236	$236
9.6 Parqueterie	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089	$2,089
15 MÉCANIQUE	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500	$4,500
16 ÉLECTRICITÉ	$3,250	$3,250	$3,305 -($55)	$3,250	$3,250	$3,250
17 SYSTÈME COMBINÉ		*$4,846*	*$8,383*	*$6,156*	*$6,355*	*$5,787*
TOTAL PARTIEL		$55,375 ($2,345)	$53,101 ($2,402)	$54,136 ($3,584)	$56,594 ($1,126)	$57,014 ($706)
TRANSPORT [2]		$600	$500	$150	$470	$500
TOTAL [3]	$57,720	$55,975 ($1,745)	$53,601 ($1,902)	$54,286 ($3,434)	$57,064 ($656)	$57,514 ($206)
Total / Mètres carrés [4]	$617	$598	$573	$580	$610	$614
10 UNITÉS	$519,480	$506,743 ($12,737)	$509,218 ($10,262)	$491,034 ($28,446)	$516,319 ($3,161)	$520,269 -($789)
30 UNITÉS	$1,558,440	$1,514,228 ($44,212)	####### ($72,084)	####### ($95,322)	####### ($18,373)	####### ($3,632)

[1] Contient bardage Innearseal : devrait être comparé à une maison à bardage d'aluminium estimé à 55 503 $.
[2] Frais de livraison dans la région de Montréal.
[3] Prix total ne comprend PAS terrain, infrastructures, taxes, ou frais généraux et profits du constructeur.
[4] Basé sur 93,5 m2; (sous-sol non compris).
( ) Réduction du coût

Figure 5.3 : Ventilation du prix des composants préfabriqués combinés

$1,842	$1,423	$1,84
$2,017	$1,489	$2,01
$2,310	$1,349	$2,31
$4,434	$3,462	$4,43
$2,271	$1,330	$2,27
$2,646	$1,973	$2,64
$2,271	$1,330	$2,27
$2,271	$1,330	$2,27

5.3.4 Observations sur certains panneaux

Panneaux à revêtement ouverts

Les panneaux préfabriqués montés selon des méthodes de construction traditionnelles étaient largement plus économiques que les matériaux équivalents montés sur ossature de bois. La plupart des économies étaient appréciables malgré les frais de transport. Il semble que ces panneaux soient compétitifs parce qu'on utilise notamment des matériaux de construction de base et les méthodes de montage usuelles. Le procédé de préfabrication n'est pas très complexe, car il dispense de découpage, de collage et d'ajustement, comme lorsqu'on emploie des mousses ou plastiques rigides. Pourtant, les rabais offerts pour unités multiples étaient les plus bas, à 2 % pour 10 unités au plus.

Plus les matériaux et les procédés de fabrication sont perfectionnés, moins le prix du panneau est compétitif, comme en témoigne le prix plus élevé des panneaux sans revêtement et des panneaux multiplis. Les caractéristiques qui rendent ces panneaux plus performants font grimper les frais de production. Leur résistance exceptionnelle à la circulation d'air et de chaleur est attribuable à leur revêtement ou isolant continu et rigide. Le prix supplémentaire des matériaux et des procédés de fabrication plus complexes ramènent fréquemment les économies à des sommes marginales.

Panneaux de charpente multiplis

Nous avons constaté que le prix des panneaux de charpente multiplis standard formés de deux épaisseurs de panneaux à copeaux orientés, collés à une âme de polystyrène déployé était plus élevé que celui d'une construction traditionnelle, même si les panneaux modifiés «à valeur ajoutée» sont beaucoup plus économiques. Un panneau comportant un revêtement extérieur Innearseal et un panneau mural intérieur de type FiberBond coûtent 25 % moins cher que des murs à ossature de bois avec bardage d'aluminium, la méthode usuelle. Bien que l'emploi de produits de papier renforcés de fibres soit écologique, ces matériaux n'ont pas été éprouvés et risquent de ne pas être acceptés d'emblée sur le marché. En outre, ces panneaux présentaient les meilleures économies au volume, c'est-à-dire des réductions de 20 % pour 30 unités ou plus.

Panneaux de charpente sans revêtement

Le prix des trois panneaux de charpente sans revêtement que nous avons étudiés concurrençaient les murs de construction traditionnelle, les économies allant de 9 % à 34 %. Comme dans le cas des panneaux multiplis, la finition intérieure des panneaux sans revêtement en usine peut être avantageuse puisqu'un type de panneau coûtait ainsi 43 % moins cher. L'installation de câblage électrique dans des panneaux fermés ne pose pas de problèmes, car des rainures sont déjà pratiquées le long du mur à une hauteur constante. Étant donné leur légèreté et leur design un peu plus banalisé, ces panneaux sont sans doute plus acceptables sur le marché. Les rabais offerts pour les grosses commandes étaient comparables à ceux de la construction traditionnelle, allant de 5 % pour 10 unités jusqu'à 10 % pour 30 unités. Les estimations de la main-d'oeuvre ont montré que ces panneaux peuvent avantageusement être assemblés sur les lieux de la manière la plus efficace.

6. CONCLUSIONS

La présente étude avait pour objet d'examiner comment la Maison évolutive pouvait être adaptée à un procédé de production industrialisée au moyen de panneaux préfabriqués, et de déterminer quelles en seraient les répercussions sur les plans de la qualité, de l'économie et de la performance technique. Le projet s'est déroulé en trois étapes. La première consistait à faire des recherches sur les panneaux vendus actuellement en Amérique du Nord, puis à évaluer les options jugées appropriées pour la Maison évolutive. Pour la seconde étape, le plan de la maison a été adapté pour qu'il se prête mieux au procédé de préfabrication et assure une marge de manoeuvre aux constructeurs; une estimation de coûts a ensuite été effectuée pour déterminer si des économies appréciables pouvaient être réalisées grâce à la préfabrication, en se basant sur la version adaptée de la Maison évolutive. Enfin, les résultats de l'étude ont été analysés et des recommandations ont été rédigées d'après les conclusions.

Un sondage concernant les panneaux préfabriqués a révélé qu'un choix assez vaste de produits novateurs et d'idées nouvelles se présentent au constructeur. Les panneaux ont été répartis en trois groupes de base, mais il existait plusieurs variations de chaque genre de panneau, chaque fabricant adoptant une version légèrement différente. En l'occurrence, les fabricants n'utilisent pas tous les mêmes matériaux d'isolation, ni les mêmes types de joints ou de revêtements. Il n'a pas été difficile d'obtenir de l'information sur les produits et services de ces derniers. De toute évidence, ce n'est pas par manque de disponibilité que l'utilisation de panneaux préfabriqués n'est pas plus répandue. Il faudrait donc pour en assurer une diffusion accrue mieux satisfaire les besoins des constructeurs et des acheteurs.

L'évaluation a montré que tous les types de panneaux préfabriqués peuvent être d'une qualité supérieure à celle d'une construction traditionnelle. Bien que les cotes oscillaient considérablement pour certains des critères, les résultats définitifs étaient à peu près semblables. En général, les panneaux préfabriqués étaient mieux cotés au chapitre de la performance technique et de la qualité d'exécution; les caractéristiques relatives à l'environnement et à la durabilité étaient à peu près égales. Les seuls inconvénients à l'emploi de panneaux préfabriqués sont leur manque de maniabilité par rapport à ceux de la construction traditionnelle, particulièrement en ce qui concerne les modifications sur place, et le fait qu'ils perturbent le déroulement normal des travaux de construction, ce qui pourrait poser des problèmes sur le marché.

Il reste à savoir si les caractéristiques supérieures des panneaux préfabriqués attireront le constructeur moyen, directement ou indirectement, puisqu'ils constituent un produit plus commercialisable. Tout produit, novateur ou autre, n'est considéré que s'il correspond à l'intérêt de celui qui en paye le prix. C'est pourquoi, dans le cas du bâtiment résidentiel, le constructeur n'étant pas celui qui

acquitte la facture d'énergie, il est peu probable qu'il soit attiré par les qualités éconergiques supérieures des panneaux. Par contre, on peut faire valoir auprès des constructeurs que les panneaux préfabriqués sont de meilleure qualité et plus éconergiques pour le même prix ou meilleur marché que les panneaux traditionnels.

Un cadre propre à l'industrialisation de la Maison évolutive a été mis au point pour la seconde étape de l'étude, par l'adaptation du design de la maison aux procédés de fabrication. Les travaux de conception visaient à procurer une marge de manoeuvre suffisante aux constructeurs et des économies d'échelle aux fabricants, c'est-à-dire créer une vaste gamme d'options avec seulement quelques composants simples et d'usage courant. Des critères relatifs à l'architecture, aux modules et à la conception technique ont été établis d'après les réactions des fabricants, des constructeurs et des occupants de Maisons évolutives.

Même si la construction à ossature de bois est inégalée sur le plan de la souplesse, le nombre d'options offertes pour le plan intérieur a permis d'obtenir suffisamment d'aménagements intérieurs et d'élévations extérieures avec un nombre limité de composants courants. Neuf configurations de panneaux ont été proposées : six pour les élévations des façades avant et arrière, et trois pour les murs latéraux des maisons d'extrémité. Les panneaux peuvent être combinés de diverses façons selon le plan intérieur choisi. Les maisons en rangée peuvent être construites avec deux à quatre panneaux, tandis que la version jumelée et la maison d'extrémité en nécessiteraient de 3 à 6. L'utilisation de petites cloisons intérieures standard a donné lieu à diverses configurations d'entrées et de salles de bains, tout en permettant que des modifications soient apportées sur place à la demande de l'acheteur.

Pour savoir si les panneaux préfabriqués pouvaient réduire les coûts de construction, nous avons examiné les prix de plusieurs composants préfabriqués, dont les murs extérieurs, les planchers, les cloisons et les murs de séparation. Une ventilation des coûts élémentaires (main-d'oeuvre et matériaux) a été mise au point relativement aux méthodes de construction traditionnelles, comparée au coût réel fourni par les constructeurs de sept Maisons évolutives, puis utilisée comme base de l'analyse comparative des méthodes de construction traditionnelles et de la préfabrication. Cette dernière a prouvé que les panneaux préfabriqués peuvent constituer une solution de rechange compétitive en regard des méthodes de construction traditionnelles. Cependant, l'importance des économies peut varier considérablement selon le genre de panneaux, le degré de préfabrication et le composant en question.

Le fait que les panneaux préfabriqués comportant des panneaux muraux à revêtement ouverts étaient les plus économiques par rapport aux composants équivalents sur ossature de bois montre que, panneau pour panneau, des économies sont possibles grâce à la préfabrication. Précisons que les réductions totales étaient normalement limitées à 2 ou 3 %, un peu parce que l'enveloppe du bâtiment constitue une petite fraction du prix de la maison. Même si cela n'est pas suffisant pour faire réduire le prix de vente de la maison, on peut économiser jusqu'à 6 % si le nombre de composants préfabriqués est accru. La question est de savoir si ces économies amèneront le constructeur moyen à adopter cette nouvelle méthode de construction.

Il pourrait être nécessaire d'imaginer d'autres incitatifs à l'intention des constructeurs pour qu'ils incorporent ces panneaux dans le cours normal de leurs travaux. Simplifier la gestion des travaux de construction serait peut-être une possibilité. Si le panneau préfabriqué ne gêne pas le cours normal de l'activité du constructeur moyen, il a plus de chances d'être accepté. Ce résultat pourrait s'obtenir

de trois façons : accroître la souplesse des panneaux par la conception d'un produit qui s'intègre harmonieusement aux travaux, ou offrir un ensemble complet, c'est-à-dire que le produit est fabriqué, livré et installé par la même entreprise.

La rigidité des panneaux préfabriqués en regard des techniques de construction traditionnelles semble présenter des difficultés pour ce qui est des changements tardifs sur place plutôt qu'au niveau de la conception. Essentiellement, les panneaux préfabriqués n'imposent aucune contrainte en ce qui a trait aux dimensions et à la configuration de la maison, quoiqu'un plan plus complexe entraîne forcément des coûts plus élevés. Le manque de souplesse se manifeste sur le chantier, où tout rajustement peut se révéler compliqué ou fastidieux. Il est cependant possible de surmonter ces limitations pratiques par la normalisation des composants en sections plus petites et plus maniables. Cette solution faciliterait les changements sur commande et offrirait plus d'options au constructeur comme à l'acheteur.

Pour qu'un composant s'intègre harmonieusement aux travaux de construction, il doit être d'une dimension suffisamment petite pour gêner le moins grand nombre possible d'ouvriers. Ce n'est pas tout à fait possible avec les panneaux préfabriqués parce que presque tous les métiers seront appelés à un moment donné à travailler sur une partie de l'enveloppe du bâtiment. Le moyen de prévenir ce problème est de fabriquer des panneaux «à valeur ajoutée» ou fermés qu'on peut ne peindre qu'après installation. Force est de mentionner toutefois que cette notion de valeur ajoutée s'applique plus aisément aux panneaux comportant un isolant rigide ou dans lesquels on peut au préalable pratiquer des rainures réservées au câblage électrique. En règle générale, les panneaux à natte isolante ou avec vide d'air ne sont pas fabriqués de cette façon, à moins que des conduits (ou le câblage) ne soient intégrés. Autrement, l'installation de fils électriques sur place pourrait se révéler difficile.

La dernière possibilité est plus pratique, selon laquelle le fabricant des panneaux livre et installe toute l'enveloppe. Si la même entreprise peut parachever la charpente, la construction se trouve simplifiée du fait qu'on élimine à toutes fins utiles un des corps de métier. Au lieu d'ajouter un métier qu'on devra nécessairement coordonner avec les autres, la gestion liée au gros oeuvre peut en effet s'en trouver réduite au minimum.

Voilà pourquoi il serait nécessaire d'avoir une industrie du bâtiment davantage axée sur le service. Une conception et un design de qualité supérieure à des prix compétitifs étant acquis, le seul obstacle à l'acceptation des panneaux préfabriqués est la nature traditionnelle de l'industrie. Pour déranger le moins possible le cours normal des opérations du constructeur, il faudrait supprimer une des tâches plutôt que d'en ajouter une. Pour le même prix, un constructeur n'hésiterait pas à remplacer un menuisier ou un électricien si la qualité des travaux était supérieure. Si le montage de l'ossature était tout à fait supprimé parce que le fabricant se chargerait de la main-d'oeuvre et des matériaux, les panneaux préfabriqués jouiraient bientôt d'une grande popularité.

Comme c'est le cas chaque fois qu'un nouveau produit arrive sur le marché, il faut renseigner le constructeur et l'acheteur des avantages d'une construction préfabriquée. Le consommateur a besoin d'être informé des avantages éconergiques qu'offre une construction hermétique. Le constructeur a besoin de prendre conscience que la préfabrication entraîne moins de gaspillage de matériaux et, par voie de conséquence, le déblaiement et l'enlèvement des débris et des gravats coûtent moins cher. En outre, un montage plus rapide peut se traduire par des économies de frais généraux et de frais de financement. Les délais de construction attribuables

aux intempéries peuvent aussi être réduits, et les possibilités de vandalisme et de cambriolage sont plus faibles parce qu'on peut fermer l'enveloppe en quelques heures. Les exigences spéciales de main-d'oeuvre sont moindres, et les garanties sont prises en charge par le fabricant. Il faudrait mettre l'accent sur la manière dont les travaux de construction peuvent être simplifiés, ce qui allègerait le fardeau de la gestion.

7. RECOMMANDATIONS POUR UNE ÉTUDE PLUS APPROFONDIE

L'étude a donné lieu à une analyse et à des conclusions préliminaires, axées sur un type d'habitation particulier. Il serait néanmoins utile de procéder à un examen approfondi des aspects analysés et d'appliquer le processus d'évaluation et de design à d'autres formes d'habitation, pour savoir quelle pourrait être l'ampleur des répercussions du logement industrialisé. L'élaboration d'un plus grand nombre de possibilités convenant aux maisons adaptées, notamment, démontrerait que les composants préfabriqués conviennent à différents marchés, tout comme le perfectionnement des systèmes propres aux constructions saines et durables.

L'évaluation, l'adaptation et les estimations ont fait ressortir certains aspects du logement industrialisé qu'on aurait intérêt à examiner de manière exhaustive et détaillée. Les recommandations suivantes pourraient être mises en oeuvre par les universités, l'industrie et le secteur public, dans quatre secteurs généraux :

1. Enquête et analyse des exigences en matière de transport et de levage, pour divers emplacements, composants et types d'habitation
2. Recherches pour évaluer les coûts réels d'un bâtiment préfabriqué, dont les facteurs indirects connexes influant sur la construction du projet
3. Mise au point de produits, logiciels et services correspondant davantage aux besoins du constructeur et de l'acheteur
4. Études de marché pour déterminer le potentiel de la construction préfabriquée et à en promouvoir les avantages.

● 7.1 FACTEURS RELATIFS AU TRANSPORT ET AU LEVAGE

De l'analyse des coûts est ressortie l'importance des frais de transport et de levage associés à la livraison des panneaux préfabriqués, qui transforment parfois des économies en dépenses. Vu la nature délicate de cet aspect, il serait utile de connaître les répercussions exactes des frais de transport et de levage, plus précisément dans le contexte d'une livraison sur une longue distance comme dans le cas de l'exportation. Deux aspects auxquels il faudrait s'attacher sont le genre de dispositions prises pour le transport/levage et les caractéristiques matérielles des composants préfabriqués.

Dispositions relatives au transport et au levage

Les possibilités de transport et de montage des composants préfabriqués varient selon le fabricant et le produit. En plus de la distance, les coûts sont fonction du matériel utilisé, du nombre de déplacements nécessaires, du nombre de maisons construites et de l'entreprise qui se charge de la livraison. La plupart des fabricants interviewés assuraient un service de livraison au moyen de camions spécialement équipés à cette fin. Il faut normalement deux déplacements séparés pour la livraison

et le montage des panneaux, le premier après la mise en place de la plate-forme du rez-de-chaussée, le deuxième lorsque l'étage est terminé. Puisqu'il n'est pas nécessaire d'entreposer de produits sur place, les risques de dommages dus au vandalisme et à l'exposition aux éléments sont réduits. D'autant qu'il n'est pas nécessaire de louer une grue d'un entrepreneur indépendant. Si l'on ne construit qu'une ou deux maisons, toutefois, il ne serait sans doute pas rentable de faire deux livraisons, particulièrement si la distance est grande. Une solution consisterait à faire livrer les composants par un sous-traitant qui déposerait les panneaux sur place, la responsabilité d'entreposage et de levage étant assumée par l'entrepreneur. Les gros camions dont disposent les compagnies de camionnage font moins de déplacements et pourraient être plus rentables quand il s'agit de gros chantiers en région éloignée.

Optimisation des composants

Les frais du transport et du montage d'une maison préfabriquée sont non seulement fonction de la distance et des matériaux, mais également du produit. Pour ce qui est de panneaux muraux préfabriqués, les dimensions, le poids et la configuration des composants individuels auront une incidence sur la capacité de chargement d'un camion de dimension donnée, la capacité réglementaire de la grue, le nombre de travailleurs, de même que la durée de la construction. Bien que des panneaux normalisés plus petits offrent une plus grande marge de manoeuvre sur place, qu'ils soient associés à une plus grande efficacité de production, qu'ils soient si faciles à lever qu'on peut parfois se passer d'une grue, ils prennent néanmoins plus de temps à installer et exigent une équipe plus nombreuse sur place. Il vaudrait peut-être la peine de mener une étude visant à optimiser les caractéristiques de ce produit pour divers emplacements et genres de panneaux.

C'est l'emplacement du chantier qui déterminera la solution optimale en ce qui a trait aux dispositions de transport et à la conception du produit. La disponibilité et le coût de la main-d'oeuvre, des matériaux et de la machinerie diffèrent d'un endroit à un autre. Il y aurait lieu de mener une étude visant à optimiser les frais du transport et du montage de composants préfabriqués pour divers lieux au Québec, au Canada et à l'étranger.

● 7.2 ÉCONOMIES INDIRECTES

L'étude a conclu qu'il est possible de réaliser des économies par rapport aux méthodes de construction traditionnelles avec une construction préfabriquée. Même si l'analyse des coûts était concentrée sur la main-d'oeuvre et les matériaux, plusieurs autres facteurs indirects peuvent jouer à l'avantage du constructeur et, ultimement, du consommateur, mais on en a fait abstraction. Trois facteurs principaux susceptibles de faire baisser les prix pour le constructeur n'ont pas été quantifiés : la durée de la construction, le gaspillage des matériaux et le service après vente.

Durée réduite de la construction

L'un des plus grands avantages de la construction préfabriquée est qu'elle peut réduire considérablement la durée de la mise en chantier. Dans le cas d'une Maison évolutive, on a estimé qu'il faut environ quatre heures l'unité pour installer les panneaux muraux. Les économies qu'on peut réaliser en réduisant le besoin d'une main-d'oeuvre spécialisée sur place sont évidentes, mais il existe d'autres économies qui peuvent être appréciables et dont on fait souvent abstraction. En l'occurrence, les frais généraux, de financement et de supervision sont réduits si la durée de construction est écourtée.

Moins de gaspillage de matériaux

Les intempéries affectent moins un bâtiment qu'ont peut monter et fermer en peu de temps. Les risques de vandalisme et de cambriolage sont réduits parce qu'il y a moins de matériaux entreposés sur place, et parce qu'il n'est pas nécessaire de remplacer des matériaux endommagés à cause d'un entreposage déficient ou de l'exposition aux éléments. Parce qu'il y a moins de gaspillage de matériaux, il en coûte moins cher de nettoyer et d'enlever les débris, la construction d'une maison moyenne produisant quelque 2,5 tonnes de débris (25 % de bois de construction de longueurs diverses et 15 % de produits de bois ouvrés), les économies pourraient être considérables, particulièrement dans les grands chantiers.

Service après vente

Un autre facteur à ne pas négliger est le service après vente moins onéreux. L'assemblage des composants dans des conditions contrôlées assure des matériaux secs, propres et non gauchis, ce qui favorise une qualité d'exécution accrue. Par conséquent, il y a moins de risques de crevasses, de déjettement ou de gauchissement des produits de finition intérieure, lorsque le bois d'oeuvre sèche et le besoin de réparations et d'ajustements post-occupation est moins grand.

Une évaluation des frais liés à ces facteurs permettrait d'avoir une meilleure idée des économies possibles, et de présenter au constructeur des arguments plus convaincants.

● 7.3 MISE AU POINT DE PRODUITS, DE LOGICIELS ET DE SERVICES

7.3.1 Mise au point de produits

Malgré le fait que les avantages d'une construction préfabriquée soient clairs, certains aspects positifs des panneaux que nous avons évalués pourraient être soulignés davantage pour mieux répondre aux besoins des constructeurs et des acheteurs, et donc d'en assurer une plus large acceptation. Il semble qu'il faille commencer par accroître le degré et l'ampleur de la préfabrication.

Degré de préfabrication

Il serait utile d'étudier la possibilité d'accroître le degré de préfabrication des panneaux. On a constaté que les possibilités d'économie sont plus élevées dans le cas de panneaux «à valeur ajoutée», car une plus grande fraction de l'enveloppe (et donc des frais de construction) est ainsi préfabriquée. Manifestement, une bonne façon d'économiser serait d'augmenter la capacité du panneau, qui pourrait notamment comporter une finition intérieure et extérieure, de même que le logement du câblage électrique et de la plomberie. Certains fabricants interviewés offraient quelques choix à cet égard, mais l'assortiment de finitions extérieures était assez limité. Un éventail de parements plus raffinés augmenterait le potentiel de commercialisation du produit, ce qui réduirait l'apparent engouement pour l'extérieur de brique et aiderait d'autant la construction de maisons préfabriquées.

Pour réduire le prix total de la maison, l'un des écueils tient aux emplois assez limités des panneaux préfabriqués. Même si la plupart peuvent, d'une manière ou d'une autre, coûter moins cher, ils sont le plus souvent moins compétitifs si l'on veut les utiliser dans les sous-sols, sur les toitures ou même dans les murs de séparation. Il ne fait pas de doute qu'il faudrait trouver des solutions de rechange rentables pour des éléments préfabriqués autres que les murs extérieurs.

Notamment, l'industrie pourrait tirer profit de la conception de murs préfabriqués hautement ignifuges et insonorisés, de préférence simples, qui se substitueraient aux murs doubles dont on se sert communément pour les séparations. De même, si l'on s'efforçait de mettre au point des planchers et des cloisons économiques, on pourrait offrir aux constructeurs un ensemble plus complet. La conception des sections modulaires plus petites et normalisées, semblables à celles que nous avons étudiées dans la seconde partie de l'étude, accroîtrait la maniabilité et faciliterait les modifications de dernière heure sur place, à la demande de l'acheteur, ce qui rendrait le produit plus commercialisable. Ce serait particulièrement utile dans la rénovation des bâtiments.

En augmentant le degré et l'ampleur de la préfabrication, non seulement les économies potentielles pour le constructeur seraient-elles plus appréciables, mais on simplifierait la gestion et la coordination. Par le fait même, il y aurait moins de recoupement des travaux d'électricité, de plomberie, de menuiserie et de finition, et l'activité normale du chantier en serait moins perturbée.

7.3.2 Mise au point de logiciels

La normalisation des matériaux et composants qui caractérisent le processus d'industrialisation se prête bien à la conception, la production, la construction et la commercialisation assistées par ordinateur. La mise au point de logiciels fournirait des instruments efficaces pour diverses fonctions :

- Optimiser l'efficacité des ressources (main-d'oeuvre et matériaux) pour la préfabrication des composants
- Contrôler la production et la distribution des stocks de matériaux et de composants préfabriqués
- Effectuer des estimations de coûts, comprenant frais de transport et de manutention
- Logiciel graphique interactif destiné à l'acheteur éventuel désireux d'aménager l'intérieur de sa maison et de choisir la finition.

Il serait particulièrement utile de disposer d'éléments intégrés capables de remplir deux de ces fonctions ou plus. Vu la prolifération des ordinateurs portatifs, ce genre de logiciel pourrait être un instrument de marketing. Les constructeurs comme les acheteurs et fournisseurs seraient invités à s'initier et à travailler au design des habitations, de sorte que la forme et le coût de leurs décisions seraient accessibles facilement en usine, dans le bureau du constructeur, au domicile de l'acheteur ou encore sur le chantier de construction, au moment des derniers changements.

7.3.3 Services plus étendus

Comme nous l'avons déjà dit, un élément faisant partie d'un ensemble complet, qui perturbe le moins possible le cours normal des travaux du constructeur et simplifie la coordination, a de meilleures chances d'être accepté par l'industrie. Bien que l'accroissement de l'ampleur et du degré de préfabrication et la prestation de services assistés par ordinateur et faciles d'accès sont d'heureuses initiatives, on ne saurait ignorer qu'il existe un besoin d'une gamme plus étendue de services. La prestation du transport, du levage, de l'installation, de la main-d'oeuvre, de la formation et de l'inspection par le fabricant, ainsi que des garanties et du service après vente, pourraient être intéressants pour le constructeur confronté à la décision d'adopter une nouvelle méthode de construction. Remplacer un ouvrier (plutôt qu'en ajouter un) et simplifier la construction apparaissent comme des objectifs qu'il faudrait viser dans la promotion de tout composant, élément ou matériau préfabriqué.

● 7.4 ÉTUDES DE MARCHÉ

Dans une optique plus large, l'industrie pourrait tirer profit de campagnes de publicité visant à évaluer le potentiel de certains types d'assemblages préfabriqués en Amérique du Nord et à en promouvoir les avantages. En plus des facteurs déjà mentionnés, le potentiel du logement préfabriqué, n'importe où, sera fonction de divers facteurs d'ordre architectural, technique, pratique et juridique. Ce sont en effet les goûts, les cultures, les tendances et le revenu moyen d'une localité qui influeront sur le design, l'aspect et le prix des maisons qui se vendront le mieux. Le nombre, l'importance et les caractéristiques opérationnelles des constructeurs et fournisseurs détermineront dans quelle mesure ils seront disposés à adopter la préfabrication. Les règlements municipaux et les codes du bâtiment dicteront l'acceptabilité des divers procédés pour la construction locale. Les exigences techniques des procédés seront, eux, régis par les conditions climatiques et géographiques.

Une évaluation de ces paramètres pourrait être d'un apport précieux pour les aménagements, car elle ferait ressortir les points forts, les points faibles et les incompatibilités d'un élément préfabriqué en particulier, dans un contexte donné. Les produits pourraient ensuite être modifiés selon les exigences d'un marché précis.

En conclusion, il y aurait lieu de faire de la promotion pour informer les constructeurs et acheteurs des avantages de la construction préfabriquée, et de jeter une lumière positive sur le logement industrialisé en général et les composants préfabriqués en particulier. Si l'on mise sur une qualité supérieure, une plus grande efficacité énergétique et des prix éventuellement concurrentiels, l'avenir paraît prometteur.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Automated Builder Magazine, décembre 1992.

[2] Baristow, Dale. Les perspectives d'avenir de l'habitation préfabriquée au Canada, SCHL, Ottawa, 1985.

[3] ___ Minutes of the Proceedings of the National Conference on the Future of Housing in Canada, Calgary, 15-17 mars 1985.

[4] Commission de la construction du Québec, déc. 1991.

[5] Cooke, J.R. Discours prononcé à l'assemblée générale annuelle de la New Brunswick Mobile Home and Parks Association, 29 janvier 1993.

[6] Friedman, A. A Proposed Decision-Making Model for Initiators of Flexibility in Multi-Unit Housing. Dissertation doctorale inédite, Université de Montréal, 1988.

[7] Friedman, A. Innovation in the North-American Homebuilding Industry. Open House International, vol. 14, no 3, pp. 16-19, 1989.

[8] Friedman, A. et V. Cammalleri. Evaluation of Affordable Housing Projects Based on the Grow Home Concept. Université McGill, École d'architecture, Affordable Homes Program, Montréal 1992.

[9] Ginter Inc. Évaluation comparative des méthodes de construction usinée en regard de la construction traditionnelle. Rapport à l'intention de La Société d'habitation du Québec et de la SCHL, Montréal, 1991.

[10] Ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie. Bâtiments résidentiels et industriels manufacturés à ossature de bois au Québec en 1990. MICT, Québec 1991.

[11] Montgomery, R. Housing Density, Low Rise Housing and Changes in the American Housing Economy. The Form of Housing, S. Davis ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1977. pp. 83-111.

[12] Roberts, C.J.B. Home Buying U.S.A. : A System Analysis. Industrialization Forum, vol. 1, no 3, 1970. pp. 35-40.

[13] Rybczynski, W., Friedman, A. et Ross, S. The Grow Home. Université McGill, École d'architecture, Affordable Homes Program, Montréal, 1990.

[14] Winter, S. Market Potential for Structural Insulated Panels in Residential and Light Commercial Buildings. SIPA, Duluth, MN, 1991.

FABRICANTS PARTICIPANTS

Modulex Inc.
3090, boulevard Wilfred-Hamel
Québec (Québec)
G1P 2J1
Tél. : (418) 681-0133

Uni-Structurx (Thermapan)
C.P. 132
Beaconsfield (Québec)
H9W 5T7
Tél. : (514) 426-3276

Maisons Claude Bouchard (Nascor)
234, rue de Normandie
Boucherville (Québec)
J4B 7T5
Tél. : 523-2805

Dunfab Inc. (Insul-Wall)
663 route 139
Roxton Pond (Québec)
J0E 1Z0
Tél. : (514) 372-0008

Breuers and Associates (Super-Lock)
No 201 - 20559 Fraser Valley
Langley (C.-B.)
V3A 4G3
Tél. : (604) 533-4476

Systèmes V-Joist
50, rue Pacific
Bromont (Québec)
J0E 1L0
Tél. : (514) 534-4031

ANNEXE A
LISTE DES FABRICANTS

ABC Custom Cedar Homes, Inc., Sonoma, CA
Acorn Structures, Concord, MA (*)
Active Homes Corp., Marlette, MI
Advance Energy Technologies, Clifton Park, NY (**)
Advance Foam Plastics, Inc., Denver, CO
Advanced Building Systems Inc., Lawrenceville, NJ
Affordable Luxury Homes, Inc., Markle, IN
AFM Corporation, Shorewood, MN (*)
Ahern Enterprises, Inc., Campti, LA
Air Lock Log Company, Inc., Las Vegas, NM
Alchem Inc., Anchorage, Alaksa (**)
ALH Building Systems, Markle, IN (*)
Aliquot, Ltd., Metamora, IL (**)
Allied Foam Products, Onc., Gainesville, GA
American Dream Homes, Springfield, MA
American Standard Building Systems, Martinsville, VA
Amwood Homes, Beloit, WI
Andrews Building Systems, Inc., Longmont, CO (**)
APC International, Auburn, WA (*)
Archimede 2000 Inc., Anjou, PQ (*)
Armstrong Lumber Company, Inc., Auburn, WA CO (**)
Artery Organization, The, Fredericksburg, VA
Atlas Industries, Ayer, MA (*)
Barden & Robeson Corporation, Middleport, NY (*)
Barna Log Systems, Jim, Oneida, TN
Baticube, Chicoutimi, PQ (***)
Bâtisseurs Associés Ltée., Saint-Adelphe, PQ (*)
Bay Wood Homes, Inc., Bay City, MI
Beaver Homes & Cottages, Nepean, ONT (**)
Beaver Mountain Log Homes, Inc., Hancock, NY
Bellevue Builders Supply, Schenectady, NY
Bentley Construction, Travelers, SC
Berkshire Construction Co., Inc., Falls Village, CT (**)
Best Panel Homes, Hamilton, OH
Bétonnière Lemyre Ltée., Drummondville, PQ (**)
Big Sky Insulations, Inc., Belgrade, MT
H.W. Blackstock Co., Seattle, WA
Blink Lumber Co., Marne, MI (**)
Branch River Foam Plastics, Inc., Smithfield, RI
Brentwood Log Homes, Murfreesboro, TN
Brown-Graves Co., Akron, OH
Buerman Homes Inc., Cold Spring, MN
Building Contractors Inc., Benton Harbor, MI
BYC Homes, Ltd., Gloucester, ONT (***)
C & S Cal-Walls, El Paso, TX
California Pre-Cut Homes, Danville, NC
Carolina Builders Corporation, Raleigh, NC
Carolina Model Home Corporation, Fayetteville, NC
Cavco Homes, Inc., Cavetown, MD
Cedar Mark Homes, Bellevue, WA
Cedarridge Buildings, Springfield, MO
Century Homes, Lawrence, KS
Century Insulations Mfg. Co., Union, MS
Chapman Homes, Dothan, AL
Charpentec Inc., Québec, PQ (**)
Chase Barlow Lumber, Louisville, KY (**)
Cheim Pre-Fab Homes, San Jose, CA
Chopp & Co., Waldorf, MD
Christiansen Building Comp. Div., Oconomowoc, WI
Citation Homes, Spirit Lake, IA (**)
ClarkLite, Colombus, Oh (**)
Coastal Structures, Inc., South Portland, MA (***)
Component Building Systems, Inc., Newville, PA
Component Division, Memphis, TN
Compu-Tech Lumber Co., Fairfield, CA
Concept 2000 Homes, Dittmer, MO (*)
Construction Concepts P-3000, Matane, PQ (*)
Contour Products, Inc., Wichita, KS
Corat Building Systems, Miami, FL
Crawford Manufactured Homes Ltd., Aldersyde, AB
Crenshaw, Co., Gardena, CA
Crestmanor Homes, Inc., Martinsburg, VA
Custom Craft, Windsor, NY
Davidson Industries Inc., Indianapolis, IN (**)
D.B.S., Monkton, MD
Deck House Inc., Acton, MA (*)
Deltec Homes, Asheville, NC
Design America Corporation, Perrysburg, OH
Dessen Homes, Vancouver, WA
Deville Homes, Canton, OH
Diamond Point Lumber, Delanson, NY
Diversified Homes, Columbia, MD
Drake Industries, Cleveland, OH
Dunfab, Roxton Pond, PQ (*)
Dura-Built Homes, Inc., Montgomery, AL
East Coast Homes, Mifflintown, PA
Eight Builders Associated, Inc., Fayetteville, NC
Endeavor Homes, Bakersfield, CA
Endure-A-Lifetime Products, Inc., Miami, FL
Enercept, Inc., Watertown, SD (*)
Enviro Buildings, Inc., Quincy, IL (*)
Fairfield Homes, Culpepper, VA

Fermes de Toit des Laurentides, Mont Laurier, PQ (**)
First Colony Homes, Calverton, VA
Fischer Corporation, Louisville, KY (*)
Flanders Bldg. Supply, Inc., Essex Junction, VT (**)
Fleetwood Homes, Inc., Worthington, MN (*)
Foam Laminates of Vermont, Hinesburg, VT (*)
Foam Products Corporation, Maryland Heights, MO (*)
Forest Maid Homes, Great Barrington, MA
Fox Ridge Homes, Brentwood, TN (*)
Futurebilt Structural Insulated Panels, Wimberley, TX (*)
Gastineau Log Homes, Inc., New Bloomfield, MO
3-C General Construction, Limoges, ONT (***)
Gentry Homes Ltd., Waipahu, HI
Geodesic Domes & Homes, Whitehouse, TX
Golden Key Homes, Howard County, MD
Goscobec, Rivière du Loup, PQ (**)
Green Island Homes, Green Island, NY (**)
Green Mountain Homes, Royalton, VT (**)
Habitations Quélord Ltée., Saint-Léonard-de-Portneuf, PQ (**)
Harmony Exchange, Inc., Boone, NC (*)
Hartl Haus, Merced, CA
Harvest Homes, Inc., Delanson, NY (*)
Hearthstone Homes, Dandridge, TN
Helikon Design, Cavetown, MD
Heritage Building Products, Murray, UT
Heritage Homes of New England, Westfield, MA (**)
Heritage Homes of Thomasville, Inc., Thomasville, NC
Hess Home Builders, Lancaster, PA
HP PAnels, Inc., Chicago, IL (**)
Home MFG. & Supply Co., Sioux Falls, SD
Homecraft Corp., South Hill, VA
Homes America Corporation, Huntington, MD
Industries Fermco, Saint-Adelphe, PQ
Industries Pre-Fab Silmar, Inc., Grand-Mère, PQ (***)
Iso-Sand Inc., Granby, PQ (*)
Insulated Building systems, Inc., Sterling, VA
Insu-Kor, Inc., Elkhart, IN (**)
Insul-Wall, Ltd., Dartmouth, NS (*)
International Building Concepts, Kamloops, C.-B. (**)
International Building Systems, Portland, OR
J-Deck Building Systems, Columbus, OH (**)
Kingman Homes, Inc., Mount Vernon, OH
Kingsberry Homes, Inc., Fort Payne, AL
Korwall Industries, Inc., Arlington, TX (*)
Latham Lumber Sales, Roseville, CA
L.C.H. Mid-West, Inc., Mt. Clemens, MI
Lena Builders Inc., Eleroy, IL
Les Habitations Techniques H.C. Ltée., Saint-Joseph-de-Beauce, PQ (*)
Lincoln Logs Ltd., Chestertown, NY
Lindal Cedar Homes, Seattle, WA
Logangate Homes, Youngstown, OH
Log Cabin Homes Inc., Rocky Mount, NC
Log Homes of America, Centreville, AL
Lowe's of Florida, Sanford, FL
L.T.S. Inc., Worthington, OH (**)
Manufactured Homes, Inc., Marshall, MI
Marine Industries, Inc., Kentwood, MI
Mid-America Industries, Inc., Mead, NE
Midwest Panel Systems, Blissfield, MI (*)
Miles Homes Inc., Minneapolis, MN
Miron Lumber Co., Poughkeepsie, NY
Mitchell Company, The, Mobile, AL
Model Log Homes, Gallatin Gateway, MT
Modern Home & Equipment Co., Mobile, AL
Modular Energy Systems, Inc., Mesa, AZ (**)
Modulex Inc., Québec, PQ (*)
M.T. Inc., Sabana Seca, PR
Mur-Ext Inc., Lafontaine, PQ (**)
The Murus Company, Mansfield, PA (*)
MV Hinson, Memphis, TN
Nascor, Inc., Calgary, Alberta (*)
National Building Systems, Effingham, IL (*)
National Homes Corp., Thomson, GA
National Partisians, Hialeah, FL
Nelson Homes, Bakersfield, CA
New England Homes, Inc., Greenland, NH (*)
New England Log Homes, Hamden, CT
New Pioneer Log Homes, Inc., Weippe, ID
Newtrend, Inc., Colorado Springs, CO
Newtowne Group, Inc., Dublin, OH
Nickerson Homes, Orleans, MA
North American Panel Systems, Inc., Westmoreland, NH (*)
Northern Counties, Inc., Upperville, VA
Northern Homes, Inc., Glen Falls, NY (**)
Northern Log Homes, Groton, VT
NV Ryan, Columbia, MD
O'Connor Company, E.R., Fullerton, CA
O'Connor Lumber, Westfield, MA
Ohio Valley Homes, Inc., Evansville, IN
Ontario Panelization, ONT (**)
Orange Blossom Hill, Lady Lake, IL
Oregon Dome, Inc., Eugene, OR
Pacemaker Plastics Co., Inc., Newcornerstown, OH
Pacesetter Building Systems, Modesto, CA
Pacific Allied Products, Ltd., Ewa Beach, HI
Pacific Buildings, Inc., Evansville, IN
Pacific Component Homes, Inc., Seattle, WA
Pacific Homes, Langley, BC (*)
Pacific Modern Homes, Inc., Elk Grove, CA
Pageant Homes, Holt, MI
Pan Adobe International Ltd., Richmond, BC
Panel Building Systems, Inc., Greenville, PA (**)
Panel Tech, Inc., Madisonville, TN
Panel Technology Building Systems, Inc., Fort Myers, FL (**)
Pease Company, Hamilton, OH
Permabilt Manufactured Homes, Inc., Marshall, MI
Perma-R Products, Inc., Johnson City, TN (**)
Person & Person, Inc., Sumner, WA
F.S. Plummer Co., Inc., Gorham, ME (**)
Poly-Core Manufacturing, Inc., Crystal, MI
Poly-Foam Inc., Lester Prairie, MN
Pond Hill Homes, Blairsville, PA (*)
Porter Inc., W.H., Holland, MI (**)
Poulin & Dumais, Beauport, PQ
Prairies Homes, Pottstown, PA
Pre-Engineered Housing, McLean, VA
Prince Homes Inc., Princeville, PQ (**)
Produit PBM Ltée., Saint-Pierre-de-Lamy, PQ (**)
Prowswood, Inc., Salt Lake City, UT
Purnell, Inc., Ocean City, MD
RADVA Corporation, Radford, VA (*)

Randall Phillips Builders Inc., Nashville, TN
Raphael Building System, Anaheim, CA
Ray-Core, Inc., Lock Haven, PA (*)
Real American Housing Corp., Phoenix, AZ
Real Log Homes, Hartland, VT
Reasor Corporation, Charleston, IL
Remarc, Inc., Holderness, NH (*)
Riverbend Timber Framing, Blissfield, MI
Rocklin Lumber, Rocklin, CA
Robert Coulombe, Inc., Lauzon, PQ (***)
Ronning Ent. Home Supply Co., Sioux Falls, SD
Ryan Homes, Inc., Pittsburg, PA
Rycenga Homes, Inc., Spring Lake, MI (**)
Ryland Group, Columbia, MD (**)
Saco Homes, Timonium, MD
Scan-American Enterprises, Canon City, CO
Seth Lumber Co., Inc., Lincolnton, NC
Silver Companies, Fredericksburg, VA
Smith Inc., A.J., Nashville, TN
Soli-Cor, Inc., Oilville, VA (*)
Southern Cross Lumber Co., Hazelwood, MO
Southern Cypress Log Homes, Lenoir City, TN
Standard Homes Co., Olathe, KS
Sterling Custom Homes Corp., Wausau, WI
Stimpert Enterprises, Sleepy Eye, MN
St. Mary's Precision Homes, Inc., St. Mary's, PA
Stress Panel Manufacturing, Inc., Pittsburg, KS (*)
Structural Panels Inc., Oldsman, FL (**)
Structural Systems Inc., Gaithersburg, MD
Structure Noram Inc., Saint-Luc, PQ
Structures Equerres, Thurso, PQ (***)
Structures Laprise Inc., Montmagny, PQ (**)
Sturdy-Built Manufacturing, East Freedom, PA
Summey Bldg. Systems, Dallas, NC
Sunburst Homes, N.Adams, MA (**)
Sunlight Homes, Bernalillo, NM (*)
Super Lock Ltd., Langley, BC (*)
Surfast Industries Inc., Morin Heights, PQ (*)
Système Nascor Inc., Sainte-Marie, PQ
Tech Built Homes, Inc., N. Dartsmouth, MA (**)
Technologies Thermomat Intl., Longueuil, PQ (***)
Temo, Inc., Mt. Clemens, MI (**)
Thermal Foams, Inc., Buffalo, NY
Thermal Shell Homes, Las Vegas, NV (**)
Thermapan Industries, Inc., Fonthill, ONT (*)
Timberpeg Pacific, Reno, NV
Timber Truss Housing Systems, Inc., Salem, VA
Titan Unlimited, Orlando, FL
T J Contractors, Inc., Jacksonville, FL (**)
Today's Building Systems, Newark, OH
Toll Brothers, Inc., Morrisville, PA
Topsider Homes, Yadkinville, NC
Traditional Management, Hanover, NH
Triangle Lumber Company, Quakerston, PA
Tri-State Homes, Inc., Mercier, WI
Tylander Systems Inc., Hobe Sound, FL
Unified Corporation, Columbia, VA (**)
Uni-Structurx Inc., Beaconsfield, PQ (*)
United Building Systems, Lexington, KY
United Development, Wheeling, IL
United Industries Company, Inc., Bentonville, AR (**)
Universal Manufacturing Corp., Camden, OH
Valley Homes of Connecticut, Inc., Newington, CT
Vanguard Homes, Inc., San Diego, CA
Vaughn & Sons, Inc., San Antonio, TX
Ventury Homes, Bowmanville, ONT (**)
Vermont Stresskin Panels, Cambridge, VT (**)
Viceroy Homes Ltd., Scarborough, ONT
Wallframe of Southern California, Inc., Sun Valley, CA (*)
Wallup Industries, Inc., Ormond Beach, FL
Walnut Custom Homes, Walnut, IL
Ward Component Systems, Rockville, MD
Wausau Homes, Inc., Wausau, WI (*)
West Coast Mills, Inc., Chehalis, WA
Western Insulfoam, Kent, WA
Western Log Homes, Hamilton, MT
Westland Modular Homes, Hastings, NE
Whispering Pines Log Homes, Verndale, MN
Wick Homes, Mazomanie, WI
Wickes Shelter Systems, Atlanta, GA
Winchester Homes, Baltimore, MD
Windsor Homes, Madison, WI
Wisconsin EPS, Inc., Fond du Lac, WI
Wing Manufacturing, Inc., Latrobe, PA (**)
Winter Panel Corporation, Brattleboro, VT (*)
Woodmaster Foundations, Inc., Prescott, WI
Woodward Lumber Company, Las Cruces, NM
Yankee Barn Homes, Inc., Grantham, NH (**)
Ziner Lumber Company, J., Agincourt, ONT

* Réponse reçue
** Réponse reçue/sans objet pour construction résidentielle individuelle
*** Entreprise fermée ou service téléphonique débranché

RÉPONSE REÇUE (*)

PANNEAUX OUVERTS À REVÊTEMENT (traditionnels)

Acorn Structures Inc., Concord, MA
Barden Homes, Middleport, NY
Deck House Inc., Acton, MA
Harvest Homes, Delanson, NY
Les Habitations techniques H.C. Ltée., Saint-Joseph-de-Beauce, PQ
Modulex, Québec, PQ
New England Homes, Greenland, NH
Pacific Homes, Langley, Colombie-Britannique
Wausau Homes, Inc., Wausau, WI

PANNEAUX DE CHARPENTE MULTIPLIS

AFM Corporation, Excelsior, MN
APC International, Auburn, WA
Archimede 2000 Inc., Anjou, PQ
Atlas Industries, Ayer, MA
Concept 2000 Homes, Dittmer, MO
Enercept Inc., Watertown, SD
Enviro-Buildings Inc., Quincy, IL
Fischer Corporation, Louisville, KY
Foam Laminates of Vermont, Hinesburg, VT
Foam Products Corporation, Maryland Heights, MO
Futurbilt, Wimberly, TX

Harmony Exchange, Inc., Boone, NC
Iso-Sand Inc., Granby, PQ
Korwall Industries Inc., Arlington TX
Midwest Panel Systems, Blissfield, MI
North American Panel Systems Inc., Westmoreland, NH
Pond Hill Homes, Blairsville, PA
RADVA Corporation, Radford, VA
Remarc Inc., Holderness, NH
Soli-Cor Inc., Oilville, VA
Stress Panel Manufacturing Inc., Pittsburg, KS
Sunlight Homes, Bernalillo, NM
The Murus Company, Mansfield, PA
Thermapan Industries, Fonthill, Ontario
Unistructrx, Beaconsfield, PQ
Winter Panel Corporation, Brattleboro, VT

PANNEAUX DE CHARPENTE STRUCTURELS

Dunfab, Roxton Pond, PQ
Insul Wall Ltd., Dartmouth, Nova Scotia
Nascor Inc., Calgary, Alberta
Super Lock Ltd., Langley, Colombie-Britannique
Wallframe Inc., Sun Valley, CA

PANNEAUX À PAROI CONTRAINTE

ALH Building Systems, Markle, IN
Bâtisseurs Associés, Saint-Adelphe, PQ
Construction Concepts P-3000, Matane, PQ
Enercept Inc., Watertown, SD (Foundations)
Surfast Industries Inc., Morin Heights, PQ

SANS OBJET POUR USAGE RÉSIDENTIEL (**)

Beaver Homes and Cottages, Nepean, ONT
Berkshire Construction Co. Inc., Falls Village, CT
Bétonnière Lemyre Ltée., Drummondville, PQ
Blink Lumber Co., Marne, MI
Chase Barlow Lumber, Louisville, KY
ClarkLite, Columbus, OH
Davidson Industries Inc., Indianapolis, IN
Fermes de Toit des Laurentides, Mont-Laurier, PQ
Flanders Building Supply Inc., Essex Junction, VT
Tech Built Homes, Inc., N. Dartsmouth, MA

ENTREPRISE FERMÉE OU
SERVICE TÉLÉPHONIQUE DÉBRANCHÉ (***)

Bâticube, Chicoutimi, PQ
BYC Homes Ltd., Gloucester, ONT
Coastal Structures, Inc., South Portland, ME
3-C General Construction, Limoges, ONT
Industries Pre-Fab Silmar Inc., Grand-Mère, PQ
Robert Coulombe Inc., Lauzon, PQ
Structures Equerres, Thurso, PQ
Technologies Thermomat Intl., Longueuil, PQ

ANNEXE B
LISTE DES FABRICANTS QUÉBÉCOIS

MAISONS/MUR/PLANCHERS PRÉFABRIQUÉS

Archimede 2000 Inc., Anjou
Baticube, Chicoutimi
Bâtisseurs Associés Ltée., Saint-Adelphe
Bétonnière Lemyre Ltée., Drummondville
Charpenter Inc., Québec
Construction Concepts P-3000, Matane
Dunfab, Roxton Pond
Fermes de Toit des Laurentides, Mont-Laurier
Goscobec, Rivière du Loup
Habitations Quélord Ltée., Saint-Léonard-de-Portneuf
Industries Fermco, Saint-Adelphe
Industries Pre-Fab Silmar Inc., Grand-Mère
Iso-Sand Inc., Granby
Les Habitations Technique H.C. Ltée., Saint-Joseph-de-Beauce
Modulex, Inc., Québec
Mur-Ext Inc., Lafontaine
Poulin & Dumais, Beauport
Prince Homes Inc., Princeville
Produit PBM Ltée., Saint-Pierre-de-Lamy
Robert Coulombe, Inc., Lauzon
Structure Noram Inc., Saint-Luc
Structures Equerres, Thurso
Structures Laprise Inc., Montmagny
Surfast Industries Inc., Morin Heights
Système Nascor Inc., Sainte-Marie
Technologies Thermomat Intl., Longueuil
Uni-Structurx Inc., Beaconsfield

FABRICANTS DE FENÊTRES

Afpec Inc., Saint-Eustache
Alumibois Inc., Alma
Aluminium Atlanta Inc., Saint-Léonard
Aluminium Fenebel (1989) Inc., Montréal-Nord
Aluminium J.L. (1989) Inc., Saint-Hubert
Aluminium M.G.S. Inc., Montréal-Nord
Armoires Garland Inc. (Les), Saint-Rémi
Atelier de la Crapaudière Inc., Saint-Léon-de-Standon
Atelier de Matane Inc., Matane
Ateliers Chouinard Inc. (Les), Saint-Pamphile
Aubrie Menuiserie Générale (Ernest), Verchères
Aucoin Inc. (Edmond), Saint-Boniface-Shawinigan
Bastille & Fils Inc. (E.), Pohénégamouk
Beco Inc., Warwick
Boissonneault & Bisson Inc., Rouyn-Noranda
Bolduc & Grégoire Inc., Cowansville
Bonneville Portes et Fenêtres; Div. Groupe Bocenor (BF) Inc., Sainte-Marie
Brouillette Inc. (Gaston), Cap-de-la-Madeleine
Caya (1982) Inc. (Thomas), Notre-Dame-du-Bon-Conseil
Centre du Chassis R.N. Inc. (Le), Lauzon
Charlebois & Fils Ltée., Lachute
Charron (1975) Ltée. (J.B.), Sainte-Thérèse
Chomedey Aluminium Ltée., Laval
Compagnie Lucien Leboeuf Ltée. (La), Bécancour
Compagnie Shalwin Ltée. (La), Shawinigan-Sud
Compagnie Zimmcor (La), Lachine
Duval & Gilbert Inc., Montréal
Entreprises A.M. (Saint-Tite) Inc., Saint-Tite
Entreprises C. & L. Caruso & Fils Inc., Montréal-Nord
Entreprises C. Levesque Ltée (Les), Saint-Jude
Entreprises Chartre Ltée. (Les), Malartic
Entreprises Dalcourt & Roussel Inc. (Les), Saint-Léonard
Entreprises Marchand (1979) (Les), Sainte-Catherine
Entreprises Tessier & Frère Inc., Saint-Césaire
Entreprises Windoors Inc. (Les). Montréal-Nord
Fabelta Aluminium Inc., Manseau
Fantastique Aluminium Ltée., LaSalle
Fenebec Inc., Saint-Joseph-de-Beauce
Fenestral Inc., Dolbeau
Fene-Tech Inc., Amqui
Fenêtres & Rénovations Maki Inc., Maniwaki
Fenêtres AGM Inc. (Les), Hébertville-Station
Fenêtres Dominic Inc. (Les), Saint-Bruno-de-Montarville
Fenêtres Elite Inc. (Les), Saint-Gilles
Fenêtres Gaspésiennes Inc. (Les), Sainte-Anne-des-Monts
Fenêtres Mirabel Inc. (Les), Saint-Antoine
Fenêtres Montmagny Inc., Saint-François-de-la-Rivière
Fenêtres P.E. Ouelet Inc. (Les), Notre-Dame-des-Lourdes
Fenêtres Polyco Ltée., Jonquière
Fenêtres Réjean Tremblay Inc. (Les), Métabetchouan
Fenêtres Select Inc., Sainte-Thérèse
Fenêtres Saint-Jean Inc. (Les), Saint-Jean-sur-Richelieu
Flamand Inc. (Donald), Saint-Apollinaire
Foyer Canadien (1986) Inc. (Le), Amqui
Gestion Yvon Boilard Inc., Saint-Ferréol-les-Neiges
Gingras & Fils (1974) Ltée. (Jos), Saint-Damasse
Girard & Fils Inc. (Gilles), Saint-Felix-de-Valois
G.I.T. Aluminium Ltée., Saint-Léonard
Goulet & Fils Ltée. (Treffle), Saint-Joseph-de-Beauce

Groupe Laurendeau Tardif Inc., Montmagny
Industries Guay Inc. (Les), Delisle
Industries Prime Ltée. (Les), Lachine
Industries Unik Ltée. (Les), Saint-Agapit
Isothermiques Solarcan Ltée., Boucherville
Lajoie & Fils Inc. (J.G.), Saint-Bruno-de-Montarville
Lepage Inc. (Alphonse), Rivière-du-Loup
Maisonneuve Aluminium Inc., Montréal
Marcoux & Frères Enr., Coaticook
Martin (1984) Inc. (L.), Rivière-du-Loup
Menuiserie Albert, Le Gardeur
Matériaux de construction Castonguay Inc., Dégelis
Menuiserie Bélisle Inc., Saint-Jean-de-Dieu
Menuiserie des Pins (L.F.) Ltée., Notre-Dame-des-Pins
Menuiserie générale Roberval Enr., Roberval
Meubles du Québec Inspiration XIXe Ltée. (Les), Sainte-Agathe-des-Monts
Milette Inc. (Gérard), Saint-Boniface-de-Shawinigan
Mineault Inc. (Théo), Angers
Mongrain & Frères Ltée., Shawinigan
Multiver Ltée., Vanier
Murphy Enr., Beauharnois
Nadeau Enr. (D.), Saint-Léon-de-Standon
Naud Inc. (Pierre), Sainte-Thècle
Ouvertures St-Boniface Inc. (Les), Saint-Boniface-de-Shawinigan
Paquin Inc. (E.), Piedmont
Portes & Chassis Eddy Boulet Inc., Tracy
Portes & Chassis Giguère & Fils Inc., Château-Richer
Portes & Chassis J.C. Coulombe Inc., Saint-Thomas
Portes & Fenêtres Abritek Inc., Saint-Georges
Portes & Fenêtres de Beauce (1979) Ltée., Saint-Benoit-Labre
Portes & Fenêtres Isolco Inc., Sainte-Foy
Portes & Fenêtres Isothermic Inc., Thetford Mines
Portes & Fenêtres Leblanc Inc., Saint-Athanase
Portes & Fenêtres L.G.C. Inc., Chicoutimi
Portes & Fenêtres Québec, Québec
Portes & Fenêtres Yvon Lambert Enr., Notre-Dame-du-Mont-Carmel
Portes Modernes Inc., Boisbriand
Prodomo Inc., Montréal-Est
Produits Chantecler Inc., Saint-Apolinaire
Produits A.B.P. Inc., Montréal
Produits Aéro Inc. (Les), Laval
Produits d'Aluminium Admiral Inc., Montréal
Produits d'Aluminium Allied Inc. (Les), Montréal
Produits d'Aluminium Wilton Ltée. (Les), Saint-Léonard
Produits de bâtiment Alcan, Div. d'Alcan Aluminium Ltée., Anjou
Produits S.U.M. Inc (Les), Mont-Laurier
R. Laflamme & Frères Inc., Saint-Apolinaire
Rénovation en aluminium ASA Inc., Saint-Léonard
Roberge & Fils Inc., La Sarre
Robert & Robert Ltée., Saint-François-Xavier-de-Québec
Solarco Inc., Notre-Dame-des-Pins
Solaris Québec Inc., L'Ange-Gardien
Thibault Inc. (P.E.), Beauharnois
Toiturex Inc., Saint-Bruno
Vaillancourt & fils Ltée. (R.), Drummondville
Varin & Fils Ltée. (Hervé), Sainte-Julienne
Veillette & Deschênes Ltée., Chicoutimi
Vertec Enr., Div de 2427-9861 Québec Inc., Saint-Bruno
Vinyline Québec Enr., Div. de 2542-1983 Québec Inc., Saint-Romuald
Vitrerie Bourgeois Inc., Granby
Vitrerie de la Lanaudière Inc., Saint-Thomas
Vitrerie Ferme-Neuve Inc., Ferme-Neuve
Vitrerie Nominingue Inc., Lac Nominingue
Vitrerie Norcristal (1982) Inc., Sept-Îles

PRODUITS DE BOIS DE CHARPENTE USINÉS

Adam Lumber Inc., Waterloo
Ateliers Ferjan Inc. (Les), L'Assomption
Bolduco Inc., Val-Alain
Brouillette & Frères Inc., Drummondville
Chevrons Dionne Inc., Saint-Pacôme
Chevrons du Bas Saint-Laurent Inc. (Les), Rimouski
Chevrons RBR Inc. (Les), Saints-Anges
Chevrons Richelieu Inc. (Les), Sainte-Victoire-de-Sorel
Chevrons Rivard (1980) Inc. (Les), Granby
Clyvamor Ltée., Saint-Georges-Est
Compagnie des Fermes Clermont Lessard inc. (La), Saint-Joseph-de-Beauce
Construction Concept P-3000 Inc., Matane
Cote Inc. (Gaston), Sherbrooke
Cote (1981) Inc. (Gilles), Chicoutimi
Dionne & Fils (1988) Ltée., Drummondville
Ébénisterie T. & L. Gagnon Inc., Sept-Iles
Ébénisteries Gaspésiennes Inc. (Les), Maria
Enterprises Chartre Ltée., Malartic
Entreprises Chartre Ltée., Malartic
Fecteau & Fils Inc. (Wilfrid), Saint-Benoît-Labre
Fermes de Toit des Laurentides Inc., Mont-Laurier
Fermes de Toit Hurtubise Inc., Notre-Dame-de-Pontmain
Fermes de Toit J.P.C. Enr. (Les), Lac-des-Écorces
Fermes de Toit Lac des Écorces Inc., Lac-des-Écorces
Fermes de Toit Montmagny Inc., Montmagny
Forget (1979) Inc. (Claude), Saint-Jovite
Freneco (1988) Ltée., Notre-Dame-de-Portneuf
Habitations Quelord Inc., Saint-Léonard-de-Portneuf
Industries Fremco Ltée. (Les), Saint-Adelphe
Industries Jager Inc., Blainville
Kefor Structures Ltée., Sainte-Anne-des-Plaines
Lépine & Lépine Inc., Sainte-Anne-des-Plaines
MacMillan Bloedel, Lasalle
Matériaux Laurier Inc., Laurier Station
Menuiserie Bélisle Inc., Saint-Jean-de-Dieu
Menuiserie Côte-Nord (Baie-Comeau) Inc., Baie-Comeau
Menuiserie Syrica Ltée., Lorrainville
Moisan Inc., Beauport
Pignons du Québec Inc. (Les), Mascouche
Poutrelles du Québec Ltée., Mascouche
Poutrelles modernes Ltée., Saint-Ephrem-de-Beauce
Produits Chantecler Inc., Gatineau
Produits PBM Ltée. (Les), Saint-Pierre-de-Lamy
Riopel Inc. (Jean), Chertsey
Romaro 2000 Ltée, Saint-Victor
Sofab (1984) Ltée., Lavaltrie
Structures de l'Outaouais (Les), Gatineau
Structures Le Tau Ltée., Saint-Jean-sur-Richelieu
Structures Paquet (1990) Inc., Montréal
Structures R.H. Inc., Thurso
Toits Fermetec Ltée. (Les), Terrebonne

Toiture Mauricienne (1982) Inc., Sainte-Marthe-du-Cap
Toitures Blanco (1984) Inc. (Les), Sainte-Foy
Toitures Deslongchamps Inc., Laurentides
Trusses Dufresne Inc. (Les), Arthabaska
Toitures Laferte, Drummondville
Toitures régionales Inc. (Les), Delisle
Toiturex Inc., Saint-Bruno

ANNEXE C
ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE PANNEAUX

Méthode d'évaluation

Une méthode a été mise au point pour évaluer les panneaux préfabriqués afin de déterminer dans quelle mesure les produits sont appropriés et convenables, puis de donner des conseils après avoir cerné les lacunes et les incompatibilités de certains articles qu'il y aurait lieu de réviser et d'améliorer. Plusieurs facteurs ont été pris en considération :

- La méthode devait être assez générale pour être applicable à divers genres et dimensions de bâtiments
- Elle devait être assez souple pour être facilement modifiée, élargie ou raffinée au fur et à mesure que de nouveaux éléments d'information seraient disponibles, ou que d'autres paramètres devraient s'ajouter
- les caractéristiques techniques et physiques, la marche à suivre devait tenir compte des obstacles susceptibles de surgir relativement au déroulement normal des travaux de construction.

Le modèle comporte deux ensembles d'attributs qui ont fait l'objet de corrélations, de pondérations et de quantification pour une application particulière. Après définition d'un ensemble d'exigences, les critères d'évaluation ont été établis à partir de ces dernières et chacune a été cotée. La cote totale pondérée a été totalisée pour chaque solution de rechange, et le panneau le mieux coté représente la solution idéale d'un problème en particulier. Puisque nous avions l'intention manifeste de fournir un produit destiné à l'exportation, susceptible d'être accepté par le constructeur moyen, les exigences ont été définies en accordant une attention spéciale à ces deux facteurs.

Exigences relatives au panneau

Dans l'ensemble, 28 attributs caractérisant la performance de panneaux préfabriqués ont été définis et répartis en neuf groupes. Les exigences étaient fondées sur les conclusions d'études portant sur les préférences des acheteurs [8], les lignes directrices énoncées par les commanditaires (SHQ, SCHL) et l'expérience générale de constructeurs d'ensembles résidentiels du type évolutif. Elles ont aussi été sélectionnées à la lumière des qualités physiques, pratiques et commerciales jugées souhaitables. L'importance ou la nature de ces exigences peut différer d'une région à une autre. L'analyse des exigences était axée sur le marché québécois de l'habitation, et bon nombre des qualités souhaitables ont été tirées d'une évaluation d'ensembles construits à Montréal. En outre, elles sont reliées au logement abordable, plus particulièrement aux nouveaux propriétaires.

Critères d'évaluation

Une fois les exigences définies, une série de critères d'évaluation quantifiables ou qualifiables ont été définis relativement au choix des panneaux. Chacun des critères peut être lié à une ou plusieurs exigences, et chacune de ces dernières est étayée par un critère d'évaluation ou plus. En tout, sept catégories générales comportant 34 attributs ont été déterminées. Les exigences, les critères d'évaluation et la corrélation de ces deux éléments se trouvent à la figure C1. Trois niveaux de corrélation ont été appliqués : forte, moyenne et faible.

Paramètres d'évaluation

Les panneaux ont été évalués en cotant chacun des critères sur une échelle de 1 (faible) à 5 (excellent). Les paramètres d'évaluation varient d'un attribut à l'autre. Les évaluations se fondaient sur l'un ou l'autre des trois paramètres : calcul empirique, résultats d'essais ou analyse. Les échelles d'évaluation étaient basées sur la performance relative, des paramètres absolus ou la conformité avec les exigences du Code. Dans certains cas, le critère était coté à des niveaux de détails multiples, tels que les murs, les joints ou les matériaux, pour tenir compte de tous les aspects du produit.

La cote de chaque critère a été multipliée par un facteur de pondération allant de 1 (sans importance) à 5 (très important) qui reflétait l'importance d'un attribut particulier pour une application précise (design, type d'habitation, emplacement, climat, etc.). Puis les cotes totales des panneaux ont été récapitulées, la note pondérée la plus élevée correspondant à la solution la plus convenable.

Il faudrait préciser que les ensembles d'attributs compris dans les matrices d'évaluation ne sont certainement pas exhaustifs. On a fait abstraction des attributs relatifs à l'architecture et à la mise en projet, car ces éléments ne faisaient pas partie de l'objet de l'étude. Il serait toutefois possible d'inclure ces considérations afin d'avoir une perspective plus complète et intégrée de l'évaluation des bâtiments. Notamment, le modèle pourrait éventuellement être élargi pour englober les caractéristiques du plan schématique (proxémique, ergonomie et commodité). Sur le plan pratique, les antécédents, la fiabilité et les programmes de garantie du fabricant pourraient être ajoutés à la liste des exigences. À la figure C1, l'attrait de la maison a été coté sous la rubrique «aspect visuel».

Évaluation des panneaux

Voici maintenant un bref énoncé des conclusions de l'évaluation de chaque catégorie de critères. Les cotes attribuées à chacun des critères sont réunies à la figure C2, et le tableau d'évaluation se trouve à la fin de la présente annexe.

Les résultats de l'évaluation devraient être interprétés avec réserve. Il est évident que des modifications secondaires, soit au design soit à l'assemblage des panneaux, pourraient changer la cote de plusieurs points. Des panneaux de charpente ouverts auxquels on ajoute un revêtement, par exemple, aurait une meilleure performance phonique, thermique et structurelle, et l'adjonction d'un pare-vapeur à l'un ou l'autre des panneaux accroîtrait à peu de frais leur performance au niveau de la pénétration de vapeur.

Les cotes à la figure 2 montrent quels panneaux conviennent à une application particulière, à la lumière des facteurs d'importance attribués à chacun des 30 critères d'évaluation. Un changement de la réglementation, du climat, du type d'habitation, de l'emplacement géographique ou des caractéristiques opérationnelles du

Corrélation entre les exigences et les critères d'évaluation

EXIGENCES RELATIVES AU PANNEAU / CRITÈRES D'ÉVALUATION	QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE					PERFORMANCE TECHNIQUE						DURABILITÉ						MANIABILITÉ/ADAPTABILITÉ					FACILITÉ D'ASSEMBLAGE			QUALITÉ D'EXÉCUTION					COÛT			
	Biodégradabilité	Recyclabilité	Contenu recyclé	Effet nocif sur l'ozone	Toxicité	Résistance thermique	Résistance à la vapeur	Infiltration	Solidité	Résistance au feu	Insonorisation	Résistance aux temp. extrêmes	Résistance à la radiation	Résistance produits chimique	Résistance à l'eau	Résistance aux parasites	Générale	Fab.-const./charpente	Fab.-const./services	Fab.-const./parements	Occupation/mur	Occupation/services	Sous-traitant requis	Niveau de qualification	Outils spéciaux requis	Joints/fissures viables	À niveau	Pare-vapeur, pare air continus	Isolant continu	Contrôle qualitatif nécessaire	Matériel	Main d'oeuvre	Équipements/tranport	Administration et profit
ACCEPTABLE POUR L'ENTREPRENEUR																																		
Intérêt économique																															O	O	O	O
Perturbation des processus																		O	O	O			O	O	O									
Mise en marché																		O		O						O	O				O	O	O	O
ABORDABLE																																		
Prix de vente																															O	O	O	O
Potentiel d'auto construction																		O	O	O	O	O		O	O									
ADAPTABLE																																		
Agrandissement																		O			O	O	O	O	O									
Réaménagement																		O	O	O			O	O	O									
Modification																			O	O	O	O	O	O	O									
OPTIONS OFFERTES																																		
Choix du style																		O																
Souplesse de l'espace																		O			O													
Choix des finis																				O	O													
Possibilité de décoration																				O														
HABITABLE																																		
Aspect extérieur																			O	O	O	O												
Confort thermique						O		O																				O						
Insonorisation											O								O									O						
Qualité de l'air					O			O											O															
LOGEMENTS SANS OBSTACLES																																		
Handicapés physiques																		O				O												
Malentendants																			O			O												
Handicapés visuels																			O			O												
Hypersensibilité					O														O	O														
ENTRETIEN FACILE																																		
Nettoyage/Entretien saisonnier																				O														
Réparation/remplacement																				O	O	O												
Entretien à long terme							O	O	O			O	O	O	O	O				O	O	O						O						
SÉCURITAIRE																																		
Effondrement									O																									
Résistance aux éléments									O	O																								
DURABLE																																		
Usage des ressources		O	O																															
Sûr pour l'environnement	O	O		O	O																													
Efficacité énergétique						O		O																				O						

Degré de corrélation: Faible — Moyen — Fort

Figure C1 : Corrélation entre les exigences et les critères d'évaluation.

constructeur (disposition à essayer de nouveaux produits) pourrait donner des résultats différents. De plus, les prix servant à évaluer les panneaux pourraient fluctuer énormément selon le design de la maison et l'emplacement du fabricant. Ces chiffres ne devraient donc pas être considérés comme des cotes absolues, mais plutôt comme des indicateurs relatifs dans un contexte précis.

Qualités environnementales

La composition des panneaux a été évaluée eu égard à leurs qualités environnementales. Cinq caractéristiques ont été examinées : biodégradabilité, recyclabilité, contenu recyclé, effet sur la couche d'ozone et toxicité dans des conditions normales de fonctionnement.

Les cotes de ces caractéristiques étaient fortement liées à la quantité de mousse et d'isolant par rapport à la quantité de bois et de produits du bois entrant dans les panneaux. Les cotes de biodégradabilité étaient les plus élevées pour les panneaux ayant la plus forte teneur en bois, à savoir la construction traditionnelle, les panneaux traditionnels et les panneaux de charpente multiplis. Le potentiel de recyclage a été évalué selon la facilité avec laquelle on peut récupérer ou recycler les matériaux en fonction de l'existence d'un procédé ou d'un marché à cette fin. Le facteur le plus important était le type et la quantité d'isolant en mousse dans les panneaux. Le panneau de charpente multiplis comportant une âme de polystyrène refoulé (XEPS) a été légèrement mieux coté que les autres panneaux de la même catégorie, car il est plus facile à récupérer et à réutiliser. Le carton-fibre et les panneaux à copeaux orientés représentent une utilisation plus écologique et pourraient éventuellement être fabriqués d'un matériau recyclé. Les produits comportant ce genre de revêtement ont donc été mieux cotés que les autres.

Les panneaux évalués ne posaient pas de problème en ce qui concerne la possibilité d'amincissement de la couche d'ozone. Même si les CFC entrant dans la fabrication des XEPS sont extrêmement nocifs pour l'environnement, on commence à mettre sur le marché d'autres agents de soufflage, le HCFC-141b. La nocivité de ces nouveaux agents est réduite d'environ 95 %. Les panneaux contenant de l'uréthane ont reçu la plus faible cote à cet égard. Enfin, les cotes de toxicité pour usage normal était à peu près les mêmes pour les différents panneaux, aucun n'affichant de qualités exceptionnellement bonnes ou mauvaises.

Performance technique

Six aspects de la performance technique des panneaux ont été évalués : résistance thermique, perméabilité, potentiel d'infiltration, stabilité structurelle, résistance au feu et isolation phonique. Étant donné la variabilité des valeurs figurant dans la documentation des fabricants, on a procédé à des calculs empiriques, dans la mesure du possible, afin d'obtenir une comparaison sans distorsion. Dans certains cas, il a fallu se baser sur la moyenne des cotes de plusieurs fabricants d'un certain genre de panneau, tandis que d'autres n'ont pas pu être évalués faute de données correctes. Nous nous sommes donc servis de données dignes de confiance concernant des genres de panneaux similaires.

Plusieurs types de joints ont été évalués relativement à la résistance thermique, tout comme l'espacement et l'épaisseur des éléments de charpente. En général, ce sont les panneaux multiplis à isolant en caoutchouc mousse, particulièrement la mousse de polyuréthane ou d'isocyanurate, qui assurent la meilleure isolation pour une épaisseur donnée, en raison surtout de la séparation thermique continue sur toute la longueur des joints. La construction traditionnelle et les panneaux à revêtement ouverts ont reçu la cote la plus faible en raison du peu de résistance

Évaluation des panneaux préfabriqués/sommaire

	F	Construction traditionnel RTG	Construction traditionnel RTG•F	Panneaux à rev. ouverts a/rev. OSB RTG	a/rev. OSB RTG•F	a/rev. XEPS RTG	a/rev. XEPS RTG•F	A	A•F
QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES		16.5	61.5	16.5	61.5	13.5	53	15	57
Biodégradabilité	(2)	4	8	4	8	2	4	3	6
Recyclabilité	(2)	2	4	2	4	2	4	2	4
Contenu recyclé	(4)	3	12	3	12	2.5	10	3	11
Effet nocif sur l'ozone	(5)	4.5	22.5	4.5	22.5	4	20	4	21
Toxicité	(5)	3	15	3	15	3	15	3	15
PERFORMANCE TECHNIQUE		13.1	50.2	13.6	52.7	13.3	52.5	13	53
Résistance thermique	(4)	1	4	1	4	2	8	2	6
Résistance à la vapeur	(3)	1	3	1	3	1	3	1	3
Infiltration	(5)	1.8	9	2.3	11.5	2.3	11.5	2	12
Solidité	(3)	3	9	3	9	2	6	3	8
Résistance au feu	(4)	3.3	13.4	3.3	13.2	3	12	3	13
Insonorisation	(4)	3	12	3	12	3	12	3	12
DURABILITÉ		22	66	23	70	20	65	22	68
Résistance aux temp. extrêmes	(5)	4	20	4	20	3	15	4	18
Résistance à la radiation	(2)	5	10	5	10	3	6	4	8
Résistance produits chimique	(1)	5	5	5	5	4	4	5	5
Résistance à l'eau	(5)	2	10	2	10	3	15	3	13
Résistance aux parasites	(3)	3	9	3	9	3	9	3	9
Général	(4)	3	12	4	16	4	16	4	16
MANIABILITÉ/ADAPTABILITÉ		23	99	21	89	21	89	21	89
Fab.-const./charpente	(5)	5	25	3	15	3	15	3	15
Fab.-const./services	(5)	5	25	5	25	5	25	5	25
Fab.-const./parements	(5)	5	25	5	25	5	25	5	25
Occupation/mur	(3)	4	12	4	12	4	12	4	12
Occupation/services	(3)	4	12	4	12	4	12	4	12
FACILITÉ D'ASSEMBLAGE		15	50	12	40	12	40	12	40
Sous-traitant requis	(4)	5	20	4	16	4	16	4	16
Niveau de qualification	(4)	5	20	4	16	4	16	4	16
Outils spéciaux requis	(2)	5	10	4	8	4	8	4	8
QUALITÉ D'EXÉCUTION		9	33	17	61	18	66	18	64
Joints/fissures visibles	(3)	3	9	4	12	4	12	4	12
À niveau	(3)	1	3	4	12	4	12	4	12
Pare-vapeur, pare-air continus	(5)	1	5	3	15	3	15	3	15
Isolant continu	(5)	2	10	2	10	3	15	3	13
Control qualitatif nécessaire	(3)	2	6	4	12	4	12	4	12
COTE TOTAL		99		103		98		100	
TOTAL PONDÉRÉ			360		374		366		370

	Panneaux de charpente multiplis a/MEPS RTG	a/MEPS RTG•F	a/XEPS RTG	a/XEPS RTG•F	a/PUR/ISO RTG	a/PUR/ISO RTG•F	A	A•F
QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES	17.5	65	18.5	67.5	15.5	57	17	63
Biodégradabilité	4	8	4	8	4	8	4	8
Recyclabilité	2.5	5	3	6	2	4	3	6
Contenu recyclé	3	12	4	16	3	12	3	13
Effet nocif sur l'ozone	5	25	4.5	22.5	3	15	4	21
Toxicité	3	15	3	15	3.5	18	3	16
PERFORMANCE TECHNIQUE	23.2	88.8	25.2	95.8	26.5	101	25	95
Résistance thermique	3	12	4	16	5	20	4	16
Résistance à la vapeur	4	12	5	15	5	15	5	14
Infiltration	5	25	5	25	5	25	5	25
Solidité	5	15	5	15	5	15	5	15
Résistance au feu	2.7	10.8	2.7	10.8	3	12	3	11
Insonorisation	3.5	14	3.5	14	3.5	14	4	14
DURABILITÉ	18	60	18	63	19	65	18	63
Résistance aux temp. extrêmes	3	15	3	15	3	15	3	15
Résistance à la radiation	4	8	3	6	4	8	4	7
Résistance produits chimique	3	3	3	3	3	3	3	3
Résistance à l'eau	4	20	5	25	5	25	5	23
Résistance aux parasites	2	6	2	6	2	6	2	6
Général	2	8	2	8	2	8	2	8
MANIABILITÉ/ADAPTABILITÉ	14.3	62.9	14.3	62.9	14.3	63	14	63
Fab.-const./charpente	4	20	4	20	4	20	4	20
Fab.-const./services	2	10	2	10	2	10	2	10
Fab.-const./parements	4	20	4	20	4	20	4	20
Occupation/mur	2.3	6.9	2.3	6.9	2.3	7	2	7
Occupation/services	2	6	2	6	2	6	2	6
FACILITÉ D'ASSEMBLAGE	5	16	5	16	5	16	5	16
Sous-traitant requis	1	4	1	4	1	4	1	4
Niveau de qualification	2	8	2	8	2	8	2	8
Outils spéciaux requis	2	4	2	4	2	4	2	4
QUALITÉ D'EXÉCUTION	20	80	20	80	19	77	20	79
Joints/fissures visibles	3	9	3	9	3	9	3	9
À niveau	5	15	5	15	5	15	5	15
Pare-vapeur, pare-air continus	5	25	5	25	5	25	5	25
Isolant continu	5	25	5	25	5	25	5	25
Control qualitatif nécessaire	2	6	2	6	1	3	2	6
COTE TOTAL	98		101		99		99	
TOTAL PONDÉRÉ		373		385		378		379

	Panneaux de charp. sans rev. a/TB RTG	a/TB RTG•F	a/ST et VA RTG	a/ST et VA RTG•F	a/ST,s/Ya RTG	a/ST,s/Ya RTG•F	a/cm RTG	a/cm RTG•F	A	A•F
QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES	14	54	14	54	14	54	14	54	14	54
Biodégradabilité	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
Recyclabilité	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Contenu recyclé	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
Effet nocif sur l'ozone	5	25	5	25	5	25	5	25	5	23
Toxicité	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15
PERFORMANCE TECHNIQUE	17.8	70	17.8	70	18.3	71.5	19.8	78	18	72
Résistance thermique	2	8	2	8	2	8	3	12	2	9
Résistance à la vapeur	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9
Infiltration	4.3	21.5	4.3	21.5	4.3	21.5	4.8	24	4	22
Solidité	2.5	7.5	2.5	7.5	3	9	3	9	3	8
Résistance au feu	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8
Insonorisation	4	16	4	16	4	16	4	16	4	16
DURABILITÉ	21	70	21	70	21	70	21	70	21	70
Résistance aux temp. extrêmes	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15
Résistance à la radiation	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Résistance produits chimique	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Résistance à l'eau	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20
Résistance aux parasites	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
Général	4	16	4	16	4	16	4	16	4	16
MANIABILITÉ/ADAPTABILITÉ	16.7	70.1	17.7	75.1	19	81	14.3	58.9	17	71
Fab.-const./charpente	2	10	2	10	3	15	2	10	2	11
Fab.-const./services	3	15	4	20	4	20	3	15	4	18
Fab.-const./parements	5	25	5	25	5	25	3	15	5	23
Occupation/mur	3.7	11.1	3.7	11.1	4	12	3.3	9.9	4	11
Occupation/services	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9
FACILITÉ D'ASSEMBLAGE	8	26	9	30	9	30	8	26	9	28
Sous-traitant requis	2	8	3	12	3	12	2	8	3	10
Niveau de qualification	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12
Outils spéciaux requis	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
QUALITÉ D'EXÉCUTION	20	78	20	78	19	71	20	78	20	76
Joints/fissures visibles	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12
À niveau	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12
Pare-vapeur, pare-air continus	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20
Isolant continu	5	25	5	25	3	15	5	25	5	23
Control qualitatif nécessaire	3	9	3	9	4	12	3	9	3	10
COTE TOTAL	98		100		100		97		99	
TOTAL PONDÉRÉ		368		377		378		365		372

Légende: OSB MEPS-Polystyrène déployé; XEPS-Polystyrène refoulé; PUR-Polyuréthane; ISO-Polyisocyanurate; ST-Sép. thermique; VA-vide d'air; CM-colombage métallique; F-facteur d'importance de 1 (pas important) à 5 (très important); COTE de 1 (très faible) à 5 (excellent); A-moyenne

* Critères de facilité de montage sont cotés selon la probabilité de perturber le cours normal des travaux de construction

Figure C2 : Évaluation des systèmes de panneaux préfabriqués/Sommaire

thermique de la natte isolante et du pont thermique qui se crée dans les éléments de charpente. L'effet de la résistance thermique du mur, surtout dans les maisons en rangée, n'est pas critique. L'infiltration, une mauvaise qualité d'exécution et des fenêtres de mauvaise qualité peuvent provoquer une plus grande perte d'énergie qu'un mur dont la résistance thermique est faible. C'est pourquoi on a attribué un facteur d'importance de 4 à la résistance thermique des murs.

Les résultats ont été à peu près les mêmes dans l'évaluation de la perméabilité des murs, car les panneaux de charpente multiplis ont reçu la plus haute cote, les panneaux de charpente sans revêtement se sont rangés en deuxième place et les panneaux à revêtement ouverts en troisième. L'évaluation portait sur les qualités du panneau lui-même, en présumant que le pare-vapeur intérieur était endommagé ou inefficace. On a tenu compte de l'emplacement des matériaux vaporifuges pour l'évaluation. La présence d'un matériau de revêtement assez résistant sur l'extérieur, par exemple, n'était pas considérée comme un avantage car il peut emprisonner la vapeur. Ce critère pourrait changer selon l'emplacement. Dans les climats chauds et humides, la migration de la vapeur d'eau sur la section de mur est inversée. Ici encore, l'importance de cette caractéristique a été jugée assez faible (3), puisque l'infiltration par les interstices et les joints peut favoriser une plus grande migration d'humidité que la diffusion à travers le mur.

Une évaluation qualitative du potentiel d'infiltration s'est appuyée sur deux paramètres : efficacité du joint et longueur des bordures aux joints exposés dans l'enveloppe assemblée. Quatre points d'infiltration ont été établis : le joint situé entre l'isolant et la charpente, le joint entre deux panneaux, le joint entre les panneaux et le plancher ou la toiture, et les ouvertures pratiquées dans le mur pour l'électricité ou la plomberie. Les infiltrations par le joint entre la fenêtre et le mur sont principalement fonction des usages d'installation et ne sont donc pas considérées comme un facteur rattaché à la qualité du panneau. Les assemblages les plus étanches sont les panneaux de charpente multiplis, pour deux raisons : l'ajustement exceptionnel des joints et la possibilité de les prolonger à l'extérieur sous le niveau du plancher, ce qui permet une protection continue au-delà de l'extrémité du plancher. Les panneaux de charpente sans revêtement se sont classés deuxième, grâce aux joints serrés ajustés par friction et la continuité de l'isolation malgré la présence de réceptacles électriques.

Les cotes de résistance au feu et d'isolation phonique (essentielles pour l'assemblage du mur de séparation) étaient rattachées aux exigences minimales du Code. Les émanations de vapeurs toxiques ont été examinées relativement à la résistance au feu, vu le grand nombre de panneaux comportant un isolant en mousse. Les résultats de cette évaluation, de même que ceux portant sur la transmission du son, ont donné des cotes distribuées assez également, les panneaux traditionnels étant légèrement plus résistants au feu et les panneaux de charpente sans revêtement un peu mieux insonorisés. Tous les panneaux dépassaient de beaucoup les exigences du Code en ce qui concerne la résistance structurelle, les panneaux multiplis s'étant classés premiers. L'indice d'importance de ce paramètre serait supérieur à sa valeur actuelle de 3 pour les régions exposées aux tremblements de terre ou aux ouragans.

Durabilité

La résistance des panneaux à cinq éléments a été cotée pour déterminer leur durabilité : températures extrêmes, radiation solaire, guerre chimique, dommages causés par l'eau et infestation d'insectes ou de rongeurs. Une sixième catégorie générale a été créée pour tenir compte des défectuosités particulières de certains panneaux. Il a été difficile d'évaluer la durabilité de certains panneaux contenant un isolant en mousse rigide faute de données fiables sur la performance des

panneaux. On a donc basé les cotes sur la résistance des éléments constituants des panneaux comme s'ils étaient exposés directement.

Les plus fiables semblent être les panneaux de charpente sans revêtement, mais ils sont suivis de près par les panneaux à revêtement ouverts. Les panneaux de charpente multiplis ont affiché des caractéristiques défavorables en ce sens qu'ils ont tendance à rider au niveau des joints parce qu'on a pas prévu de jeu de dilatation, et aussi parce qu'il faut un contrôle qualitatif assez serré pour prévenir le délaminage.

Maniabilité et adaptabilité

Dans l'évaluation de la maniabilité, nous nous sommes attachés aux trois phases du cycle de vie d'un chantier : fabrication, montage et occupation. La première phase détermine les contraintes de conception qui s'appliquent aux panneaux. La seconde, celle de la construction, représente la mesure dans laquelle des changements de dernière heure peuvent s'exécuter sur place, en réponse à des demandes individuelles. La souplesse au cours de la phase d'occupation détermine la facilité avec laquelle différents composants peuvent être inspectés et accessibles aux fins de réparations ou de remplacement. Elle correspond également à l'adaptabilité de l'espace en cotant la facilité d'accès et de réorientation des conduits de plomberie et d'électricité.

Les plus souples étaient les panneaux à revêtement ouverts, qui étaient suivis des panneaux de charpente multiplis. Les panneaux de charpente sans revêtement offrent plus de marge de manoeuvre au cours de la phase de fabrication, mais il n'est pas facile de les modifier en chantier. Les panneaux de charpente multiplis offrent le plus de souplesse en chantier, car on peut y pratiquer des ouvertures n'importe quand sans que cela ne nécessite beaucoup de reconstruction. Bien que les dimensions des ouvertures soient limitées par les dimensions du panneau et que le découpage soit plus difficile, c'est le seul panneau qu'on peut entailler n'importe où, même une fois le mur monté.

Le plus grand inconvénient des panneaux de charpente multiplis est leur manque de souplesse au moment de l'occupation. Il est difficile, voire impossible, de vérifier et de réparer l'isolation, élément structurel critique de ce genre de panneau, même si on enlève tout le parement. De plus, il n'est pas toujours possible de suspendre des objets lourds ou des accessoires nécessitant un support structurel, comme des poignées d'appui, particulièrement après l'occupation.

Facilité de montage

La facilité de montage des panneaux a été évaluée en relation avec leur complexité pratique. Le perfectionnement du design est intervenu dans la mesure où il avait une incidence sur la capacité pour le constructeur de monter la structure. Autrement dit, un panneau de conception complexe n'aurait pas nécessairement une cote plus faible qu'un panneau simple, à moins qu'il n'entrave le montage. Trois aspects du montage ont donc été évalués. Premièrement, on a déterminé le nombre d'ouvriers touchés par la méthode (par rapport aux méthodes traditionnelles de construction à ossature de bois) pour savoir dans quelle mesure le cours normal des travaux du constructeur serait perturbé. Deuxièmement, le niveau de spécialisation exigé a été coté pour évaluer la difficulté de montage et le degré de formation nécessaire. Troisièmement, on a examiné les outils spéciaux nécessaires aux trois opérations de base : le levage, le découpage et la fixation. Dans les trois cas, une cote de 4 est synonyme d'égalité avec les méthodes de construction à ossature de bois.

Immanquablement, les panneaux de charpente multiplis étaient les moins bien cotés, et les panneaux de charpente sans revêtement étaient avant-derniers. Les panneaux à revêtement ouverts, pour lesquels on emploie des techniques de construction traditionnelles, étaient les plus simples à monter car les produits, les matériaux qui entrent dans leur fabrication et les méthodes de construction sont bien connus de tous.

Il ne faut pas oublier que ces cotes représentent la probabilité d'acceptation par un entrepreneur, non pas l'efficacité avec laquelle le panneau pourrait être monté. Une fois qu'un constructeur a décidé d'utiliser un de ces panneaux et d'assurer la formation nécessaire, l'efficacité opérationnelle des travaux de construction est susceptible de s'améliorer par rapport aux méthodes de construction traditionnelles.

Qualité d'exécution

Pour évaluer la qualité d'exécution des panneaux, l'uniformité de la qualité des différentes applications a été évaluée sous trois angles : le nombre de joints et de fissures (qui pourrait se traduire par une défectuosité future causée par l'infiltration), la probabilité que les panneaux soient construits à niveau, ainsi que la continuité du pare-vapeur et de l'isolation thermique. En outre, la complexité des procédés de fabrication a été évaluée à la lumière du contrôle qualitatif nécessaire pour estimer les probabilités de recevoir des panneaux mal assemblés.

En règle générale, ce sont les panneaux de charpente multiplis qui comportent le moins de défauts. Leur qualité d'exécution est supérieure grâce à un revêtement continu et à des joints serrés, particulièrement les joints à clavette double. Cependant, le processus de laminage nécessite un contrôle qualitatif assez rigoureux, particulièrement en ce qui concerne les mousses de polyuréthane (PUR) et d'isocyanurate (ISO). Les panneaux de charpente sans revêtement ont reçu une cote proche de celle des panneaux de charpente multiplis, car les techniques de montage sont simples (certaines même sans adhésif) pour assurer une séparation thermique continue et un pare-vapeur efficace. Les techniques s'appliquant à l'ossature de bois ont reçu la plus faible cote parce que la qualité d'exécution est très inégale et que les matériaux sont susceptibles d'être endommagés s'ils sont mal entreposés sur place.

Genres de panneaux

D'une manière générale, tous les panneaux ont été mieux cotés que la construction traditionnelle. Les pour et les contre différaient d'un panneau à un autre. Les systèmes de panneaux à revêtement ouverts, par exemple, présentent trois grands avantages : maniabilité, durabilité et facilité de montage. Étant donné l'importance d'offrir un plan personnalisé, la cote était favorable si le panneau se prêtait plus facilement à des modifications de dernière heure et s'il était facile d'accès une fois la maison occupée. Même s'il n'est pas facile de changer la charpente, les installations d'électricité et de plomberie ne posent pas de problème. Au contraire, les panneaux multiplis peuvent aisément être modifiés, mais le choix est restreint quant au placement arbitraire de l'éclairage et de la plomberie. Au moment de l'occupation, il semble que ce genre de modification ne serait pas plus facile.

La durabilité légèrement supérieure des panneaux à revêtement ouverts est davantage liée au fait que le panneau peut maintenir son intégrité structurelle plutôt qu'à sa résistance à la détérioration. Ces panneaux, indépendants du matériel d'isolation pour la stabilité structurelle, sont moins susceptibles d'être endommagés par des écarts de température, des rongeurs (qui peuvent creuser des mousses

rigides) ou les produits chimiques. Ils sont peut-être plus susceptibles aux problèmes d'humidité que les autres panneaux, mais il est relativement plus facile de vérifier et de réparer l'intérieur du mur.

Enfin, la facilité de montage des panneaux ouverts à revêtement est un grand atout. Même si la plupart des constructeurs ne se sont pas faits à l'idée de monter des panneaux plutôt que des poteaux, l'utilisation de composants et de méthodes de construction courantes facilitent le montage comme la probabilité d'acceptation. Quant aux panneaux multiplis, ils sont faciles à monter, mais il est difficile d'y incorporer les installations électriques.

Les panneaux de charpente multiplis se sont révélés supérieurs sur le plan technique pour la plupart des aspects évalués. Les joints exceptionnels et l'interface des panneaux se sont révélés comme les principaux avantages de ces panneaux. Il est concevable que ces panneaux reçoivent des cotes plus élevées pour d'autres applications plus complexes. Dans le cas de maisons en rangée à façade étroite, la déperdition de chaleur à travers les murs est moins critique que dans d'autres genres d'habitations, de sorte que ces avantages exerceraient moins d'influence sur la cote totale du panneau.

Il semble que les panneaux de charpente sans revêtement affichent une bonne performance à tous égards, mais ils possèdent quelques caractéristiques extraordinaires. Leur plus grand avantage est que, même si la qualité d'exécution est inférieure, comme c'est souvent le cas dans la construction traditionnelle, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des techniques de construction inusitées. La présence d'une mousse de polystyrène déployée entre les «poteaux» augmente de beaucoup la performance du mur aux endroits qui constituent un défaut clé dans les murs de construction courante : l'isolation et le pare-vapeur discontinus causés par une installation déficiente en chantier.

Tableau 1 : Caractéristiques des matériaux

		COTES								
		Biodégradabilité			Recyclabilité			Contenu recyclable		
		Rev.	Âme	Panneau	Rev.	Âme	Panneau	Rev.	Âme	Panneau
0	Construction traditionnelle	5	3	4.0	3	1	2.0	5	1	3.0
1	Panneaux ouverts à revêtement									
1.1	• a/revêtement OSB	5	3	4.0	3	1	2.0	5	1	3.0
1.2	• a/revêtment XEPS	1	3	2.0	3	1	2.0	3	1	2.5
2	Panneaux de charpente multiplis									
2.1	• a/âme MEPS	5	3 *	4.0	3	2	2.5	5	1	3.0
2.2	• a/âme XEPS	5	3 *	4.0	3	3	3.0	5	3	4.0
2.3	• a/PUR/ISO	5	3 *	4.0	3	1	2.0	5	1	3.0
3	Panneaux de charpente sans revêtement									
3.1	• a/séparation thermique	SNR	3	3.0	SNR	2	2.0	SNR	1	1.0
3.2	• a/séparation thermique et vide d'ai	SNR	3	3.0	SNR	2	2.0	SNR	1	1.0
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	SNR	3	3.0	SNR	2	2.0	SNR	1	1.0
3.4	• a/ colombage métallique	SNR	3	3.0	SNR	2	2.0	SNR	1	1.0

Échelle d'évaluation:
Basée sur le pourcentage de matériaux biodégradables [1] :
1. Non biodégradables
3. Partiellement biodégradables
5. Biodégradables

* Comprend revêtement intérieur

RNN : Revêtement non nécessaire

Échelle d'évaluation:
Basée sur le potentiel de réutilisation des matériaux [2] :
1. 0%; aucun potentiel
2. léger potentiel, aucun marché ou processus
3. léger potentiel, marché existant, aucun processus
4. partiellement recyclable; applications secondaires
5. entièrement recyclable; même type d'application

Échelle d'évaluation:
Basé sur potentiel de fabrication avec matériaux recyclés :
1. 0%; matériau brut vierge seulement
3. quelques contenus recyclés possibles
5. 100% de contenu recyclé possible

		COTES					
		amincit couche d'ozone			Toxicité (usage)		
		Rev.	Âme	Panneau	Rev.	Âme	Panneau
0	Construction traditionnelle	5	4	4.5	3	3	3.0
1	Panneaux ouverts à revêtement						
1.1	• a/revêtement OSB	5	4	4.5	3	3	3.0
1.2	• a/revêtment XEPS	4 **	4	4.0	3	3	3.0
2	Panneaux de charpente multiplis						
2.1	• a/âme MEPS	5	5	5.0	3	3	3.0
2.2	• a/âme XEPS	5	4 **	4.5	3	3	3.0
2.3	• a/PUR/ISO	5	2	3.0	3	4	3.5
3	Panneaux de charpente sans revêtement						
3.1	• a/séparation thermique	SNR	5	5.0	SNR	3	3.0
3.2	• a/séparation thermique et vide d'ai	SNR	5	5.0	SNR	3	3.0
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	SNR	5	5.0	SNR	3	3.0
3.4	• a/ colombage métallique	SNR	5	5.0	SNR	3	3.0

Échelle d'évaluation:
Basée sur l'utilisation de matières nocives en fabrication :
1. Hautement nocif (CFC)
2. Très nocif
3. Nocif (HCFC)
4. Légèrement nocif (substitut de CFC/HCFC)
5. Inoffensif

** Peut varier entre 1 et 4 ; le plus haut rendement est présumé

Échelle d'évaluation:
Basée sur les risques pour la santé avec usage quotidien [3] :
1. Risque déterminé
2. Risque possible
3. Contient petites quantités de composantes délétères [4]
4. Milieu sain probable
5. Milieu sain déterminé

Nota:

[1] La teneur en pourcentage de bois de l'âme des panneaux de charpente traditionnelle et sans revêtement est considérée égale au revêtement intérieur des panneaux de charpente multiplis.

[2] Concerne (a) la possibilité de recycler le matériau, (b) la présence d'un marché pour le produit recyclé et (c) l'existence d'un procédé de récupération/ recyclage en cours.

[3] Les risques pour la santé en cas d'incendie sont pris en considération dans "résistance au feu"

[4] Comprend adhésifs; fait partie de l'âme du panneau

Tableau 2 : Résistance thermique des sections murales

		RSI							COTE
		Matériau						Total	
		Rev. int.	Isol./âme	(%)	Cjar./jts	(%)	Rev. ext.	(Panneau)	
0	Construction traditionnelle	S/O	3.332	(87%)	1.212	(13%)	0.121	3.177	1
1	Panneaux ouverts à revêtement								
1.1	• a/revêtement OSB	S/O	3.332	(87%)	1.212	(13%)	0.121	3.177	1
1.2	• a/revêtment XEPS	S/O	2.286	(87%)	0.866	(13%)	1.319	3.420	2
2	Panneaux de charpente multiplis								
2.1	• a/âme MEPS	0.121	3.738	(89%)	3.236	(11%)	0.121	3.925	3
2.2	• a/âme XEPS	0.121	4.858	(89%)	4.100	(11%)	0.121	5.017	4
2.3	• a/PUR/ISO	0.121	6.986	(89%)	5.741	(11%)	0.121	7.091	5
3	Panneaux de charpente sans revêtement								
3.1	• a/séparation thermique	S/O	3.738	(86%)	2.367	(14%)	RNR	3.546	2
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	S/O	3.551	(86%)	2.367	(14%)	RNR	3.385	2
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	S/O	3.647	(86%)	1.212	(14%)	RNR	3.306	2
3.4	• a/ colombage métallique	S/O	3.738	(100%)	Negl.		RNR	3.738	3

Matériau	l	RSI
Mousses :		
MEPS	140	3.738
	127	3.391
	108	2.884
	64	1.709
XEPS	140	4.858
	108	3.748
	64	2.221
	38	1.319
PUR/ISO	140	6.986
	108	5.389
	64	3.194
Natte isolante :		
	140	3.332
	90	2.286
Bois		
EPS	140	1.212
	100	0.866
	38	0.329
OSB	16	0.176
	11	0.121
Vide d'air	13	0.160

RÉSISTANCE THERMIQUE DES MATÉRIAUX	(1/k)
Mousse : Polystyrène déployé, mouluré (MEPS); 16 kg (mètre cube)	(26.7)
Polystyrène déployé, refoulé (XEPS)	(34.7)
Polyisocyanurate cellulaire (ISO) a/parements imperméables au gaz*	(49.9)
Natte isolai approx. 90 mm	(25.4)
approxi approx. 140-165 mm	(23.8)
Bois : Épinette, pin, sapin (EPS) teneur en humidité 12%	(8.7)
Panneau à copeaux orientés ou panneau de copeaux	(11.0)
Vide d'air, 13 mm a/E=0,82; diff. temp 16,7, temp. moyenne 10	(0.16)

Type de joint		RSI			Total
		(%)	Splines	Core	(Joint)
Traditionnel		(13%)	S/O	1.212	1.212
Bois simple 2X		(6%)	S/O	1.212	1.212
Bois double 2X		(9%)	S/O	1.212	1.212
Clavette mince double					
	a/Âme MEPS	(11%)	0.352	2.884	3.236
	a/Âme XEPS	(11%)	0.352	3.748	4.100
	a/Âme XEPS	(11%)	0.352	5.389	5.741
Séparation thermique (laminage)					
	a/Âme MEPS	(10%)	0.658	1.709	2.367
	a/Âme XEPS	(10%)	0.658	2.221	2.879
	a/Âme XEPS	(10%)	0.658	3.194	3.852

Échelle d'évaluation : performance relative

- La valeur RSI peut être réduite de 12% à 23% pour le ployuréthane, un parement gazoperméable ou aucun parement
- Basée sur la partie du mur comprenant la charpente, l'isolant et le revêtement; le parement et la finition intérieure ne sont pas compris (à moins qu'ils ne soient partie intégrante de l'ensemble); Calculée pour un mur d'une largeur de 140 mm
- Joint à double clavette mince utilisé pour le calcul du RSI des panneaux de charpente multiplis; joints lamellés à séparation thermique pour panneaux sans revêtement
- Le RSI total des panneaux de charpente multiplis peut être réduit jusqu'à 7% pour les autres types de joints

S/O: Sans objet
RNN : Revêtement non nécessaire
(%) : Pourcentage de la surface du mur
RSI: Résistance; K•mètre carré/A
K : Conductivité a/(mètre carré•K
L : Épaisseur : mm
E : Coefficient d'émission

Source:ASHRAE Fundamentals,1989

- La dérive thermique de l'isolant en mousse figure sous "durabilité"
- La déperdition de chaleur des joints figure sous "infiltration"
- La variabilité des valeurs RSI selon la température figure sous "durbilité"

Tableau 3 : Résistance à la vapeur de sections murales et infiltration

		PERMÉANCE/RÉSISTANCE								COTE
		Matériau						Total		
		Revêtement int.		Isolant/âme (%)		Revêtment ext.		(panneau)		
		P	R	P	R	P	R	R	M	
0	Construction traditionnelle	S/O		1750	0.00057	23	0.04297	0.04354	23	1
1	Panneaux ouverts à revêtement									
1.1	• a/revêtement OSB	S/O		1750	0.00057	23	0.04297	0.04354	23	1
1.2	• a/revêtment XEPS	S/O		2450	0.00041	45	0.02235	0.02276	44	1
2	Panneaux de charpente multiplis									
2.1	• a/âme MEPS	23	0.04297	40	0.02478	23	0.04297	0.11072	9	4
2.2	• a/âme XEPS	23	0.04297	12	0.08235	23	0.04297	0.16829	6	5
2.3	• a/PUR/ISO	23	0.04297	10	0.09722	23	0.04297	0.18316	5	5
3	Panneaux de charpente sans revêtement									
3.1	• a/séparation thermique	S/O		40	0.02478	RNR		0.02478	40	3
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	S/O		44	0.02248	RNR		0.02248	44	3
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	S/O		44	0.02248	RNR		0.02248	44	3
3.4	• a/ colombage métallique	S/O		40	0.02478	RNR		0.02478	40	3

Matériau	l	Perméance
Mousse :		
MEPS	140	40.357
	127	44.488
XEPS	140	12.143
	38	44.737
PUR/ISO	140	10.286
Natte isolante :		
	140	1750
	100	2450
Bois :		
OSB	11	23.273
Vide d'air	13	13385

PERMÉABILITÉ DES MATÉRIAUX	P
Mousse : Polystyrène déployé (mouluré) (MEPS); 16 kg/m. cube	
Moyenne (varie entre 2,9 et 8,4)	5.65
Polystyrène déployé, refoulé (XEPS)	1.70
Polyuréthane déployé/R-11 injecté (PUR);	
Moyenne (varie entre ,58 et 2,3)	1.44
Laine minérale (sans protection)	245
Bois : Panneau à copeaux orientés ou panneau de copeaux*	0.26
Air (calme)	174

- Basé sur le potentiel de résistance à l'air/ migration de vapeur sans pare-vapeur intérieur (présumé endommagé ou inefficace)
- Coté en fonction de la séquence de l'assemblage et de la possibilité de vapeur emprisonnée

Échelle d'évaluation : performance relative

- Basée sur la partie du mur comprenant la charpente, l'isolant et le revêtement; le parement et la finition intérieure ne sont pas compris (à moins de faire partie intégrante du système);
- Calculée pour un mur d'une largeur de 140 mm
- Migration de vapeur par les joints sous "infiltration"

S/O: Sans objet
RNN : Revêtement non nécessaire
Perméance : ng/(Pa•s•mètre carré)
Perméabilité (P) : ng/(Pa•s•mètre carré)
l : Épaisseur, mm
Résistance : (Pa•s•mètre carré)/ng
Source: ASHRAE Fundamentals, 1989

* Onprésume que la perméance des panneaux à copeaux orientés est égale à celle du contreplaqué (sapin de Douglas, colle ext.)

INFILTRATION

		Potentiel d'infiltration				Moyenne
		Isol./Charpente	Panneau/panneau	Panneau/plan/toit	Ouvertures	COTE
0	Construction traditionnelle	2	2	2	1	1.75
1	Panneaux ouverts à revêtement	2	3	2	2	2.25
2	Panneaux de charpente multiplis	5	5	5	5	5
3	Panneaux de charpente sans revêtement					
3.1	• a/séparation thermique	4	4	4	5	4.25
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	4	4	4	5	4.25
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	4	4	4	5	4.25
3.4	• a/ colombage métallique	5	5	4	5	4.75

- Basé sur le potentiel de résistance à l'air/ migration de vapeur sans pare-vapeur intérieur (présumé endommagé ou inefficace)
- Coté comme une fonction de la qualité des joint dans le système

Échelle d'évaluation (emplacement des joints)

1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Bonne
5. Excellente

Échelle de cotation (cote totale) : Performance relative

- Meilleur potentiel présumé; probabilité d'obtenir dés joints serrés figure sous "qualité d'exécution"

Tableau 4 : Solidité structurelle, résistance au feu, insonorisation et qualité d'exécution

		SOLIDITÉ			FEU				SON		
		Cotes			Cotes				STC		
		Axial	Flex	TOT	CPF	Tox/R	Tox/A	TOT	Simple	Double	COTE
0	Construction traditionnelle	3	3	3.0	3	4	3	3.3	36 to 54 *	50-63 *	3
1	Panneaux ouverts à revêtement										
1.1	• a/revêtement OSB	3	3	3.0	3	4	3	3.3	36 to 54 *	50-63 *	3
1.2	• a/revêtment XEPS	2	2	2.0	S/O	3	3	3.0	S/O	S/O	S/O
2	Panneaux de charpente multiplis										
2.1	• a/âme MEPS	5	5	5.0	1	4	3	2.7	39	Aucune	
2.2	• a/âme XEPS	5	5	5.0	1	4	3	2.7	to	donnée	3.5
2.3	• a/PUR/ISO	5	5	5.0	1	4	4	3.0	41*	disponible	
3	Panneaux de charpente sans revêtement										
3.1	• a/séparation thermique	3	2	2.5	1	S/O	3	2.0	37	51	
3.2	• a/sép. thermique et vide d'air	3	2	2.5	1	S/O	3	2.0	to	to	4
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	3	3	3.0	1	S/O	3	2.0	51	57	
3.4	• a/ colombage métallique	3	3	3.0	1	S/O	3	2.0	*	*	

Échelle d'évaluation

Performance relative

Nota :

[1] Les coefficients de propagation des flammes et les catégories ne sont pas compris parce que leur effet sur la sécurité de l'occupant est largement fonction du matériau de finition; dépassent les exigences du Code

[2] Dépend beaucoup de la qualité d'exécution ; la probabilité relative à la qualité figure sous "qualité d'exécution"

Échelle d'évaluation (CPF) :

Basée sur l'exigence d'obtenir une cote de résistance au feu pendant 1 heure (du côté exposé au feu) :

1. placoplâtre type X 2x15,9 mm
2. placoplâtre 2x12,7mm
3. placoplâtre type X 1x15,9mm
4. placoplâtre 1x12,7mm
5. tel quel

Échelle d'évaluation (toxicité) :

Basée sur le risque que présente le revêtement (R) et l'âme (A)[1] pour les occupants :

1. Risque déterminé
2. Risque possible
3. Maintient intégrité à 167 F
4. Maintient intégrité à 800-850 F
5. Aucun risque prévu

Échelle d'évaluation :

Basée sur l'exigence d'obtenir une cote STC de 50 [2] :

1. Mur double + modification
2. Mur double
3. Mur simple (modifié)
4. Mur simple (légères retouches)
5. Simple tel quel

"Modifié" désigne l'emploi d'éléments inusités par exemple barres résilientes

"Variation" désigne une section murale plus épaisse ou un autre type de mur (facultatif pour les panneaux préfabriqués)

* Avec une cloison de 90 mm

QUALITÉ D'EXÉCUTION

		Assemblage				Fabricant
		JF	DN	PA/PV	INS	CQ
0	Construction traditionnelle	3	1	1	2	2
1	Panneaux ouverts à revêtement					
1.1	• a/revêtement OSB	4	4	3	2	4
1.2	• a/revêtment XEPS	4	4	3	3	4
2	Panneaux de charpente multiplis					
2.1	• a/âme MEPS	3	5	5	5	2
2.2	• a/âme XEPS					
2.3	• a/PUR/ISO	3	5	5	5	1
3	Panneaux de charpente sans revêtement					
3.1	• a/séparation thermique	4	4	4	5	3
3.2	• a/sép. thermique et vide d'air					
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	4	4	4	3	4
3.4	• a/ colombage métallique	4	4	4	5	3

Légende :

JF : Joints et fissures
DN : Droit et à niveau
PA/PV : Continuité du pare-air et du pare vapeur
ISO : Continuité de l'isolant
CQ : Contrôle qualitatif exigé

Échelle d'évaluation :

1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Bonne
5. Excellente

Tableau 5 : Durabilité et maniabilité des produits

DURABILITÉ

		Cotes					
		Panneaux					
		Température	Radiation	Pro. chimiques	Eau	Parasites	Général
0	Construction traditionnelle	4	5	5	2	3	3
1	Panneaux ouverts à revêtement						
1.1	• a/revêtement OSB	4	5	5	2	3	4
1.2	• a/revêtment XEPS	3	3	4	3	3	4
2	Panneaux de charpente multiplis						
2.1	• a/âme MEPS	3	4	3	4	2	2
2.2	• a/âme XEPS	3	3	3	5	2	2
2.3	• a/PUR/ISO	3	4	3	5	2	2
3	Panneaux de charpente sans revêtement						
3.1	• a/séparation thermique						
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	3	5	3	4	2	4
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air						
3.4	• a/ colombage métallique						

- Exposition basée sur la tendance à tacher, se déformer, se délaminer, se désintégrer, pourrir, corroder ou perdre de son rendement (par exemple baisse de valeur R de l'isolant en mousse à cause de température bases)
- La catégorie générale comprend la tendance à perdre de son rendement à cause du veillissement naturel (dérive thermique, par exemple) ou de la détérioration des matériaux (par exemple, perte de solidité structurelle des panneaux multiplis avec la dégradation de l'âme en mousse)

Échelle d'évaluation :
1. Très faible
2. Faible
3. Moyenne
4. Bonne
5. Excellente

SOUPLESSE/ADAPTABILITÉ

FABRICATION/CONSTRUCTION

		Charpente	Électricité	Finition int.
0	Construction traditionnelle	5	5	5
1	Panneaux ouverts à revêtement	3	5	5
2	Panneaux de charpente multiplis	4	2	3
3	Panneaux de charpente sans revêtement			
3.1	• a/séparation thermique	2	3	5
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	2	4	5
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	3	4	5
3.4	• a/ colombage métallique	2	3	3

Échelle d'évaluation :
Basée sur les contraintes concernant le design, les modifications en chantier ou l'adaptation par les occupants :
1. aucun changement possible
2. Très limité
3. Un peu limité
4. Peu limité
5. Sans limitation

OCCUPATION

		Mur				Électricité
		Charpente	Isolation	VB	Moyenne	
0	Construction traditionnelle	4	4	4	4	4
1	Panneaux ouverts à revêtement	4	4	4	4	4
2	Panneaux de charpente multiplis	1	1	5	2.3	2
3	Panneaux de charpente sans revêtement					
3.1	• a/séparation thermique	3	4	4	3.7	3
3.2	• a/séparation thermique et vide d'air	3	4	4	3.7	3
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	4	4	4	4	3
3.4	• a/ colombage métallique	2	4	4	3.3	3

Tableau 6 : Facilité de montage

OUVRIERS TOUCHÉS

		Métier								Tot	COTE
		A	B	C	D	E	F	G	H		
0	Construction traditionnelle	4	4	4	4	4	4	4	4	32	5
1	Panneaux ouverts à revêtement	2	4	4	4	4	4	4	4.5	30.5	4
2	Panneaux de charpente multiplis	1	3	5	3	1	4	4	4.5	25.5	1
3	Panneaux de charpente sans revêtement										
3.1	• a/séparation thermique	2	4	5	3	2	4	4	4.5	28.5	2
3.2	• a/sép. thermique et vide d'air	2	4	5	3	3	4	4	4.5	29.5	3
3.3	• sans sép. thermique; a/vide d'air	2	4	5	3	3	4	4	4.5	29.5	3
3.3	• a/ colombage métallique	2	4	5	3	2	4	4	4.5	28.5	2

Métiers :

A Charpenterie brute
B Toiture
C Pose d'isolant
D Plomberie
E Électricité
F Pose de murs secs
G Menuiserie
H Nettoyage

Échelle d'évaluation :

1. Incidence considérable
2. Incidence moyenne
3. Incidence faible
4. aucune incidence
5. Ouvrier éliminé

OUTILS NÉCESSAIRES

		OpÉration			Tot	COTE
		Levage	Fixation	Découpage		
0	Construction traditionnelle	4	4	4	12	5
1	Panneaux ouverts à revêtement	2	4	4	10	4
2	Panneaux de charpente multiplis	2	3	3	8	2
3	Panneaux de charpente sans revêtement	2	4	4	10	3

Échelle d'évaluation :

1. Outils spéciaux nécessaire/ formation ou ouvrier spécialisé
2. Outils spéciaux nécessaire
3. Outils spéciaux utiles
4. Aucun outil spécial nécessaire
5. Moins d'outils nécessaire

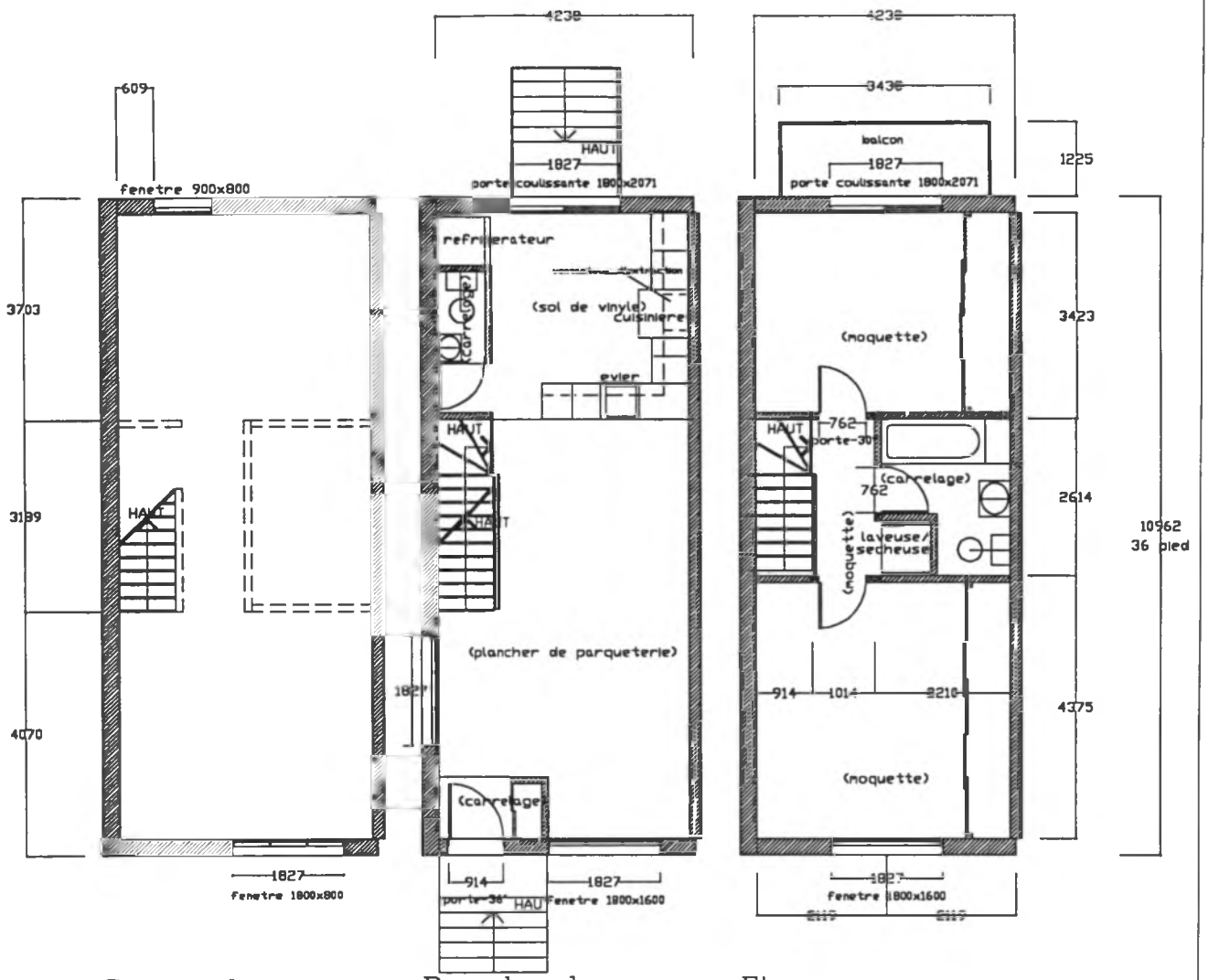
SPÉCIALITÉ OBLIGATOIRE

		charpente			Électricité	Finition intérieure	Total	COTE
		Panneaux	Angles	Ouvertures				
0	Construction traditionnelle	4	4	4	4	4	20	5
1	Panneaux ouverts à revêtement	3	3	3	4	4	17	4
2	Panneaux de charpente multiplis	2	2	1	1	4	10	2
3	Panneaux de charpente sans revêtement	3	3	2	3	4	15	3

Échelle d'évaluation :

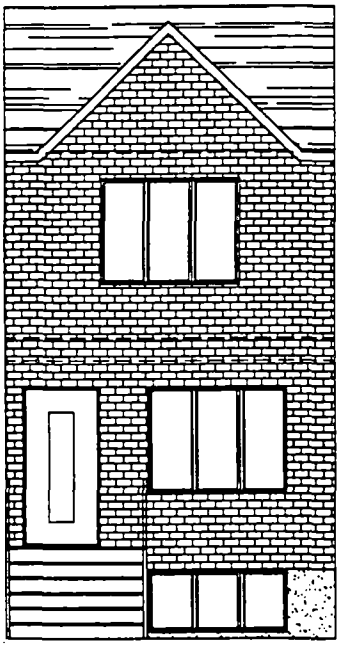
1. Formation obligatoire; très complexe
2. Formation obligatoire; légèrement complexe
3. Formation obligatoire; peu complexe
4. Aucune formation obligatoire; même complexité
5. Aucune formation obligatoire; moins complexe

ANNEXE D

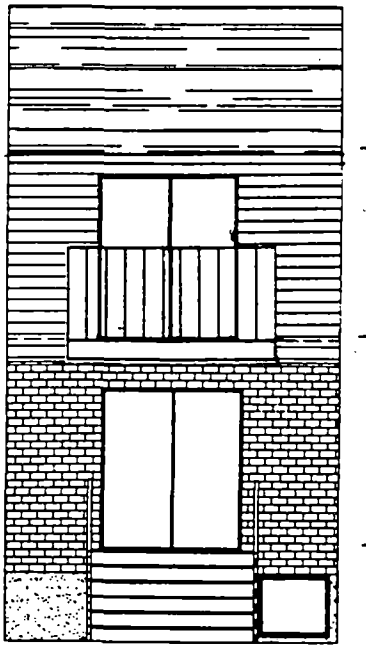


Sous-sol Rez-de-chaussee Etage

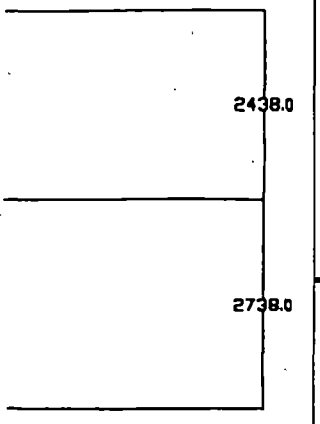
Plans-Type EC/ Maison d'extrémité (Préliminaire)	Dessiné par: Paola DeGhenghi	Échelle: 1: 100	Page: 1/3
Construction industrialisée de la maison évolutive		Date: Nov. 24 ,1992	

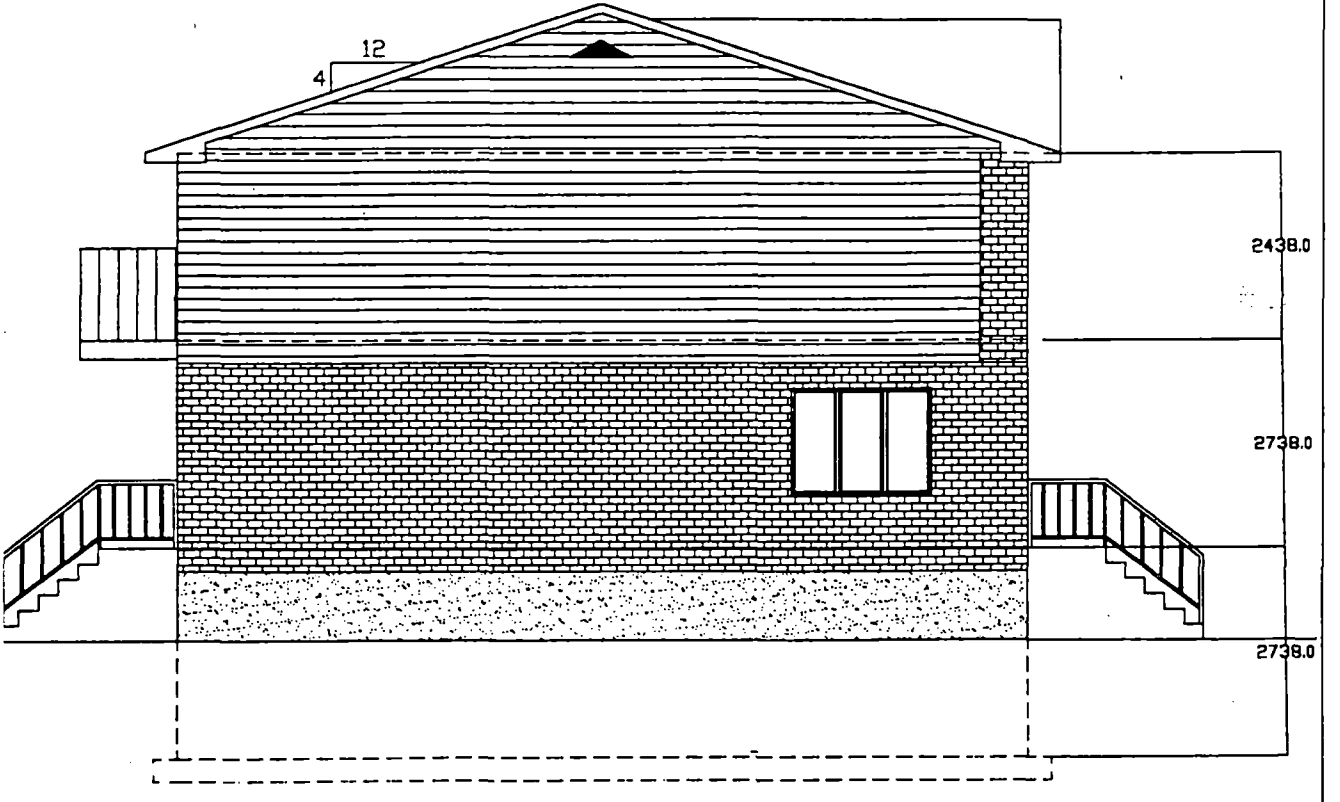


Élévation façade avant



Élévation façade arrière





Élévation latérale

Élévations-TypeEC/Maisond'extrémité (Préliminaire)	Dessiné par: Paola DeGhenghi	Échelle: 1: 100	Page: 2/3
Construction industrialisée de la maison évolutive		Date: Nov. 24 ,1992	

Semelles
- Semelles de béton 300 x 750 mm à 1 500 mm sous le niveau du sol, avec adent continu 38 x 89 mm au centre du mur
- conduite de drainage ondulée en PVC 100 mm, recouverte de 300 mm, (min.) de pierre broyée (19 net)

Murs du sous-sol
- placopâtre 12,7 mm
- pare-vapeur - polystyrène 0,15 mm
- poteaux 38 x 89 mm à 400 mm, avec natte isolante (à la dalle) 90 mm (RSI 2.11)
- vide d'air 13 mm
- mur de béton 250 mm, avec 2 barres d'armature (10M) en haut et en bas
- imperméabilisation jusqu'au sol, 2 couches
- crépissage du ciment hors-sol

Planchers du sous-sol
- 100 mm, avec armature en treillis (6/6 @ 150 x 150)
- pare-vapeur - polystyrène 0,15 mm
- pierre broyée 3 000 mm (0 à 19)

Murs extérieurs
- placoplâtre 12,7 mm +
- pare-vapeur polystyrène 0,15 mm
- poteaux 38 x 140 mm à 400 mm avec natte isolante 140 mm (IEC 3.52)
- revêtement contreplaqué 12,7 mm
- membrane vaporifuge de polyoléfine centrifugée

+

- fourrure 19 x 64 mm à 400 mm cc
- placage d'aluminium

ou

- vide d'air 25 mm
- brique d'argile 100 mm (52,75 briques /m2), avec solin Nervastral au bas

Murs de séparation
- placoplâtre 15,9 mm coté contre le feu
- poteaux 38 x 89 mm à c.c. 400 mm, avec natte isolante 90 mm
- vide d'air 25 mm
- placoplâtre 12,7 mm, 2 feuilles
- poteaux 38 x 89 à c.c. 400 mm, avec natte isolante 90 mm
- placoplâtre 15,9 mm, coté contre le feu

Murs de séparation (sous-sol)
- placoplâtre 12,7 mm
- poteaux 38 x 64 mm à c.c. 600 mm, avec natte isolante 64 mm

Planchers
- placoplâtre 12,7 mm
- solive 36 x 235 mm à c.c. 400 mm
- plate-forme en panneaux de coteaux 15,9 mm

Cloisons intérieures
- placoplâtre 12,7 mm
- poteaux 38 x 89 mm à c.c. 600 mm
- placoplâtre 12,6 mm 2 couches de latex et apprêt

Portes et fenêtres
- portes d'entrée : métal isolé
- portes intérieures : creuses 35 mm, avec parement de masonite
- portes de penderie coulissantes à miroir, pleine hauteur (2 400 mm) (2,4 m)
- porte patios : verre isolé, cadre de vinyle
- fenêtres à battants; bois revêtu d'aluminium coulissantes; en vinyle au sous-sol

Finition/accessoires
- Peinture, un apprêt et deux couches de finition (latex) sur tous les murs, plafonds, portes, boiseries et plinthes), sauf au sous-sol

Charpente (générale
- Épinette de l'Est partout, n° 2 ou mieux
- Murs avec lisses simples ou doubles en haut (sauf au sous-sol); poteaux doubles aux ouvertures avec linteaux 38 x 140 mm
- escalier à enfermer avec cloison haute de 1 000 mm; même détail
- planchers, avec deux rangées de blocage solive double sous les cloisons et sur le périmètre des ouvertures; rive sur le périmètre avec lisses boulonnées au mur de fondation.
- coupe-feu à installer à tous les étages dans le vide d'air du mur de séparation
- escalier en planches de pin 32 mm, nez de marche arrondi, supporté par limons de bois 38 x 235 mm
- plancher de balcon en contreplaqué revêtu de à fibre de verre, sur commande

A Caractéristiques générales
(préliminaires)
- blocs de béton 200 mm, placoplâtre 12,7 mm, 2 feuilles
- poteaux 38 x 64 mm à c.c. 600 mm, avec natte isolante 64 mm
- placoplâtre 12,7 mm, 2 feuilles

Toit
- placoplâtre 12,7 mm
- pare-vapeur - polystyrène 0,15 mm
- fermes préfabriquées, c.c. 600 mm, pente 4:12 avec nappe isolante 260 mm (RSI 7,04)
- plate-forme en panneaux de copeaux 15,9 mm
- 1 couche de papier de construction
- bardeaux d'asphalte

+

- bordure du toit en aluminium, sous-face en aluminium perforé

- couvre-sol à coller directement sur le sous-plancher
- plinthes en pin (hauteur 114 mm)
- cadres de porte en pin (à peindre) avec moulures de deux côtés et butoirs enfoncés
- rayons de bois dans les penderies largeur 300 mm avec tringle et appuis
- armoires de cuisine et table de toilette en mélamine sur panneau d'aggloméré, produit standard; modules préfabriqués
- main courante d'acier à l'extérieur, barre 13 x 13 mm à c.c. 10 mm avec méplats à 100 et 1 000 mm au-dessus de la plate- forme ou du plancher
- variations selon l'élément préfabriqué

Devis (Préliminaire)	Dessiné par:	Scale:	Page: 3/3
Construction industrialisée de la maison évolutive		Date: Nov. 24 ,1992	