

Université de Montréal

**Évaluation environnementale de systèmes
de construction de cloisons résidentielles :
réflexions sur l'adaptabilité
et la flexibilité.**

par

Mario Patenaude

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès Sciences Appliquées
(M.Sc.A) en Aménagement
option Aménagement

Août 2010

© Mario Patenaude, 2010

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

**Évaluation environnementale de systèmes de construction
de cloisons résidentielles : réflexions sur l'adaptabilité
et la flexibilité.**

Présenté par :
Mario Patenaude

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Anne Marchand, président-rapporteur
Sylvain Plouffe, directeur de recherche
Denyse Roy, membre du jury

Résumé

L'introduction du développement durable apporte de nouvelles préoccupations environnementales au niveau de la construction et de la rénovation résidentielles, une industrie qui représente un marché économique important au Canada. En plus d'engendrer plusieurs impacts sur l'environnement, la conception actuelle ne permet pas d'accommoder le changement initié par l'évolution des pratiques, les avancées technologiques, mais également par l'évolution des patrons de vie des occupants. Dans un premier temps, la revue de littérature dresse le portrait de l'industrie de la construction, rénovation et démolition (CRD) au Canada, ainsi que le profil de gestion des débris de CRD. Ensuite, une analyse documentaire traite de différents outils de conception développés pour améliorer la performance du secteur : 3RV-E, écoconception, écoconstruction et LEED®. De plus, la recension des écrits permet également de cerner les concepts d'adaptabilité et de flexibilité au niveau du bâtiment et dans les approches et mouvements émergents en architecture. Cette démarche nous amène à établir l'hypothèse que l'intégration des critères d'adaptabilité et de flexibilité au niveau du logement aurait pour effet d'améliorer l'adéquation entre les besoins évolutifs des occupants et les nouvelles considérations environnementales. Au niveau méthodologique, l'analyse du cycle de vie simplifiée par l'Eco-indicator99 encadre l'analyse environnementale de l'ossature de trois types de construction de cloison. De cette évaluation, on conclut que c'est la construction traditionnelle à ossature de bois qui produit le moins d'impacts. Dans l'ordre suivant la proposition de construction de cloison à ossature d'aluminium, plus adaptable et flexible, et finalement la construction à ossature d'acier qui est le système le plus dommageable. Par contre, en intégrant le facteur temporel, cette analyse démontre que l'intégration de l'adaptabilité et de la flexibilité procure plusieurs cycles de vie et de rénovation au produit et à ses composantes. Finalement, ces concepts offrent également le potentiel de diminuer les impacts générés par la construction et la rénovation, un constat qui mériterait d'être abordé dans une approche plus systémique.

Mots-clés : Adaptabilité, cloison, développement durable, écoconception, écoconstruction, flexibilité, LEED®.

Abstract

The introduction of sustainable development brings new environmental concerns on an important Canadian market industry: construction and residential renovation. Not only does the current concept have a considerable impact on the environment, it also can't follow up with the development of practices, technologies and occupants' lifestyle. First, a literature review draws a picture of the construction, renovation and demolition industry (CRD) in Canada and it outlines the CRD rubble management profile. Then a documentary analysis drafts different concept tools that were developed to improve the industry's performance. They are 3RV-E, ecodesign, sustainable construction and LEED®. The papers review also explores the adaptability and flexibility concepts on the construction sector and on the emerging architectural trend. This approach brings us to the hypothesis that the integration of the adaptability and flexibility criteria to the housing sector will improve the adequacy between the progressive needs of the occupants and the new environmental issues. On a methodological perspective, the simplified lifecycle analysis performed with the Eco-indicator99 overviews the environmental analysis of three types of partition construction. The outcome of this evaluation is that the one with the less environmental impact is the traditional construction with a wooden framework, followed by the construction with an aluminum framework which is adaptable and flexible, and in third place, the construction with a steel framework which is the most harmful to the environment. On the other hand, adding the time factor to this analysis demonstrates that the integration of the adaptability and flexibility criteria brings a number of renovation and life cycles to the product and its components. In the end, these concepts present us with a potential of reducing the impacts of construction and renovation on the environment and that's an assessment that would need to be approached systematically.

Keywords: Adaptability, ecodesign, flexibility, LEED®, sustainable construction, sustainable development, wall.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des tableaux	x
Liste des figures	xi
Liste des annexes	xii
Liste des abréviations	xiii
Dédicace	xv
Remerciement	xvi
Introduction	17
Chapitre 1	20
Introduction : portrait de l'industrie de la construction	
1.1. Portrait de la construction et de la rénovation au Canada	20
1.1.1. Profil du marché immobilier	22
1.1.2. Nature des travaux	23
1.1.3. Impact de l'industrie de la CRD	24
1.2. Portrait de la gestion des débris de la CRD	28
1.2.1. Définition	28
1.2.2. Cadre législatif et réglementaire	29
1.2.3. Caractérisation des débris de la CRD	30
1.2.4. Performance du secteur de la CRD	31

Chapitre 2	35
Problématique : construction résidentielle et environnement	
2.1. Outils pour faire face au problème	37
2.1.1. Écodesign et écoconception	38
2.1.1.1. Trois approches d'écodesign	39
2.1.1.2. Trois niveaux d'écoconception	40
2.1.1.2.1. Notion temporelle	41
2.1.1.2.2. Approche technocentriste	42
2.1.1.2.3. Structure d'encadrement	43
2.1.1.3. Écoconstruction	43
2.1.2. Certification LEED®	45
2.1.2.1. LEED®-NC – Nouvelles constructions	46
2.1.2.2. LEED®-H – Habitations	49
2.1.2.3. Comparaison entre LEED®-NC et LEED®-H	51
2.1.2.4. Critique de la certification LEED®	52
2.1.2.4.1. Critiques sur la méthodologie	53
2.1.2.4.2. Critiques sur l'usage	56
2.1.2.4.3. Critiques sur les résultats	58
2.1.2.4.4. Critiques sur la pertinence	60
2.2. Adaptabilité et flexibilité	63
2.2.1. Besoins au niveau de l'adaptabilité/flexibilité	64
2.2.2. Types de changement	65
2.2.3. Procédés d'adaptabilité/flexibilité	66
2.2.4. Formes d'adaptabilité/flexibilité	68
2.2.5. Interactions entre les systèmes du bâtiment	69
2.2.6. Principes d'intervention	70
2.2.7. Avenues d'intervention	71
2.2.8. Design et adaptabilité/flexibilité	71
2.2.8.1. Approches de design	72
2.2.8.2. Stratégies de design	73

2.3. Approches et mouvements émergents en architecture	75
2.3.1. Industrialisation de la construction	76
2.3.2. Systèmes constructifs industrialisés	78
2.3.3. Mouvement « Open building »	81
2.3.4. Systèmes constructifs industrialisés, flexible et démontables (IFD)	82
Chapitre 3	84
Protocole de recherche	
3.1. Aspects méthodologiques	84
3.1.1. Thème 1 – Portrait de l’industrie de la construction	85
3.1.2. Thème 2 – Outils pour faire face au problème	86
3.1.3. Thème 3 – Adaptabilité et flexibilité	87
3.1.4. D’une approche qualitative à une approche quantitative	88
3.1.4.1. Étude de cas multiples	88
3.2. Analyse du cycle de vie	90
3.2.1. Cadre général	91
3.2.2. Analyse du cycle de vie simplifiée (ACVS)	93
3.3. Méthode Eco-indicator99	95
3.3.1. Cadre général	95
Chapitre 4	97
Analyses du cycle de vie simplifiées des cloisons	
4.1. ACVS	97
4.1.1. Buts de l’ACVS	98
4.1.2. Unité fonctionnelle	99
4.2. Construction à ossature de bois	101
4.2.1. Définir le cycle de vie	102
4.2.2. Quantifier les impacts	103
4.2.3. Interpréter les résultats	104

4.3. Construction à ossature d'acier	106
4.3.1. Définir le cycle de vie	107
4.3.2. Quantifier les impacts	108
4.3.3. Interpréter les résultats	109
4.4. Construction à ossature d'aluminium	111
4.4.1. Définir le cycle de vie	113
4.4.2. Quantifier les impacts	115
4.4.3. Interpréter les résultats	116
4.5. Discussion	118
4.5.1. Comparaison entre les systèmes	118
4.5.2. Comparaison des caractéristiques générales	119
4.5.3. Comparaison entre les résultats des ACVS	121
4.5.3.1. Production des matériaux	121
4.5.3.2. Procédés de fabrication	122
4.5.3.3. Transport, emballage et usage	122
4.5.3.4. Fin de vie	123
4.5.4. Unité fonctionnelle et notion temporelle	124
 Chapitre 5	 126
Conclusion	
 5.1. Conclusions de recherche	 126
5.1.1 Conclusions sur l'analyse environnementale	126
5.1.1.1. Performance environnementale des cloisons	126
5.1.1.2. Adaptabilité/flexibilité et cloison à ossature d'aluminium	128
5.1.1.3. Adaptabilité/flexibilité : bénéfices anticipés	129
5.1.1.4. Adaptabilité/flexibilité et outils de conception	130
5.1.1.5. Limites de l'analyse environnementale	130
5.1.2 Nouvelles préoccupations conceptuelles en construction	132
5.1.2.1. Adéquation milieu de vie/besoins des occupants	133
5.1.2.2. Écoconstruction : réalité et potentiel	134

5.1.3	Orientation de la recherche : propositions de thèmes	135
5.1.3.1.	L'usager et son espace de vie : aspects sociaux	136
5.1.3.2.	Cloisons adaptables et flexibles : étude in situ de l'impact	137
5.2.	Ouverture	138
5.2.1	Obstacles freinant l'adhésion au bâtiment écologique	138
5.2.2	Conjoncture favorable à l'industrialisation du bâtiment	140
	 Références bibliographiques	 142
	 Annexes	 151
Annexe 1 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS – ossature de bois	151
Annexe 2 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS – ossature de d'acier	152
Annexe 3 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS – ossature de d'aluminium	153

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Comparaison entre les profils de rénovation au Canada en 2008 et 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010).	21
Tableau 2 :	Comparaison entre les types d'attribution de travaux de rénovation au Canada en 2007, 2008 et 2009 (SCHL, 2008; SCHL, 2009; SCHL, 2010).	23
Tableau 3 :	Comparaison entre les types de travaux effectués lors des rénovations au Canada en 2008, 2009 et 2010 (SCHL, 2009; SCHL, 2010).	24
Tableau 4 :	Tableau regroupant les données d'analyse de plans qui ont mené à l'établissement de l'unité fonctionnelle.	99
Tableau 5 :	Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature de bois.	103- 104
Tableau 6 :	Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature d'acier.	108- 109
Tableau 7 :	Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature d'aluminium.	115- 116
Tableau 8 :	Tableaux de comparaison des caractéristiques générales des cloisons à ossature de bois, d'acier et d'aluminium.	119
Tableau 9 :	Tableaux récapitulatifs de la somme des indicateurs des ACVS des cloisons.	120

Liste des figures

Figure 1 :	Représentation graphique de la cloison à ossature de bois.	101
Figure 2 :	Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature de bois.	102
Figure 3 :	Représentation graphique de la cloison à ossature d'acier.	106
Figure 4 :	Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature d'acier.	107
Figure 5 :	Représentation graphique de la cloison à ossature d'aluminium.	112
Figure 6 :	Profilé de la lisse (cloison à ossature d'aluminium).	112
Figure 7 :	Couvercle (cloison à ossature d'aluminium).	112
Figure 8 :	Attache de boîte électrique (cloison à ossature d'aluminium).	112
Figure 9 :	Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature d'aluminium.	114

Liste des annexes

Annexe 1 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS : ossature de bois.	151
Annexe 2 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS : ossature d'acier.	152
Annexe 3 :	Feuille de cueillette de données de l'ACVS : ossature d'aluminium.	153

Liste des abréviations

3R MCDQ	Regroupement des récupérateurs et des recycleurs de matériaux de construction et de démolition du Québec
3RV	Réduction à la source, réemploi, recyclage et valorisation
3RV-E	Réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination
ACV	Analyse du cycle de vie
ACVS	Analyse du cycle de vie simplifiée
AÉS	Aménagement écologique des sites
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CBDCa	Conseil du bâtiment durable du Canada
CEC	Commission for Environmental Cooperation
CFC	Chlorofluorocarbures
CIB	Conseil international du bâtiment
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
COV	Composés organiques volatils
CRD	Secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition
CST	Conseil de la science et de la technologie
CVCA	Chauffage, ventilation, climatisation et aération
DfD	Design for Desassembly
ÉA	Énergie et atmosphère
EL	Emplacement et liaisons
FSC	Forest Stewardship Council
FTA	Fumée de tabac ambiante
GEE	Gestion efficace de l'eau
GES	Gaz à effet de serre
HARL	Home Appliances Recycling Law
ICI	Secteur industriel, commercial et institutionnel
IFD	Industrialisés, flexibles et démontables

IPD	Innovation et processus de design
ISO	Organisation internationale de normalisation
LCM	Loi sur les compétences municipales
LEED®	Leadership in Energy and Environmental Design
LEED®-H	LEED-Habitation; LEED-Homes
LEED®-NC	LEED-Nouvelles constructions; LEED-New construction
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MFA	Mass flow accounting
MJ	Mégajoule
mPt	Millipoints
MR	Matériaux et ressources
MRC	Municipalités régionales de comté
Mt	Millions de tonnes
OB	Open building
ONG	Organismes non-gouvernementaux
PIB	Produit intérieur brut
QAI	Qualité de l'air intérieur
QEI	Qualité des environnements intérieurs
R&D	Recherche et développement
REIMR	Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles
SAR	Stichting Architecten Research
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement
SF	Sensibilisation et formation
SFI	Sustainable Forestry Initiative
S/I	Support/Infill
TPSGC	Travaux publics et services gouvernementaux Canada
UE	Union Européenne
USGBC	U. S. Green Building Council
WEEE	Waste Electric and Electronic Equipment

Ce mémoire est dédié à la mémoire de Lucille.

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la concrétisation de ce mémoire. Dans un premier temps, je remercie grandement Monsieur Sylvain Plouffe, directeur de maîtrise, de m'avoir accompagné dans cette démarche enrichissante par son écoute, ses aptitudes et sa passion contagieuse pour le développement durable et les préoccupations environnementales. Merci également à Monsieur Roger-Bruno Richard pour sa générosité dans le partage de connaissances sur les questions relatives aux pratiques émergentes en construction.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux organismes qui, par leur aide financière, ont fait en sorte que ce projet de recherche se réalise. Premièrement, merci spécial au Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH) pour la bourse d'études supérieures du Canada J. A. Bombardier qui m'a permis de me concentrer sur mes études. De plus, je tiens à remercier la Faculté de l'aménagement pour la bourse d'admission et la bourse Guy-Desbarats, Recyc-Québec pour la bourse d'études supérieures, l'École de design industriel et le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) pour la bourse ALCAN, et la Faculté des études supérieures et postdoctorales (FESP) pour la bourse d'excellence et la bourse de rédaction. Finalement, je tiens également à transmettre mes remerciements à l'Office Franco Québécois pour la Jeunesse pour la bourse de poursuite d'études collégiales et universitaires en Asie et la Direction des relations internationales de l'Université de Montréal pour la Subvention dans le cadre de l'internationalisation des programmes d'études impliquant la mobilité étudiante et professorale de courte durée qui m'ont permis de participer au Séminaire en technologie du bâtiment au Japon avec, comme guide, M. Roger-Bruno Richard.

Enfin, je veux remercier ma famille et mes amis pour leur appui soutenu, leur patience et leur compréhension durant toute la durée de la recherche et de la rédaction de ce mémoire. Les études de deuxième cycle représentent avant tout une démarche de nature solitaire, mais dont l'accomplissement repose sur le support de plusieurs individus importants.

Introduction

L'introduction du concept de développement durable à la fin des années 80 fait émerger une toute nouvelle perspective de notre monde. Ce nouveau paradigme suscite la réflexion sur les pratiques de développement et les modes de consommation non soutenables de notre société, en initiant un questionnement sur le rôle de chacun dans l'atteinte d'une resynchronisation de l'activité humaine avec la nature. Pour atteindre les grands préceptes du développement durable, il est nécessaire d'intégrer les aspects sociaux, économiques et environnementaux des activités humaines (BOSSEL, 2005; Sommet de la terre de Rio : Agenda 21, 1992). Cette nouvelle forme de développement offre une réponse holistique à la crise environnementale en fournissant les connections entre nature, culture, valeurs, relations de pouvoir et technologie (VAN DER RYN & COWAN, 2007). Cette réalité touche la construction et la rénovation résidentielles puisque de nouvelles préoccupations naissent au niveau de la consommation d'énergie, de la consommation d'eau, de la santé des occupants, de la composition et la provenance des divers matériaux, ainsi que de la quantité de déchets générée par cette industrie. En plus d'engendrer plusieurs impacts sur l'environnement, la conception actuelle du bâtiment ne permet pas d'accommoder le changement initié par l'évolution des pratiques, les avancées technologiques, mais également par l'évolution des patrons de vie des occupants.

Dans un premier temps, pour faciliter la compréhension de cette problématique qui s'établit entre la construction et l'environnement, une revue de littérature dresse le portrait global de l'industrie de la construction au Canada. Ce volet empirique permet d'établir le profil du marché immobilier et de la rénovation en démontrant leur importance économique, en décrivant les procédures et les moyens inhérents à ces secteurs, ainsi qu'en traitant des impacts environnementaux engendrés par la construction, la rénovation et la démolition (CRD). De plus, le profil de cette industrie est complété par la présentation du portrait de la gestion des débris de CRD qui parcourt la caractérisation des débris, le cadre législatif et règlementaire des différents paliers gouvernementaux, ainsi que le survol des différentes initiatives de législation

conjuguant l'environnement et les matières résiduelles dans le secteur de la construction. Finalement, nous terminons cette exploration en traitant de la performance de la CRD en fonction de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008, mais également des objectifs du plan d'action 2010-2015 du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

Ensuite, une analyse documentaire rassemble des informations sur différents outils ou initiatives conceptuelles développés pour améliorer la performance du secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition. En premier lieu, nous dénotons certains dispositifs, tels que le 3RV-E (réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination), qui ont été élaborés pour tenter de minimiser l'impact environnemental de la construction en suscitant la réflexion sur l'utilisation des ressources et sur la notion de déchet. Ensuite, nous abordons l'approche de l'écodesign (ou écoconception) qui intègre les préoccupations environnementales en amont, soit au niveau de l'étape de l'élaboration et de la conception du projet. Nous analysons ensuite l'écoconception en mettant en relief certaines de ses caractéristiques, soit l'aspect technocentriste de son approche, l'intégration de la notion temporelle, les outils associés à la démarche et la structure d'encadrement qui lui est propre. Afin de réduire son empreinte environnementale, l'industrie de la construction aborde cette nouvelle façon de concevoir en déployant sa propre version : l'écoconstruction. De ce fait, la construction durable devient une approche globale qui intègre les critères environnementaux et à laquelle on associe plusieurs systèmes d'évaluation. Nous nous attardons plus particulièrement à la certification LEED® en présentant ses déclinaisons, son mode opératoire et son processus d'application, tout en élaborant sur l'inventaire des critiques faites à propos de ce système.

De plus, pour traiter de l'aspect évolutif, la recension des écrits permet également de cerner les concepts d'adaptabilité et de flexibilité. Nous présentons donc le contexte historique de l'apparition de ce procédé architectural, les différentes caractéristiques de ces concepts, ainsi que leurs modes d'intégration à la démarche de conception des bâtiments écologiques. Finalement, pour illustrer l'exploration de ces concepts, nous arborons certaines approches et mouvements émergents en architecture

qui intègrent les problématiques reliées à l'environnement en proposant de nouvelles façons d'aborder la construction.

Ainsi, en lien avec la problématique établie, la présente recherche s'intéresse à la construction durable et plus particulièrement aux moyens conceptuels qui ont le potentiel de minimiser l'impact de l'industrie de la construction. Cette démarche nous amène donc à établir l'hypothèse que l'intégration des critères d'adaptabilité et de flexibilité, au niveau du logement, aurait pour effet d'améliorer l'adéquation entre les besoins évolutifs des occupants et les nouvelles considérations environnementales.

Pour éprouver cette proposition, nous avons mené une cueillette de données en conduisant une étude de cas multiples. D'un point de vue méthodologique, nous présentons donc la pensée cycle de vie dans laquelle s'inscrit cette investigation. Nous avons privilégié l'utilisation de la démarche de l'analyse du cycle de vie simplifiée, avec l'outil Eco-indicator99, pour mener à l'analyse environnementale de l'ossature de trois types de construction de cloisons, soit la construction traditionnelle à ossature de bois, la construction à ossature d'acier galvanisé et enfin une proposition de construction de cloison à ossature d'aluminium, qui intègre des caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité. Finalement, les résultats sont analysés, comparés entre eux et discutés de façon à dégager des constats et des conclusions qui permettent de valider l'hypothèse et, par extension, de nourrir la problématique qui est à l'origine de ce projet de recherche.

Chapitre 1

Introduction : portrait de l'industrie de la construction

Le premier chapitre de ce mémoire vise à jeter les bases d'une recherche qui est conduite en dressant le portrait global de l'industrie de la construction. Dans un premier temps, nous présentons un profil du marché immobilier pour montrer l'importance de ce marché et l'impact économique qu'il représente. Ensuite, nous élaborons sur le phénomène de la rénovation en expliquant les motivations, la nature des interventions, le type de travaux exécutés, ainsi que les procédures et les moyens inhérents à cette activité. Par la suite, nous abordons la question des impacts environnementaux engendrés par l'industrie de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD), en traitant spécifiquement de l'utilisation d'énergie, l'émission de gaz à effet de serre (GES), la pollution, les déchets et la qualité de l'air intérieur (QAI). Dans un deuxième temps, nous dressons le profil de la gestion des débris de la CRD en présentant la définition proposée par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Ultérieurement, nous survolerons le cadre législatif et réglementaire des différents paliers gouvernementaux en exposant les différentes initiatives de législation au niveau de l'environnement et des matières résiduelles en lien avec la construction. De plus, nous élaborerons sur la caractérisation des débris de CRD en développant sur la répartition des deux principales sources de matières résiduelles, soit le bâtiment et les infrastructures routières et publiques. Finalement, nous traiterons de la performance de la CRD en fonction de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008, ainsi que des objectifs du plan d'action 2010-2015 du Gouvernement du Québec.

1.1 Portrait de la construction et de la rénovation au Canada

Au niveau statistique, dans son document d'analyse des tendances socioéconomiques ayant une influence sur les marchés de l'habitation, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) dresse un portrait de l'industrie de la construction et de la rénovation au pays. Premièrement, nous remarquons que la construction résidentielle, qui regroupe la construction neuve et la rénovation,

représentait un marché de 49 milliards de dollars en 1999, soit plus de 5 % du produit intérieur brut (PIB) du Canada (CST, 2001; SCHL, 2003). De plus, depuis les années 70, nous notons une augmentation des activités dans le secteur de la rénovation, si bien que celui-ci représente maintenant environ la moitié de toutes les dépenses reliées à la construction résidentielle (SCHL, 2003). Cette situation s'explique par le fait que la sphère de la rénovation est un marché plus stable que la construction neuve et elle ne semble pas subir les mêmes contrecoups que cette dernière lorsque les taux d'intérêt augmentent ou lorsque les perspectives économiques s'annoncent plus précaires (SCHL, 2003). Enfin, dans les dix plus grands centres urbains du pays (Calgary, Edmonton, Halifax, Montréal, Ottawa, Québec, St John's, Toronto, Vancouver et Winnipeg), nous estimons que 1,7 million de ménages propriétaires ont effectué des travaux de rénovation au niveau de leur logement au cours de l'année 2008. Ce nombre a atteint 2,1 millions en 2009, soit une augmentation de 24% (SCHL, 2009; SCHL, 2010). Ainsi, 40% des ménages propriétaires ont procédé à des rénovations en 2008, une proportion qui a progressé à 50% en 2009 (SCHL, 2010). La somme des travaux de rénovation de ces différentes communautés urbaines a atteint 19,7 milliards de dollars en 2007, 21,3 milliards de dollars en 2008 et 25,8 milliards de dollars en 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010) (*Tableau 1*).

	2008	2009	%
Nombre de ménages propriétaires ayant effectué des travaux de rénovation :	1,7 million	2,1 millions	+24%
Pourcentage des ménages propriétaires ayant effectué des travaux de rénovation :	40%	50%	+10%
Somme des travaux de rénovation des dix plus grands centres urbains du pays (Calgary, Edmonton, Halifax, Montréal, Ottawa, Québec, St John's, Toronto, Vancouver et Winnipeg) :	21,3 milliards \$	25,8 milliards \$	+21%

Tableau 1 : Comparaison entre les profils de rénovation au Canada en 2008 et 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010).

1.1.1 Profil du marché immobilier

Au niveau du profil des achats et des acheteurs, la SCHL dresse un portrait des transactions effectuées durant l'année 2008 dans les cinq plus grands centres urbains étudiés (Calgary, Halifax, Montréal, Toronto et Vancouver). Premièrement, au niveau de la superficie du lieu de résidence, nous observons que 59% des ménages propriétaires ont acquis un nouveau logement plus spacieux que le précédent, tandis que 25% de ceux-ci ont opté pour une superficie plus petite (SCHL, 2009). Comme l'explique la Société canadienne d'hypothèques et de logement, cette situation de croissance au niveau de l'espace habitable concorde avec la proportion des ménages sondés, soit 32%, qui expliquent que leur déménagement est motivé par un manque d'espace (SCHL, 2009; SCHL, 2010). De plus, le profil du marché immobilier indique que parmi les transactions effectuées au niveau des logements en 2008 et en 2009, 73% à 74% des ménages ont fait l'acquisition d'un logement existant sur le marché, contre une proportion de 22% à 23% qui ont opté pour une construction neuve (SCHL, 2009; SCHL, 2010). Finalement, au niveau de la typologie des types d'habitation, nous remarquons qu'en 2008 plus de 50% des ménages se sont portés acquéreurs de maisons individuelles, une proportion qui a atteint 55% en 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010).

Au niveau du profil de la rénovation, l'enquête de la SCHL montre que dans une proportion de 46% en 2008 et de 50% en 2009, les ménages qui ont effectué des rénovations dans leur logement révèlent avoir dépensé la somme projetée. Par contre, nous dénotons que 38% des ménages en 2008 et 35% en 2009 ont admis avoir injecté un montant d'argent plus important que ce qu'ils avaient prévu en avant-projet (SCHL, 2009; SCHL, 2010). La SCHL a également pu mettre en lumière que les ménages des dix plus grandes villes du Canada ont consacré une somme moyenne de 12 600\$ en 2008, un montant légèrement plus important que les années 2007 et 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010). Ensuite, parmi les ménages ayant rénové leur logement en 2009, nous dénotons que 42% des ménages ont attribué tous les travaux à un entrepreneur de la construction et que dans 25% des cas, les propriétaires ont choisi de tout faire eux-mêmes, avec ou sans l'aide du réseau social et/ou familial. Pour compléter cette proportion, nous observons qu'environ 27% des ménages ont privilégié une solution hybride en réalisant une partie des travaux et en laissant un entrepreneur s'occuper de finaliser le tout. À titre de comparaison avec l'année 2007 et 2008, nous remarquons

certains décalages au niveau de la répartition des travaux de rénovation qui sont représentés dans le **Tableau 2** ci-dessous (SCHL, 2008; SCHL, 2009; SCHL, 2010).

	2007	2008	2009
Totalité des travaux de rénovation qui sont confiés à un entrepreneur	41%	39%	42%
Totalité des travaux effectués par le propriétaire (avec ou sans l'aide du réseau social et/ou familial)	31%	30%	25%
Solution hybride : partage des tâches entre le propriétaire et l'entrepreneur	25%	25%	27%

Tableau 2 : Comparaison entre les types d'attribution de travaux de rénovation au Canada en 2007, 2008 et 2009 (SCHL, 2008; SCHL, 2009; SCHL, 2010).

1.1.2 Nature des travaux

La nature des travaux effectués lors des rénovations se divise en deux catégories, soit les modifications et les améliorations d'un côté, puis les réparations et les tâches d'entretien de l'autre. Au cours de l'année 2008, la proportion des ménages ayant procédé à des modifications ou des améliorations au niveau de leur habitation a presque atteint une proportion de 75% (73% en 2009). Dans la catégorie des travaux reliés aux réparations ou aux tâches d'entretien, le recensement dénombre 46% des ménages (49% en 2009) et finalement, ils procèdent à une combinaison des deux catégories de travaux lors des rénovations dans 19% des cas (23% en 2009) (SCHL, 2009; SCHL, 2010). De façon plus prospective, l'enquête de la SCHL montre qu'en 2008, les motivations qui ont poussé les ménages à rénover leur logement sont multiples. En effet, dans les cinq plus grands centres urbains de l'étude (Calgary, Halifax, Montréal, Toronto et Vancouver), 59% des ménages qui ont planifié avoir recours à la rénovation cette année-là avaient pour objectifs de rajeunir leur logement, d'en augmenter la valeur ou de le vendre, une proportion qui passe à 52% en 2009 (SCHL, 2009; SCHL, 2010). De façon plus précise, le recensement effectué en 2009 indique que 43% des ménages ont planifié réaliser des travaux d'entretien et de réparation et que 74% de ceux-ci ont projeté d'apporter des modifications et des améliorations à leur habitation, des données semblables à la répartition de l'année 2008 (SCHL, 2009) (**Tableau 3**). Finalement, nous remarquons que l'âge du logement est un facteur qui a une incidence

sur la nature des travaux qui sont réalisés lors des rénovations; ainsi, « *plus les logements sont anciens, plus leurs occupants sont nombreux à réaliser des travaux d'entretien et de réparation et à l'inverse, plus le logement est récent, plus forte est la proportion de ménages qui y apportent des modifications et des améliorations* » (SCHL, 2009 : p. 6).

	2008	2009	2010
Proportion des ménages ayant procédé à des modifications et des améliorations au niveau de leur habitation.	75%	73%	74%*
Proportion des ménages ayant procédé à des réparations et des tâches d'entretien au niveau de leur habitation.	46%	49%	43%*

* Valeur prospective

Tableau 3 : *Comparaison entre les types de travaux effectués lors des rénovations au Canada en 2008, 2009 et 2010 (SCHL, 2009; SCHL, 2010).*

1.1.3 Impact de l'industrie de la CRD

À l'échelle mondiale, selon le rapport « Navigating the Numbers » du World Resources Institute, l'industrie de la construction contribue à 15% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) et place le Canada au 3e rang des pays émetteurs de GES par capita, derrière les États-Unis et l'Australie (BAUMERT et al, 2005). De plus, les bâtiments résidentiels et commerciaux canadiens consomment 30% de l'énergie, ce qui en fait un des secteurs émettant le plus de GES en Amérique du Nord (CEC, 2008). Dans la même veine, en incluant les énergies mobilisées pour le chauffage, l'énergie nécessaire pour amener les matériaux sur les chantiers et celle utilisée pour la mise en œuvre ou leur fabrication (consommations rassemblées sous le terme « énergie grise »), le bâtiment occasionne une pollution égale à celle des transports routiers (CAMPREDON et al, 2001). À l'échelle nationale, dans son guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement, Travaux publics et services gouvernementaux Canada (TPSGC) consolide le niveau d'impact environnemental en maintenant qu' « *au niveau du Canada, des études ont démontré que près du tiers des 20 millions de tonnes de déchets solides introduits dans les flux de déchets municipaux sont produits par les activités de construction, de rénovation et de démolition. Des faits comme ceux-ci renforcent le besoin de mesures axées sur la réduction et la récupération du plus*

grand nombre de déchets possible produits par les activités de construction, de rénovation et de démolition » (TPSGC, 2000 : p. 8-1). Finalement, à l'échelle du Québec, RECYC-QUÉBEC soutient qu'en 2008, « *le secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD) a généré 4,57 millions de tonnes de débris et de matériaux résiduels, ce qui représente 35% des matières résiduelles générées cette année-là dans la province* » (RECYC-QUÉBEC, 2009a : p. 1). Au niveau des déchets à caractère solide, nous pouvons habituellement classer les déchets en trois sous-catégories (LAQUATRA & PIERCE, 2009) :

- **Les déchets inertes** : matières chimiquement stables qui ne sont pas soumises au processus de décomposition, ne génèrent pas de gaz ou d'odeur, et ne se consomment pas par le feu;
- **Les débris putrescibles** : matériaux qui sont décomposés par des microorganismes, un processus qui produit des gaz qui peuvent engendrer des impacts sur l'environnement;
- **Les résidus chimiques** : matières qui ont un potentiel de contamination par des procédés physiques ou chimiques.

Après s'être attardé à la production de déchets de l'industrie de la CRD, il est intéressant de dresser le portrait environnemental de certains matériaux et systèmes de construction couramment utilisés au Canada. Premièrement, le système de construction à ossature de bois utilise du bois massif provenant des résineux, mais inclut également des éléments, tels que des panneaux, fabriqués à partir de sous-produits du bois. Ces panneaux sont composés de poussières ou de copeaux de bois, auxquels nous ajoutons des liants tels que la colle ou d'autres additifs avant de comprimer le tout lors de la mise en forme. Nous dénotons par contre que ces médiums de liaison peuvent avoir un potentiel de toxicité. Nous citons en exemple les résines à base d'urée-formaldéhyde qui sont couramment utilisées dans la fabrication de ce type de panneau et qui peuvent être nocives et irritantes pour certaines personnes. Tout au long de leur cycle de vie, ces résines libèrent des composés organiques volatils (COV) qui contribuent à réduire la qualité de l'air intérieur (QAI) des bâtiments (TPSGC, 2000). Il est intéressant de noter que de plus en plus d'alternatives sont offertes sur le marché afin de minimiser l'impact sur la santé des occupants et des utilisateurs des bâtiments,

mais selon le TPSGC, « *on recommande d'éviter les ossatures en bois de résineux aux endroits où la QAI est un problème* » (TPSGC, 2000 : p. A-39). Pour pallier à cette situation, la construction à ossature métallique en acier devient une option intéressante. Cette structure plus légère contient une proportion d'acier et de fer recyclés qui ont un potentiel de « recyclabilité » élevé. Par contre, il est important de mentionner que la quantité d'énergie utilisée lors de l'extraction et de la transformation de l'acier est beaucoup plus importante que les matériaux ligneux puisque « *l'énergie intrinsèque de l'acier par kilogramme est environ six fois celle du bois qui est de 7,4 MJ/kg (44,6 MJ/kg pour l'acier)* » (TPSGC, 2000 : p. A-41).

Finalement, au niveau des revêtements, le parement mural le plus utilisé est sans contredit le panneau de gypse. Selon Kari Foster (2007), plus de 95% des constructions américaines comportent une certaine forme de gypse. Lors de l'installation de ce dernier, Mme Foster soutient qu'entre 10 à 12% du gypse installé est mis aux rebuts, ce qui signifie qu'une maison de 2000 pieds carrés pourrait produire une tonne de déchets de gypse (FOSTER et al, 2007; ROSKOSKEY, 2007). D'autres sources mentionnent que l'utilisation de panneaux de gypse produit une livre de débris pour chaque pied carré de surface de plancher d'une résidence (LAQUATRA & PIERCE, 2009). Le panneau de gypse procure un avantage indéniable au niveau de la finition, mais avec un coût environnemental important. Cette situation s'explique aisément puisque l'utilisation des retailles n'est pas encouragée et ce, pour des raisons pratiques. L'installation des grandes sections de gypse minimise le nombre de plans de jonctions et par conséquent, facilite autant l'installation que les étapes de finition ultérieures (LAQUATRA & PIERCE, 2009). Ce type de panneau est fabriqué à partir du gypse, une ressource non renouvelable dont les procédés et les pratiques d'extraction engendrent de nombreux impacts écologiques; ainsi, les résidus et les déchets participent à la pollution des cours d'eau et les méthodes d'exploitation sont à l'origine de l'érosion des sols (TPSGC, 2000). De plus, la finition des panneaux muraux de gypse nécessite l'application de plusieurs couches de composés à joints qui contiennent des additifs, dont les fongicides, pouvant avoir des répercussions sur la santé des travailleurs et des occupants du bâtiment (TPSGC, 2000). Ensuite, pour obtenir une surface lisse, nous devons procéder au sablage. Cette étape engendre la production d'une poussière très fine qui s'infiltré partout et qui est propagée comme contaminant par le système de

ventilation (TPSGC, 2000). Le gypse produit également des impacts au niveau de la fin de vie. Les rejets sur les sites de construction et les rejets postindustriels s'accumulent dans les sites d'enfouissement puisque les mesures de récupération du panneau de gypse sont lentes à se mettre en place (FOSTER et al, 2007; TPSGC, 2000). Du point de vue technique, le recyclage du gypse est réalisable, mais l'« abordabilité » de la matière première rend l'entreprise peu viable économiquement (LAQUATRA & PIERCE, 2004). En somme, la difficulté au niveau du recyclage et de la revalorisation de ce produit demeure un enjeu important puisque les additifs chimiques contenus dans les panneaux de gypse peuvent avoir des répercussions aussi bien sur l'environnement que sur la santé des individus. La dégradation des matériaux à base de plâtre libère du sulfure d'hydrogène, un gaz jugé toxique (LAQUATRA & PIERCE, 2009; TPSGC, 2000). Nous estimons qu'en Amérique de Nord, les déchets reliés aux panneaux de gypse représentent 1% de la masse totale des déchets (FOSTER et al, 2007). Dans son document intitulé le *Profil de la gestion des débris de construction, rénovation et démolition (CRD)*, RECYC-QUÉBEC avance que le marché du gypse au Québec pourrait représenter environ 250 000 tonnes de déchets (VACHON, 2009). Malgré que les sites d'enfouissement de la province acceptent toujours les résidus de gypse, il est intéressant de noter que dans des villes comme Toronto et Vancouver, les panneaux de gypse ont été bannis des sites de mise en décharge (TPSGC, 2000).

1.2 Portrait de la gestion des débris de la CRD

1.2.1 Définition

Les déchets produits par l'industrie de la construction sont regroupés sous la dénomination « débris de construction et de démolition » et sont légalement classés et gérés au même titre que les autres matières résiduelles. Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) fournit une définition du terme dans l'article 1 du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles : les débris de construction et de démolition sont « *des matières qui proviennent de travaux de construction, de réfection ou de démolition d'immeubles, de ponts, de routes ou d'autres structures, notamment la pierre, les gravats ou plâtras, les pièces de béton, de maçonnerie ou de pavage, les matériaux de revêtement, le bois, le métal, le verre, les textiles et les plastiques, à l'exclusion:*

- 1. des matières rendues méconnaissables par brûlage, broyage, déchiquetage ou autrement, des contenants de peinture, de solvant, de scellant, de colle ou d'autres matériaux semblables, du bois traité pour prévenir la présence de moisissures ou pour augmenter la résistance à la pourriture, des débris végétaux tels le gazon, les feuilles et les copeaux ainsi que des matières, autres que des enrobés bitumineux, contenant de l'amiante. Les mots «contenant de l'amiante» ont ici le même sens qu'à l'article 41, quatrième alinéa;*
- 2. de toute matière à laquelle sont mélangées des ordures ménagères, des matières issues d'un procédé industriel ou l'une ou l'autre des matières mentionnées au paragraphe 1 » (BURELLE, 2006: p. 15).*

Le Règlement est encore plus précis dans son énoncé et soutient que « *sont cependant assimilés à des débris de construction ou de démolition visés par la présente section les arbres, branches ou souches qui sont enlevés pour permettre la réalisation de travaux de construction, les sols extraits de terrains y compris ceux contenant un ou plusieurs contaminants en concentration inférieure ou égale aux valeurs limites fixées à l'annexe I du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (D. 216-2003, 03-02-26) ainsi que les matières résiduelles provenant soit d'une installation de récupération ou de valorisation de débris de construction ou de démolition, soit d'une autre installation de récupération ou de valorisation autorisée en vertu de la Loi sur la*

qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2) pour autant qu'il s'agisse dans tous les cas de matières qui, bien qu'étant de composition analogue à celle des débris de construction ou de démolition, n'ont pu être ni récupérées ni valorisées. Les valeurs limites prescrites au présent alinéa pour les contaminants présents dans des sols ne sont toutefois pas applicables aux contaminants qui ne proviennent pas d'une activité humaine » (BURELLE, 2006 : p. 15).

1.2.2 Cadre législatif et réglementaire

La Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), mise à jour par le gouvernement du Québec en 1999, est à l'origine de plusieurs initiatives gouvernementales en matière d'environnement et de gestion des matières résiduelles. Dans son profil de la gestion des débris de construction, rénovation et démolition, RECYC-QUÉBEC dresse l'inventaire des différents projets (VACHON, 2009) :

- Adoption de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008;
- Élaboration des plans régionaux de gestion des matières résiduelles par les communautés urbaines et les municipalités régionales de comté (MRC) de toute la province;
- Adoption du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR);
- Adoption du Règlement sur la compensation pour les services municipaux fournis en vue d'assurer la récupération et la valorisation de matières résiduelles;
- Adoption du Règlement sur les redevances exigibles pour l'élimination de matières résiduelles.

Au niveau de la constitution canadienne, nous attribuons des pouvoirs de réglementation en matière d'environnement et de gestion des matières résiduelles à tous les paliers de gouvernements. Ainsi, selon RECYC-QUÉBEC, « *tant les gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux peuvent en somme légiférer en matière*

d'environnement, chacun dans leurs domaines d'attribution de pouvoirs respectifs, pourvu que les règles ainsi édictées ne soient pas inconciliables » (VACHON, 2009 : p. 30). À cet effet, la loi sur les compétences municipales (LCM) permet d'établir de façon explicite les pouvoirs des municipalités dans différents thèmes, tels que l'environnement. Par exemple, dans le document émis par RECYC-QUÉBEC intitulé le Profil de gestion des débris de construction, rénovation et démolition (CRD) au Québec, nous mentionnons que *« les municipalités ont le pouvoir d'adopter des règlements prohibant la collecte de certains types de débris de CRD aux fins d'élimination et prescrivant une collecte particulière pour ces matières »* (VACHON, 2009 : p. 32). Dans cette même veine, Yves Auffret suggère que *« les villes et les municipalités québécoises pourraient légiférer de leur propre chef afin de combler le vide juridique laissé par la Politique de gestion des matières résiduelles et ainsi baliser cet important secteur d'activité économique »* (AUFFRET, 2010 : p. 20). Au niveau provincial, la loi sur la qualité de l'environnement (LQE) intègre une démarche semblable qui pourrait permettre au gouvernement du Québec, dans une approche prescriptive, d'encadrer les pratiques afin de maximiser le potentiel de récupération et de valorisation des produits et des matériaux. En pratique, cette démarche peut se traduire par une réglementation régissant les modes de production et de fabrication, par la détermination des procédés de récupération à utiliser pour certains produits ou matériaux, et peut même mener à l'interdiction de l'enfouissement de certains débris de CRD (VACHON, 2009).

1.2.3 Caractérisation des débris de la CRD

Les débris de construction, de rénovation et de démolition proviennent de deux sources principales. La première source génératrice regroupe les infrastructures routières et publiques et la deuxième inclut l'industrie du bâtiment qui produit un peu moins de la moitié des débris de la province (RECYC-QUÉBEC, 2008). La composition des déchets de l'industrie de la construction est variable selon les régions et nécessairement, selon le niveau d'intensité de la construction. Selon le Regroupement des récupérateurs et des recycleurs de matériaux de construction et de démolition du Québec (3R MCDQ), parmi les déchets engendrés, nous retrouvons principalement des agrégats comme le béton, l'asphalte, la pierre et la brique qui représentent entre 40% et 60% des débris, le bois 10% à 25%, les métaux 3% à 15%, le papier et le carton 3% à

10%, la terre 2% à 10%, et finalement les autres matériaux et produits tels que les panneaux de gypse, les bardeaux d'asphalte, les emballages de plastique qui comptent pour 10% à 20% du contenu (VACHON, 2009). Par contre, nous observons une répartition différente au niveau des déchets générés par le secteur de la construction résidentielle. En considérant la masse des déchets, nous retrouvons le gypse qui représente 38,5% des débris, le bois 30,2%, les agrégats à base d'asphalte et d'argile 10,7%, les autres résidus (emballages, fibres de verre, membranes, poussières, etc.) 7,2%, le papier et le carton 6,5%, le plastique 4,8% et finalement le métal qui compte pour 2% des matières résiduelles de ce secteur (LAQUATRA & PIERCE, 2004).

1.2.4 Performance du secteur de la CRD

La Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008 fixe un taux de mise en valeur pour les trois secteurs d'activités pris en compte, soit le secteur municipal; le secteur industriel, commercial et institutionnel (ICI); et finalement le secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD). Pour ce dernier, le taux de mise en valeur est établi à 60%. Dans son bilan de 2006, RECYC-QUÉBEC dévoilait que le secteur de la CRD avait dépassé l'objectif en obtenant un taux de récupération de 69%, un taux qui passera à 74% dans le bilan de 2008 (RECYC-QUÉBEC, 2007; RECYC-QUÉBEC, 2009b). Cette performance se justifie principalement par l'entrée en vigueur, en 2006, de deux règlements importants concernant la gestion des matières résiduelles au Québec. La combinaison du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (REIMR) et le Règlement sur les redevances exigibles pour l'élimination des matières résiduelles permet de contraindre les procédés d'élimination et ainsi rendre la récupération plus concurrentielle (RECYC-QUÉBEC, 2009b; VACHON, 2009). Toutefois, principalement dans les zones plus urbanisées, les coûts liés à la récupération et la mise en valeur demeurent toujours plus élevés que ceux associés à l'élimination. Le gouvernement songe donc à augmenter les redevances à l'élimination de façon à concurrencer la mise en décharge. De plus, ces nouvelles sommes perçues seraient injectées dans des programmes de développement ayant pour but de stimuler les processus de récupération et de mise en valeur des matières résiduelles (SCHL, 2010).

Par contre, par une analyse plus approfondie, nous dénotons certains faits intéressants à propos du taux de mise en valeur du secteur de la CRD. Au niveau des matières récupérées et valorisées, nous remarquons que la performance est en très grande partie due aux matériaux granulaires comme l'asphalte, le béton, la brique et la pierre qui représentent près de 80% des débris de CRD en 2006, une situation qui progresse en 2008 pour atteindre 85% (AUFFRET, 2010; RECYC-QUÉBEC, 2007; RECYC-QUÉBEC, 2009b). Cette situation s'explique premièrement par le développement de débouchés pour le béton recyclé, un marché stimulé par la mise en application de la norme du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) sur les agrégats en 2002 (VACHON, 2009). Cette norme permet une classification et une catégorisation des matériaux granulaires récupérés afin d'encadrer et de faciliter la réutilisation comme produit de remplacement des matériaux neufs dans différents projets. De plus, d'un point de vue plus quantitatif, nous notons que la récupération croissante des agrégats est en lien direct avec l'augmentation importante des investissements au niveau des travaux d'infrastructures et de réfection des routes des dernières années à travers la province (AUFFRET, 2010; RECYC-QUÉBEC, 2009b). Malgré le fait que la revalorisation des matériaux granulaires soit très dominante, il en est tout autre pour les autres matériaux de la CRD puisque seulement 29% à 31% de ceux-ci sont récupérés, une performance très loin de l'objectif de 60% fixé pour ce secteur particulier (AUFFRET, 2010; VACHON, 2009).

Parmi les autres matériaux de CRD non agrégats, nous dénotons tout de même que le bois et ses dérivés ont connu une importante progression au niveau de la récupération. Entre 2000 et 2006, nous assistons à un accroissement marqué au niveau de la demande et comme le fait remarquer RECYC-QUÉBEC, « *la récupération du bois a augmenté de plus de 780%, passant de 79 000 tonnes en 2000 à 621 000 tonnes en 2006* » (RECYC-QUÉBEC, 2008 : p.2). La première raison expliquant ce fait notable provient du développement et de la diversification des débouchés pour les résidus du bois. En effet, ces rejets de matières ligneuses sont utilisés dans la production d'énergie par cogénération, mais peuvent également être utilisés comme matière première dans la fabrication de nouveaux produits tels que les panneaux de particules, les briquettes de foyer, les granules combustibles, le paillis, la litière, etc. (RECYC-QUÉBEC, 2008). Une autre raison qui peut expliquer l'augmentation de la récupération du bois est la

diminution des droits de coupe qui a pour effet de réduire la disponibilité des sous-produits du bois engendrés par cette industrie tels que les sciures, les « rabotures » et les copeaux qui étaient normalement utilisés comme matière première (RECYC-QUÉBEC, 2008).

En somme, malgré la progression considérable au niveau de la récupération des produits du bois, plusieurs actions doivent être mises en place pour améliorer la performance des matériaux non granulaires de la CRD. Nous remarquons qu'un effort particulier doit être fait au niveau du volet résidentiel puisque la Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles 1998-2008 ne fournit aucune réglementation ou encadrement particulier pour ce secteur (AUFFERT, 2010). Une situation qui est susceptible de changer puisque le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a déposé un projet de politique québécoise de gestion des matières résiduelles spécifique aux municipalités. Cette réglementation vise à contraindre les chantiers de construction résidentielle à trier leurs résidus, soit par l'intermédiaire de centres de tri ou tout simplement en effectuant un tri sur le chantier (AUFFERT, 2010). Cette disposition législative a le potentiel d'améliorer la performance du secteur de la CRD et spécialement celle des matériaux non granulaires. Cette visée revêt une importance particulière puisqu'en plus d'avoir des impacts sur l'environnement, le volume de déchets de la CRD a aussi des effets au niveau de l'« abordabilité » du logement. De ce fait, nous notons que les matériaux de construction engendrent une dépense à deux niveaux différents. Le premier coût est occasionné par l'achat des matériaux, tandis que la deuxième dépense associée aux matériaux est d'origine indirecte. Cette dernière se compose des frais de mise en décharge au niveau de la fin de vie. Cette réalité a un impact probant sur les acheteurs puisque cette double dépense est transposée sur le budget de construction et fait augmenter le prix des maisons (LAQUATRA & PIERCE, 2004).

Enfin, le MDDEP, par le plan d'action 2010-2015 du projet de politique québécoise de gestion des matières résiduelles, poursuit l'objectif d'améliorer la performance de la CRD. Malgré les bonnes performances de la période 1998-2008, plusieurs matériaux et matières, ayant un potentiel important de récupération et de mise en valeur, sont toujours redirigés vers les sites d'enfouissement (MDDEP, 2009).

Par conséquent, en prohibant progressivement l'élimination des matières organiques putrescibles, telles que le papier et le carton, et en haussant les redevances pour éliminer les matières résiduelles, on croit pouvoir susciter une amélioration dans la gestion des rebuts. De façon plus spécifique à l'industrie de la construction, le plan d'action 2010-2015 fixe désormais un objectif distinctif aux résidus granulaires, les dissociant ainsi des autres matières. On vise donc le recyclage ou la valorisation de 80% des résidus de béton, de brique et d'asphalte, tout en poursuivant l'objectif d'acheminer vers un centre de tri, 70% des résidus de CRD du secteur du bâtiment d'ici 2015 (MDDEP, 2009).

La compréhension de cette problématique spécifique qui s'établit entre l'environnement et la construction comporte plusieurs thèmes d'investigation. Le premier chapitre permet de dresser le portrait de l'industrie de la construction en déterminant son ampleur économique, en démontrant l'impact environnemental de l'industrie et en dressant le portrait de la génération et de la gestion des déchets de la CRD. Maintenant, dans le prochain chapitre, l'emphase sera mise sur les approches et les outils développés pour concilier les nouvelles préoccupations environnementales et les pratiques actuelles en construction résidentielle.

Chapitre 2

Problématique : construction résidentielle et environnement

Le secteur de la construction possède un profil très particulier. Nous lui reprochons souvent d'être une industrie inefficace, d'avoir recours à une main-d'œuvre importante, d'engendrer peu d'innovation et de comporter un faible niveau d'avancement technologique et une faible diffusion des nouvelles connaissances sur les chantiers (CST, 2003; VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010b). Nous remarquons aussi que l'industrie de la construction n'a pas su intégrer les phases d'industrialisation au même niveau que les autres secteurs industriels (LANDIN, 2010). Cette réalité peut premièrement s'expliquer par le niveau de complexité de la construction qui doit satisfaire une pluralité de besoins concurrents. De plus, avec son coût d'achat important, sa durée de vie substantielle et son ancrage sur un site fixe, le produit d'habitation n'a pas le même statut que les autres produits de consommation courants (CST, 2003). Par conséquent, au niveau de l'industrie de la construction, le passage d'une opérationnalisation basée massivement sur les ressources manuelles vers une production en usine est un concept encore très marginal (CST, 2003). Nous notons également que les méthodes d'assemblage des murs de briques ou des murs à ossature de bois n'ont subi que très peu de changements par rapport aux méthodes utilisées il y a cinquante ou même cent ans (CST, 2003). En plus, bien que nous remarquons une amélioration générale de la qualité des produits de consommation issus de la production industrielle, la qualité de la construction semble subir la tendance inverse (CIB, 2010). Cette situation peut s'expliquer par le fait que le logement ne fait plus partie des préoccupations nationales et que l'implication gouvernementale dans ce secteur est pratiquement inexistante de nos jours (CST, 2003). De plus, nous dénotons que l'industrie de la construction, par tradition, n'a jamais été proactive au niveau de la recherche et du développement (R&D). Certains obstacles importants ont été identifiés pour expliquer le manque d'innovation dans le processus de construction (CST, 2003) :

- **Le risque** : le risque est un premier facteur qui freine l'innovation. Ainsi, nous évitons d'utiliser une nouvelle technologie qui n'a pas fait ses preuves afin de minimiser les répercussions économiques et temporelles;

- **La fragmentation de l'industrie** : au Canada, l'industrie de la construction est composée d'une multitude de petites firmes qui ne possèdent pas les ressources techniques, scientifiques et financières pour la R&D;
- **Le découpage du processus de construction entre plusieurs firmes spécialisées qui interagissent peu** : en construction, les innovations naissent souvent en réponse à des problèmes rencontrés sur le chantier. Vu le manque de cohésion entre les différents corps de métier, ces innovations se diffusent peu ou pas et finissent par se perdre à la fin du projet;
- **Le fait que la majorité des acheteurs soient peu exigeants sur le plan technologique** : en établissant peu d'exigences au niveau technologique, les clients privilégient plutôt les conceptions et les méthodes de construction plus traditionnelles;
- **Le partage inégal des avantages et des risques** : par l'introduction de nouveaux matériaux ou de nouveaux procédés, les architectes et les ingénieurs prennent un certain risque. Si le résultat est concluant, c'est le client qui récolte les bénéfices, tandis que dans le cas contraire, le dénouement peut avoir des répercussions négatives pour les architectes et les ingénieurs;
- **La réglementation** : la réglementation peut être considérée comme un frein à l'innovation lorsqu'elle est prescriptive. Si elle était développée comme un guide de performance, le résultat serait potentiellement différent.

Dans le présent chapitre, nous traitons de la problématique qui s'établit entre l'industrie de la construction et l'environnement en présentant les approches et les outils qui ont été développés pour améliorer la performance du secteur. Nous débutons par le survol des différentes alternatives offertes par le principe des 3RV et 3RV-E afin de tenter de minimiser l'impact environnemental de la construction. Nous abordons ensuite l'écodesign (ou l'écoconception) en traitant de sa notion temporelle, son approche technocentriste et sa structure d'encadrement. Nous présentons également la version de l'écoconception qui encadre spécifiquement le bâtiment, soit l'écoconstruction. Nous élaborons plus particulièrement sur un outil de conception et

d'évaluation important de la construction écologique : le système de certification LEED®. Nous présentons ses diverses déclinaisons, nous comparons les systèmes LEED® – Nouvelle construction et LEED® – Habitation et nous exposons le recensement des principales critiques émises sur la méthodologie, l'usage, les résultats et la pertinence de ce système de certification. De plus, pour traiter de l'aspect évolutif, la recension des écrits a également permis de cerner les concepts d'adaptabilité et de flexibilité. Nous énonçons donc les différentes caractéristiques et le mode d'intégration de ces notions à la démarche de conception des bâtiments écologiques. Finalement, pour illustrer l'exploration de ces concepts, nous présentons différentes approches et mouvements émergents en architecture qui intègrent les problématiques environnementales en proposant de nouvelles façons d'aborder l'environnement bâti.

2.1 Outils pour faire face au problème

L'industrie de la construction, de la rénovation et de la démolition semble se préparer à prendre le virage du développement durable. Plusieurs approches qui remettent en question les façons de faire actuelles se développent en proposant une vision plus respectueuse de l'environnement. Dans son *Guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement*, le TPSGC (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada) soutient que « *l'introduction du principe des 3RV (la réduction à la source, le réemploi, le recyclage et la valorisation) dans la gestion des déchets de construction, de rénovation et de démolition permet de créer un cycle de fabrication et d'achat en boucle fermée* » (TPSGC, 2000 : p. 8-1). Cette situation a pour avantage de prolonger la vie des matériaux et des ressources et, par le fait même, permet de les détourner des sites d'enfouissement. Le Gouvernement du Québec, quant à lui, propose une addition à ce principe en y intégrant l'élimination (3RV-E). De plus, nous soutenons que d'un point de vue environnemental, il est habituellement préférable de privilégier les approches du principe des 3RV-E dans l'ordre qu'elles sont proposées (SCHL, 2010). Premièrement, la réduction à la source s'inscrit dans une approche en amont qui vise à réduire l'utilisation des matières premières. Ce procédé demande une bonne planification et une bonne gestion des matériaux en début de projet afin de maximiser leur utilisation et ainsi générer moins de résidus et de déchets sur les chantiers de construction (RECYC-QUÉBEC, 2008). Au niveau de la rénovation ou de la

démolition, il est plus difficile, voir impossible de pratiquer la réduction à la source. Nous pouvons alors privilégier le réemploi ou le recyclage. Le réemploi a pour but de prolonger la durée de vie des produits ou matériaux en apportant peu ou pas de modification à la fonction ou la vocation de l'objet. Le réemploi vise à mettre en valeur des éléments qui sont habituellement éliminés en procédant à la déconstruction. RECYC-QUÉBEC explique la déconstruction comme une activité qui « *s'apparente aux travaux de construction, mais en séquence inversée : on commence par dégarnir les composantes et les éléments les plus accessibles de l'intérieur, pour se diriger progressivement vers les structures et les matériaux de l'extérieur du bâtiment* » (RECYC-QUÉBEC, 2008 : p. 3). Ce procédé, qui exige de la préparation et du temps, a pour but de préserver les qualités particulières des matériaux ou des produits en prenant soin de les désassembler, pour ultimement les réemployer dans d'autres projets. Le recyclage, quant à lui, est peut-être l'activité la plus connue qui encourage la récupération de certaines matières résiduelles afin d'éviter qu'elles ne s'accumulent dans les sites d'enfouissement. Les matériaux sont accumulés, triés et traités de façon à permettre une réintroduction au niveau de l'étape de production. Les matières recyclées forment donc une matière première dans la fabrication d'un nouveau produit. L'avant-dernier procédé du 3RV-E est la valorisation qui vise également à éviter l'élimination par enfouissement. Nous visons donc la mise en valeur du potentiel calorifique de certains matériaux en les utilisant comme combustible. Cette situation n'est certes pas la meilleure option puisqu'elle produit des gaz potentiellement dommageables pour la qualité de l'air, mais selon le MDDEP, ce procédé s'avère tout de même préférable à l'enfouissement qui est le dernier procédé à envisager (BURELLE, 2006).

2.1.1 Écodesign et écoconception

Le nouveau paradigme du développement durable a des répercussions dans la sphère du design qui utilise, au fil des années, différentes terminologies faisant écho à l'évolution des préoccupations et des connaissances en environnement. Vers la fin des années 80, le terme d'usage était le « design vert ». Empruntée et associée au parti politique vert, cette appellation est empreinte d'un symbolisme directement relié à la nature (MADGE, 1997). Par la suite, la création de l'« Ecological Design Association », en 1989, lance le terme du « design écologique » qui propose une approche plus

systémique (MADGE, 1997). Par la promotion du *Rapport Brundtland* présenté en 1987, le concept du développement durable intègre une vision plus holistique avec le « design durable » qui se veut une analyse multicritères et multi-étapes (MADGE, 1997). De nos jours, les termes « écodesign » ou « écoconception » regroupent toutes ces approches (FLETCHER & GOGGIN, 2001) en proposant un concept qui vise à l'intégration des considérations écologiques au niveau de la conception de produits afin d'en diminuer l'empreinte environnementale (KARLSSON & LUTTROPP, 2006). L'écodesign a tout le potentiel pour jouer un rôle stratégique dans le développement de produits plus performants au niveau de l'environnement, participant ainsi à un changement sociétal en proposant une production et une consommation plus durables (KARLSSON & LUTTROPP, 2006).

2.1.1.1 Trois approches d'écodesign

Selon la classification proposée par Fletcher et Goggin, nous dénombrons trois approches en écodesign : l'approche « produit », l'approche « résultat » et l'approche « besoin ». L'approche « produit » tente de changer le degré d'impact environnemental en augmentant le niveau d'efficacité des produits existants. À ce jour, la majorité de la pratique de l'écodesign s'inscrit dans cette approche (FLETCHER & GOGGIN, 2001). L'approche « résultat », quant à elle, questionne la consommation matérielle qui agit comme une réponse à des besoins sociaux, culturels et psychologiques, ainsi que la possession de biens agissant comme facteur de différenciation sociale. Elle suggère de rechercher une satisfaction dans l'achat de résultats plutôt que dans la possession de biens, en développant des produits, ou des systèmes de produits, pouvant s'intégrer dans un système de partage (FLETCHER & GOGGIN, 2001). En utilisant l'exemple du nettoyage des vêtements, au sens large, l'emphase du design en écodesign suit une progression qui se déplace du nettoyage des vêtements (approche « produit »), vers la conception des vêtements propres (approche « résultat »), pour finir aux considérations de la propreté (approche « besoin »). De ce fait, l'approche « besoin » est reliée directement aux individus en dirigeant le questionnement vers les valeurs culturelles et sociétales, mais également vers des concepts qui intègrent des valeurs d'identité et de statut social (FLETCHER & GOGGIN, 2001).

2.1.1.2 Trois niveaux d'écoconception

En plus des différentes approches d'écodesign, nous dénotons également trois niveaux d'écoconception établis selon les degrés d'éco-efficacité et d'innovation. Dans un premier temps, le niveau incrémentiel correspond à une optimisation environnementale de base dont la mise en œuvre est accessible. Le produit est traité pour répondre à un même usage pour un même besoin (OREE, sans date). Le deuxième niveau est le « re-design » qui permet une réduction des impacts environnementaux par l'inclusion des critères reliés à l'environnement dès la phase de conception et ce, jusqu'au développement du produit. Cette approche plus holistique conserve le même besoin mais peut intégrer de nouveaux usages. Ce niveau nécessite une vérification plus approfondie effectuée par des entités compétentes afin d'éviter les transferts de pollution vers une autre étape du cycle de vie du produit (OREE, sans date). Finalement, le troisième niveau d'écoconception est le « bluesky ». Cette approche nécessite une réflexion beaucoup plus grande puisqu'elle amène à comprendre et à réévaluer le besoin et l'usage du produit d'un point de vue spécifiquement environnemental. Ce niveau a le potentiel de mener à l'établissement de nouveaux concepts d'une plus grande efficacité au niveau de la fonction et de la durabilité et elle peut implicitement mener au passage du produit vers un service (OREE, sans date).

En somme, la pratique de l'écodesign s'inscrit dans la croyance que l'homme, par sa raison et ses ressources techniques, possède les moyens nécessaires pour palier à la crise environnementale. Par contre, dans une vision durable, l'écoconception représente principalement une réponse environnementale à la crise écologique puisqu'elle vise à réduire les impacts en maximisant l'utilisation des ressources, en réduisant la production de déchets à toutes les étapes du cycle de vie et en gérant la fin de vie des produits. Cette pensée « cycle de vie » est majoritairement supportée par la méthodologie holistique de son principal outil d'application : l'analyse du cycle de vie (ACV). Présentement, le pôle environnemental est très certainement celui qui compte le plus d'avancement dans la vision tripolaire du développement durable. Malgré ce fait, nous remarquons que la recherche au niveau de la sphère économique devient de plus en plus étoffée et tend maintenant à démontrer l'acuité et la pertinence de l'écoconception. Par contre, du développement reste à faire au niveau des facteurs sociaux dont la prise en considération demeure indispensable à l'atteinte des objectifs

du développement durable. Enfin, dans une perspective analytique plus approfondie, il est approprié de présenter les principales caractéristiques associées à l'écodesign, soit la notion temporelle, l'approche technocentriste et la structure d'encadrement (PATENAUDE, 2009).

2.1.1.2.1 Notion temporelle

Le rapport Brundtland, déposé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED), a établi la définition de référence du développement durable en le décrivant comme étant « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* » (CMED, 1988 : p. 51). D'un point de vue sociologique, nous assistons à l'intégration d'une dynamique temporelle au niveau de la société. En accord avec cette visée, l'écodesign est une forme de conception qui intègre la notion de futur (KARLSSON & LUTTROPP, 2006). De plus, en l'appliquant au design, le développement durable introduit des notions de responsabilité éthique et sociale mais aussi des notions de temps et de périodicité (MADGE, 1997). Cette prise de conscience mène au développement de plusieurs outils qui tiennent compte du cycle de vie des produits et services en planifiant la fin de vie des objets. C'est le cas de l'analyse du cycle de vie (ACV), mais aussi du concept de « Design for Disassembly (DfD) » qui permet d'intégrer les considérations environnementales du démantèlement en fin de vie et ce, dès la phase de conception. Nous pouvons également mentionner, dans une perspective législative, la directive WEEE – Waste Electric and Electronic Equipement de l'Union Européenne (UE) et la HARL – Home Appliances Recycling Law du Japon (BOKS, 2006) qui augmentent la responsabilité du fabricant et la valeur des produits en fin de vie (KARLSSON & LUTTROPP, 2006). D'autres conceptions proposent de revoir nos pratiques de consommation principalement basées sur l'obsolescence des objets, soit par l'approche du « Beyond Recycling » qui vise l'augmentation de la durabilité et de la durée de vie (COOPER, 1994) ou l'approche qui propose de changer notre conception actuelle des déchets pour qu'ils deviennent des intrants dans d'autres systèmes (KARLSSON & LUTTROPP, 2006).

2.1.1.2.2 Approche technocentriste

Cette approche est basée sur la croyance que l'innovation humaine, par la science et la technologie, peut contribuer, d'un point de vue écologique, à l'amélioration de la société (BOOKCHIN, 1993). Ainsi, d'un point de vue analytique, nous pouvons questionner le positionnement de l'écodesign et de ses outils. La principale critique de plusieurs systèmes d'évaluation environnementale, dont LEED® et l'ACV, est justement leur approche technocentrique qui ne considère que les aspects environnementaux (FREY, 2007). Le pôle environnemental est très certainement celui qui connaît la plus grande effervescence en termes de recherche, de développement et d'application. L'écodesign vise à intégrer à la fois les préoccupations commerciales et environnementales; les considérations les plus probantes demeurent donc la réduction de l'empreinte écologique et l'optimisation de l'éco-efficacité des produits (KARLSSON & LUTTROPP, 2006). Plus spécifiquement, au niveau du pôle économique, nous travaillons actuellement à positionner parallèlement les aspects environnementaux et les aspects économiques afin de renforcer l'utilisation de ces nouvelles pratiques au niveau de l'industrie (ATKINSON, 2008; BERNEMAN & al, 2009). Parmi les outils développés qui permettent de faire un rapprochement entre l'environnement et l'économie, nous retrouvons le rapport Stern sur l'économie du changement climatique, la mise en place des bourses du carbone et la méthode « mass flow accounting (MFA) ». Cette dernière est une des rares méthodes qui permet de calculer et de dresser le portrait des impacts de l'environnement construit en reliant les critères économiques aux critères environnementaux (MOFFATT, 2008). Toutes ces démarches contribuent ultimement à une meilleure quantification des actions que nous posons en permettant une transposition en coûts et en bénéfices environnementaux. Par contre, le pôle social demeure, à ce jour, très peu ou pas abordé dans les actions concrètes liées au développement durable (PEARL & COLE, 2007). Cet aspect semble plus complexe à cerner étant donné qu'il traite de facteurs humains qui sont difficilement quantifiables (AMERIGO & ARAGONES, 1997; VISCHER, 2008). Toutefois, il est primordial de s'y attarder puisque les facteurs sociaux peuvent rapidement devenir un obstacle à l'intégration des stratégies d'écoconception (FLETCHER & GOGGIN, 2001). Ainsi, les facteurs psychologiques, sociologiques, émotionnels à caractère plus intangible, regroupés sous la bannière du « soft side of design », peuvent rapidement mettre en échec les stratégies d'écodesign (BOKS, 2006).

2.1.1.2.3 Structure d'encadrement

Après cette revue sur le positionnement de cette pratique de conception émergente, il est également pertinent de s'attarder à la structure qui entoure le processus d'écodesign. En effet, l'encadrement des pratiques de l'écoconception est assuré par des organismes non-gouvernementaux (ONG) qui fournissent les informations générales pour accéder à un procédé de conception plus respectueux de l'environnement. De plus, des normes de références sont en place pour aborder, à différents niveaux de complexité, les aspects environnementaux du développement de produit de façon prescriptive (ex : Série ISO 14000 – Management environnemental) ou non-prescriptive (ex : ISO 14062 – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits) (BOKS, 2006). Certains organismes fournissent des outils qui sont classés selon trois types d'initiatives : les labels ou étiquettes, les certifications, et les codes de conduite (GENDRON, 2005). Il existe une multitude d'exemples pour chacune des initiatives, mais nous pouvons les diviser en deux catégories distinctes selon leur mode d'attribution. Certaines sont octroyées par l'entreprise elle-même sous le principe de l'auto-déclaration décrite dans la norme internationale ISO 14021. Ce type de déclaration est habituellement monocritère et ne vise qu'une seule étape du cycle de vie. Par contre, un autre type de déclaration nécessite une vérification par une tierce partie qui garantit, en quelque sorte, la légitimité de la déclaration. Nous pouvons penser à la certification LEED® qui nécessite le montage d'un dossier précis sur les performances environnementales d'une construction qui est soumis au Conseil de bâtiment durable du Canada (CBDCa) pour fins de vérification et de certification.

2.1.1.3 Écoconstruction

Avec l'établissement du concept d'écodesign, l'industrie de la construction a développé sa propre version afin de réviser ses pratiques en initiant une nouvelle façon de construire : l'écoconstruction. C'est vers 1994 que l'approche de la construction durable est proposée afin de tenter d'apporter des solutions pour réduire l'empreinte environnementale de la construction. En effet, de nouvelles préoccupations environnementales naissent au niveau de la consommation d'énergie, de la consommation d'eau, de la santé des occupants, de la composition et la provenance des

divers matériaux, ainsi que de la quantité de déchets générés par cette industrie. Le concept de construction durable est une approche globale qui considère tout le cycle de vie du bâtiment. En plus de la phase d'érection du bâtiment, nous considérons également la conception, la construction, l'exploitation, la démolition et la récupération (CST, 2003). Par conséquent, l'écoconstruction intègre désormais les critères environnementaux au même titre que les aspects liés à la fonctionnalité, l'esthétique, la durabilité, la productivité et le coût (VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010a). La construction durable intègre diverses préoccupations qui peuvent être regroupées de la façon suivante (CST, 2003) :

- **Préoccupations sociales** : qualité de vie, santé des occupants;
- **Préoccupations économiques** : réduction des coûts du bâtiment, intégration des coûts environnementaux;
- **Préoccupations biophysiques** : eau, énergie, matériaux, terrain;
- **Préoccupations techniques** : durabilité physique, qualité de la construction, revitalisation urbaine.

En somme, l'écoconstruction requiert un investissement en temps et en argent afin de stimuler l'innovation et le développement de nouvelles connaissances. Ensuite, il faut s'affairer à les diffuser et à les faire connaître dans le but de viser une adoption et une intégration au niveau des projets de construction écologiques (VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010a). Dans ce domaine spécifique, nous recensons plusieurs outils d'aide à la conception de bâtiments écologiques, ainsi que des systèmes de certification qui participent à la normalisation des pratiques d'écoconstruction (Energy Star, Green Globes, BREEAM, CASBEE, Green Star, HK-BEAM, etc.). En Amérique du Nord, le système de certification LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) est l'outil le plus utilisé pour la conception de bâtiment écologique (CEC, 2008). Malgré le fait que cette approche soit prescriptive et qu'elle ne soit pas aussi exhaustive que l'ACV, nous notons tout de même une volonté d'intégrer les principes méthodologiques de la pensée cycle de vie au niveau du système LEED®.

2.1.2 Certification LEED®

À l'échelle du bâtiment, le système de certification LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design), développé par l'U.S. Green Building Council et adapté au Canada, permet l'encadrement de l'écoconstruction. Le CBDCa est le détenteur exclusif de la licence LEED® au Canada et il participe à la promotion et à l'accélération des changements au niveau de l'industrie de la construction. Selon le CBDCa, « *la conception de bâtiment durable vise à trouver un certain équilibre entre la responsabilité environnementale, la gestion efficace des ressources, le confort et le bien-être des occupants, le développement communautaire et l'économie durant toutes les étapes de construction du projet, mais également au niveau de l'exploitation du bâtiment* » (CBDCa, 2004 : p.11). Le système de pointage LEED® est un système de certification du bâtiment durable assuré par une tierce partie. Il s'inscrit dans un processus de développement intégré qui nécessite la cohésion entre l'équipe de conception, l'équipe de construction, le personnel d'entretien et les occupants (CBDCa, 2004). Les avantages au niveau du cycle de vie des bâtiments verts sont multiples puisque le CBDCa soutient qu'avec la certification LEED®, les bâtiments écologiques tendent à utiliser moins d'eau et d'énergie, requièrent moins de matériaux, génèrent moins de GES et autres polluants, engendrent moins de déchets, coûtent moins cher à exploiter, s'adaptent plus facilement aux nouvelles utilisations, ont une durée de vie économique plus longue et sont plus confortables (CBDCa, 2004). Le système de certification LEED® est offert en plusieurs déclinaisons (CBDCa, 2008) :

- **LEED®-NC** (New Construction) : pour les nouvelles constructions et les rénovations majeures;
- **LEED®-CS** (Core and Shell) : pour le noyau et l'enveloppe du bâtiment;
- **LEED®-CI** (Commercial Interiors) : pour l'aménagement intérieur des espaces commerciaux;
- **LEED®-EB** (Existing Buildings) : pour les bâtiments existants;
- **LEED®-H** (Homes) : pour les habitations;
- **LEED®-ND** (Neighborhood Development) : pour l'aménagement des quartiers.

2.1.2.1 LEED®-NC – Nouvelles constructions

La certification LEED® Canada-NC a été lancée en décembre 2004. Malgré le fait que ce système peut convenir à plusieurs autres types de bâtiments, il a spécifiquement été conçu pour les bâtiments commerciaux et institutionnels. Par contre, les immeubles résidentiels peuvent être pris en charge par cette certification à la condition qu'ils comptent plus de quatre étages, qu'ils aient une entrée commune et qu'ils disposent d'une superficie au sol de plus de 600m² (ou 6 337.5 pieds carrés). De ce fait, ces conditions d'admissibilité démontrent que LEED®-NC ne s'applique pas aux maisons individuelles, ni aux maisons en rangées (CBDCa, 2004).

La certification LEED® pour les nouvelles constructions comporte six catégories distinctes, dont la plupart comprennent des préalables obligatoires. Le CBDCa définit le préalable comme étant l'indice de performance minimale qui doit être atteint (CBDCa, 2004). Voici la liste des différentes catégories (CBDCa, 2008) :

- **Aménagement écologique des sites (AÉS):** couvre des sujets tels que l'érosion des sols, la densité de développement, la sélection de l'emplacement, le réaménagement des sites contaminés, les moyens de transport de remplacement, la perturbation des sites, la gestion des eaux pluviales, les îlots de chaleur et la pollution lumineuse;
- **Gestion efficace de l'eau (GEE):** traite de thèmes reliés à l'aménagement paysager et l'irrigation, le traitement des eaux usées et la consommation d'eau potable;
- **Énergie et atmosphère (ÉA):** encadre des pratiques reliées à la performance énergétique, à la réduction des CFC (chlorofluorocarbures) et l'élimination des halons dans les systèmes de CVCA (chauffage, ventilation et climatisation), aux énergies renouvelables, à la protection de la couche d'ozone, à la mise en service des bâtiments, au contrôle et à la vérification des systèmes, et à l'électricité verte;
- **Matériaux et ressources (MR):** incorpore des éléments tels que la collecte et l'entreposage des matières recyclées, la réutilisation des bâtiments, la gestion des déchets de construction, la réutilisation des ressources, le contenu recyclé,

les matériaux régionaux, les matériaux renouvelables rapidement, le bois certifié et le bâtiment durable;

- **Qualité des environnements intérieurs (QEI)** : intègre des préoccupations reliées au contrôle de la fumée de tabac ambiante (FTA), au contrôle du gaz carbonique, à l'efficacité de la ventilation, à la gestion de la qualité de l'air intérieur (QAI), aux matériaux à faibles émissions, au contrôle des sources d'émissions chimiques et polluantes, au contrôle des systèmes par les occupants (chauffage, ventilation et éclairage), au confort thermique, à la lumière naturelle et aux vues;
- **Innovation et processus de design (IPD)**: récompense des stratégies qui permettent d'atteindre une performance qui dépasse les exigences de LEED®-NC ou des approches innovatrices qui ne sont pas considérées par LEED®-NC. Cette catégorie procure également un point supplémentaire si un professionnel agréé LEED® fait partie intégrante de l'équipe de projet.

Dans l'élaboration du système, le guide de référence présente chacun des crédits dans un même format. Premièrement, l'objectif recherché par chacun des crédits ou préalables est exposé. Ensuite, les exigences nécessaires à leur obtention sont formulées, i.e. les moyens à prendre et la méthodologie à adopter, en prenant soin d'inclure les standards ou les normes de référence sur lesquels il faut s'appuyer. Ensuite, il existe une description des documents qui devront être soumis pour la certification et aussi pour la vérification, le cas échéant. Finalement, certaines technologies ou stratégies, qui ont un potentiel significatif permettant d'atteindre l'objectif choisi, sont suggérées (CBDCa, 2008).

Pour intégrer le programme de certification LEED®-NC, il faut premièrement procéder à l'inscription du projet et ce, idéalement dès le début de ce dernier. Cet enregistrement donne accès en ligne à des ressources utiles pour mener à terme le projet. Nous obtenons alors une multitude de renseignements pertinents, accédons aux outils-logiciels nécessaires à la complétion de la documentation de certains crédits et avons accès à des moyens de communication offerts aux utilisateurs (CBDCa, 2004). L'étape suivante est la documentation qui se décline en deux sphères : les documents

nécessaires à la demande de certification et les documents plus détaillés nécessaires à la révision ou la vérification de certains crédits. La documentation est une étape très importante du processus puisqu'elle permet d'amasser et de préparer tous les documents au cours de l'étape de conception et de construction. Cette méthode permet de garantir l'éligibilité des caractéristiques du bâtiment par rapport aux crédits visés. Le CBDCa met à la disposition des usagers, par le biais du site Internet, les différentes lettres types nécessaires au processus de certification. Un autre document important de cette étape est la liste de contrôle qui permet un suivi rapide et efficace de la démarche (CBDCa, 2004). Lorsque la documentation est complète, il est possible d'amorcer l'étape de la demande de certification et le processus d'examen du projet. La demande de certification doit inclure les documents suivants : le formulaire d'inscription, la liste de vérification/liste de pointage du projet, les textes narratifs relatifs au projet et les lettres LEED® types séparées par crédit (CBDCa, 2008). La démarche s'articule de la façon suivante :

1. Envoi de la documentation au CBDCa pour la demande de certification;
2. Au cours de l'examen préliminaire de la documentation, tous les crédits et préalables sont examinés. Ensuite, les vérificateurs du CBDCa produisent un premier rapport dans lequel ils identifient six crédits ou préalables pour fins de vérification. Le rapport est ensuite retourné au coordonnateur du projet;
3. Suite à la réception de ce rapport, le responsable du projet doit voir à la préparation de la documentation détaillée afin de démontrer de quelle façon les exigences des crédits ou des préalables sélectionnés sont respectés. Cette documentation de vérification est ensuite envoyée au CBDCa;
4. Le CBDCa procède à la vérification des pièces justificatives et il entreprend ensuite la production du deuxième rapport qui est en fait l'ébauche de l'examen LEED® final. Les vérificateurs, en cas de doute, se donnent la latitude de sélectionner de nouveaux critères ou préalables à vérifier afin de s'assurer de leur pertinence;
5. Si tel est le cas, le coordonnateur doit de nouveau fournir la documentation et les pièces justificatives adéquates;

6. Les vérificateurs du CBDCa procèdent ensuite à l'évaluation officielle du projet en préparant le rapport final. Ils décernent ainsi une mention en fonction de la performance du bâtiment : certifié, argent, or ou platine. Le processus de certification s'échelonne sur une période qui peut varier entre douze et vingt semaines.

2.1.2.2 LEED®-H – Habitations

Cette certification LEED®, lancée au Canada au début de l'année 2009, vise à fournir des habitations saines, confortables, durables, éco-énergétiques et respectueuses de l'environnement (CBDCa, 2009a). Cette façon de faire encourage la conception intégrée et une certification qui considère le processus d'exploitation du bâtiment, la région dans laquelle il est implanté, le niveau de consommation d'eau et d'énergie, la qualité des environnements intérieurs, l'utilisation des matériaux, ainsi que le lieu et le site de construction (CBDCa, 2009a). L'évaluation est faite en fonction des performances de l'habitation, et ce, au niveau de huit catégories distinctes. La grande majorité des catégories comporte des préalables obligatoires et certaines requièrent des pointages minimaux. Voici la liste des différentes catégories (CBDCa, 2009a; CBDCa, 2009b) :

- **Innovation et processus de conception (IPC)** : vise à l'amélioration de la planification et de la conception (planification de projet intégrée, processus de gestion de la durabilité, concept novateur ou régional);
- **Emplacement et liaisons (EL)** : encadre la sélection des sites qui sont plus respectueux de l'environnement (aménagement des quartiers, sélection de l'emplacement, emplacements préférentiels, infrastructures, ressources communautaires, optimisation de la performance, accès à des espaces verts);
- **Aménagement écologique des sites (AÉS)** : permet de prendre conscience de l'impact du développement sur les sites (gérance du site, aménagement paysager, effets d'îlot de chaleur sur le site, gestion des eaux de surface, produits parasitaires non toxiques, aménagement dense);

- **Gestion efficace de l'eau (GEE)** : concerne l'efficacité de l'utilisation de cette ressource, à l'intérieur comme à l'extérieur (réutilisation de l'eau, système d'irrigation, consommation d'eau à l'intérieur);
- **Énergie et atmosphère (EA)** : vise à réduire la consommation d'énergie et la pollution atmosphérique (optimisation de la performance énergétique, isolation, infiltration d'air, fenêtres, système de distribution de chaleur et de refroidissement, appareils de chauffage et de refroidissement des espaces, chauffage de l'eau, éclairage, appareils électroménagers, énergie renouvelable, gestion des frigorigènes résidentiels);
- **Matériaux et ressources (MR)** : traite de l'impact environnemental qui découle des choix et de l'utilisation des matériaux et ressources (utilisation efficiente des matériaux de charpente, produits à privilégier du point de vue environnemental, gestion des déchets);
- **Qualité des environnements intérieurs (QEI)** : vise à la création d'environnements intérieurs plus sains et moins dommageables pour les habitants et les utilisateurs (Energy Star et QAI, évacuation des gaz de combustion, contrôle de l'humidité, ventilation avec de l'air frais, extraction localisée, distribution du chauffage et du refroidissement, filtration de l'air, contrôle des contaminants, protection contre le radon, protection contre les polluants du garage);
- **Sensibilisation et formation (SF)** : permet l'éducation des utilisateurs des environnements afin qu'ils soient en mesure d'en comprendre le fonctionnement et puissent en profiter au maximum (formation au propriétaire ou au locataire, formation au gestionnaire du bâtiment).

Le processus de conception intégré de LEED®-Habitations est constitué de cinq étapes : la planification, la conception, la construction, la vérification et l'adaptation (CBDCa, 2009a). La planification consiste à former l'équipe de projet, établir le budget et les objectifs mesurables à atteindre. C'est également à cette étape que nous adhérons au programme en enregistrant le projet et en procédant à une évaluation préliminaire. Ensuite, au niveau de la conception, nous présentons les mesures écologiques à intégrer dans le projet, nous déterminons les moyens qui mèneront à l'atteinte des objectifs

établis lors de la planification, ainsi que les procédés qui permettront de mesurer les performances. Au niveau de l'étape de construction, nous cherchons à former adéquatement le personnel et à trouver des employés qualifiés, à mettre en forme l'énoncé des travaux et à déterminer les procédures de vérification et d'inspection. Le superviseur des travaux devient un élément important de cette étape puisqu'il assure la bonne gestion et le contrôle de la construction. L'étape suivante, la vérification, englobe justement toutes les inspections, les calculs, les tests et les modélisations énergétiques afin de valider le niveau de performance du bâtiment. Toutes ces évaluations sont effectuées par un évaluateur écologique indépendant et ensuite vérifiées et approuvées par le fournisseur de LEED®-Habitations. Celui-ci attribue ensuite la certification selon le niveau de performance, en émettant la dénomination *certifié, argent, or* ou *platine*. La dernière étape est l'adaptation qui agit à titre de bilan. Il est ainsi possible de faire un retour sur les données mesurées en les comparant aux objectifs initiaux, d'évaluer les forces et les faiblesses du projet et de faire une rétrospection sur le déroulement. Cet exercice utile permet de tirer des leçons du processus de façon à établir un plan d'action amélioré pour les projets futurs (CBDCa, 2009a).

2.1.2.3 Comparaison entre LEED®-NC et LEED®-H

Lorsque nous comparons LEED®-Habitation (H) au système LEED®-Nouvelle construction (NC) nous remarquons plusieurs différences notables. Premièrement, LEED®-Habitation comporte une certification décentralisée, ce qui signifie que la personne qui agit comme la tierce partie (le fournisseur) est indépendante du Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) tandis que les vérificateurs de LEED®-NC font partie d'une organisation connexe au CBDCa. Nous découvrons également que LEED®-H permet une adaptation à l'échelle régionale au niveau des zones climatiques, des zones à risque au niveau des émissions de radon par le sol et également au niveau des zones à risque aux termites (CBDCa, 2009a). Ce type de certification permet aussi d'adapter l'évaluation en ajustant les cibles de chacun des seuils de certification en fonction de la dimension du projet. LEED®-Habitation propose donc l'outil « ajustement selon les dimensions de l'habitation » qui permet de calculer le facteur d'ajustement en fonction d'une moyenne établie par le CBDCa, en considérant la superficie du projet et le nombre de chambres à coucher (CBDCa, 2009b). Finalement, LEED®-Habitation a recours à un

système d'évaluation plus simple que LEED®-Nouvelle construction. Ainsi, après avoir rempli la liste de vérification, satisfait aux dix-neuf conditions préalables obligatoires et respecté les pointages minimaux de quatre catégories, il ne restera qu'à soumettre un test de performance et une série de trois documents. Le premier document est la *liste de contrôle* qui fait état de la performance recherchée en identifiant clairement tous les crédits qui sont visés par le projet. Nous devons également fournir le *formulaire de responsabilité* qui doit être complété par les professionnels responsables de l'exécution de certains travaux et ce, seulement pour les crédits suivants : aucune plante envahissante, bonne conception et installation du système de CVCA, bois tropical certifié FSC, apport de base en air extérieur, extraction d'air localisée de base, calcul des charges de chaque pièce, construction imperméable au radon par ventilation passive, formation de base sur le fonctionnement et l'entretien des systèmes et équipements (CBDCa, 2009c). Le dernier document à soumettre est le *formulaire d'évaluation des risques de la durabilité*, accompagné de la *liste de contrôle de l'inspection de cette durabilité*, lesquels permettent d'évaluer la pérennité du bâtiment. Ceux-ci traitent de sujets tels que l'eau et l'humidité extérieure, l'eau et l'humidité intérieure, l'infiltration d'air, la condensation interstitielle, les ravageurs, la perte de chaleur, le rayonnement ultraviolet, les désastres naturels et la construction au-dessous du niveau du sol (CBDCa, 2009c).

2.1.2.4 Critique de la certification LEED®

La revue de littérature réalisée sur le système de certification LEED® a nécessité l'exploration et l'analyse d'une multitude d'articles et de documents. Cet exercice a permis d'inventorier plusieurs critiques sur le système LEED®. Ces critiques ont été regroupées sous quatre thèmes différents : les critiques concernant la méthodologie utilisée par le système, celles touchant à l'utilisation de la certification par l'équipe de projet, les critiques relatives aux résultats engendrés par le processus et finalement celles traitant de la pertinence même de ce système de certification. Toutefois, nous notons que la plupart des questionnements sont dirigés vers les différentes versions de LEED®-NC, autant au niveau américain que canadien. Nous remarquons que certains points négatifs soulevés ont subséquentement été corrigés dans la version LEED®-Habitation.

2.1.2.4.1 Critiques sur la méthodologie

Dans un premier temps, au niveau méthodologique, une critique récurrente s'établit autour du fait que le système de pointage ne permet pas d'établir de hiérarchie au niveau des critères environnementaux considérés dans la méthodologie. Nous observons que la démarche d'obtention des crédits ne demande pas toujours un niveau d'investissement équivalent et que la contribution à la diminution des impacts sur l'environnement n'est pas de même valeur pour tous les crédits (SCHINDLER, 2009). À titre d'exemple, nous pouvons obtenir un point si nous procédons à l'installation d'un support à vélo qui est en soi une démarche simple et peu coûteuse. Par contre, nous obtenons également un point si nous développons un système de récupération de chaleur ou qui utilise une source d'énergie renouvelable, une procédure nettement plus complexe et onéreuse (BOWEN, 2005; CARROLL, 2006; DEL PERCIO, 2007). Dans cette distribution de points jugée inéquitable (ZIMMERMAN & KIBERT, 2007), nous souhaiterions la mise en place d'un principe de hiérarchisation des critères qui serait basé sur le niveau de bénéfices environnementaux engendrés par l'application des différentes technologies encouragées par la certification LEED® (HUMBERT et al, 2007). Cette modification aurait pour effet d'augmenter le niveau de représentativité des critères. De plus, cette gradation, basée sur le niveau d'importance des critères entre eux, permettrait d'améliorer la qualité environnementale des projets puisqu'elle apporterait une contrainte supplémentaire aux équipes de projet seulement intéressées par l'obtention d'une certification par l'acquisition des points les plus faciles à obtenir (SCHENDLER & UDALL, 2005).

Malgré le fait que le système de certification traite du bâtiment dans sa globalité, nous soutenons que certains critères importants auraient mérité d'être pris en compte. Premièrement, le système national de certification LEED® ne permet pas d'adresser les différences climatiques qui existent au sein d'un pays aussi grand que les États-Unis ou la Canada (CARROLL, 2006). Par conséquent, nous supposons que la zone climatique dans laquelle le projet est implanté a une incidence directe sur des préoccupations environnementales telles que la consommation d'eau, la consommation d'énergie et les îlots de chaleur (STEIN & REISS, 2004). Ensuite, nous reprochons au système de certification de bâtiments écologiques de ne pas considérer les régions en périphérie des centres urbains ou les régions plus éloignées. Cette situation peut s'expliquer par le

fait que les normes de construction sur lesquelles s'appuient certains crédits, telles que les normes de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE), n'intègrent pas cette différenciation régionale (CARROLL, 2006). Ainsi, la rigidité du système ne permet pas d'effectuer des variations qui permettraient une meilleure concordance entre les préoccupations environnementales et les besoins spécifiques des régions (DING, 2008; SCHINDLER, 2009). Certains supposent même que permettre de régionaliser certains crédits du système est nécessaire pour assurer l'évolution de la certification LEED® (KATZ, 2008; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002), mais d'autres se questionnent à savoir si ce type de personnalisation va à l'encontre de la simplicité et de l'uniformité nationale de la certification (STEIN & REISS, 2004). De plus, des critiques fusent à propos du fait que la certification LEED® ne prend pas en considération la dimension des bâtiments dans sa méthodologie de certification (CARROLL, 2006). En plus de l'aspect dimensionnel, l'outil ne permet pas non plus de distinction au niveau de la typologie des bâtiments. Cette situation est malencontreuse puisque la nature du bâtiment engendre une grande variabilité au niveau des besoins. Par exemple, les immeubles à bureaux ont souvent des systèmes énergétiques et mécaniques beaucoup plus complexes et sophistiqués que les immeubles à logements multifamiliaux (LASSAR, 2005). Un autre élément jugé manquant au niveau méthodologique s'articule autour du fait que le processus n'intègre pas l'analyse du cycle de vie (ACV) dans sa démarche. Cette réalité peut s'expliquer par un manque de cohésion de la transparence et de la distribution des informations (CARROLL, 2006) ou tout simplement parce que la structure de la certification, qui accorde un point par crédit, rend l'inclusion de l'ACV difficile (SOLOMON, 2005).

Le questionnement méthodologique se poursuit puisque nous déplorons que la certification LEED®, qui agit comme un outil d'atteinte du développement durable dans le bâtiment, ne considère les critères sociaux et économiques. Au niveau de son épistémologie, la certification LEED® fait la promotion des critères environnementaux, sans toutefois considérer spécifiquement les critères économiques. Même en sachant que cette cohésion demeure indispensable pour assurer le succès des projets de bâtiments verts, les liens entre la sphère environnementale et économique sont difficiles à identifier (DING, 2008; ZIMMERMAN & KIBERT, 2007). Les bénéfices environnementaux ont un impact sur le budget et les ressources financières disponibles

ont une incidence sur les aspects environnementaux qui peuvent être considérés dans le projet; la conjugaison de ces deux aspects limitatifs est impérative dans le bâtiment vert et elle guide l'équipe tout au long du projet (SCHENDLER & UDALL, 2005; ZIMMERMAN & KIBERT, 2007). De plus, dans une perspective de « tripolarité » de la durabilité, nous devons également considérer les critères sociaux au même plan que les aspects économiques et environnementaux. Par contre, la certification LEED® semble limitée à ce niveau puisque les facteurs sociaux ne sont atteints que de façon indirecte dans certaines normes de référence (ZIMMERMAN & KIBERT, 2007).

Le système de certification LEED® reçoit également des critiques au niveau de la méthodologie utilisée au niveau des différents calculs. De façon arbitraire, LEED® base plusieurs de ses crédits sur des calculs utilisant des données à caractère économique. En basant ainsi les calculs sur des variables de coût, nous risquons d'engendrer des disparités au niveau des résultats. Cette réalité s'explique par les variations possibles dans les données d'ordre tarifaire, telles que le coût des matériaux ou le prix de l'énergie (SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). L'autre conséquence de l'utilisation des calculs à variables économiques est qu'il n'existe peu ou pas de relation entre le coût et l'impact environnemental, ce qui ne permet pas de quantifier l'empreinte environnementale de façon claire et précise (SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). Voici quelques exemples qui permettent de mieux comprendre la nature de cette critique. Le premier cas se trouve au niveau du crédit qui vise à optimiser la performance énergétique pour lequel nous utilisons une équation qui implique le coût de l'énergie. Le problème de cette méthode est qu'il existe plusieurs types d'énergies et que chacune d'elle possède un tarif qui lui est propre. Par conséquent, les différentes énergies utilisées sont susceptibles d'avoir une influence notable au niveau du taux de performance du bâtiment. La méthode de calcul favorise donc les énergies les plus coûteuses et ce, sans considération du niveau d'impact environnemental engendré (CARROLL, 2006). Le deuxième exemple concerne le crédit faisant la promotion de l'utilisation des matériaux régionaux. Nous faisons remarquer qu'il n'est pas fondé d'utiliser un calcul basé sur des variables économiques puisque le coût des matériaux n'a peu ou pas d'influence sur l'impact écologique du transport (CARROLL, 2006). Pour remédier à cette situation, nous suggérons que si l'intention est de réduire le transport, nous devrions inclure l'utilisation d'une équation avec une variable de masse du matériau qui a une influence directe sur l'empreinte

environnementale (CARROLL, 2006; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002; TRUSTY, 2006). Le dernier cas s'intéresse au crédit traitant du contenu recyclé des matériaux. La considération tarifaire du matériau suggère à tort un lien entre la performance économique et la performance environnementale. En fait, l'équation à variable de coût ne fournit aucun indice sur l'avantage d'utiliser des matériaux à contenu recyclé plutôt que des matériaux dits neufs. Ce type de calcul tend plutôt à favoriser l'utilisation des matériaux à contenu recyclé qui sont plus dispendieux (CARROLL, 2006).

Enfin, toujours d'un point de vue méthodologique, nous remarquons que la certification LEED® ne considère que l'énergie utilisée lors de la mise en service et de l'opération du bâtiment, négligeant de prendre en compte l'énergie utilisée sur tout le cycle de vie opérationnel du bâtiment (CARROLL, 2006). Aussi, dans ce même créneau d'optimisation énergétique, nous notons qu'aucune différenciation n'est faite à l'égard du type d'énergie dont nous visons à minimiser l'utilisation. Ainsi, les stratégies privilégiées pour atteindre une réduction de la consommation énergétique ne risquent pas nécessairement de se traduire par des bénéfices environnementaux. Cette réalité s'explique aisément puisque chaque type d'énergie a un profil d'émissions distinct et engendre donc un impact différent (CARROLL, 2006; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002; TRUSTY, 2006).

2.1.2.4.2 Critiques sur l'usage

Le second groupe de critiques traite des appréhensions ou de l'expérience vécue lors de l'étape d'utilisation de la certification. La critique la plus récurrente au niveau de la certification LEED® est l'aspect économique puisqu'il s'agit d'un processus qui a le potentiel d'être coûteux. Certaines études soutiennent que les projets de bâtiments certifiés coûtent légèrement plus cher que les projets standards (COLE, 2005). Plusieurs pourcentages sont avancés pour quantifier cette augmentation des coûts. Certains mentionnent qu'il faut prévoir une hausse générale pouvant osciller entre 1% et 5% du budget initial (COLE, 2005; LEWIS, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005), mais d'autres suggèrent que l'augmentation est tributaire du niveau de certification recherché : une hausse de 6.5% pour une certification « platine », 1.8% pour le niveau « or », 2.1% pour le seuil « argent » et finalement, une augmentation de 0.66% pour le degré « certifié »

(KRISTAL, 2006). Pourtant, certains évoquent également qu'il ne semble pas exister de corrélation directe entre le coût initial d'un projet et son niveau de performance écologique (COLE, 2005). Les coûts supplémentaires recensés pouvant contribuer à cette situation d'augmentation des coûts sont les frais d'adhésion, les frais administratifs, la documentation, les matériaux, les honoraires des consultants, ainsi que ceux des inspecteurs (BROOK, 2008; HUGHES, 2008; LEWIS, 2007). Cette addition budgétaire est facile à absorber dans les projets à gros budgets, mais cette situation est toutefois beaucoup plus délicate dans les petits projets (HUGHES, 2008; RUSSELL, 2007). Plusieurs critiques déplorent le fait que la certification LEED® soutienne des pratiques élitistes en sous-entendant qu'elle n'est pas destinée à toutes les bourses. Cette réalité véhicule l'idée que cette certification de bâtiment vert est un concept inaccessible (CIDELL, 2009; MIARA, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005). Ce constat a pour effet de mener certaines équipes de projet à suivre la démarche du programme LEED® sans toutefois procéder à la certification (CURREY, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005). Par contre, malgré le fait que la documentation et la recherche à propos de l'impact économique des constructions certifiées LEED® sont à faire (STEIN & REISS, 2004), certains soutiennent que les bénéfices sont supérieurs aux coûts. Ils maintiennent que les bâtiments verts valent bien l'augmentation des coûts qu'ils engendrent puisqu'ils ont un potentiel d'économie tangible et permettent même un retour sur l'investissement à moyen ou long terme (LEWIS, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005).

L'autre frein à l'adhésion au programme LEED® est le facteur temps qui est difficilement dissociable de la contrainte économique. La certification est un processus qui requiert beaucoup plus de temps et d'efforts qu'un projet à caractère standard, et ce, à chacune des phases du projet (GONCHAR, 2005; HUGHES, 2008; MIARA, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005). L'étape de la préparation et de la collecte de la documentation semble être celle qui contribue le plus à l'augmentation des délais puisque cette activité est complexe et extensive (PROCTER, 2007; SOLOMON, 2005; STEIN & REISS, 2004). Nous notons que le niveau d'expérience de l'équipe de projet peut avoir un impact sur le temps à consacrer, tant au niveau de la documentation que dans les autres étapes de la démarche de certification (GONCHAR, 2005). De plus, la critique associe souvent LEED® à un processus bureaucratique qui ajoute à la

complexité de la conception en initiant des contraintes supplémentaires dans le processus de réalisation des bâtiments verts ou durables (MIRANDA, 2008; SOLOMON, 2005; SCHENDLER & UDALL, 2005).

Toujours au niveau de l'utilisation, nous déplorons que le format de la certification LEED® permette l'utilisation de cet outil afin de mousser les ventes des projets immobiliers. Ainsi, l'attention médiatique suscitée par LEED® mène la certification à devenir un élément de la stratégie marketing et, par extension, un argument de vente (BROOK, 2008). Certains promoteurs utilisent donc le programme de certification pour guider le processus de conception dans le but ultime de capitaliser sur les crédits qui ont un potentiel réel d'augmenter la commercialisation de leur projet (PROCTER, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005). Certains architectes considèrent même que le système LEED® a un effet néfaste sur la conception architecturale. Ils soutiennent que le programme diminue la valeur artistique et intellectuelle des projets puisque la procédure et le format prennent l'aspect d'une liste de contrôle qui minimise le rôle de l'architecte à celui d'un technicien (BROOK, 2008).

2.1.2.4.3 Critiques sur les résultats

Cette autre sphère regroupe plusieurs critiques concernant les effets engendrés par la certification LEED®. Au niveau des résultats, nous constatons premièrement que la certification de base ne permet pas d'obtenir des performances beaucoup plus élevées que le code du bâtiment et les standards d'efficacité énergétique établis par l'ASHRAE. Subséquemment, lorsqu'un projet accumule un pointage minimal qui lui procure la certification de base (certifié), il n'atteint pas nécessairement un niveau de performance environnementale qui lui permet de se distinguer des bâtiments construits selon les pratiques courantes (BOWEN, 2005; CARROLL, 2006; HUGUES, 2008). De plus, nous notons que le simple fait d'amener son projet à se conformer aux normes locales lui permet potentiellement de se qualifier pour certains crédits LEED® (MATTHIESSEN & MORRIS, 2004). Nous déplorons donc que certains crédits du système de certification aient des seuils de performance trop près des pratiques courantes, ce qui a pour effet de priver les pratiques dites vertes du système de toute validité (SCHEUER & KEOLEIAN, 2002).

Dans le même ordre d'idées, une autre critique provient du fait que la certification LEED® ne garantit pas l'efficacité énergétique du bâtiment construit. En effet, mis à part le préalable obligatoire qui demande une performance énergétique minimale, nous ne sommes pas tenus de consacrer plus d'efforts dans le développement de techniques visant à réduire la consommation d'énergie. Ainsi, une certification peut être acquise sans avoir obtenu aucun point au niveau du crédit traitant de l'optimisation de la performance énergétique, un non-sens selon les professionnels de l'industrie (BOWEN, 2005; DEL PERCIO, 2007; RUSSEL, 2007). Malgré le fait que l'efficacité énergétique demeure un critère important dans la construction écologique, cette situation peut s'expliquer par le fait que ce crédit demande une modélisation énergétique complète du bâtiment. Ce processus complexe demande la participation d'un expert et requiert un investissement additionnel en temps et en argent (SCHENDLER & UDALL, 2005; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002).

D'un point de vue plus général, nous déplorons que suite à la complétion du processus de certification, il n'existe aucun moyen de vérifier si les performances réelles du bâtiment construit correspondent aux prédictions. Suite au processus de vérification de la documentation et d'attribution du niveau de certification, il n'existe pas de façon de vérifier ou de valider le fonctionnement et le rendement du bâtiment (BROOK, 2008). Nous questionnons donc la validité même de la certification puisqu'il est également impossible d'obtenir l'assurance que la construction a été réalisée selon les prévisions et les simulations effectuées. Par conséquent, cette situation ne permet pas de s'assurer que le fonctionnement du bâtiment produit les résultats escomptés (RUSSEL, 2007; STEIN & REISS, 2004).

Une autre critique des résultats du système est que LEED® ne permet pas nécessairement d'évaluer clairement les bénéfices environnementaux. Dans un premier temps, le système LEED® se veut une mesure standard permettant la comparaison des projets de construction écologique entre eux. Par contre, la réalité est bien différente puisqu'il est impossible d'affirmer que deux bâtiments, ayant obtenu le même pointage ou le même niveau de certification, aient les mêmes performances environnementales (CARROLL, 2006; GONCHAR, 2005; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002; STEIN & REISS, 2004). Ainsi, nous ne pouvons supposer qu'un projet ayant obtenu plus de points qu'un

autre ait nécessairement une meilleure performance du point de vue environnemental ou du point de vue de la durabilité (SCHENDLER & UDALL, 2005; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). En somme, les techniques ou les procédés promus par la certification LEED® ne semblent pas être en mesure de garantir le meilleur choix environnemental (CARROLL, 2006; SCHENDLER & UDALL, 2005). Ce manque de corrélation entre les points visés et la performance au niveau de l’empreinte environnementale engendre des projets plus intéressés par la certification que par l’amélioration des impacts en visant les points les plus faciles à atteindre (RUSSELL, 2007; SCHENDLER & UDALL, 2005; STEIN & REISS, 2004). Plusieurs critiques concernent également les méthodes de calculs de certains crédits qui semblent incapables d’adresser correctement les impacts des bâtiments sur l’environnement. De ce fait, le système de pointage est qualifié comme étant prescriptif et ne semble pas en mesure de considérer adéquatement la performance environnementale (CARROLL, 2006; PROCTER, 2007; TRUSTY, 2006). À titre d’exemple, la méthodologie de calcul du crédit qui encourage l’utilisation de matériaux régionaux ne semble pas appropriée pour adresser la réduction d’impacts d’une telle pratique. Premièrement, tel que mentionné précédemment, nous basons les calculs sur un critère de coûts des matériaux qui privilégie l’utilisation des matériaux plus dispendieux (CARROLL, 2006; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). Ensuite, nous considérons un seuil arbitraire de distance par rapport au site du projet qui ne peut, à lui seul, être représentatif de l’impact environnemental de l’approvisionnement d’un matériau. Pour augmenter la représentativité, il faudrait à tout le moins inclure le poids du matériau (CARROLL, 2006; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). Finalement, le seuil de kilométrage établi dans le but avoué d’encourager l’économie locale est inadéquat puisqu’il ne garantit pas que le matériau est extrait et/ou produit dans la même région où le bâtiment sera construit (SCHEUER & KEOLEIAN, 2002).

2.1.2.4.4 Critique sur la pertinence

Le dernier groupe de critiques remet en question la pertinence même du système de certification LEED®. Dans un premier temps, certains mettent en doute le niveau de rigueur scientifique de la certification (BOWEN, 2005; GONCHAR, 2005). Ainsi, les critères environnementaux retenus dans le système ont été déterminés par un consensus du comité plutôt que dictés par la recherche scientifique (SCHENDLER &

UDALL, 2005; STEIN & REISS, 2004). Nous prétendons également que ce manque d'ancrage au niveau de la science est susceptible de contrecarrer les objectifs de la certification LEED® puisqu'en mettant l'emphase sur des critères de design, celle-ci risque de rater l'enjeu environnemental global (BROOK, 2008; SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). Selon Stein & Reiss, ce manque de rigueur scientifique engendre trois problèmes : les pratiques encouragées dans la certification ne sont pas nécessairement rentables, les bâtiments qui amassent le plus grand nombre de points LEED® n'obtiennent pas l'assurance d'une meilleure empreinte environnementale et la performance des bâtiments certifiés peut différer des prédictions faites en début de projet (STEIN & REISS, 2004).

De plus, nous mettons en doute la validité de certains crédits. Le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) régit l'utilisation des produits du bois provenant de forêts dont les pratiques de gestion sont respectueuses de l'environnement. À cet effet, l'industrie forestière déplore le fait que peu de points sont accordés à l'utilisation des produits du bois (WILTS, 2006-2007). Nous nous questionnons aussi sur la pertinence d'accorder seulement des crédits selon les principes et critères de la certification Forest Stewardship Council (FSC). Nous aimerions que la certification du Sustainable Forestry Initiative (SFI) soit aussi incluse afin de rendre le système plus flexible et plus ouvert (BOWEN, 2005; SOLOMON, 2005; WILTS, 2006-2007).

Finalement, LEED® propose une procédure et une méthodologie de certification qui sont discutables. Dans un premier temps, il existe une situation de conflit d'intérêts au sein même du processus puisque les consultants qui ont participé à l'élaboration du guide de référence sont souvent les mêmes que ceux qui participent à la certification des projets (MIRANDA, 2008). De plus, la certification LEED® est en constante évolution afin de rester à l'affût des nouvelles technologies et de demeurer en étroite communion avec les normes et les standards de construction. Cette mise à jour continue engendre un questionnement sur la valeur environnementale des bâtiments certifiés aujourd'hui et la signification que cette certification aura dans le futur (SCHEUER & KEOLEIAN, 2002). La procédure ardue et complexe semble vouloir décourager le plus de gens possible à mettre en œuvre un processus de certification plutôt que d'encourager les initiatives environnementales, l'innovation et les changements de paradigmes

(SCHENDLER & UDALL, 2005; SCHINDLER, 2009; ZIMMERMAN & KIBERT, 2007). Le processus de vérification doit être revu pour le rendre plus flexible en donnant une certaine latitude aux vérificateurs dans leur mandat d'assurer le respect de l'esprit des crédits (SCHENDLER & UDALL, 2005). Nous déplorons aussi le fait que LEED® soit un outil difficile à utiliser et que le format de la certification ne permette pas d'assurer une courbe d'apprentissage. Cet atout assurerait aux équipes de projet de développer une expérience qui garantirait, avec le temps, une exécution plus aisée et plus efficace de la procédure de certification, une prérogative économique pour les projets réalisés ultérieurement (SCHENDLER & UDALL, 2005). Si la méthodologie décourage plus qu'elle encourage, cette situation ne freinera pas la construction de bâtiments verts, mais compromettra assurément le désir de certification de ceux-ci selon la méthodologie proposée par le programme LEED® (SCHENDLER & UDALL, 2005).

2.2 Adaptabilité et flexibilité

Dans un style de vie contemporain, où nous mettons de l'avant des concepts reliés à l'individualité et à la personnalisation, nous tendons à privilégier une architecture qui sera en mesure de satisfaire les besoins, les attentes et les valeurs de chacun (BECHTHOLD, 2010). Comme le mentionne Roger-Bruno Richard, « *l'individualisation est une caractéristique fondamentale de la nature humaine : chaque personne est différente de son voisin et est également différente d'elle-même dans le temps [traduction libre]* » (RICHARD, 2010b : p.79). En lien avec cette définition, l'objectif de l'individualisation est d'offrir un produit avec des caractéristiques et des déclinaisons permettant de répondre aux besoins d'une clientèle diversifiée. Ces processus d'individualisation et de personnalisation sont directement intégrés à la chaîne de production industrielle, sans toutefois engendrer des coûts supplémentaires notables (RICHARD, 2010b). Par conséquent, pour assurer la pérennité de la construction, les bâtiments doivent désormais intégrer des caractéristiques conceptuelles appartenant à des représentations telles que l'adaptabilité et la flexibilité. L'intégration de ces concepts, au niveau de l'architecture, a pris naissance au cours de la période de reconstruction qui a suivi la Deuxième Guerre mondiale. En réaction aux options architecturales proposées, qui étaient jugées inadéquates, un groupe d'architectes hollandais a fondé le groupe de recherche SAR (Stichting Architecten Research) dirigé par N. J. Habraken (HABRAKEN, 1976). Par contre, le modèle d'adaptabilité/flexibilité au niveau de l'habitation a ensuite été mis de côté lorsque la société a retrouvé sa capacité économique et un certain niveau d'aisance, une situation qui permettait de procéder à l'achat de maisons de plus grande superficie. De cette façon, en Amérique du Nord, la période prospère des années 50 et 60 a presque entièrement éclipsé le besoin pour des stratégies d'habitation adaptable (FRIEDMAN, 2002).

Les diverses conceptions des notions d'adaptabilité et de flexibilité sont le résultat de l'existence de plusieurs définitions et interprétations du terme. Au niveau de la littérature, il est difficile de saisir les particularités qui existent entre les deux termes, si bien que nous pourrions aisément arriver à la conclusion que la définition du concept d'adaptabilité tend à rejoindre celle de la flexibilité. Par contre, nous pouvons définir l'adaptabilité comme un concept plus générique qui implique de prévoir le changement à court ou à moyen terme. M. Robert Schmidt III la définit comme « *la capacité d'un*

bâtiment à accommoder efficacement les besoins évolutifs dictées par le contexte d'utilisation, contribuant ainsi à la maximisation de sa valeur tout au long de la durée de vie de ce dernier [traduction libre] » (SCHMIDT et al, 2010 : p.235). Cette définition intègre plusieurs concepts, dont la « capacité au changement », la « capacité à maintenir l'adéquation entre le bâtiment et les utilisateurs », la « valeur » et le « temps » (SCHMIDT et al, 2010). La flexibilité, quant à elle, est un concept plus malléable qui implique un mécanisme permettant le changement à court terme. Dans la définition originale de M. Schmidt III, la flexibilité « *couvre un éventail de possibilités qui passent de la détermination physique de l'espace à l'utilisation fonctionnelle qui est faite de l'espace [traduction libre]* » (SCHMIDT et al, 2010 : p.237). Ainsi, le concept de flexibilité regroupe la notion de « polyvalence » reliée à l'aménagement spatial, la notion de « convertibilité » qui est associée au changement d'usage, et aussi la notion « d'ajustement » qui est en lien avec les changements effectués auprès de l'équipement et du mobilier afin de répondre à la variation au niveau des tâches ou des utilisateurs (SCHMIDT et al, 2010).

2.2.1 Besoins au niveau de l'adaptabilité/flexibilité

Les maisons sont conçues et bâties dans une époque comportant des pratiques et des technologies qui leur sont propres. Ultérieurement, les décisions qui ont contribué à la mise en forme du projet deviennent peu à peu désuètes. Un processus de mise à jour s'amorce inévitablement dès l'occupation, que ce soit au niveau des patrons de vie des occupants ou en lien avec l'innovation technologique (CEC, 2008; FRIEDMAN, 2002). Les bâtiments doivent être conçus et bâtis pour répondre aux besoins des occupants sur un grande période de temps (SLAUGHTER, 2001). Nous observons que ces changements peuvent être initiés par une grande variété de facteurs. Par conséquent, tout au long de son cycle de vie, la demeure devra accommoder une variation dans la situation familiale des occupants (mariage, naissance, divorce, vieillissement, etc.). Chacune de ces situations requiert une réorganisation spatiale ou fonctionnelle afin d'adapter l'espace résidentiel aux nouveaux patrons de vie de ceux qui ne désirent pas déménager (FRIEDMAN, 2002; TEASDALE, 1999). Nous remarquons également que les nord-américains ont un taux de mobilité élevé en comparaison avec les populations des autres continents. En considérant que la vie utile d'une résidence se

situé autour de cent ans, elle risque de voir défiler jusqu'à une dizaine d'occupants qui ont tous des besoins différents (FRIEDMAN, 2002). Les critères d'adaptabilité et de flexibilité dans le bâtiment offrent l'alternative de pouvoir réduire ou neutraliser ce besoin de déménagement. Lors de la construction, nous intégrons les technologies du moment. Par contre, ces dernières deviennent assez rapidement dépassées avec l'arrivée de nouvelles avancées au niveau des produits et services. La construction résidentielle permet rarement la mise à jour ou l'adaptation de la résidence aux besoins des occupants présents et futurs. Pourtant, le fait de concevoir dans cette optique pourrait permettre de prolonger la durée de vie utile du bâtiment (FRIEDMAN, 2002; TEASDALE, 1999).

2.2.2 Types de changement

L'état de la recherche actuelle permet d'établir que le bâtiment est susceptible de subir trois types de changement. Ces changements peuvent agir, dans un premier temps, au niveau de la fonction du bâtiment, ensuite au niveau de la capacité des systèmes qu'il incorpore, et finalement sur l'abondance des personnes qui interagissent à l'intérieur et dans l'environnement immédiat du bâtiment (SLAUGHTER, 2001).

- **Changement de fonction** : une fonction se définit comme « *l'ensemble des activités ou des composantes nécessaires à l'atteinte d'un objectif spécifique [traduction libre]* » (SLAUGHTER, 2001 : p. 210). Les changements que nous pouvons associer au bâtiment se déclinent en trois groupes : la mise à jour de fonctions existantes, l'inclusion de nouvelles fonctions ou la modification du bâtiment dans le but d'incorporer de nouvelles fonctions. La mise à jour ou la modernisation est le type de changement privilégié lorsque nous devons atteindre de nouveaux standards de performance tout en conservant les fonctions existantes du bâtiment. Par contre, si une nouvelle tâche doit être intégrée au bâtiment existant, nous devons procéder à un changement en ajoutant cette fonction aux autres fonctions existantes au sein de l'édifice. Le bâtiment peut également être modifié dans le but spécifique d'atteindre un ensemble d'objectifs qui diffèrent du programme de conception original;

- **Changement de capacité** : la capacité se définit comme « *l'habilité d'un bâtiment à satisfaire certains critères de performance, soit par rapport à des charges/conditions ou des volumes [traduction libre]* » (SLAUGHTER, 2001 : p. 210). Les changements de charges peuvent se produire lorsque nous augmentons les attentes de performance de la construction (Ex : les ponts centenaires qui doivent supporter des charges toujours grandissantes) ou lorsque nous intégrons l'avancement de données fournies par la recherche scientifique (Ex : la résistance des bâtiments aux secousses sismiques). Ces nouvelles connaissances participent à la mise à jour des procédés de construction afin d'augmenter la capacité de charge ou la performance dans des conditions spécifiques. Pour les changements au niveau de la capacité de volume, certaines stratégies sont disponibles pour augmenter les dimensions spatiales de la construction, dans le but de rejoindre les fonctions de base du bâtiment qui peuvent aussi évoluer dans le temps;
- **Changement de flux** : le flux, ou le taux de fréquentation, se définit comme « *les mouvements à l'intérieur et autour d'un bâtiment mis en relation avec l'environnement immédiat et la population d'usage [traduction libre]* » (SLAUGHTER, 2001 : p. 211). Les changements dans le taux de fréquentation peuvent premièrement avoir un impact direct sur les conditions physiques ou climatiques d'un bâtiment (le mouvement de l'air, la lumière et le son ainsi que l'interaction entre les usagers et l'environnement construit). Le changement de flux peut également agir sur la relation qui existe entre le bâtiment et son environnement. Cette circulation humaine et matérielle produit les patrons d'usage des lieux. Il est donc important de noter que tous les types de changement apportés dans la structure organisationnelle ou constructive d'un bâtiment risquent d'avoir des répercussions au niveau du taux de fréquentation des usagers ou des différents objets.

2.2.3 Procédés d'adaptabilité/flexibilité

Les chercheurs font la distinction entre les différentes étapes où des principes d'adaptabilité et de flexibilité peuvent survenir, et ce, dans tout le cycle de vie d'un bâtiment : phase de conception, de construction et d'utilisation (FRIEDMAN, 2002).

Premièrement, l'intégration de l'adaptabilité/flexibilité pendant la phase de design est différente dans un processus de design personnalisé où l'identité de l'occupant est connue, versus un projet d'immobilier où la conception précède la mise en vente. Pour le design personnalisé d'une maison, les architectes rencontrent le client pour recueillir ses besoins et ses exigences afin de préparer le programme. Ce processus permet de s'assurer que le produit final corresponde à sa demande. Lorsque son identité est inconnue, l'architecte se base sur un profil incomplet de l'acheteur potentiel et des cibles budgétaires. Un procédé beaucoup moins précis qui est fondé sur la prévoyance et la prévision (FRIEDMAN, 2002). Ainsi, l'offre d'un certain nombre d'options à l'achat de la maison est aujourd'hui un critère essentiel qui permet de répondre à la diversité des ménages et des modes de vie des acheteurs (FRIEDMAN & CÔTÉ, 2003). De plus, nous soutenons que seulement le tiers des besoins à venir peut être planifié ou prédit, donc peu importe ce qui est projeté ou construit, le concept doit permettre une capacité au changement (VAN HINTE et al, 2003). Ces deux approches sont regroupées sous l'étiquette de l'adaptabilité/flexibilité pré-occupationnelle (FRIEDMAN & CÔTÉ, 2003; FRIEDMAN, 2002).

En contrepartie, l'adaptabilité/flexibilité post-occupationnelle intègre une dimension supplémentaire. Dans sa conception, l'architecte doit tenter d'anticiper les besoins futurs des occupants en offrant des scénarios et des solutions qui permettront à la maison d'évoluer au rythme des besoins des personnes qui l'habitent. Le concept se concentre donc sur des stratégies qui visent à simplifier le processus engendré par les modifications ultérieures. Le niveau d'adaptabilité/flexibilité recherché considère les interventions minimales telles que le remplacement de certains finis ou la replanification éventuelle d'une cuisine ou d'une salle de bain. Par contre, nous pouvons également viser des interventions plus importantes telles que la subdivision de l'espace ou la construction d'une structure additionnelle (FRIEDMAN & CÔTÉ, 2003). Dans la pratique traditionnelle de conception et de construction, nous tendons à ignorer l'évolution des patrons de vie. Nous associons des fonctions précises aux différentes pièces restreignant alors l'adaptabilité/flexibilité et le changement de fonction des espaces afin qu'ils puissent répondre à d'autres buts (FRIEDMAN, 2002; FRIEDMAN & CÔTÉ, 2003). Par conséquent, nous devons développer de nouveaux types d'habitations

qui pourront accommoder le changement, même en considérant que les besoins et les patrons de vie ultimes demeurent inconnus (VAN ZWOL, 2005).

Deuxièmement, les principes d'adaptabilité/flexibilité peuvent également s'appliquer pendant la phase de construction du bâtiment. Ainsi, l'utilisation de certaines stratégies constructives permet à l'entrepreneur ou à l'occupant d'obtenir un certain degré de liberté dans le processus de construction. Selon les différentes propositions d'aménagement du bâtiment qui sont élaborées à la phase de conception, il devient possible de procéder à des modifications ayant une incidence sur la disposition de l'espace, mais aussi sur les différents équipements sélectionnés au préalable (FRIEDMAN, 2002);

Finalement, le processus d'adaptabilité/flexibilité se retrouve également au niveau de l'utilisation. De ce fait, même si toutes les attentes et tous les besoins sont pris en compte dans les phases de conception et de construction, un nouveau cycle de vie s'amorce dès le moment où les occupants emménagent dans leur nouveau lieu de résidence. Cette phase active a le potentiel de générer des nouveaux besoins qui susciteront une certaine adéquation des lieux : évolution de la situation familiale, intégration d'activités professionnelles, etc. (FRIEDMAN, 2002).

2.2.4 Formes d'adaptabilité/flexibilité

Au niveau résidentiel, les stratégies d'adaptabilité/flexibilité peuvent prendre plusieurs formes. L'intervention peut se faire à différents niveaux et peut avoir un impact sur le bâtiment entier ou simplement sur l'une de ses composantes. Voici les principales formes d'adaptabilité/flexibilité possibles (KENDALL & TEICHER, 2000):

- **Manipulation des volumes** : en prenant soin de prendre en compte certains éléments, comme les aires de circulation, le concepteur peut combiner plusieurs étages d'un bâtiment pour former une unité d'habitation de plus grande dimension. Subséquemment, cette unité a le potentiel d'être redivisée afin d'accueillir des scénarios différents (forme d'adaptabilité/flexibilité explorée par les constructeurs japonais tels que Sekisui Heim et Misawa Home);

- **Aménagement spatial et division:** certaines stratégies de design peuvent permettre l'adaptabilité/flexibilité d'un espace résidentiel, que ce soit avant ou après l'occupation : concevoir une pièce permettant des usages différents, aménager l'espace de façon à pouvoir accommoder une personne en fauteuil roulant ou utiliser le mobilier pour diviser l'espace (forme d'adaptabilité et de flexibilité explorée par le projet Next 21 au Japon);
- **Manipulation des composantes :** les composantes sont les éléments qui sont installés dans la maison avant la fermeture des murs et des plafonds : l'installation électrique ou informatique, la distribution des conduits pour le chauffage et la ventilation, la plomberie de la cuisine et des salles de bains, et les éléments de façade préfabriqués. La conception intégrant le principe d'adaptabilité/flexibilité fournit un accès facile pour le remplacement, la réparation et la mise à jour des sous-composantes (forme d'adaptabilité et de flexibilité explorée dans le mouvement « Open building » et par le groupe Manubuild).

2.2.5 Interactions entre les systèmes du bâtiment

Les systèmes du bâtiment peuvent interagir entre eux par des mécanismes variés. La nature de ces interactions et les systèmes eux-mêmes ont une influence certaine sur le niveau d'adaptabilité et de flexibilité du bâtiment. Les interactions des systèmes se regroupent en trois catégories: les interactions physiques, les interactions fonctionnelles et les interactions spatiales (SLAUGHTER, 2001).

- **Les interactions physiques :** au niveau de la construction, ce type de relation entre les systèmes peut se manifester par une connexion, une intersection ou une contiguïté. Ces interactions sont habituellement faciles à identifier;
- **Les interactions fonctionnelles :** les systèmes peuvent également interagir au niveau de la fonction. Ce type de relation peut mener à l'amélioration des fonctions existantes (un mur extérieur qui augmente la résistance de la structure), compléter les fonctions usuelles (la lumière naturelle qui agit comme complément à l'éclairage artificiel), ou altérer les fonctions courantes (les fenêtres ouvertes qui modifient la performance du système de chauffage);

- **Les interactions spatiales** : l'interaction spatiale soutient que des systèmes jugés indépendants peuvent avoir une certaine influence sur d'autres systèmes et ce, dans un espace commun. Par exemple, l'éclairage d'une pièce peut avoir une incidence sur les finis de surface et ainsi avoir un impact sur l'utilisation que nous en faisons.

2.2.6 Principes d'intervention

La conception architecturale résidentielle a pour but primaire la satisfaction des besoins des habitants ou des usagers. De nos jours, l'évolution technologique au niveau de la construction agit comme un moyen pour assurer l'atteinte de ce but. Ainsi, la conception ou le développement de solutions adaptables et flexibles est tributaire d'une cohésion entre le designer et les fabricants. Cette dynamique d'échange permet d'expérimenter et de développer les meilleures applications pour les systèmes et les produits (GRAY, 1998). Dans le but d'offrir des caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité au niveau de la production industrielle, nous avons répertorié quatre principes d'intervention qui sont susceptibles d'être transposés au domaine de la construction. Leur potentiel de complémentarité et la combinaison des différentes stratégies laissent supposer la création d'une multitude d'options de design, une approche qui peut permettre de rejoindre la quantité (RICHARD, 2010b):

1. **Flexibilité du produit**: spécificité d'un produit qui permet une variation géométrique au niveau de l'usage. Cette caractéristique permet de répondre à des besoins qui subissent des variations spatiales et temporelles (cloison démontable, plancher surélevé, etc.);
2. **Flexibilité de l'outil**: particularité d'un outil qui permet la production de produits différents en agissant sur la programmation, en ajustant la machine ou en changeant la matrice (fabrication assisté par ordinateur, changement de matrice d'extrusion, etc.);
3. **Polyvalence**: caractéristique d'un produit qui lui permet de servir d'infrastructure et d'accommoder différentes options (plateforme automobile, mouvement Open building en architecture, etc.);

- 4. Combinatoire:** attribut qui permet la production de plusieurs agencements et ce, à partir d'un nombre déterminé de composantes de base. Une attention particulière est portée à la normalisation du joint et à la coordination dimensionnelle (systèmes constructifs industrialisés de type meccano).

2.2.7 Avenues d'intervention

Suite à l'analyse des principales caractéristiques reliées aux concepts d'adaptabilité et de flexibilité au niveau du bâtiment, il est possible d'identifier quelques avenues d'intervention. Ces avenues concernent principalement les sous-composantes de l'habitation telles que les services et les éléments impliqués dans la division de l'espace (FRIEDMAN, 2002) :

- **Technologie et accès aux composantes :** tout au long du cycle de vie d'une résidence, nous aurons besoin d'ajouter, de remplacer ou de mettre à jour les composantes. Suite à la finition des murs et des plafonds, l'accès au filage et aux conduits de plomberie et de ventilation nécessite l'enlèvement des revêtements de finition. Ainsi, un accès plus facile aux composantes demande une approche plus systémique;
- **Cloisons adaptables :** il existe trois catégories de systèmes de cloisons adaptables. La première approche est un système mobile composé d'un mécanisme coulissant qui permet à des panneaux de bouger dans l'axe d'un profilé installé au plafond. La deuxième catégorie est le système de cloison amovible qui est composé de panneaux préfabriqués maintenus en place par des profilés au plafond et au plancher. Le troisième type se veut similaire à la construction actuelle des cloisons, soit le déploiement de montants installés à intervalles réguliers sur lesquels sont fixés des panneaux muraux. Le montage et le démontage de ces derniers sont réalisés en plusieurs étapes.

2.2.8 Design et adaptabilité/flexibilité

Malgré le fait que nous ne puissions pas anticiper de façon précise les besoins futurs des bâtiments, il existe tout de même certaines approches de design qui peuvent

être intégrées durant la phase de construction initiale ou pendant la rénovation. Malgré le fait que plusieurs intervenants de la construction semblent s'entendre pour affirmer que l'intégration de processus d'accommodement au changement est une démarche potentiellement laborieuse et coûteuse, ces approches de design sont susceptibles de contribuer à réduire la durée et le coût des rénovations, des modifications ou des mises à jour qui seront exécutées ultérieurement au niveau du bâtiment (SLAUGHTER, 2001). De plus, pour souscrire à la vision de ces approches, il existe une multitude de stratégies concrètes qui peuvent être combinées afin de répondre à la diversité des projets de construction. Ces nouvelles pratiques de conception sont récentes et leur utilisation est loin d'être systématique.

2.2.8.1 Approches de design

Nous définissons une approche de design comme un but ou un ensemble de buts qui doivent être atteints afin d'intégrer le changement (KEYMER, 2000). Ces avenues d'intervention sont beaucoup plus générales si nous les comparons aux stratégies de design. Il existe trois approches principales en design de bâtiment (KEYMER 2000; SLAUGHTER, 2001) :

- **Approche de séparation** : cette première approche met l'emphase sur la séparation physique des systèmes et des sous-systèmes majeurs du bâtiment de façon à ce que l'intervention dans une sphère spécifique puisse être isolée des autres sphères;
- **Approche de préfabrication** : au niveau de la deuxième approche, la préfabrication des composantes principales permet d'augmenter la facilité avec laquelle ces éléments peuvent être remplacés;
- **Approche de « surperformance »** : la troisième approche consiste à concevoir certains systèmes et leurs composantes en leur octroyant des capacités plus grandes que nécessaire, de façon à pouvoir permettre la mise à jour sans avoir besoin de les remplacer ou d'en accroître les performances.

2.2.8.2 Stratégies de design

Une stratégie de design, quant à elle, est un moyen spécifique d'accomplir un objectif ou un ensemble d'objectifs reliés à une approche de design. Nous pouvons la décrire comme une intervention plus concrète afin d'améliorer l'adaptabilité et la flexibilité d'un bâtiment. Il est pertinent de noter que plusieurs stratégies de design ont le potentiel de répondre aux objectifs d'une ou de plusieurs approches de design. Une multitude de stratégies ont été recensées et elles sont regroupées en dix groupes distincts (KEYMER, 2000; SLAUGHTER, 2001) :

- Réduction des interactions « intersystémiques » (*reduce inter-system interactions*);
- Réduction des interactions intrasystémiques (*reduce intra-system interactions*);
- Utilisation des systèmes avec composantes interchangeables (*use interchangeable system components*);
- Augmentation de la prévisibilité de la disposition (*increase layout predictability*);
- Amélioration de l'accessibilité physique (*improve physical access*);
- Assignation d'un espace/volume spécifique pour le système (*dedicate specific area/volume for system zone*);
- Amélioration de la proximité de l'accès au système (*enhance system access proximity*);
- Amélioration de la circulation (*improve flow*);
- Phase d'installation du système (*phase system installation*);
- Simplification du désassemblage ou de la démolition (*simplify partial/phased demolition*) [*traduction libre*].

Contrairement aux attentes et aux appréhensions, l'ensemble des stratégies de design énoncées comportent des coûts raisonnables. En moyenne, ces dernières ont même permis de réaliser des économies au niveau du premier cycle de rénovation (SLAUGHTER, 2001). De plus, nous notons que les stratégies ont eu un impact sur la durée de vie de la construction initiale, ainsi que sur la pérennité des rénovations ultérieures. Nous estimons qu'environ le tiers des stratégies apporte une augmentation de la durée de vie de la construction initiale, tandis que les trois quarts de ces dernières ont le potentiel de raccourcir de façon significative la durée de complétion des travaux de rénovation et par le fait même, de réduire les impacts sur les occupants. Enfin, la

presque totalité des stratégies de design permet d'améliorer l'accessibilité des composantes pour l'opérationnalisation et l'entretien (SLAUGHTER, 2001).

En somme, l'ensemble des informations recueillies au niveau des concepts d'adaptabilité et de flexibilité démontrent l'importance d'intégrer ces notions dans la conception actuelle des bâtiments. Il est vraiment ironique de réaliser que notre époque, qui se proclame dynamique, évolutive et individualiste, ait produit une architecture trop rigide dans son organisation, donc incapable de gérer la dimension temporelle (HABRAKEN, 2005). Nous devons développer de nouveaux types d'habitations qui pourront accommoder le changement, tout en considérant que les besoins et les patrons de vie ultimes demeurent inconnus (VAN ZWOL, 2005). De cette façon, nous assurons une réponse plus adéquate à l'évolution des patrons de vie des occupants, à l'accommodation des espaces lors de changements de résidents et à la durée de vie utile des constructions.

2.3 Approches et mouvements émergents en architecture

En comparaison avec d'autres secteurs de même envergure, il semble que l'industrie de la construction résidentielle soit lente à adopter les innovations (FRIEDMAN, 2002; CST, 2003). Cette résistance à l'innovation entrave la capacité du secteur à répondre de façon adéquate aux besoins changeants des acheteurs. Cette réalité contraste tout de même avec l'innovation qui prévalait dans les années 40 et 50. Cette période a généré une multitude de concepts d'habitation et est à l'origine de l'émergence de la structure organisationnelle encore utilisée aujourd'hui (FRIEDMAN, 2002). Vers la fin des années 60, de sérieuses recherches sont réalisées sur le développement de techniques qui permettraient aux bâtiments de s'adapter à l'évolution des besoins dans le temps. Malheureusement, ce type de recherche sur l'adaptabilité et la flexibilité a trop souvent mené à la conception de bâtiments neutres et sans caractère. Les mots « adaptabilité » et « flexibilité » sont ainsi devenus des notions sans attrait qui ont disparu du vocabulaire des architectes (LEUPEN et al, 2005). De nos jours, la plupart des composantes et quelques sous-assemblages sont actuellement industrialisés dans plusieurs pays. Malgré ce fait, la construction demeure toujours une activité coûteuse qui nécessite une grande proportion de tâches manuelles qui sont principalement réalisées sur le chantier (RICHARD, 2006).

Une nouvelle approche consiste à concevoir des bâtiments capables de répondre à de tels changements : des bâtiments qui peuvent évoluer dans le temps. De nos jours, le nouveau défi des architectes est de considérer l'inconnu et l'imprévisible dans la conception en intégrant des concepts comme la polyvalence, la variabilité, la flexibilité, le démantèlement et la semi-permanence. Le design devient alors un instrument d'innovation pour développer de nouvelles structures spatiales et physiques qui procurent un certain niveau de liberté. En principe, il existe trois façons différentes de gérer la notion de temps et d'incertitude en architecture (LEUPEN et al, 2005):

- **Concevoir des bâtiments polyvalents** : ce type de bâtiment peut remplir plusieurs fonctions sans toutefois nécessiter d'ajustements au niveau du bâtiment lui-même. Dans le contexte résidentiel, la polyvalence se réfère à l'interchangeabilité des fonctions entre les différentes pièces et dépend grandement du type de relation qui existe entre les pièces, ainsi que de la composition spatiale;

- **Concevoir des bâtiments semi-permanents, selon l'approche « Industrial Flexible and Demountable buildings (IFD) »** : un bâtiment construit selon cette approche doit être complètement démontable. Le bâtiment est désormais conçu comme un assemblage de systèmes. Chaque système a son processus de design, son procédé de fabrication et sa durée de vie;
- **Concevoir des bâtiments qui sont en partie permanents et en partie adaptables** : cette catégorie réunit tout ce qui se retrouve entre les bâtiments polyvalents et ceux de l'approche IFD.

2.3.1 Industrialisation de la construction

La révolution industrielle a permis l'implantation massive de procédés d'industrialisation et de production de masse au niveau de la plupart des secteurs industriels. Les principaux objectifs de l'industrialisation sont de stimuler la croissance économique, d'augmenter le niveau de productivité, d'améliorer la qualité de fabrication, de diminuer les coûts et permettre une meilleure accessibilité aux produits de consommation (CST, 2003). Ainsi, dès les années 30, à l'image de l'industrie automobile, l'industrie de la construction tente d'emboîter le pas en produisant des maisons en série sur des chaînes de montage. Par contre, ce nouveau type de production n'a jamais représenté une grande part du marché au niveau mondial, sauf pour la Suède et le Japon (CST, 2003). Le Conseil international du bâtiment (CIB) définit l'industrialisation de la construction comme un « *processus technologique qui regroupe des procédés systématisés de conception, un niveau supérieur de planification et de contrôle de la production, ainsi que des caractéristiques de mécanisation et d'automatisation à l'étape de fabrication [traduction libre]* » (VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010b : p.70). Quant à lui, M. Roger-Bruno Richard définit l'industrialisation du bâtiment comme étant « *une organisation générique basée sur la quantité et offrant un produit fini et personnalisé [traduction libre]* » (RICHARD, 2007 : p.35):

- **Organisation générique**: signifie le regroupement de tous les intervenants de la construction (concepteurs, gestionnaires et fournisseurs) dans une approche de conception plus intégrée;

- **Basé sur la quantité:** permet une répartition des coûts d'investissement sur un grand nombre d'unités afin d'atteindre la rentabilité et offrir un produit plus accessible. Ce processus permet donc d'amortir les coûts d'un nouveau procédé capable de simplifier la production;
- **Offrant un produit fini et personnalisé:** diffère grandement de l'approche traditionnelle de « service » de conception et de construction (client, architecte, entrepreneur, sous-traitants) qui a le désavantage de devoir être reconduite pour chaque client et pour chaque projet. Par opposition, l'industrialisation du bâtiment vise à fournir un produit fini qui permet la personnalisation afin de rejoindre une clientèle variée.

Malgré le fait que l'industrialisation de la construction nécessite un investissement initial important au niveau des infrastructures, cette façon de faire a pour but de maximiser le travail en usine et ainsi réduire les étapes d'assemblage et de finition sur le chantier. Ce type d'organisation a le potentiel de procurer plusieurs avantages. Premièrement, d'un point de vue temporel, l'industrialisation du bâtiment réduit le temps de construction par l'atteinte d'une meilleure efficacité au niveau de la production en usine. Elle permet également d'augmenter la vitesse d'exécution sur le chantier, tout en minimisant, par extension, le niveau de bruit et la poussière (FRIEDMAN, 2002; GIRMSCHIED, 2010b; VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010b). De plus, au niveau organisationnel, la fabrication en usine fournit un environnement contrôlé au niveau de la température et de l'humidité, un accès à un outillage plus élaboré qui résulte en une plus grande précision et également une meilleure cohésion dans la planification et la gestion (GIRMSCHIED, 2010b; VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010b). D'un point de vue économique, nous observons aussi un réel potentiel de diminution des coûts par l'utilisation de méthodes et de produits standardisés, un regroupement des effectifs qui permet un meilleur pouvoir d'achat pour les matériaux et fournitures et un accès à une main-d'œuvre moins coûteuse (exclusion du décret pour le métiers de la construction du Québec) (GIRMSCHIED, 2010b; VAN EGMOND – DE WILDE DE LIGNY, 2010b). Toutes ces caractéristiques contribuent à l'augmentation de la qualité de la construction des produits industrialisés.

Au niveau de la littérature, nous avons répertorié cinq degrés d'industrialisation de la construction (CST, 2003; RICHARD, 2010a) :

- **La préfabrication ou usinage simple:** consiste à fabriquer en usine, selon des méthodes de construction traditionnelles, des composantes, des sous-assemblages ou des modules complets qui sont ensuite livrés et assemblés sur le chantier (les briques, les panneaux de contreplaqué, les portes, les fenêtres, les armoires de cuisine, les fermes de toit);
- **La mécanisation :** fournit une assistance à la main-d'œuvre dans les procédés de construction traditionnels en intégrant l'utilisation d'un outillage spécialisé afin de faciliter leur travail (outils pneumatiques, pont roulant, etc.);
- **L'automatisation :** permet de réaliser une construction dite traditionnelle dans le cadre organisationnel d'une ligne de montage où certains ouvriers sont remplacés par des machines spécialisées;
- **La robotisation :** agit dans un encadrement similaire à l'automatisation mais en intégrant des machines très sophistiquées qui peuvent exécuter des tâches complexes et variées. La robotisation permet d'atteindre un taux d'efficacité, de précision et de vitesse d'exécution supérieurs, mais nécessite un investissement considérable;
- **La reproduction :** diffère des autres degrés d'industrialisation puisqu'elle fait appel à la recherche & développement (R&D) afin de simplifier la production. Nous visons à développer un procédé ou un processus innovateur qui permet de diminuer le nombre d'opérations et ainsi mener à des économies de temps et d'argent (circuit imprimé, puits de plomberie, etc.). Par conséquent, la reproduction a pour but de prioriser le développement de nouvelles idées.

2.3.2 Systèmes constructifs industrialisés

L'industrialisation de la construction a mené les intervenants à s'attarder au bâtiment dans une perspective « produit ». La distinction qui s'établit maintenant entre la structure d'un bâtiment et ses sous-composantes est un autre facteur de changement qui transforme l'approche au niveau de la construction résidentielle (FRIEDMAN, 2002).

Selon cette vision, un bâtiment se compose de six sous-systèmes différents (GIBB, 1999) :

1. **Les fondations:** éléments sur lesquels repose le bâtiment (incluant les drains et les structures souterraines);
2. **La charpente:** constitue le squelette ou l'ossature du bâtiment supportant l'ensemble des autres composantes;
3. **L'enveloppe:** élément qui protège la structure et les habitants de l'environnement extérieur (se compose des murs extérieurs et de la toiture);
4. **Les services:** ensemble de l'équipement mécanique qui permet la circulation des fluides (plomberie, électricité, chauffage/ventilation/climatisation, etc.);
5. **Les travaux intérieurs :** éléments de division de l'espace (cloisons, plafonds, planchers, escaliers) et de finition intérieure (peinture, plâtre, etc.);
6. **Les équipements :** articles principalement destinés aux usagers (toilettes, cuisines, ascenseurs, mobilier, etc.).

Le Conseil de la science et de la technologie définit le système constructif industrialisé comme « *l'ensemble des composants préfabriqués d'un certain type de bâtiment, avec les règles de production et d'assemblage qui lui sont propres. Ces règles permettront, grâce à différents assemblages, de créer plusieurs configurations de bâtiments (...). Un système de construction peut se limiter à un seul des sous-systèmes décrits (par exemple la structure) ou en intégrer plusieurs* » (CST, 2003 : p.82). Ainsi, un système constructif établi permet d'éviter de réinventer les détails de construction et d'assemblage à chaque projet et permet d'intégrer des caractéristiques de diversité et de personnalisation (RICHARD, 2010c). En tirant avantage des processus de production industrielle pour la préfabrication des éléments du système et en minimisant les tâches à effectuer sur le chantier, le système de construction a pour but principal de réduire le fardeau économique associé à la construction de bâtiments (CST, 2003). Selon la classification de Roger-Bruno Richard, nous retrouvons trois grandes catégories de systèmes de construction industrialisés (RICHARD, 2010c) :

- **Le meccano assemblé au chantier** : à l'image du jeu de meccano, tous les sous-systèmes sont fabriqués en usine et ensuite transportés au chantier en pièces détachées pour y être assemblés. Un nombre limité de composantes est produit en grande quantité et ce, en portant une attention particulière aux détails d'assemblage qui doivent être simples et efficaces. La classe des meccanos se divise en quatre typologies : poutre et colonne, dalle et poteau, panneaux, et joint intégré;
- **Le volume usiné** : cette classe fournit des modules tridimensionnels structuraux qui sont entièrement conçus, réalisés, assemblés et finis à l'usine. Il est important de noter que la dimension des unités est tributaire du gabarit de transport routier. Suite à leur complétion, les modules sont ensuite livrés au chantier où ils seront fixés aux fondations, assemblés entre eux et raccordés aux services (électricité, eau, égout, etc.). Nous retrouvons deux types de volume usiné : le module « sectionnel » et la boîte;
- **Le système hybride** : cette catégorie vise à combiner les points forts des deux classes précédentes en fabriquant les éléments complexes à l'usine et en confiant au chantier les opérations qui sont pénalisées par les contraintes du transport. Le système hybride propose trois avenues : le noyau porteur, la mégastructure et la mécanisation du chantier.

Les systèmes constructifs industrialisés peuvent être de nature « ouverte » ou « fermée ». Un système fermé ne permet pas d'effectuer des échanges avec les autres systèmes. Les sous-systèmes sont conçus et développés spécifiquement pour l'usage et la concordance avec un seul système (GIRMSCHEID, 2010a). À l'opposé, le système ouvert est beaucoup plus polyvalent. Par contre, pour atteindre des caractéristiques d'interchangeabilité, les systèmes ouverts doivent toutefois répondre à des critères de performance établis, à une coordination dimensionnelle stricte et doivent comporter des interfaces de compatibilité standardisées (CST, 2003; RICHARD, 2006). De cette façon, il est possible d'accéder à une multitude de sous-systèmes ou de composantes provenant de manufacturiers différents, laissant alors plus de choix aux clients (GIRMSCHEID, 2010a; RICHARD, 2010c). Cette approche mène à la création d'un mouvement important en Europe, appelé ManuBuild, qui soutient le développement de

sous-systèmes de construction qui s'inscrivent dans le concept de système ouvert (RICHARD, 2010c).

2.3.3 Mouvement « Open building »

Suite à cet engouement engendré par les systèmes constructifs industrialisés et le désir de cadrer dans le paradigme du développement durable, le mouvement architectural « Open Building » s'est établi. À l'origine pour des applications commerciales, le bâtiment ouvert se présente comme un système qui cherche à séparer les composantes de la structure d'accueil (sous le contrôle de la collectivité) des éléments détachables tels que l'enveloppe, les services et la finition intérieure (domaine d'intervention de l'occupant). Ayant un cycle de vie qui lui est propre, chacun des sous-systèmes peut être remplacé ou mis à jour afin de répondre aux nouveaux besoins et exigences, sans toutefois engendrer de démolition ou de reconstruction (CST, 2003; VAN ZWOL, 2005). Un bâtiment comportant une structure autoportante et des cloisons flexibles est plus susceptible de répondre adéquatement aux exigences du futur et aux besoins évolutifs des occupants. De plus, cette dissociation structure-services permet de libérer le processus architectural des contraintes reliées à la sphère mécanique, de la distribution de la tuyauterie, de la distribution électrique, ainsi que celle du chauffage et de la ventilation (KENDALL & TEICHER, 2000). En plus d'intégrer une capacité au changement, ce type de construction permet d'augmenter le niveau d'efficacité, le niveau de « soutenabilité » et, par extension, prolonge la durée de vie utile des bâtiments. Ensuite, ce mouvement a progressivement migré vers le secteur résidentiel sous des dénominations telles qu'OB (Open Building), S/I (Support/Infill), Skeleton Housing, Supports and Detachables, Houses that Grow, etc. Le mouvement « Open building » agit, dans la sphère résidentielle, comme une approche multidisciplinaire ayant pour objectif de créer des environnements durables qui suscitent l'implication de l'utilisateur dans la détermination de son espace de vie (KENDALL & TEICHER, 2000). L'occupant peut plus facilement contrôler les sous-systèmes tels que les cloisons, les installations mécaniques et les équipements, les portes, les mobiliers intégrés, les finis ainsi que tous les autres éléments nécessaires à la mise en forme d'un logement habitable. En conclusion, selon Stephen Kendall et Jonathan Teicher, l'approche « Open building », par l'évolution et le développement des sous-systèmes est, du point de vue

technique et organisationnel, la plus importante révolution de la deuxième moitié du 20e siècle en architecture (KENDALL & TEICHER, 2000).

2.3.4 Systèmes constructifs industrialisés, flexibles et démontables (IFD)

Le gouvernement des Pays-Bas fait figure de pionnier en faisant la promotion du développement des systèmes constructifs industrialisés, flexibles et démontables (IFD). Cette approche, qui s'inscrit aussi dans une perspective de développement durable, se base sur le constat que le dynamisme sociétal, les avancées technologiques et les besoins évolutifs de l'individu dans le temps suscitent désormais la prise en compte de caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité au niveau de la construction. Roger-Bruno Richard reprend la définition du mouvement architectural des systèmes constructifs industrialisés, flexibles et démontables (IFD) en mettant l'accent sur les concepts-clés (RICHARD, 2010c : p.315) :

- **Industrialisés:** l'industrialisation permet une simplification au niveau de la production, un amortissement des coûts sur la quantité, une plus grande durabilité et un niveau de précision optimal au niveau des interfaces de jointement;
- **Flexibles:** les interfaces de jointement mécaniques (dry-jointing) facilitent l'assemblage sur le site et permettent plus facilement le changement et l'adéquation aux nouveaux besoins, tout en éliminant la démolition;
- **Démontables:** la « démontabilité » est une caractéristique qui permet de prolonger le cycle de vie du bâtiment en évitant une démolition partielle ou totale. Le démantèlement permet ainsi de satisfaire un besoin de reconfiguration majeure ou de relocalisation.

Les critères d'adaptabilité et de flexibilité de cette approche engendrent une grande liberté de personnalisation aux premiers usagers du bâtiment. L'aménagement permettra ensuite de multiples changements spatiaux et temporels pour satisfaire aux nouveaux besoins ou aux usagers subséquents (RICHARD, 2006). Les systèmes constructifs IFD s'inscrivent dans une approche de durabilité exemplaire en proposant un niveau d'adaptabilité/flexibilité maximal, tout en engendrant un minimum de rejets.

Par conséquent, les systèmes constructifs industrialisés ne produisent pas de déchets sur le chantier puisqu'ils sont gérés directement à l'usine. Les caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité permettent aussi d'éliminer la production de débris de construction lors des phases de rénovation ultérieures et lorsque le bâtiment atteint un niveau de non-pertinence, la « démontabilité » du système lui permet d'éviter la démolition en procédant au démantèlement (RICHARD, 2010b).

Nous avons donc réussi, dans ce chapitre, à cerner deux autres thèmes inhérents à la problématique environnement-construction. En premier lieu, nous faisons état des approches de conception et des outils développés pour intégrer les nouvelles préoccupations environnementales et améliorer les pratiques actuelles reliées au bâtiment. Nous abordons également les concepts d'adaptabilité et de flexibilité tout en illustrant leur intégration dans certaines approches et mouvements émergents en architecture. Au niveau du chapitre suivant, nous présenterons le protocole de recherche développé pour valider l'hypothèse de recherche en traitant de l'aspect méthodologique et de la méthode utilisée pour la cueillette de données.

Chapitre 3

Protocole de recherche

Le chapitre du protocole de recherche fait état de la démarche utilisée pour mener à terme le présent projet de recherche. D'un point de vue méthodologique, nous présentons dans quel paradigme s'inscrit la présente investigation. De plus, nous élaborons sur les types de données qui sont considérées pour la recherche, ainsi que leurs différents types d'interprétation. Par la suite, nous exposons les trois thèmes retenus pour la revue de littérature, mais également la démarche générale associée à la méthode privilégiée pour la cueillette de données quantitatives : l'étude de cas multiples. Ensuite, nous présentons la méthodologie de l'analyse du cycle de vie en élaborant sur le cadre général et le processus d'application. De plus, nous traitons de l'analyse du cycle de vie simplifiée, développée pour alléger la cueillette de données, en prenant soin de présenter ses avantages et ses inconvénients. Cette déclinaison de l'ACV est utilisée pour procéder à l'analyse environnementale des différentes cloisons sélectionnées. En dernier lieu, nous parlons de l'outil méthodologique Eco-indicator⁹⁹ en présentant son mode opératoire.

3.1 Aspects méthodologiques

Le présent projet de recherche s'inscrit dans un modèle de recherche mixte. L'intégration de méthodes de recherche mixtes permet la combinaison de l'approche qualitative et quantitative au niveau d'une même investigation dans le but de cerner des sujets de recherche d'une plus grande complexité (YIN, 2009). Dans un premier temps, la recherche qualitative nécessite la mise en commun de différents types de données qui ont été répertoriées, organisées, analysées, dans le but ultime de leur donner un sens, de mener à une interprétation et à une compréhension du sujet d'étude (CRESWELL, 2007).

Dans un deuxième temps, la recherche quantitative établit ses fondements sur la science qui vise la connaissance du monde de façon objective, écartant ainsi les valeurs puisqu'elles ne peuvent produire qu'une vision contrefaite de l'état du monde. La thèse

de la neutralité de la science se base sur les concepts de l'observabilité, la reproductibilité et l'intersubjectivité (MELLOS, 1997). Dans la littérature, nous faisons état de trois modèles de méthodologie de recherche qui combinent l'aspect qualitatif et l'aspect quantitatif : l'approche de design en deux phases, l'approche de dominant-moins dominant et l'approche de méthodologie mixte (CRESWELL, 1994). Ces trois approches se différencient par le degré d'intégration et d'interaction au niveau des données. Notre recherche s'inscrit dans l'approche de méthodologie mixte qui sous-entend la combinaison d'aspects de nature quantitative et qualitative à plusieurs ou à toutes les étapes de la recherche. Cette mixité au niveau de la typologie des données augmente la complexité du projet mais permet de tirer avantage des deux modèles (CRESWELL, 1994; FELLOWS & LIU, 2008).

Au niveau de la démarche de cette recherche, nous nous sommes premièrement attardés à faire une revue de littérature exhaustive selon trois thèmes définis. Le premier objet consiste à dresser le portrait de la rénovation au Canada, ainsi que le profil de la gestion des débris de la construction, rénovation, démolition (CRD) au Québec. Subséquemment, le deuxième thème vise l'étude et l'analyse documentaire de certains outils développés afin de minimiser l'impact environnemental de l'industrie de la construction : le principe 3RV-E, le concept d'écoconception, l'écoconstruction et le programme de certification LEED®. Ensuite, la revue de littérature est poursuivie afin de bien cerner un troisième sujet, soit les concepts de flexibilité et d'adaptabilité au niveau de la construction. Dans une approche plus quantitative, une collecte de données est finalement réalisée afin de déterminer la performance environnementale de trois types de construction de cloisons en utilisant l'analyse du cycle de vie simplifiée et la méthode Eco-indicator99. Toute cette démarche vise à valider l'hypothèse que l'inclusion de critères de flexibilité et d'adaptabilité au niveau de l'habitation a le potentiel de réduire les impacts environnementaux générés par l'industrie de la construction.

3.1.1 Thème 1 – Portrait de l'industrie de la construction

Dans un premier temps, l'objectif est de bien cerner et comprendre la dynamique de l'industrie de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD).

Par conséquent, l'établissement d'une revue de littérature sur le profil de marché immobilier au Canada permet d'identifier la nature des travaux qui sont exécutés, leur ampleur, leur coût et la fréquence des interventions. De plus, le recensement des impacts environnementaux et sociaux de la CRD donne la possibilité de dresser un portrait environnemental des pratiques actuelles de l'industrie de la construction canadienne. Pour compléter cette analyse, une attention particulière est portée sur la gestion des débris de CRD au Québec. Nous cherchons ensuite à cerner les cadres législatifs et réglementaires inhérents à ce secteur, à investiguer la caractérisation des déchets générés par l'industrie de la construction et à analyser la performance du secteur de la CRD par rapport à la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles.

3.1.2 Thème 2 – Outils pour faire face au problème

Dans un deuxième temps, nous recensons et analysons les approches développées pour faire face aux problèmes environnementaux et sociaux engendrés par la construction résidentielle. Nous nous attardons au principe du 3RV-E qui encadre des processus tels que la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, la valorisation et l'enfouissement. Ensuite, nous abordons le concept de l'écodesign en déterminant le mode opératoire, les différentes approches et les différents niveaux d'écoconception. D'un point de vue analytique, nous cherchons à comprendre quelles sont les particularités de cette approche. Nous pourrions ensuite déterminer les caractéristiques principales induites au sein même du concept : la notion temporelle, l'approche technocentriste et le type d'encadrement. De façon plus spécifique, nous analysons également le concept de l'écoconstruction développé spécifiquement pour répondre aux besoins particuliers de l'industrie de la CRD. Cette nouvelle façon d'aborder et de concevoir les projets permet de développer une multitude d'outils de conception et d'évaluation des performances environnementales. En construction, l'outil le plus populaire en Amérique du Nord est sans contredit le programme de certification LEED®. Afin de bien maîtriser le contenu du programme LEED®, nous avons suivi la formation et obtenu le titre de « professionnel agréé LEED® » attribué par le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa). Enfin, par l'analyse documentaire de plus de cinquante monographies et articles traitant de la certification LEED®, il est possible de recenser

une multitude de critiques qui sont regroupées sous différents thèmes : les critiques sur la méthodologie du système, sur l'usage du procédé de certification, sur les résultats encourus et finalement sur la pertinence même du programme LEED®. Le but de cette analyse est de bien saisir les forces et faiblesses de ce type d'outil dans l'amélioration des performances environnementales de la construction.

3.1.3 Thème 3 – Adaptabilité et flexibilité

Dans un troisième temps, nous cherchons à cerner les notions reliées à la flexibilité et à l'adaptabilité au niveau du bâtiment. La consultation de plusieurs ouvrages et articles contribue à mettre en lumière les besoins au niveau de l'adaptabilité et de la flexibilité qui sont tributaires des transformations familiales, du vieillissement, de la mobilité et de l'intégration des nouvelles technologies. Cela nous permet ensuite d'identifier les types de changement que l'adaptabilité/flexibilité a le potentiel d'engendrer en définissant les différents procédés et les différentes formes possibles. Plusieurs informations sont également regroupées sur les principes d'intervention, les types d'interactions qui existent entre les systèmes du bâtiment et les différentes avenues qui peuvent être considérées pour atteindre un certain niveau de flexibilité et d'adaptabilité. De plus, nous cherchons à mettre en lien la conception et la notion d'adaptabilité/flexibilité en décrivant les différentes approches de design et les multiples stratégies présentement utilisées dans l'industrie. Nous voulons, de plus, incorporer les approches et mouvements émergents en architecture qui intègrent les notions reliées à la flexibilité et à l'adaptabilité: l'industrialisation, les systèmes constructifs industrialisés, le mouvement « Open building » et les systèmes constructifs industrialisés, flexibles et démontables (IFD). Aussi, dans le cadre du cours universitaire de deuxième cycle *Séminaire en technologie du bâtiment* suivi à l'automne 2009 au Japon, il a été possible de visiter des usines de préfabrication de bâtiments ou de composantes, qui utilisent des technologies de pointe pour améliorer l'impact environnemental et social de la construction (Panahome, Misawa Home, Sekisui Chemical, Sekisui House, Asahi Hebel Haus, Takahashi P.C. Curtain Walls et Urban & Housing Technology Research Institute). Nous avons également pu avoir accès au projet d'habitation Next21, considéré comme la référence mondiale au niveau de l'adaptabilité et de la flexibilité. Cette approche d'avant-garde confronte la vision nord-américaine de

la construction et ce, à plusieurs niveaux. Ce séminaire a aussi permis l'étude et la comparaison de plusieurs procédés de construction et de différents types de cloisons comportant des caractéristiques de « démontabilité » et de flexibilité.

3.1.4 D'une approche qualitative à une approche quantitative

Finalement, dans une approche plus quantitative, il est pertinent de procéder à l'évaluation environnementale de différents types de construction de cloisons. Ainsi, prendre part à une formation sur l'analyse du cycle de vie au Centre interuniversitaire de recherche sur l'analyse du cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) permet de caractériser l'empreinte environnementale de l'ossature de trois types de cloisons, soit la cloison à ossature de bois, la cloison à ossature d'acier et la proposition de cloison à ossature d'aluminium, en utilisant la méthode Eco-Indicator99.

3.1.4.1 Étude de cas multiples

Dans le protocole de la présente recherche, nous privilégions l'utilisation de la méthode de l'étude de cas multiples. Cette technique qui se situe dans une approche constructiviste, mais de type exploratoire puisque le chercheur envisage sa recherche avec certaines idées et concepts en tête (GAGNON, 2005). Bien que cette méthode soit souvent associée à la recherche qualitative (CRESWELL, 2007; GAGNON, 2005), l'étude de cas peut être de nature uniquement quantitative ou elle peut se bâtir sur une combinaison des deux approches (FELLOWS & LIU, 2008; KNIGHT & RUDDOCK, 2008; YIN, 2009). L'étude de cas est un outil axé sur l'observation et la description qui engendrent l'analyse et l'explication d'un phénomène de façon holistique. Dans sa démarche, cette méthode considère aussi bien l'expérience des acteurs que les critères reliés au contexte (CRESWELL, 2007). L'étude de cas se compose des cinq éléments suivants (YIN, 2009) :

1. La question de recherche;
2. Les propositions ou les suppositions, s'il y a lieu;
3. La définition de l'unité d'analyse;
4. La logique qui relie les données aux propositions/suppositions;
5. Les critères d'interprétation des résultats.

La spécificité de l'étude de cas multiples est qu'elle rassemble et analyse de deux à plusieurs cas. Cette démarche puise son fondement dans le fait qu'un phénomène est susceptible de se produire dans des situations variées. Au niveau du choix des cas à utiliser lors de l'étude, il ne faut pas nécessairement viser un échantillon statistiquement représentatif, mais il est souvent préférable de sélectionner les cas qui ont le potentiel d'informer et de nourrir la recherche (GAGNON, 2005). Ceux-ci peuvent être choisis pour leurs similarités, leurs différences, leurs caractéristiques distinctes, leurs variations (GAGNON, 2005; KNIGHT & RUDDOCK, 2008). La valeur de l'étude de cas repose en grande partie sur la rigueur dont fait preuve le chercheur et « *son utilisation doit prendre pour assise une démarche systématique où la validité et la fiabilité des données et des résultats sont démontrées* » (GAGNON, 2005 : p.4). Pour la présente recherche, nous choisissons d'analyser l'empreinte environnementale de l'ossature de cloisons intérieures. Nous avons sélectionné deux typologies existantes, soit la construction à ossature de bois traditionnelle et la construction à ossature d'acier principalement utilisée dans le domaine commercial et institutionnel. De plus, nous ajoutons un nouveau scénario dans l'analyse comparative en intégrant un concept de construction de cloisons développé pour le projet final des études de baccalauréat en design industriel. Cette nouvelle façon d'aborder la construction des cloisons, ainsi que les deux autres cas, sont présentés en détail au chapitre 4.

3.2 Analyse du cycle de vie

La tendance mondiale actuelle tend à privilégier un développement durable basé sur une réduction de la trace environnementale. Cette démarche exige l'utilisation de méthodes d'évaluations scientifiques fiables qui permettent de quantifier et de caractériser les impacts réels des matériaux et des procédés sur l'environnement (FRENETTE, 2009). La prise de conscience accrue face à l'importance de protéger l'environnement augmente l'intérêt pour le développement de méthodes destinées à mieux comprendre les relations de cause à effet des impacts (ISO, 2006). En effet, à l'échelle du produit, du procédé ou du service, l'analyse du cycle de vie (ACV) est aujourd'hui la méthode qui permet de saisir le niveau d'impact environnemental de chacune des étapes du cycle de vie, soit du berceau au tombeau (Cradle to grave). Cette analyse systématique et exhaustive, normalisée par les Normes ISO 14040, évalue les impacts environnementaux de l'acquisition des ressources (extraction et transformation), de la fabrication (assemblage et emballage), de la distribution (entreposage, manutention et transport), de l'utilisation (entretien, réparation et réutilisation) et de la gestion en fin de vie (collecte, recyclage, revalorisation et enfouissement) (ISO, 2006).

Cet outil est avant tout employé pour comparer les charges environnementales de différents produits, processus et systèmes entre eux, ainsi que les différentes étapes du cycle de vie d'un même produit (JOLLIET et al, 2005). Il permet d'identifier les points sur lesquels un produit peut être amélioré et il contribue au développement de nouveaux produits. L'analyse du cycle de vie est particulièrement intéressante dans la perspective de durabilité puisqu'elle permet d'identifier et d'éviter le déplacement de charges environnementales potentielles entre les différentes étapes du cycle de vie ou entre des processus particuliers (ISO, 2006; JOLLIET et al, 2005). Par rapport à d'autres méthodes, elle présente l'avantage d'engendrer une forte interaction entre la performance environnementale et la fonctionnalité puisque les émissions polluantes et l'utilisation de matières premières sont rapportées à la fonction du produit ou du système étudié (JOLLIET et al, 2005).

3.2.1 Cadre général

Tel que mentionné précédemment, l'analyse du cycle de vie (ACV) évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière. L'ACV comporte quatre phases distinctes (ISO, 2006; JOLLIET et al, 2005;) :

1. Définition des objectifs et du système;
2. Inventaire des émissions et des extractions;
3. Analyse de l'impact environnemental;
4. Interprétation.

La définition des objectifs et du système permet de poser le problème, de définir les objectifs et de cerner le champ de l'étude. Cette première phase permet de déterminer une série d'éléments très importants : la fonction du système, l'unité fonctionnelle et les limites du système considéré (JOLLIET et al, 2005).

- **La fonction du système** : dans une perspective où un système peut intégrer plusieurs fonctions, nous devons déterminer la ou les fonctions qui seront retenues pour l'étude. Il est également possible, à cette étape, d'identifier des fonctions principales et des fonctions dites secondaires;
- **L'unité fonctionnelle** : se définit comme une unité de grandeur qui sert à quantifier la fonction du système et qui permet ultimement de procéder ultimement à des comparaisons. Cette référence est nécessaire pour assurer la comparabilité des résultats d'une ACV (ISO, 2006). Ainsi, pour une unité fonctionnelle donnée, nous mesurons les flux de référence, i.e. les ponctions et les rejets nécessaires pour remplir la fonction. Les facteurs reliant l'unité fonctionnelle aux flux de référence deviennent des paramètres-clés au niveau environnemental pour optimiser le système (durée de vie, nombre possible de réutilisations ou quantité de matière utilisée).
- **Les limites du système** : cet aspect sert à déterminer quels sont les éléments à considérer pour la modélisation du système étudié. La fonction du système est également à la base de cette définition puisque les limites du système incluent, par définition, tous les processus nécessaires à la réalisation de sa fonction.

La phase d'inventaire des émissions et des extractions permet de quantifier les émissions polluantes engendrées dans l'air, l'eau et le sol ainsi que les extractions des matières premières renouvelables ou non renouvelables (JOLLIET et al, 2005). L'inventaire inclut le recueil des données qui permettent de quantifier les intrants et les extrants pertinents d'un produit ou d'un système de produits (ISO, 2006). Pour faciliter la tâche, il est aujourd'hui possible d'avoir recours à certaines bases de données. Par contre, l'obtention de données d'inventaire de sources fiables et qui sont mises à jour périodiquement n'est pas évidente et cette réalité a le potentiel de compromettre l'application de l'analyse du cycle de vie (JOLLIET et al, 2005). Nous pouvons également compter sur des outils informatiques tels que SimaPro® et GaBi® qui semblent être les logiciels les plus complets et les plus utilisés. SimaPro® est vraisemblablement le logiciel le plus répandu et le mieux adapté à une présentation simple des résultats d'inventaire et d'analyse de l'impact (JOLLIET et al, 2005).

Ensuite, l'analyse de l'impact environnemental évalue les effets sur l'environnement des émissions et des extractions qui sont recensées au niveau de la phase d'inventaire des émissions et des extractions (JOLLIET et al, 2005). Cette étape a pour but d'évaluer le niveau de dommages généré par chacune des substances. Pour ce faire, nous avons recours à des méthodes qui permettent d'agréger les émissions en fonction de leur potentiel à causer un ou plusieurs impacts environnementaux. Plusieurs méthodes d'analyse d'impacts ont été développées pour permettre la pondération des émissions, dont TRACI, IMPACT 2002+ et Eco-indicator99. Ces méthodes sont simples à appliquer et permettent de comparer les substances entre elles. Leur but est donc de relier les données d'inventaire aux dommages environnementaux causés par les substances inventoriées (JOLLIET et al, 2005). Les différentes étapes de cette analyse sont la classification des émissions dans les différentes catégories d'impacts, la caractérisation intermédiaire des impacts et la caractérisation des dommages.

La phase d'interprétation a pour but d'identifier les étapes du cycle de vie sur lesquelles il est souhaitable d'intervenir afin de minimiser l'impact environnemental du produit, du système ou du service étudié. L'identification des points sensibles sur lesquels il convient d'agir s'effectue sur la base des résultats d'inventaire et d'analyse de

l'impact. Pour définir les priorités d'action, nous pouvons nous concentrer sur les étapes du cycle de vie qui génèrent le plus d'impacts. Ceci peut cependant être relativement arbitraire et dépend de la manière dont le système a été modélisé (JOLLIET et al, 2005). Cette phase de l'ACV permet d'analyser les résultats obtenus, tirer des conclusions, expliquer les limites de l'étude, apporter des recommandations et aboutir à une prise de décision conforme à la définition des objectifs et du champ de l'étude (ISO, 2006). Par conséquent, pour être utilisée comme outil d'aide à la décision, cette phase doit réussir à extraire des informations compréhensibles et utilisables à partir des résultats d'une ACV (ISO, 2006; JOLLIET et al, 2005).

3.2.2 Analyse du cycle de vie simplifiée

La principale critique faite à l'égard de l'analyse du cycle de vie est très certainement en lien avec sa lourdeur d'exécution. La réalisation de l'ACV nécessite en effet la mobilisation de ressources importantes en temps, en argent et en effectifs. Cette réalité a mené au développement de l'analyse du cycle de vie simplifiée (ACVS) (LECLERC, 2004; LEWIS & GERTSAKIS, 2001; TISCHNER et al, 2000). Ces contraintes stimulent le développement de l'analyse du cycle de vie simplifiée afin de rendre la démarche plus accessible, et ce, tout en conservant une méthodologie et un cadre de référence reconnus. Par conséquent, pour procéder à cette simplification, nous pouvons choisir de limiter l'analyse en ciblant une ou plusieurs étapes du cycle de vie, en incluant ou en excluant des composantes d'un produit ou en privilégiant certaines catégories d'impacts. Nous pouvons également réaliser une ACVS en utilisant des méthodologies d'agrégation ou de pondération des catégories d'impacts, telles que les éco-indicateurs (THIBAUT, 2007). La réalisation d'une ACVS procure plusieurs avantages si nous la comparons à une ACV (GRAEDEL, 1998) :

- **Plus efficace** : nécessite quelques jours au lieu de quelques mois;
- **Plus économique** : peut souvent être réalisée à l'interne par des employés non spécialisés;
- **Applicable en amont** : peut être conduite durant les phases préliminaires de design, au moment où les possibilités de changement sont aisées et sans grandes répercussions;

- **Meilleure « utilisabilité »** : les avantages mentionnés précédemment rendent l'outil utilisable à tout moment et sur une gamme étendue de produits.

Par contre, l'analyse du cycle de vie simplifiée n'est pas parfaite. En comparaison avec l'ACV, elle procure quelques désavantages (GRAEDEL, 1998) :

- **Couverture incomplète** : ne permet pas de couvrir tous les flux de matières;
- **Manque de flexibilité** : ne permet pas la comparaison complète d'approches différentes utilisées pour répondre à un même besoin;
- **Moins efficace dans le temps** : ne permet pas de faire état des améliorations dans le temps; d'un point de vue environnemental, il devient donc impossible de déterminer, sans équivoque, qu'un produit est plus performant que son prédécesseur.

Pour les besoins de cette recherche, la méthodologie de l'ACVS est privilégiée pour plusieurs raisons. Malgré le fait que l'analyse du cycle de vie soit un bon outil pour évaluer la performance environnementale d'un produit, et nonobstant aussi le fait qu'elle soit utilisée par les designers, l'ACV demeure une pratique coûteuse et dont la réalisation nécessite beaucoup de temps (GOEDKOOOP et al, 2000). De plus, la difficulté à interpréter les résultats d'une analyse du cycle de vie mène à l'utilisation d'une méthode de pondération (weighting) qui a recours à des données préétablies pour les matériaux et procédés les plus couramment utilisés : Eco-indicator99. Ainsi, la méthodologie des Eco-indicator99 a été développée afin de procurer aux designers un outil efficace et facile à utiliser qui permet une comparaison facile entre les différents cas choisis pour l'étude.

3.3 Méthode Eco-indicator99

La méthodologie d'Eco-indicator99 a été conçue en Hollande par Pré Consultant. Cette démarche considère les dommages sur la santé humaine, sur la qualité des écosystèmes et sur les ressources minérales et fossiles pour identifier les effets qui génèrent les impacts les plus importants et ensuite les relier aux émissions de l'inventaire (JOLLIET et al, 2005). Les éco-indicateurs sont des données scientifiques agrégées basées sur des données de l'analyse du cycle de vie. Ils permettent de quantifier l'impact environnemental d'un produit ou d'un procédé en fournissant une note unique exprimée en millipoints (mPt). La valeur correspond à la charge environnementale totale et elle est établie selon le consensus que plus le chiffre est élevé, plus l'impact sur l'environnement est important.

3.3.1 Cadre général

La méthode Eco-indicator99 fournit des valeurs pour chacune des étapes du cycle de vie : la production de matériaux, les procédés de fabrication, le transport, la production d'énergie et la fin de vie. Au niveau de la production de matériaux, nous considérons l'extraction de la matière première ainsi que toutes les étapes subséquentes qui mènent à la production du matériau brut. Il est à noter que l'impact de tous les transports nécessaires est ajouté, mais que la machinerie, les bâtiments et autres constructions ne sont pas inclus (GOEDKOOOP et al, 2000). Au niveau des procédés de fabrication, nous considérons les émissions provenant du procédé lui-même, mais également celles engendrées par la production de l'énergie utilisée dans le processus. Tout comme dans la production de matériaux, la machinerie n'est pas considérée. Au niveau du transport, nous incluons dans les calculs, les émissions provenant de l'extraction et de la production des énergies fossiles. Les biens de production tels que les camions, les infrastructures routières et ferroviaires, ainsi que la manutention dans les aéroports sont calculés puisqu'ils représentent un impact non négligeable (GOEDKOOOP et al, 2000). Ensuite, au niveau de l'énergie, nous considérons l'extraction et la production du pétrole, la conversion en énergie et la production d'électricité. Notez que les différences entre les pays s'expliquent essentiellement par la composition du profil de production énergétique de chacun (GOEDKOOOP et al, 2000). Au niveau de la fin de vie, nous proposons différents scénarios : déchets traités au niveau

domestique, déchets traités au niveau municipal, incinération, sites d'enfouissement et recyclage.

La méthode Eco-indicator99 se divise en cinq étapes (GOEDKOOOP et al, 2000) :

1. **La première étape** consiste à établir clairement les buts visés par l'établissement du profil environnemental avec l'Eco-indicator99. Nous y retrouvons principalement la description du produit analysé ou, le cas échéant, la description des produits qui seront comparés entre eux;
2. **La deuxième étape** consiste à établir le cycle de vie des produits en réalisant l'arbre des procédés qui devient la représentation schématique ou graphique de chacun des produits comparés;
3. **La troisième étape** consiste, dans un premier temps, à déterminer l'unité fonctionnelle à partir de laquelle tous les produits pourront être comparés entre eux. L'unité fonctionnelle détermine l'aspect quantitatif et l'aspect temporel du cycle de vie de chacun des produits. Dans un deuxième temps, l'unité fonctionnelle permet de quantifier tous les matériaux et les procédés pertinents de l'arbre des procédés;
4. **La quatrième étape** de la méthode Eco-indicator99 consiste à établir la somme des impacts. Suite à la quantification précédente, nous utilisons la base de données de la méthode pour associer chacun des matériaux et procédés, de chacune des étapes du cycle de vie, à l'indicateur qui lui est propre afin de calculer l'impact environnemental de chaque produit;
5. **La dernière étape** consiste à interpréter les résultats afin de mettre en lumière les étapes du cycle de vie qui ont le plus d'impacts au niveau de chaque produit et de comparer la performance des produits entre eux.

Suite à l'explication de la démarche abordée pour mener à terme ce projet d'investigation, nous procédons à la présentation de la cueillette de données qui a été conduite pour permettre la validation de l'hypothèse de recherche. Les analyses du cycle de vie simplifiées des trois ossatures de cloisons sont présentées et, par la suite, comparées entre elles dans la section de la discussion.

Chapitre 4

Analyses du cycle de vie simplifiées des cloisons

La cueillette de données est réalisée afin de mettre en lumière le niveau d'impact environnemental de l'ossature de trois types de construction de cloison : la construction traditionnelle à ossature de bois, la construction à ossature d'acier galvanisé et une proposition de construction de cloison à ossature d'aluminium. Dans un premier temps, nous élaborons sur la démarche abordée par l'analyse du cycle de vie simplifiée en présentant l'organisation de la présentation des résultats, les buts de l'ACVS, ainsi que l'unité fonctionnelle retenue. Par la suite, les trois systèmes de cloison sont expliqués et l'analyse environnementale de chacun est présentée suivant les trois étapes suivantes : la définition du cycle de vie, la quantification des impacts et l'interprétation des résultats. Finalement, nous terminons par une discussion qui traite de la comparaison des résultats de chacun des systèmes entre eux. Nous mettons en relation les caractéristiques générales, les résultats des ACVS au niveau de chacune des étapes du cycle de vie (production des matériaux, procédés de fabrication, transport, usage et fin de vie) et nous élaborons également sur la relation entre l'unité fonctionnelle et la notion temporelle.

4.1 ACVS

Pour faciliter la compréhension des résultats, nous exposons, dans un premier temps, les buts du calcul de l'analyse de cycle de vie simplifié avec Eco-indicator99. Ensuite, nous présentons les spécificités de l'unité fonctionnelle retenue pour la présente recherche. Cette façon de faire ne respecte pas tout à fait la méthodologie d'Eco-indicator99 exposée au chapitre précédent. Par contre, elle permet de présenter, de façon claire, chacun des systèmes de construction de cloison analysés en dévoilant l'arbre des procédés de chacun, ainsi que le formulaire contenant les résultats des calculs d'impact.

4.1.1 Buts de l'ACVS

Dans le même esprit que l'analyse du cycle de vie, l'utilisation de la méthode Eco-indicator99 permet d'effectuer une comparaison au niveau du profil environnemental de deux ou plusieurs produits. Dans la présente analyse, nous dressons le portrait environnemental de deux typologies existantes de construction de cloisons intérieures, soit la construction à ossature de bois traditionnelle et la construction à ossature d'acier. De plus, nous incluons aussi l'analyse d'un nouveau scénario en intégrant un concept de construction de cloison à ossature d'aluminium développé durant les études de premier cycle en design industriel (PATENAUDE, 2007) et qui est expliqué au niveau de la section 4.4 de ce présent chapitre. Cette analyse environnementale permet de mettre en lumière les étapes du cycle de vie qui sont à l'origine des impacts les plus importants. De plus, il est intéressant de déterminer si les caractéristiques de flexibilité intégrées dans le projet de construction de cloison à ossature d'aluminium (accessibilité des composantes intérieures, « démontabilité », réutilisation des éléments du système, séparation aisée des matériaux, « recyclabilité ») peuvent mettre en place des scénarios qui pourraient supposer une amélioration de l'empreinte environnementale de la construction. Avant de débiter, il est important de clarifier que le présent projet concerne seulement les murs secondaires, dits non porteurs. Ces derniers ne contribuent donc pas à supporter de charges autres que leur propre poids et sont habituellement érigés après les murs porteurs, les planchers et les plafonds. La fonction principale de ce type de structure est la division de l'espace intérieur. Comme fonctions secondaires, nous dénotons le support des parements muraux, la distribution de l'électricité et de la plomberie, l'isolation acoustique et finalement l'isolation thermique minimale.

Il est à noter que certains éléments jugés identiques et communs aux trois systèmes de construction de cloisons intérieures sont exclus de l'analyse. Par conséquent, nous mettons l'emphase sur l'ossature des systèmes en plaçant en dehors du système certains éléments tels que la porte, les panneaux de revêtement muraux (en gypse ou autre) et leur finition (plâtre et peinture), les éléments de plomberie, d'électricité et les composantes périphériques telles que les prises électriques, les interrupteurs à bascule, les gradateurs d'intensité, les sorties téléphoniques, les sorties de câblodistribution, etc.

4.1.2 Unité fonctionnelle

De façon à être le plus représentatif possible de la réalité, nous devons déterminer une unité fonctionnelle qui permettra la comparaison des systèmes de cloisons entre eux. Pour ce faire, une analyse de vingt projets d'aménagement résidentiels a été accomplie afin de déterminer un dénominateur commun à partir duquel l'analyse de cycle de vie simplifiée est construite (**Tableau 4**). Les facteurs répertoriés dans l'analyse de plans sont la superficie habitable, le nombre de pièces, le nombre de portes et finalement la quantité de pieds linéaires de murs utilisés pour diviser les différents espaces.

#	Superficie (pieds carrés)	Nb pièces	Nb portes	Moyenne porte/p.c.	Murs intérieurs (pieds linéaires)	Moyenne p.l. /p.c.
1	2860	8.5	25	0.009	339	0.119
2	2550	12.5	27	0.011	322	0.126
3	2350	10	20	0.009	197	0.084
4	2200	10	15	0.007	240.75	0.109
5	2150	12	24	0.011	264.25	0.123
6	2130	15.5	29	0.014	359.25	0.169
7	2110	14.5	20	0.009	327.00	0.154
8	1750	9.5	24	0.014	227.75	0.131
9	1730	9.0	23	0.013	216.25	0.124
10	1665	9.0	14	0.008	169.00	0.102
11	1600	5.0	11	0.007	125.25	0.078
12	1580	7.5	11	0.007	134.50	0.085
13	1560	8.0	16	0.010	174.50	0.112
14	1555	6.0	9	0.006	129.50	0.083
15	1330	7.0	10	0.008	117.50	0.088
16	1200	7.0	7	0.006	120.00	0.100
17	1148	5.5	6	0.005	90.00	0.078
18	1080	6.0	11	0.010	135.75	0.126
19	1065	6.0	10	0.009	110.50	0.104
20	950	4.5	10	0.011	122.50	0.129
~	1728.15	8.65	16.10	0.009	196.11	0.111

Tableau 4 : Tableau regroupant les données d'analyse de plans qui ont mené à l'établissement de l'unité fonctionnelle.

L'échantillonnage comporte des projets dont la superficie se situe entre 950 pieds carrés et 2860 pieds carrés, ayant de 4,5 à 15,5 pièces, où nous dénombrons de 6 à 29 portes et qui incluent entre 90 et 359.25 pieds linéaires de cloisons. Cette quantité diversifiée de données a permis d'établir une moyenne de 0,009 porte par pied carré et une quantité moyenne de 0,111 pied linéaire de murs par pied carré. En supposant

d'emblée que nous devons intégrer une porte dans notre analyse afin d'être pleinement représentatif, cette donnée permet d'établir l'unité fonctionnelle à considérer. En divisant le nombre moyen de pieds linéaires de murs intérieurs (196.11 pieds linéaires) par le nombre moyen de portes (16.10 portes), nous obtenons donc la largeur du mur qui sera analysée : une cloison intérieure d'une largeur de douze pieds linéaires, ayant une hauteur de huit pieds et comportant une porte. La durée de vie est aussi un facteur important de l'unité fonctionnelle. Par contre, dans la présente analyse, ce facteur temporel sera abordé à la fin de ce chapitre, au niveau de la discussion.

4.2 Construction à ossature de bois

La construction résidentielle au Canada est très majoritairement orientée vers la construction à ossature de bois. Ce système est demeuré inchangé depuis plusieurs années et consiste en un assemblage de lisses, de sablières, de linteaux, de potelet, de poteaux nains et de montants de bois de résineux (épinette, pruche, sapin) (**Figure 1**). À cet assemblage de base, nous intégrons une boîte de porte en pin et pour la finition des murs, le parement mural le plus utilisé est sans contredit le panneau de gypse. Sous la forme la plus connue, le système de construction avec panneaux de gypse nécessite des applications multiples de plâtre et ultimement, l'enduction de quelques couches de peinture pour atteindre un fini uniforme caractéristique. Ces étapes successives ont le désavantage de priver le système de toute forme de flexibilité. Il devient donc difficile de procéder à des changements, des ajouts et des réparations tant au niveau du mur lui-même qu'au niveau de ses composantes internes. Lors des rénovations, cette situation entraîne des travaux plutôt laborieux et provoque une démolition systématique ayant pour effet de reléguer des débris hétérogènes directement aux rebuts. Nous tenons cependant à rappeler que la porte et le parement mural de gypse sont exclus de l'ACVS.

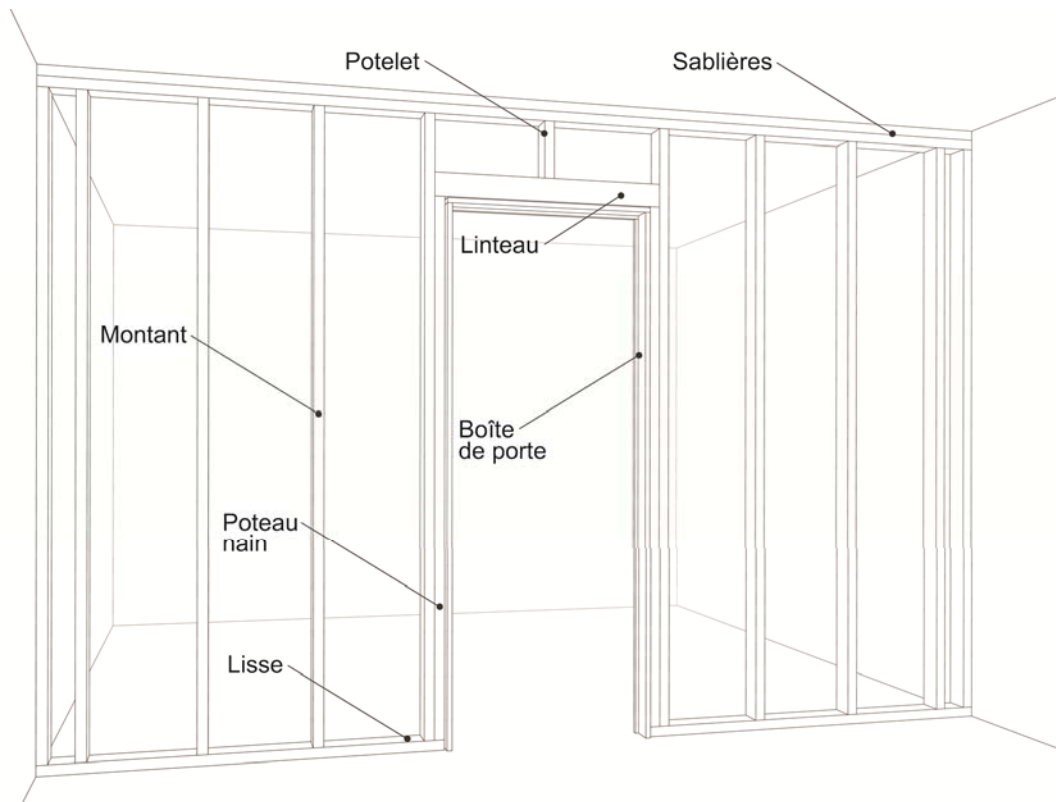


Figure 1 : Représentation graphique de la cloison à ossature de bois.

4.2.1 Définir le cycle de vie

L'arbre des procédés, tel que présenté dans la méthodologie d'Eco-indicator99, est la représentation graphique du cycle de vie d'un produit (**Figure 2**). Premièrement, le système de construction de cloison à ossature de bois se compose d'acier, d'épinette noire (et/ou de pruche, et/ou de sapin), de pin blanc et de panneau de bois. Ces matières premières sont regroupées sous la bannière « production de matériaux », soit la première étape du cycle de vie représentée. Ensuite, chacun de ces matériaux doit subir une ou plusieurs transformations que nous nommons les « procédés de fabrication ». Dans le cas qui nous intéresse, nous dénotons le formage à froid de l'acier pour la mise en forme des clous et la découpe du bois. Par contre, la mise en forme des produits ligneux est déjà incluse dans l'indicateur de production des matériaux. Ensuite, la prochaine étape du cycle de vie concerne le « transport ». La présente analyse considère le trajet spécifique effectué entre le producteur qui a transformé la matière première en un matériau/produit fini et le détaillant où il est possible de se le procurer.

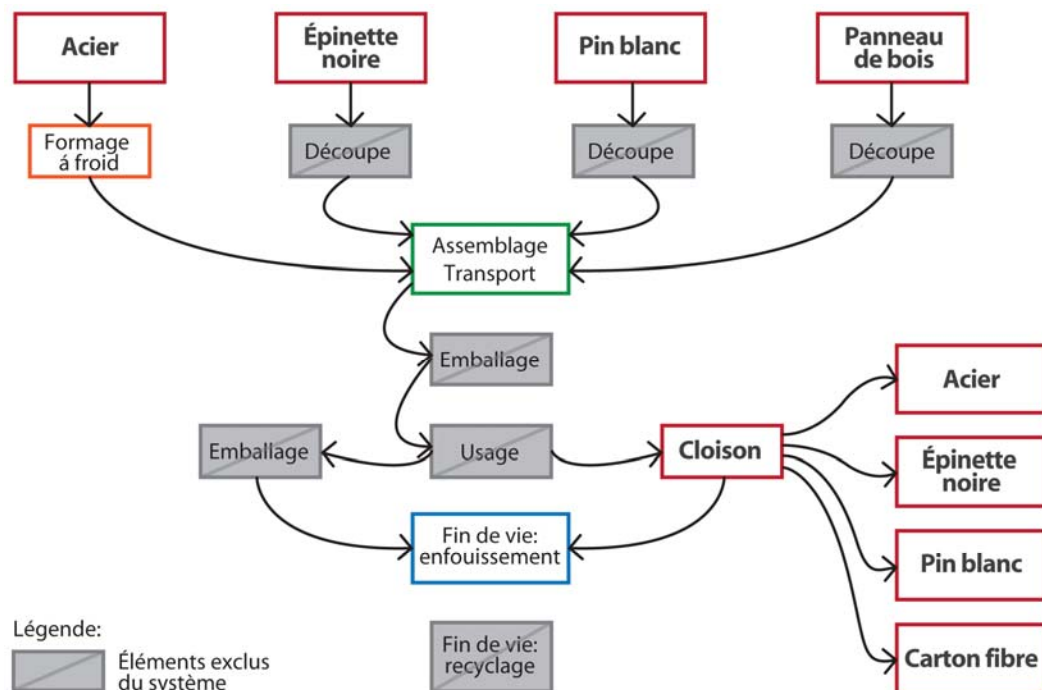


Figure 2 : Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature de bois.

Par la suite, le produit analysé est un système de construction qui nécessite très peu ou pas d'emballage lors des différentes manipulations ou déplacements. Pour cette raison,

l'emballage a été exclu du système. Il en va de même pour l'usage du système qui, étant catégorisé comme un système passif, ne nécessite aucun apport extérieur en énergie ou en ressources afin de maintenir ses fonctions. L'étape ultime concerne la fin de vie du système de construction de cloison. Dans ce cas précis, l'enfouissement par volume correspond à la réalité de l'industrie. Il est à noter que le recyclage des matériaux est tout de même intégré à l'arbre des procédés à titre indicatif seulement.

4.2.2 Quantifier les impacts

Après avoir établi l'arbre des procédés, l'unité fonctionnelle nous permet de quantifier toutes les étapes du cycle de vie du système de construction à ossature de bois et de remplir les différents tableaux en associant les différents facteurs de multiplication retrouvés dans les bases de données de l'Eco-indicator99 (*Tableau 5*).

Production de matériaux

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature de bois				
Acier	0,848 kg	110	93,236 mpt	18,59
Épinette noire	55,674 kg	6,6	367,448 mpt	73,28
Pin blanc	4,339 kg	6,6	28,637 mpt	5,71
Panneau de bois	0,310 kg	39	12,090 mpt	2,41
	61,171 kg		501,412 mpt	100

Procédés de fabrication

Procédés	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature de bois				
Découpe bois	n/d	n/d	n/d mpt	n/d
Former à froid	0,848 kg	23	19,495 mpt	100
			19,495 mpt	100

Transport par poids

Kilométrage	Quantité	Indicateur	Total	%	
Ossature de bois					
Camion 40 t. (km) (Delson-Montréal)	35,2	0,061 tonne	15	32,208 mpt	100
			32,208 mpt	100 ¹	

Fin de vie: enfouissement par volume

Catégorie	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature de bois				
Site d'enfouissement	1,049 m ³	140	146,860 mpt	100
			146,860 mpt	100 ²

Fin de vie: recyclage

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature de bois				
Acier	0,848 kg	-70	-59,332 mpt	100
Épinette noire	55,674 kg	n/d	n/d mpt	n/d
Pin blanc	4,339 kg	n/d	n/d mpt	n/d
Panneau de bois	0,310 kg	n/d	n/d mpt	n/d
	61,171 kg		-59,332 mpt	100 ³

Somme des indicateurs

Rubriques	Total	%	
Ossature de bois			
Production des matériaux	501,412 mpt	83,96	
Procédés de fabrication	19,495 mpt	3,26	
Transport par poids	32,208 mpt	5,39 ¹	
Fin de vie: enfouissement par volume	146,860 x 30%	44,058 mpt	7,38 ²
Fin de vie: recyclage	n/a mpt	n/a ³	
Grand total	597,173 mpt	100	

Notes

- ¹ Le moyen de transport sélectionné dans le présent scénario (camion 40 t.) ne permet que le calcul de l'impact du transport en fonction du poids du système de produits.
- ² Au niveau des calculs d'impact pour l'étape de la fin de vie, l'enfouissement par volume a premièrement été calculé pour chacun des éléments séparés du système. Par contre, il a été jugé plus représentatif de calculer le volume de la cloison assemblée comme un tout. Le résultat des calculs est ensuite ajusté à un pourcentage de 30% afin de mieux représenter la réalité.
- ³ Il faut noter que le scénario de fin de vie par recyclage n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature de bois et l'ossature d'acier puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.

Tableau 5 : Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature de bois.

4.2.3 Interpréter les résultats

Dans l'analyse du système à ossature de bois, l'unité fonctionnelle permet d'identifier 146 pièces différentes ayant un poids total de 61,17 kg. Au niveau de la production de matériaux, nous dénombrons l'épinette noire (et/ou la pruche, et/ou le sapin) utilisée pour les pièces de bois (lisse, sablière, montant, poteau nain, potelet et linteau), le pin blanc pour la boîte de porte (bâti et astragale) et finalement l'acier galvanisé des différents types de clous utilisés lors de l'assemblage. D'entrée de jeu, nous dénotons que l'indicateur pour la production de bois massif est très peu élevé. Alors, malgré le fait que les matériaux d'origine ligneuse représentent à eux seuls 98,6% du poids total du produit, nous obtenons une somme de 408,175 mPt, soit 81% des impacts du produit. Au niveau des procédés de fabrication, nous ne retrouvons que le formage à froid de l'acier des clous puisque, tel que mentionné précédemment, la mise

en forme des produits ligneux est déjà incluse dans l'indicateur de production des matériaux. Au niveau du transport, nous calculons le trajet entre le fournisseur de bois (Goodfellow inc.) situé à Delson et le détaillant (Villeneuve L. & fils – centre de rénovation et de matériaux de construction) situé dans le quartier Petite-Patrie à Montréal, soit un trajet qui représente 35,2 km. Au niveau de cette rubrique, le camion de 40 tonnes comme choix du moyen de transport impose un calcul qui considère le poids du produit. Au niveau de la fin de vie, nous devons faire le choix entre prendre en compte le poids du produit ou son volume. Selon le profil actuel de l'industrie, l'enfouissement par volume est jugé plus représentatif de la réalité puisqu'il est presque impossible de séparer les matériaux qui sont relégués au site d'enfouissement suite à la démolition. À cet effet, nous considérons le volume total de la cloison, un résultat qui est ensuite réduit à 30% puisque le système est fractionné en pièces pour être mis en décharge et qu'il comporte beaucoup d'espace d'air. Malgré ce fait, l'exercice de quantification de l'étape du recyclage est complété même s'il n'existe aucun indicateur pour le bois et ses dérivés. En somme, la résultante de l'analyse du cycle de vie simplifiée de la cloison construite en bois atteint une somme totale de 597,173 mPt. Nous remarquons que la très grande majorité des impacts provient de la production des matériaux avec 501,412 mPt, soit 83,96% de l'impact total.

4.3 Construction à ossature d'acier

La seule innovation récente au système de construction à ossature de bois se retrouve dans la construction à ossature métallique qui propose un assemblage très similaire, mais dans un format beaucoup plus léger. Nous observons un assemblage semblable de lisses, de sablières, de linteaux et de montants mais dans un matériau différent : l'acier galvanisé (**Figure 3**). Pour les applications résidentielles, nous intégrons une boîte de porte en pin, tandis que pour les projets commerciaux, nous privilégions une boîte de porte en métal. Les ressemblances se poursuivent au niveau de la fermeture des murs, puisque le gypse demeure le panneau de revêtement de prédilection. Avec une finition identique impliquant plâtre et peinture, la performance du système à ossature d'acier ne permet pas d'atteindre la flexibilité et l'accessibilité des composantes. De plus, tout comme l'ossature de bois, la composition et les types d'assemblages utilisés ne permettent pas de démonter le système en fin de vie, une situation qui a pour effet de reléguer à l'enfouissement des matériaux qui ne peuvent être séparés. Finalement il faut noter que la construction de cloison à ossature d'acier demeure très marginale dans le secteur résidentiel. Nous tenons également à rappeler que la porte et les panneaux de gypse sont exclus de l'ACVS.

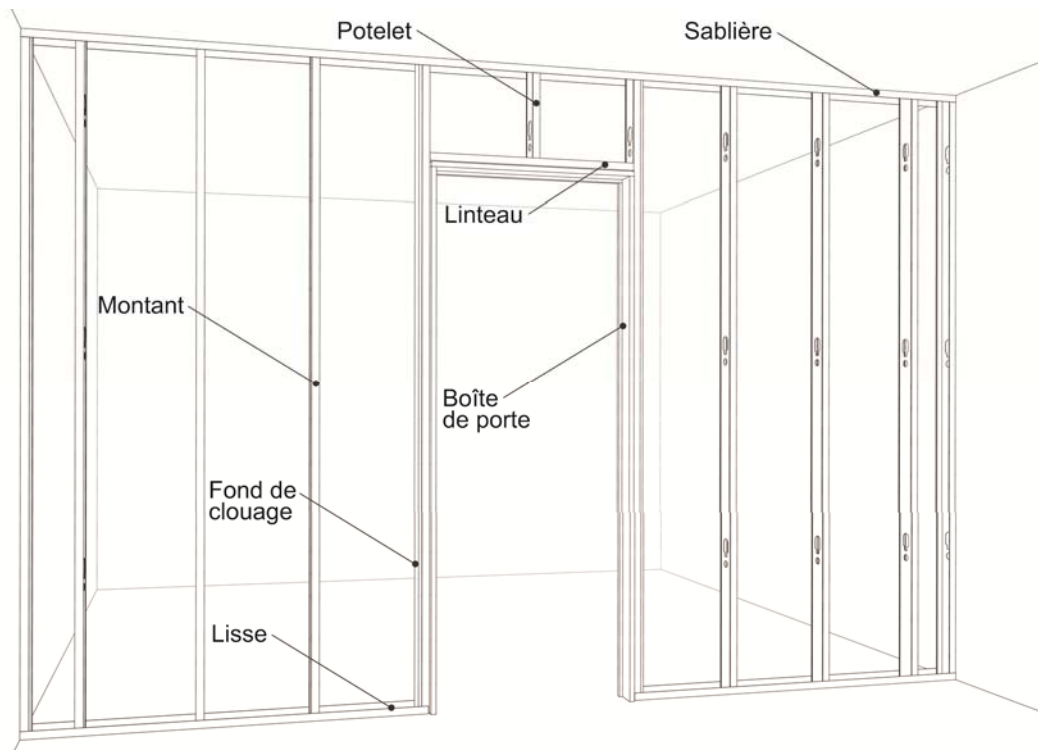


Figure 3 : Représentation graphique de la cloison à ossature d'acier.

4.3.1 Définir le cycle de vie

Dans un premier temps, l'arbre des procédés du système de construction de cloison à ossature d'acier (**Figure 4**) nous permet de remarquer que le système se compose d'acier, d'épinette noire (et/ou de pruche, et/ou de sapin) et de pin blanc qui sont regroupés au niveau de l'étape « production de matériaux ». Ensuite, chacun de ces matériaux doit subir une ou plusieurs transformations que nous nommons les « procédés de fabrication ». Dans le cas présent, nous répertorions plusieurs procédés de transformation de l'acier, soit la découpe, le pliage et la galvanisation pour les profilés du système et l'usinage pour les différentes vis utilisées au niveau de l'assemblage. Nous dénotons également la découpe du bois, mais comme dans le système précédent, la mise en forme des produits ligneux est déjà incluse dans l'indicateur de production des matériaux. Ensuite, l'étape suivante du cycle de vie concerne le « transport » en considérant le trajet effectué entre le producteur du matériau/produit fini et le détaillant où il est possible de se le procurer.

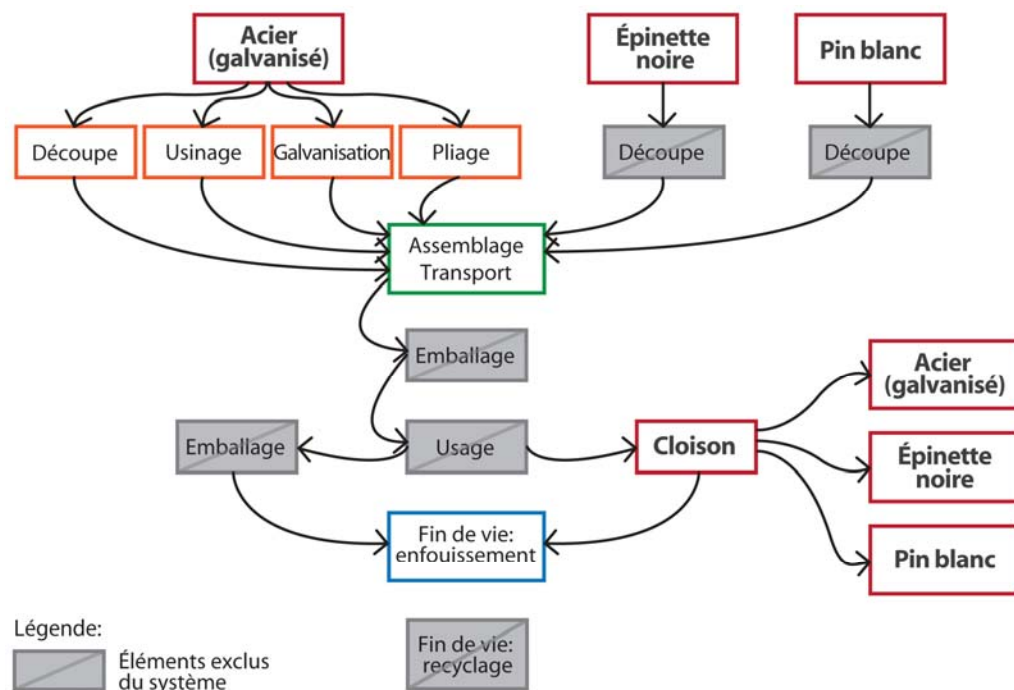


Figure 4 : Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature d'acier.

Par la suite, tout comme dans le cas de l'ossature de bois, le système de construction analysé nécessite très peu ou pas d'emballage lors des différentes manipulations ou déplacements. Pour cette raison, l'emballage a été exclu du système. Il

en va de même pour l'usage du système qui ne nécessite aucun apport extérieur en énergie ou en ressources afin de maintenir ses fonctions. L'étape finale du cycle de vie concerne la fin de vie du système dont l'enfouissement par volume correspond à la réalité de l'industrie. Il est à noter que le recyclage des matériaux est tout de même intégré à l'arbre des procédés à titre indicatif seulement.

4.3.2 Quantifier les impacts

Après avoir établi l'arbre des procédés, l'unité fonctionnelle nous permet de quantifier toutes les étapes du cycle de vie du système de construction à ossature d'acier et de remplir les différents tableaux en associant les différents facteurs de multiplication retrouvés dans les bases de données de l'Eco-indicator99 (*Tableau 6*).

Production de matériaux

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'acier				
Acier (galvanisé)	16,880 kg	110	1856,764 mpt	96,08
Épinette noire	7,137 kg	6,6	47,102 mpt	2,44
Pin blanc	4,339 kg	6,6	28,637 mpt	1,48
	28,355 kg		1932,503 mpt	100

Procédés de fabrication

Procédés	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'acier				
Découpe acier	132253,12 mm ²	0,00006	7,935 mpt	0,04
Pliage acier	114,974 m	0,00008	0,009 mpt	0,00
Galvanisation acier	5,398669 m ²	3300	17815,608 mpt	99,85
Usinage acier	0,023 dm ³	800	18,400 mpt	0,10
Découpe bois	n/d	n/d	n/d mpt	n/d
			17841,952 mpt	100

Transport par poids

Kilométrage	Quantité	Indicateur	Total	%	
Ossature d'acier					
Camion 40 t. (km) (Dorval-Montréal)	16,1	0,017 tonne	15	4,076 mpt	40,22
Camion 40 t. (km) (Delson-Montréal)	35,2	0,011 tonne	15	6,059 mpt	59,78
				10,136 mpt	100 ¹

Fin de vie: enfouissement par volume

Catégorie	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'acier				
Site d'enfouissement	1,049 m ³	140	146,860 mpt	100
			146,860 mpt	100 ²

Fin de vie: recyclage

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'acier				
Acier (galvanisé)	16,880 kg	-70	-1181,577 mpt	100,00
Épinette noire	7,137 kg	n/d	n/d mpt	n/d
Pin blanc	4,339 kg	n/d	n/d mpt	n/d
	28,355 kg		-1181,577 mpt	100 ³

Somme des indicateurs

Rubriques	Total	%	
Ossature d'acier			
Production des matériaux	1932,503 mpt	9,75	
Procédés de fabrication	17841,952 mpt	89,98	
Transport par poids	10,136 mpt	0,05 ¹	
Fin de vie: enfouissement par volume	146,860 x 30%	44,058 mpt	0,22 ²
Fin de vie: recyclage	n/a mpt	n/a ³	
Grand total	19828,649 mpt	100	

Notes

- ¹ Le moyen de transport sélectionné dans le présent scénario (camion 40 t.) ne permet que le calcul de l'impact du transport en fonction du poids du système de produits.
- ² Au niveau des calculs d'impact pour l'étape de la fin de vie, l'enfouissement par volume a premièrement été calculé pour chacun des éléments séparés du système. Par contre, il a été jugé plus représentatif de calculer le volume de la cloison assemblée comme un tout. Le résultat des calculs est ensuite ajusté à un pourcentage de 30% afin de mieux représenter la réalité.
- ³ Il faut noter que le scénario de fin de vie par recyclage n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature de bois et l'ossature d'acier puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.

Tableau 6 : Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature d'acier.

4.3.3 Interpréter les résultats

Dans l'analyse du système à ossature d'acier, l'unité fonctionnelle permet de recenser 112 pièces différentes comportant un poids total de 28,71 kg. Au niveau de la production de matériaux, nous dénombrons l'acier qui est utilisé pour la mise en forme des différents éléments du système (lisse, sablière, montant et vis), l'épinette noire (et/ou la pruche, et/ou le sapin) utilisée comme fond de clouage à l'intérieur des montants métalliques encadrant l'ouverture de la porte, et finalement le pin blanc pour la boîte de porte (bâti et astragale). Tel qu'observé précédemment dans le système à ossature de bois, l'indicateur pour la production de bois massif est très peu élevé. Alors même si le bois représente 40% du poids total du système, sa production représente une somme de 75,739 mPt, soit moins de 4% des impacts de cette étape du cycle de vie. Par contre, avec un indicateur beaucoup plus élevé pour l'acier, la charge environnementale de la production de ce matériau représente plus de 96% des impacts du système avec 1856,764 mPt. Au niveau des procédés de fabrication, nous retrouvons

la découpe, le pliage et l'usinage de l'acier qui ne représentent qu'une infime partie des impacts. Le procédé de loin le plus néfaste est la galvanisation de l'acier qui compte 17 815,608 mPt et couvre plus de 99% des dommages. Pour l'étape du transport, nous calculons premièrement le trajet entre le fournisseur des profilés d'acier (BAILEY Metal Products Limited) situé à Dorval et le détaillant (Villeneuve L. & fils – centre de rénovation et de matériaux de construction) situé dans le Petite-Patrie à Montréal, un parcours qui représente 16,1 km. Ensuite nous ajoutons le trajet entre le fournisseur de bois (Goodfellow inc.) situé à Delson et le détaillant (Villeneuve L. & fils – centre de rénovation et de matériaux de construction), un trajet qui représente 35,2 km. Au niveau de cette rubrique, le camion de 40 tonnes comme choix du moyen de transport impose aussi un calcul qui considère le poids du produit. Par contre, au niveau de la fin de vie, nous demandons de faire le choix entre prendre en compte le poids du produit ou son volume. Toujours selon le profil actuel de l'industrie, l'enfouissement par volume est jugé plus représentatif de la réalité puisqu'il est presque impossible de séparer les matériaux qui sont relégués au site d'enfouissement suite à la démolition. À cet effet, nous considérons le volume total de la cloison, un résultat qui est ensuite réduit à 30% puisque le système est fractionné en pièces pour être mis en décharge et qu'il comporte beaucoup d'espace d'air. Malgré ce fait, l'exercice de quantification de l'étape du recyclage est complété même s'il n'existe aucun indicateur pour le bois et ses dérivés. En somme, la résultante de l'analyse du cycle de vie simplifiée de la cloison construite en acier atteint une somme totale de 19 828,649 mPt. Nous dénotons que la très grande majorité des impacts proviennent des procédés de fabrication avec 17 841,952 mPt, soit précisément 88,98% de l'impact total.

4.4 Construction à ossature d'aluminium

Le troisième type de cloison de l'analyse est un nouveau concept développé lors du projet final des études au premier cycle en design industriel (PATENAUDE, 2007). Avec l'émergence de l'écoconstruction et la prise en compte des impacts de l'industrie de la construction sur l'environnement, il devenait intéressant de revisiter les composantes du mur intérieur afin de permettre à ce système d'atteindre les grands préceptes du développement durable. Ce nouveau système de cloison résidentielle est donc une mise à jour et une réinterprétation des éléments constitutifs permettant une gestion plus écologique. De plus, par l'intégration de caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité, ce système soutient une grande capacité évolutive qui lui permet de s'ajuster aux variations familiales et aux désirs des usagers : l'encadrement d'une gestion du câblage qui fournit un accès circonscrit et facile aux composantes intérieures; le facteur de « démontabilité » du système qui permet une réutilisation des différents éléments; et la séparation aisée des matériaux à fort potentiel de « recyclabilité » qui offre des avantages indéniables dans l'atteinte d'une diminution de l'empreinte environnementale des constructions. Finalement, la cloison à ossature d'aluminium est développée comme une trame d'accrochage pour des panneaux muraux préfabriqués afin d'éviter l'utilisation du gypse. Cette approche fournit plusieurs avantages : une finition facile et rapide des murs, un niveau de personnalisation important par la variété de matériaux et de textures des panneaux muraux (bois, tissu, feutre, métal, verre, etc.) et un désassemblage aisé dû aux principes d'accrochage rendant le remplacement et le recyclage possible. En somme, la combinaison des panneaux muraux contribue également à la flexibilité du système de cloison à ossature d'aluminium. Par contre, pour correspondre à l'unité fonctionnelle établie pour l'ACVS, le revêtement mural et la porte sont aussi exclus de l'analyse.

L'agencement proposé se compose de cinq éléments principaux : la lisse, le couvercle, le montant, la boîte de porte et l'attache de boîte électrique (**Figure 5**). La lisse (**Figure 6**) est le noyau du système et son installation peut se faire à l'horizontale (au plancher et au plafond) ou à la verticale (au mur et sur la boîte de porte). Son profilé supérieur permet d'accueillir des montants en aluminium. En plus d'être le point d'ancrage de la cloison, la lisse est dessinée pour contenir toutes les composantes reliées au câblage (réseau électrique, téléphonie et câblodistribution) dans le but avoué

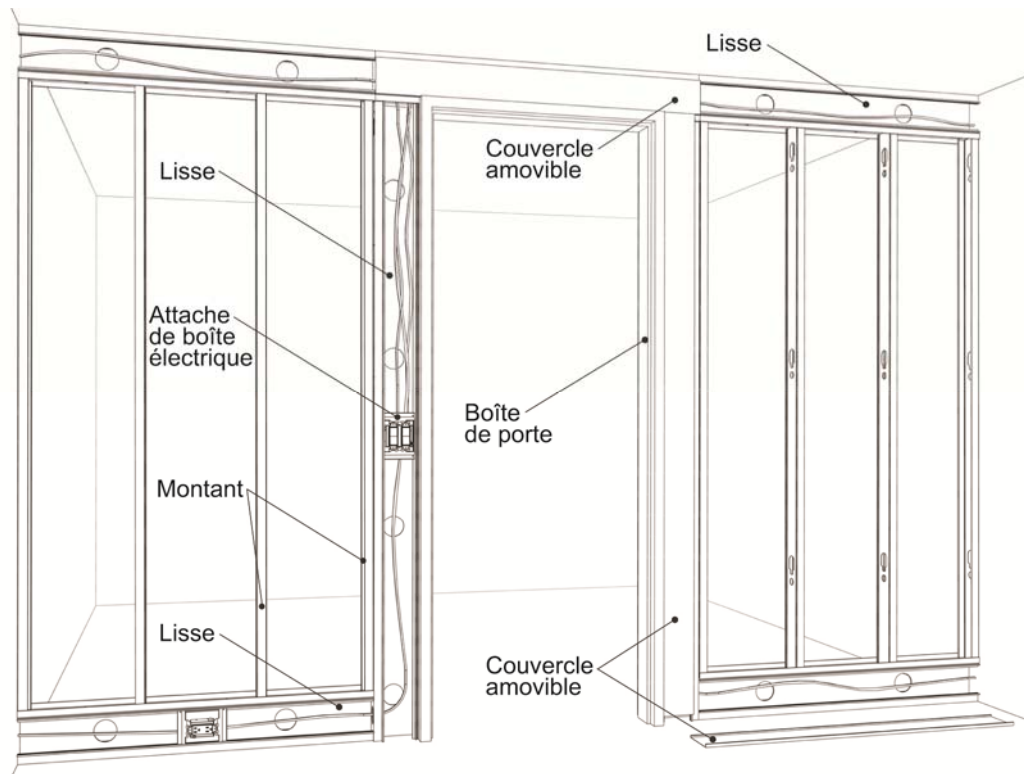


Figure 5 : Représentation graphique de la cloison à ossature d'aluminium.

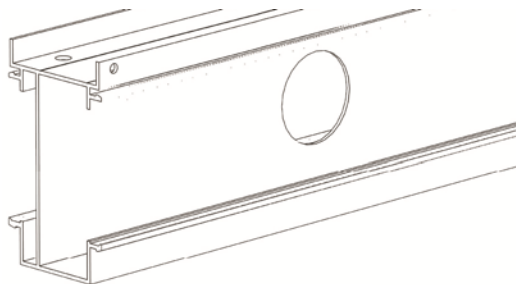


Figure 6 : Profilé de la lisse.

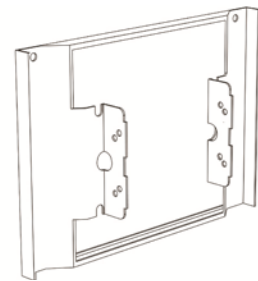


Figure 8 : Attache de boîte électrique.

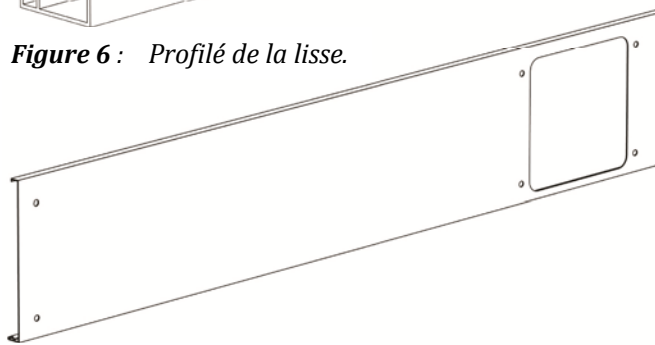


Figure 7 : Couvercle.

d'en faire la gestion. Le principal avantage de ce principe de distribution se situe au niveau du regroupement des composantes électriques dans un endroit déterminé et accessible. Ce positionnement correspond majoritairement à l'emplacement des sorties

électriques pour les interrupteurs, les prises électriques, les thermostats et autres composantes connexes, donc dans le bas et le haut des murs, ainsi qu'à la périphérie des portes.

La lisse est refermée de part et d'autre par un couvercle métallique (*Figure 7*) qui permet de protéger les composantes. Un mécanisme d'assemblage simple et efficace permet un accès rapide qui facilite grandement les réparations, les ajouts et les mises à jour au niveau du filage. Avec la gestion du câblage dans des passages prédéterminés, nous nous assurons de concentrer les interventions, tout en procurant une plus grande marge de manœuvre. Comme troisième élément constitutif, nous remarquons l'enfilade de montants qui sont insérés dans la lisse, à un positionnement prédéterminé, permettant de former la trame nécessaire à l'accrochage de la finition. Une autre composante s'ajoutant au système est la boîte de porte. Elle encadre une percée qui nécessite la redirection du câblage, ce qui explique l'ajout d'une lisse sur chacune de ses faces. La dernière composante s'ajoutant au système est l'attache de boîte électrique (*Figure 8*). La géométrie de cette petite structure métallique est pensée pour accueillir une boîte électrique, simple ou double, ayant une profondeur de 1 1/2".

4.4.1 Définir le cycle de vie

Dans un premier temps, l'arbre des procédés du système de construction de cloison à ossature d'aluminium (*Figure 9*) nous permet de noter que le système se compose d'aluminium, d'acier et de pin blanc qui sont regroupés au niveau de l'étape « production de matériaux ». Ensuite, chacun de ces matériaux doit subir une ou plusieurs transformations que nous regroupons sous la rubrique des « procédés de fabrication ». Dans le cas qui nous intéresse, nous répertorions plusieurs procédés de transformation propres à l'acier : la découpe, le pliage, l'usinage et la galvanisation pour les différentes vis utilisées au niveau de l'assemblage. Nous retrouvons également des procédés de fabrication de l'aluminium, soit le pliage, la découpe et l'extrusion. Nous dénotons également la découpe du bois, mais comme dans les systèmes précédents, la mise en forme des produits ligneux est déjà incluse dans l'indicateur de production des matériaux. Ensuite, l'étape suivante dans la représentation graphique concerne le « transport ». La présente analyse considère donc le trajet effectué entre le producteur

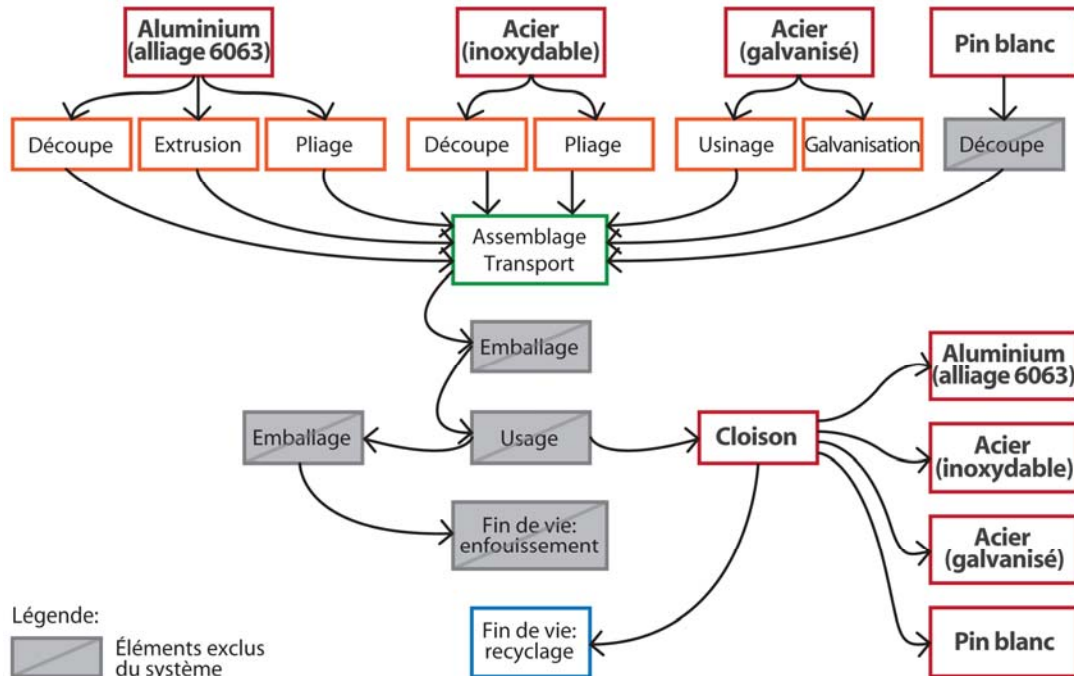


Figure 9 : Représentation graphique de l'arbre des procédés de la cloison à ossature d'aluminium.

qui transforme la matière première en un matériau/produit fini et le détaillant où il est possible de se le procurer. Par la suite, il faut noter que le produit analysé est un système de construction qui nécessite très peu ou pas d'emballage lors des différentes manipulations ou déplacements. Pour cette raison, l'emballage est exclu du système. Il en va de même pour l'usage du système qui, étant catégorisé comme un système passif, ne nécessite aucun apport extérieur en énergie ou en ressources afin de maintenir ses fonctions. L'étape finale du cycle de vie concerne la fin de vie du système. Dans le cas concerné, les caractéristiques de démontabilité permettent de supposer que le recyclage des matériaux est pertinent pour le système de construction à ossature d'aluminium.

4.4.2 Quantifier les impacts

Après avoir établi l'arbre des procédés, l'unité fonctionnelle nous permet de quantifier toutes les étapes du cycle de vie du système de construction à ossature d'aluminium et de remplir les différents tableaux en associant les différents facteurs de multiplication retrouvés dans les bases de données de l'Eco-indicator99 (*Tableau 7*).

Production de matériaux

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'aluminium				
Aluminium (alliage 6063)	56,966 kg	780	44433,090 mpt	99,40
Acier (inoxydable)	0,154 kg	910	140,049 mpt	0,31
Acier (galvanisé)	0,324 kg	110	35,684 mpt	0,08
Pin blanc	14,093 kg	6,6	93,014 mpt	0,21
	71,537 kg		44701,837 mpt	100

Procédés de fabrication

Procédés	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'aluminium				
Extrusion aluminium	47,809 kg	72	3442,248 mpt	98,43
Découpe aluminium	432,968 mm ²	0,000036	0,016 mpt	0,00
Pliage aluminium	199,661 m	0,000047	0,009 mpt	0,00
Découpe acier	253,122 mm ²	0,00006	0,015 mpt	0,00
Pliage acier	0,282 m	0,00008	0,000 mpt	0,00
Galvanisation acier	0,011 m ²	3300	36,300 mpt	1,04
Usinage acier	0,023 dm ³	800	18,400 mpt	0,53
Découpe bois	n/d	n/d	n/d mpt	n/d
			3496,988 mpt	100

Transport par poids

Kilométrage	Quantité	Indicateur	Total	%	
Ossature d'aluminium					
Camion 40 t. (km) (Delson-Montréal)	35,2	0,014 tonne	15	7,392 mpt	22,55
Camion 40 t. (km) (Ste-Thérèse-Montréal)	29,7	0,057 tonne	15	25,394 mpt	77,45
				32,786 mpt	100 ¹

Fin de vie: enfouissement par volume

Catégorie	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'aluminium				
Site d'enfouissement	1,165 m ³	140	163,100 mpt	100
			163,100 mpt	100 ^{2,4}

Fin de vie: recyclage

Matériaux	Quantité	Indicateur	Total	%
Ossature d'aluminium				
Aluminium (alliage 6063)	56,966 kg	-720	-41015,160 mpt	99,92
Acier (inoxydable)	0,154 kg	-70	-10,773 mpt	0,03
Acier (galvanisé)	0,324 kg	-70	-22,708 mpt	0,06
Pin blanc	14,093 kg	n/d	n/d mpt	n/d
	71,537 kg		-41048,641 mpt	100 ⁵

Somme des indicateurs

Rubriques		Total	%
Ossature d'aluminium			
Production des matériaux	44701,837-41048,641	3653,196 mpt	50,86 ⁶
Procédés de fabrication		3496,988 mpt	48,68
Transport par poids		32,786 mpt	0,46 ¹
Fin de vie: enfouissement par volume	163,100 x 30%	n/a mpt	n/a ^{2,4}
Fin de vie: recyclage		n/a mpt	n/a ⁵
Grand total		7182,969 mpt	100

Notes

- ¹ Le moyen de transport sélectionné dans le présent scénario (camion 40 t.) ne permet que le calcul de l'impact du transport en fonction du poids du système de produits.
- ² Au niveau des calculs d'impact pour l'étape de la fin de vie, l'enfouissement par volume a premièrement été calculé pour chacun des éléments séparés du système. Par contre, il a été jugé plus représentatif de calculer le volume de la cloison assemblée comme un tout. Le résultat des calculs est ensuite ajusté à un pourcentage de 30% afin de mieux représenter la réalité.
- ³ Il faut noter que le scénario de fin de vie par recyclage n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature de bois et l'ossature d'acier puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.
- ⁴ Il faut noter que le scénario de fin de vie par enfouissement n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature d'aluminium puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.
- ⁵ L'ACVS du système à ossature d'aluminium a été calculé avec de l'aluminium dit primaire (indicateur de production du matériau: 780), ce qui permet d'obtenir un crédit au niveau du recyclage (indicateur de recyclage: -720). Le scénario utilisant de l'aluminium recyclé 100% procure les mêmes résultats puisque l'indicateur de production du matériau est de 60.
- ⁶ Dans le scénario de la cloison à ossature d'aluminium, l'utilisation d'aluminium dit primaire permet de prendre en compte la fin de vie par recyclage. Pour une meilleure compréhension au niveau des pourcentages d'impact, le crédit du recyclage a été imputé directement à la production des matériaux.

Tableau 7 : Tableaux de l'ACVS avec Eco-indicator99 de la cloison à ossature d'aluminium.

4.4.3 Interpréter les résultats

Dans l'analyse du système de construction à ossature d'aluminium, l'unité fonctionnelle permet de dénombrer 140 pièces différentes ayant un poids total de 71,54 kg. Au niveau de la production de matériaux, nous dénombrons le pin blanc pour la boîte de porte (bâti et astragale), l'acier inoxydable et l'acier galvanisé pour les différents types de vis utilisées lors de l'assemblage, et l'aluminium utilisé pour la mise en forme de plusieurs éléments du système (lisse, sablière, linteau, couvercle, montant, attache de boîte électrique). L'indicateur pour la production d'aluminium est beaucoup plus élevé que celui du bois massif et de l'acier galvanisé. Alors, étant donné que ce métal léger représente près de 80% du poids total du produit, nous obtenons un résultat de 44 433,090 mPt, soit 99.7% des impacts du produit à l'étape de la production des matériaux. Au niveau des procédés de fabrication, nous retrouvons la découpe et le pliage de l'aluminium. Si nous les combinons à la découpe, au pliage, à la galvanisation et à l'usinage de l'acier, nous obtenons un montant de 54,74 mPt, ce qui ne représente qu'une infime partie des impacts (1,57%). Le procédé de loin le plus dommageable est la mise en forme des différentes lisses par extrusion qui représente

3 442,248 mPt, soit 98.43% de la somme des impacts des procédés de fabrication. Au niveau du transport, nous calculons dans un premier temps le trajet entre le fournisseur de profilés d'aluminium (Bon-L) situé à Ste-Thérèse et le détaillant (Villeneuve L. & fils – centre de rénovation et de matériaux de construction) situé dans le Petite-Patrie à Montréal, un parcours qui représente 29,7 km. Ensuite, nous ajoutons le trajet entre le fournisseur de bois (Goodfellow inc.) situé à Delson et le détaillant (Villeneuve L. & fils – centre de rénovation et de matériaux de construction), un trajet qui représente 35,2 km. Comme dans les deux cas précédents, le camion de 40 tonnes comme choix du moyen de transport impose un calcul qui considère le poids du produit. Au niveau de la fin de vie, nous devons faire le choix de prendre en compte de poids du produit ou le volume. Selon nos suppositions, la fin de vie du produit par recyclage des matériaux est tout à fait indiqué dans ce cas précis. Ayant utilisé un aluminium de première génération pour la fabrication, il est donc possible d'acquérir un crédit important lors de cette phase du cycle de vie. De plus, étant donné que le système est démontable et que la séparation des matériaux est aisée, il est possible de croire que la totalité des éléments sera recyclée. Malgré ce fait, l'exercice de quantification de la fin de vie par enfouissement est tout de même calculé à titre indicatif. En somme, la résultante de l'analyse du cycle de vie simplifiée de la cloison construite en aluminium obtient une somme totale de 7 182,969 mPt. Nous remarquons que la presque totalité des impacts provient de la production des matériaux avec 50.86% et des procédés de fabrication qui compte pour 48.68% des impacts.

4.5 Discussion

4.5.1 Comparaison entre les systèmes

Après avoir analysé les systèmes séparément, il convient maintenant de les comparer entre eux. Dans un premier temps, chacun des systèmes de construction de cloison étudiés comporte un niveau de complexité différent. D'un point de vue conceptuel, la construction à ossature de bois représente le niveau primaire puisque la matière première ne subit que des transformations élémentaires. De plus, elle offre des composantes rudimentaires qui n'ont pas subi d'évolution formelle majeure depuis l'origine du système. L'assemblage des différentes composantes de bois est également jugé simple puisque l'utilisation du clou commun demeure un des facteurs limitant le niveau de flexibilité de ce type de construction. Ainsi, la texture vrillée des clous et les différents enduits et finis augmentent la retenue, mais rendent le démantèlement et la déconstruction beaucoup plus ardu. Malgré qu'il soit exclu de l'analyse environnementale, le matériau de revêtement mural et ses procédés de finition agissent comme un second facteur limitant le niveau de performance face aux notions de flexibilité. Nous pouvons toutefois noter qu'il existe quelques avancées technologiques au niveau de la construction en bois, mais elles se situent principalement au niveau de l'outillage électrique et pneumatique développé pour faciliter les tâches manuelles (clouage, perçage, sciage, etc.). Ensuite, la construction à ossature d'acier se révèle être une version allégée de la construction en bois. La composition et le format sont très semblables, mais le système s'inscrit tout de même dans une approche de préfabrication plus avancée. La mise en forme en usine des profilés d'acier, l'étude morphologique de la section afin de maximiser la solidité et la résistance, la pratique d'une texture au matériau afin de faciliter le vissage et les perforations exécutées pour le passage du filage sont des facteurs qui démontrent que le système intègre des caractéristiques technologiques déterminées par une conception plus poussée. La matière première subit donc plusieurs étapes de transformation pour atteindre le produit fini. Au niveau de l'assemblage, l'utilisation de la vis permet une déconstruction plus aisée mais est tout de même dépendante du type de panneau de finition utilisé. Il est également important de noter que dans un scénario de réutilisation, la fragilité des profilés d'acier galvanisé est un aspect limitatif. Finalement, le scénario de construction à ossature d'aluminium proposé est une approche systémique plus complexe que les précédentes. Au même titre que la construction en acier, la matière première du système en

aluminium subit plusieurs transformations pour atteindre le format final. Cette réinterprétation de la cloison permet une grande capacité évolutive, une meilleure flexibilité et une gestion facile en fin de vie. En plus de s'intégrer dans une conception de préfabrication, les principes organisationnels de gestion du câblage permettent au système de s'inscrire dans l'approche de « surperformance » proposée par Michael A. Keymer (voir les approches de design exposées au chapitre 2). Cette approche de design consiste à concevoir des systèmes en intégrant des capacités plus grandes que nécessaire afin de permettre la mise à jour et ainsi minimiser le taux de remplacement. En fournissant un accès facile et prédéterminé aux composantes internes, nous facilitons les interventions et nous limitons la génération de débris. Le système à ossature d'aluminium procure également un grand potentiel de « démontabilité » et de « recyclabilité », un niveau de performance qui peut varier en fonction du revêtement de finition utilisé.

4.5.2 Comparaison des caractéristiques générales

Dans un deuxième temps, il est intéressant de relever quelques caractéristiques de nature plus générale (**Tableau 8**). La présente analyse a permis de mettre en lumière le nombre de pièces nécessaires pour répondre à l'unité fonctionnelle. Nous comptons 146 pièces pour le système de construction en bois, 112 éléments pour celui en acier et 140 composantes pour l'ossature en aluminium. Il est intéressant de noter qu'environ 80% de ce nombre correspond à la quincaillerie d'assemblage des systèmes.

	Bois	Acier	Alu.
Nombre de pièces nécessaires pour répondre à l'unité fonctionnelle	146	112	140
Nombre d'éléments de quincaillerie utilisés lors de l'assemblage des systèmes	118	88	116
Masse totale selon l'unité fonctionnelle	61,17 kg	28,71 kg	71,54 kg

Tableau 8 : Tableaux de comparaison des caractéristiques générales des cloisons à ossature de bois, d'acier et d'aluminium.

Pour l'ossature de bois, nous dénombrons 118 clous communs en acier de longueurs variées et pour la construction en acier nous comptons 88 vis à cloisons

sèches de deux dimensions. Au niveau du système proposé en aluminium, nous recensons 116 éléments de quincaillerie d'assemblage dont la vis en acier inoxydable, la vis autotaraudeuse et l'équerre en acier. De plus, un autre fait intéressant se situe au niveau du poids global de chaque système qui varie selon le matériau utilisé. En effet, toujours en tenant compte de l'unité fonctionnelle, la masse totale de l'ossature de bois est de 61,71 kg, celle de la construction en acier est de 28,71 kg et le poids du système en aluminium de 71,54 kg.

Somme des indicateurs

Rubriques		Total	%
Ossature de bois			
Production des matériaux		501,412 mpt	83,96
Procédés de fabrication		19,495 mpt	3,26
Transport par poids		32,208 mpt	5,39 ¹
Fin de vie: enfouissement par volume	146,860 x 30%	44,058 mpt	7,38 ²
Fin de vie: recyclage		n/a mpt	n/a ³
Grand total		597,173 mpt	100
Ossature d'acier			
Production des matériaux		1932,503 mpt	9,75
Procédés de fabrication		17841,952 mpt	89,98
Transport par poids		10,136 mpt	0,05 ¹
Fin de vie: enfouissement par volume	146,860 x 30%	44,058 mpt	0,22 ²
Fin de vie: recyclage		n/a mpt	n/a ³
Grand total		19828,649 mpt	100
Ossature d'aluminium			
Production des matériaux	44701,837-41048,641	3653,196 mpt	50,86 ⁶
Procédés de fabrication		3496,988 mpt	48,68
Transport par poids		32,786 mpt	0,46 ¹
Fin de vie: enfouissement par volume	163,100 x 30%	n/a mpt	n/a ^{2,4}
Fin de vie: recyclage		n/a mpt	n/a ⁵
Grand total		7182,969 mpt	100

Notes

- ¹ Le moyen de transport sélectionné dans le présent scénario (camion 40 t.) ne permet que le calcul de l'impact du transport en fonction du poids du système de produits.
- ² Au niveau des calculs d'impact pour l'étape de la fin de vie, l'enfouissement par volume a premièrement été calculé pour chacun des éléments séparés du système. Par contre, il a été jugé plus représentatif de calculer le volume de la cloison assemblée comme un tout. Le résultat des calculs est ensuite ajusté à un pourcentage de 30% afin de mieux représenter la réalité.
- ³ Il faut noter que le scénario de fin de vie par recyclage n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature de bois et l'ossature d'acier puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.
- ⁴ Il faut noter que le scénario de fin de vie par enfouissement n'est pas considéré dans la somme des indicateurs de l'ossature d'aluminium puisqu'il ne correspond pas à la réalité de la construction.
- ⁵ L'ACVS du système à ossature d'aluminium a été calculé avec de l'aluminium dit primaire (indicateur de production du matériau: 780), ce qui permet d'obtenir un crédit au niveau du recyclage (indicateur de recyclage: -720). Le scénario utilisant de l'aluminium recyclé 100% procure les mêmes résultats puisque l'indicateur de production du matériau est de 60.
- ⁶ Dans le scénario de la cloison à ossature d'aluminium, l'utilisation d'aluminium dit primaire permet de prendre en compte la fin de vie par recyclage. Pour une meilleure compréhension au niveau des pourcentages d'impact, le crédit du recyclage a été imputé directement à la production des matériaux.

Tableau 9 : Tableaux récapitulatifs de la somme des indicateurs des ACVS des cloisons.

4.5.3 Comparaison des résultats des ACVS

Force est de reconnaître que l'analyse du cycle de vie simplifiée avec la méthode Eco-indicator99 fournit des résultats plutôt éloquentes. Pour faciliter la compréhension de cette section, veuillez vous référer au **Tableau 9** de la page précédente. De façon globale, simplement par la somme des indicateurs de chacun des systèmes, nous observons que la construction de cloison à ossature de bois obtient le meilleur résultat avec 597,173 mPt. Ensuite, suivent dans l'ordre le système à ossature d'aluminium avec 7 182,969 mPt, soit environ douze fois plus dommageable que le bois, et enfin le système en acier avec 19 828,649 mPt. Ce dernier est trente-trois fois plus néfaste que la construction à ossature de bois et presque 2,8 fois pire que le résultat du système en aluminium. Voyons maintenant en revue chacune des étapes de l'analyse du cycle de vie simplifiée des différents systèmes de construction de cloison analysés précédemment.

4.5.3.1 Production des matériaux

Au niveau de la production des matériaux, les matières ligneuses sont nettement plus performantes en ce qui a trait aux impacts environnementaux (indicateur du bois massif : 6,6). Cette réalité s'explique par l'accès facile à la ressource et le peu de transformations nécessaires à la production du matériau. Par contre, les matériaux métalliques semblent beaucoup plus dommageables (indicateur de l'acier : 110; indicateur de l'aluminium non-recyclé : 780), une situation probablement explicable par la quantité d'énergie et de ressources nécessaires à l'extraction, l'affinement et la transformation du minerai. Ainsi, pour obtenir une tonne d'aluminium, nous devons extraire en moyenne quatre à cinq tonnes de bauxite. L'alumine est difficile à extraire du minerai de bauxite et le procédé d'électrolyse nécessite beaucoup d'électricité et entraîne des émissions de gaz néfastes. Cette situation peut expliquer l'indicateur particulièrement élevé de ce matériau. Par contre, le potentiel de recyclabilité de l'aluminium est excellent puisqu'il engendre une économie d'énergie de 95% et permet d'économiser une quantité considérable de bauxite. Par sa très grande utilisation d'électricité, nous pouvons émettre la supposition que la production d'aluminium au Québec puisse avoir un indicateur moindre étant donné la grande disponibilité d'électricité produite par hydro-électricité. Ce type de production est considéré plus propre que l'électricité produite par les centrales au charbon et les centrales nucléaires

de l'Europe avec lesquelles les indicateurs de la méthode Eco-indicator99 ont été calculés. En somme, à l'étape de production des matériaux, la construction à ossature de bois obtient un résultat de 501,412 mPt et la construction en acier, quant à elle, atteint un montant presque quatre fois plus élevé avec 1 932,503 mPt. Pour terminer, le système en aluminium récolte un pointage brut de 44 578,717 mPt. Par contre, si nous considérons l'étape de recyclage du matériau qui procure un crédit de 41 048,641 mPt, le score réel est de 3 530,076 mPt. Ce résultat sous-entend des impacts sept fois supérieurs à l'ossature de bois et près de deux fois supérieurs à la construction en acier.

4.5.3.2 Procédés de fabrication

Au niveau des procédés de fabrication, nous remarquons qu'il n'existe aucun indicateur pour les produits du bois pour la simple et bonne raison que l'étape de production des matières ligneuses fournit déjà un matériau de construction utilisable tel quel. Cette conjoncture est très bénéfique pour le bois puisque les matériaux métalliques utilisent des procédés tels que le pliage, la découpe, le fraisage, l'extrusion qui utilisent une quantité importante d'énergie et de ressources et qui engendrent donc plus d'impacts sur l'environnement. Parmi tous les procédés recensés dans cet exercice, c'est la galvanisation de l'acier, dans le but de le protéger contre la corrosion, qui a le coût environnemental de loin le plus élevé. Cette condition handicape sérieusement le profil de la construction à ossature d'acier, puisque la somme des procédés de transformation représente 17 841,952 mPt, un score plus de cinq fois plus important que la construction en aluminium qui obtient un résultat de 3 496,988 mPt. L'ossature d'acier est également plus de neuf cent quinze fois plus dommageable que les procédés de transformation du système en bois dont le maigre résultat est de 19,495 mPt. La somme des indicateurs des procédés de fabrication de la cloison à ossature d'acier représente 88.9% des impacts totaux, une proportion de 48,7% pour l'aluminium, et seulement 2,3% pour l'ossature de bois.

4.5.3.3 Transport, emballage et usage

Au niveau du transport, nous remarquons peu de différence au niveau de l'impact environnemental entre les différents systèmes de construction de cloisons

intérieures. L'explication s'établit sur le fait que l'indicateur est le même pour chacun des systèmes. Par conséquent, le système de construction en bois obtient un résultat de 32,208 mPt, soit 3,9% de l'impact total. Pour le système utilisant l'aluminium, la similarité du poids procure un pointage semblable de 32,786 mPt qui représente moins de 0,5% du total des impacts. Quant à la construction à ossature d'acier, avec sa plus petite masse, elle atteint un score de 10,136 mPt, comptant pour un minime 0,05% des impacts totaux. Selon la méthode Eco-indicator99, l'étape suivante devrait traiter de l'emballage. Par contre, nous tenons à rappeler que cette étape est exclue de l'ACVS puisque le produit analysé nécessite très peu ou pas d'emballage lors des différentes manipulations ou déplacements. L'usage est également une étape qui est écartée vu la considération passive des systèmes qui ne nécessitent aucun apport extérieur en énergie ou en ressources afin de maintenir ses fonctions principales et secondaires.

4.5.3.4 Fin de vie

À l'étape de la fin de vie, tout comme à l'étape du transport, il existe peu de différence d'impact entre les systèmes puisqu'ils ont un volume similaire. En effet, à cette étape ultime, l'enfouissement par volume correspond à la réalité actuelle de l'industrie de la construction puisque les procédés d'assemblage et les types de finition rendent difficile, voir impossible, la séparation des matériaux lors de la démolition. Cette réalité génère donc des débris hétérogènes dans les sites d'enfouissement. Pour évaluer l'impact environnemental de la fin de vie, nous prenons en compte le volume total de la cloison. Ensuite, pour être pleinement représentatif, nous réduisons ce résultat à 30% puisque chaque système comporte une proportion importante de vide (espace d'air) et que la cloison sera fractionnée en pièces pour être mise en décharge. Au niveau des résultats, l'ossature de bois obtient un résultat de 44,058 mPt, soit 7,4% du total des impacts et la construction en acier atteint aussi 44,058 mPt, soit seulement 0,2% du total. Dans le scénario du système à ossature d'aluminium, le portrait est tout autre. L'intégration de caractéristiques de « démontabilité » et un matériau à fort potentiel de « recyclabilité » permettent au système de se qualifier pour une fin de vie par recyclage. Cette situation procure un crédit environnemental important au système et minimise ainsi l'impact de la production du matériau primaire.

4.5.4 Unité fonctionnelle et notion temporelle

L'ACVS avec Eco-indicator⁹⁹ est une méthode qui nous permet d'affirmer que dans un cycle de vie complet, le système de construction de cloison à ossature de bois (597,173 mPt) génère beaucoup moins d'impacts environnementaux que la construction en aluminium (7 182,969 mPt) et celle en acier (19 828,649 mPt). Par contre, il convient de relativiser certains points. Premièrement, par la littérature, nous supposons que la durée de vie utile d'une résidence est d'environ cent ans. Par conséquent, la conjoncture de mobilité actuelle en Amérique du Nord nous permet d'établir qu'environ une dizaine d'occupants différents défilent dans une même résidence (FRIEDMAN, 2002). Ce nombre de déménagements peut être motivé par plusieurs facteurs comme le manque d'espace, l'évolution de la situation familiale, le vieillissement, le désir de changement, etc. Selon le cas, il peut s'avérer plus facile de déménager que d'adapter l'espace aux nouveaux besoins. L'adaptation aux besoins se traduit souvent par des rénovations résidentielles, un processus qui a le potentiel d'être coûteux et qui peut s'échelonner sur plusieurs mois, voir quelques années. Cette réalité s'explique par le fait que les procédés de construction traditionnels n'intègrent pas de notions reliées à la flexibilité et à l'adaptabilité. La façon actuelle de construire aborde l'environnement bâti comme une entité ayant une durée de vie déterminée en supposant d'emblée que si leur situation change, les habitants vont déménager dans un endroit qui conviendra mieux à leurs besoins. Cette vision contemporaine encourage la poursuite d'une conception résidentielle avec des caractéristiques d'inflexibilité spatiale menant plus rapidement à l'obsolescence des bâtiments (MAURY, 1999; SCHNEIDER, 2005). La rigidité des plans d'appartements est cependant trop mal vécue pour perdurer; s'imposeront donc à terme la flexibilité intérieure de chaque appartement et la potentialité implicite de pouvoir le transformer (EMERY, 2002; TILL, 2005).

Dans un contexte d'écoconstruction, la façon actuelle de construire les murs intérieurs perdure dans un format qui est désormais révolu. L'aspect rigide et hermétique de la combinaison du bois et du gypse (ou de l'acier et du gypse) ne fournit aucune flexibilité. Cette situation mène trop souvent à une démolition systématique lors des rénovations, reléguant ainsi des débris hétérogènes directement aux rebuts. Si nous ajoutons la durée de vie à l'unité fonctionnelle des systèmes de construction de cloisons analysés et que nous considérons qu'une résidence a le potentiel d'avoir recours à des

dispositifs de rénovation une dizaine de fois au cours de sa vie utile, nous pouvons supposer qu'il y aura des avantages, du point de vue environnemental, à utiliser des systèmes flexibles et adaptables. Au niveau de l'ACVS comparatif, la construction à ossature d'aluminium est le seul système qui permet un démontage facile, une réutilisation des composantes, une séparation des matériaux et un recyclage en fin de vie. Ces caractéristiques permettent d'augmenter considérablement la durée de vie des composantes qui peuvent être utilisées à de multiples reprises, et par extension, le système constructif permet de diminuer la production de déchets lors des rénovations. Puisque la littérature ne fournit aucune donnée à cet effet, il est impossible de connaître la proportion des murs qui sont altérés à chacune des phases de rénovation d'une résidence. Le manque d'information ne nous permet donc pas de produire un facteur d'ajustement du score de l'ACVS de l'ossature d'aluminium. Malgré ce fait, il est tout de même possible d'émettre le constat que la performance du système de construction de cloison en aluminium serait bonifiée, mais dans quelle mesure? Présentement, il produit 12 fois plus d'impacts sur l'environnement que la construction classique en bois. Ainsi, il est impossible d'obtenir la parité au niveau de la performance environnementale puisque même si 100% des murs étaient altérés à chacune des dix phases de rénovation potentielles d'une résidence, la cloison à ossature d'aluminium serait toujours plus dommageable. Nonobstant ce constat, il est tout de même possible d'affirmer que les facteurs de flexibilité et d'adaptabilité ont le potentiel de diminuer les impacts sur l'environnement générés par la construction.

Chapitre 5

Conclusion

5.1 Conclusions de recherche

La complétion de ce projet de recherche et de réflexion nous amène à émettre plusieurs constats et conclusions que nous présentons dans cet ultime chapitre. Nous élaborons premièrement sur les conclusions associées à l'analyse environnementale en traitant de la performance des cloisons analysées et de l'impact environnemental des critères d'adaptabilité et de flexibilité associés à la cloison à ossature d'aluminium. Par la suite, nous présentons certains constats sur les bénéfices anticipés des concepts d'adaptabilité/flexibilité et nous déterminons la place qu'occupent ces aspects au niveau de l'outil principal de certification de bâtiments écologiques : LEED®. De plus, nous discutons des limites de l'analyse environnementale qui a été conduite. Puis, nous traitons des nouvelles préoccupations conceptuelles en construction en élaborant premièrement sur l'importance de l'adéquation entre le milieu de vie et les besoins des usagers. Ce concept est relié à des préoccupations sociales, mais aussi à des facteurs économiques et environnementaux puisque la construction/rénovation représente un marché économique important qui génère plusieurs impacts sur l'environnement. De plus, nous revenons sur la démarche d'écoconstruction en traitant de son positionnement et de l'approche qui est actuellement privilégiée. Nous discutons également du potentiel que possède l'écoconception en construction, un processus de conception qui a la capacité de mener à une réflexion plus poussée au niveau des besoins et des usages, tout en considérant adéquatement les préoccupations sociales. Finalement, nous traitons de deux thèmes identifiés au cours du déroulement de ce mémoire, lesquels pourraient orienter la recherche dans le domaine de la construction écologique.

5.1.1 Conclusions sur l'analyse environnementale

5.1.1.1 Performance environnementale des cloisons

La comparaison des analyses du cycle de vie simplifiées de chacun des trois types de construction de cloison fournit des résultats probants. La construction à

ossature de bois engendre le plus faible niveau d'impact environnemental avec un résultat final de 597,173 mPt. Par son niveau de complexité qualifié de primaire, ce type de cloison intègre des composantes rudimentaires fabriquées à partir d'une matière première qui ne subit que des transformations élémentaires. Cette réalité se reflète sur les impacts puisque le bois massif ne comporte qu'un faible indicateur de production des matériaux et il n'existe aucun indicateur pour les procédés de fabrication des produits du bois puisque l'étape de production des matériaux fournit déjà un produit de construction utilisable. Cette combinaison de facteurs contribue de façon significative à la performance environnementale de ce système constructif. De plus, son processus d'assemblage est jugé simple et la quincaillerie utilisée lors de la construction empêche la déconstruction du système en fin de vie.

Au niveau de la cloison à ossature d'acier, nous obtenons un score ultime de 19 828,649 mPt, ce qui représente des dommages environnementaux vingt-quatre fois plus importants que la construction en bois. Les profilés d'acier galvanisé utilisés comportent des caractéristiques technologiques qui témoignent d'un niveau de conception plus poussé et d'une approche de préfabrication plus avancée. Nous notons également que la matière première subit plusieurs transformations avant d'atteindre le produit final. La quincaillerie utilisée au niveau de l'assemblage permet plus aisément le démantèlement en fin de vie, mais tout comme l'ossature de bois, l'enfouissement correspond toujours à la réalité actuelle de l'industrie de la construction puisqu'en plus des procédés d'assemblage, les types de finition des murs rendent difficile, voir impossible, la séparation des matériaux lors de la démolition.

Développée selon une approche plus systémique, la cloison à ossature d'aluminium est un système de construction qui atteint un niveau de complexité supérieur aux deux alternatives précédentes. Sa conception s'inscrit dans une approche de préfabrication et de « surperformance » qui intègre des critères tels que la capacité évolutive, la flexibilité, l'adaptabilité, la gestion en fin de vie et l'accessibilité aux composantes internes (câblage, boîte électrique, etc.). Au niveau des impacts environnementaux, ce type de construction de cloison permet d'atteindre un pointage brut de 48 231,611 mPt. Par contre, l'intégration de caractéristiques de « démontabilité » et l'utilisation d'un matériau à fort potentiel de « recyclabilité »

permettent au système de se qualifier pour une fin de vie par recyclage. Cette situation procure un crédit important de 41 048,641 mPt et permet de minimiser l'impact de la production du matériau primaire. De cette façon, la performance environnementale réelle de la cloison à ossature d'aluminium est de 7 182,989 mPt. En résumé, en présentant les résultats des ACVS en ordre croissant, l'ossature de bois obtient 597,173 mPt, la cloison en aluminium 7 182,989 mPt et celle en acier galvanisé 19 828,649 mPt.

5.1.1.2 Adaptabilité/flexibilité et cloison à ossature d'aluminium

Les constats qui découlent des analyses environnementales montrent que malgré l'intégration de caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité, le choix des matériaux et les procédés de fabrication inhérents à la proposition de cloison à ossature d'aluminium ne lui procurent pas un profil environnemental optimal par rapport à la cloison en bois traditionnelle. Par contre, la prise en compte d'un facteur de durée de vie au niveau de l'unité fonctionnelle mène à des conclusions intéressantes. La revue de littérature permet de regrouper des informations de nature temporelle qui établissent la durée de vie utile d'un bâtiment à cent ans. De plus, les informations sur le taux de mobilité nord-américain permettent de supposer le défilement d'une dizaine de propriétaires différents au sein d'une même résidence. Du point de vue des impacts, si nous considérons qu'une résidence a le potentiel d'avoir recours à des dispositifs de rénovation une dizaine de fois au cours de sa vie utile (FRIEDMAN, 2002), nous pouvons supposer qu'il y aura des avantages à intégrer des systèmes flexibles et adaptables. Ces caractéristiques permettent d'augmenter la durée de vie des composantes, tout en diminuant la production de déchets lors des rénovations. L'adaptabilité et la flexibilité permettent donc d'amortir les impacts environnementaux du produit ou du système et ce, sur plusieurs cycles de vie. En contrepartie, le peu de données et de recherches sur la rénovation nous empêche de quantifier le niveau de bénéfices engendré par l'utilisation de la cloison à ossature d'aluminium. Nous ne pouvons donc pas établir de critères d'évaluation qui permettraient d'ajuster le profil environnemental de ce type de cloison. Nonobstant ce constat, il est tout de même possible d'affirmer que les facteurs de flexibilité et d'adaptabilité ont le potentiel de diminuer les impacts sur l'environnement générés par la construction.

5.1.1.3 Adaptabilité/flexibilité : bénéfiques anticipés

Les critères d'adaptabilité et de flexibilité sont des concepts qui visent à permettre l'atteinte d'un niveau d'individualisation et de personnalisation du bâtiment. De plus, ces concepts visent à gérer la dimension temporelle et à intégrer la notion du futur en permettant une réponse au changement par l'adaptation de l'environnement bâti aux besoins des occupants. Par conséquent, concevoir une architecture qui permet l'accommodation au changement fournit une adéquation entre l'évolution des pratiques, les avancées technologiques, mais également l'évolution des patrons de vie. Pour atteindre cet objectif, nous pouvons orienter la conception selon une approche de séparation qui vise principalement à rendre indépendants les systèmes et les sous-systèmes majeurs du bâtiment afin de faciliter les interventions. Nous pouvons également privilégier une approche de préfabrication qui permet d'augmenter la rapidité d'exécution et de faciliter le remplacement et la mise à jour des sous-composantes. Enfin, la dernière approche de design permettant d'orienter la conception est la « surperformance » qui permet d'octroyer des capacités plus importantes à certains systèmes ou composantes afin de pouvoir procéder à une mise à jour technologique sans engendrer des changements majeurs. Afin d'atteindre les objectifs de ces trois approches de design, il existe une multitude de stratégies de design qui permettent l'intégration de l'adaptabilité et de la flexibilité dans la conception de bâtiment. Ces façons de faire ont également le potentiel d'avoir des répercussions positives sur d'autres sphères de la construction. Les stratégies de design peuvent augmenter la durée de vie utile du bâtiment et en réduire le coût initial, permettre de réaliser des économies dans le premier cycle de rénovation, avoir un effet sur la pérennité des rénovations, diminuer la durée de la phase de rénovation, amoindrir les effets des rénovations sur les occupants et enfin, accroître l'accessibilité aux composantes. Par conséquent, les critères de flexibilité et d'adaptabilité offrent le potentiel d'amortir les impacts sociaux, environnementaux et économiques engendrés par la rénovation en procurant plusieurs cycles de vie au bâtiment et à ses sous-composantes. Ces particularités permettent donc aux systèmes de construction, tels que la cloison à ossature d'aluminium, d'améliorer leur performance environnementale.

5.1.1.4 Adaptabilité/flexibilité et outils de conception

L'adaptabilité et la flexibilité au niveau du bâtiment ne sont pas des critères qui sont concrètement promus par les outils d'aide à la conception de bâtiments écologiques, ni par les systèmes de certification qui participent à la normalisation des pratiques d'écoconstruction. Dans le cas précis de la certification LEED®, il est toutefois possible d'obtenir des crédits pour la mise en place de pratiques qui soutiennent une capacité à l'évolution. Dans le système LEED®-Nouvelle Construction, la catégorie « Innovation et processus de design (IPD) » traite de l'expertise en conception et en construction écologiques et elle permet de récompenser des stratégies innovatrices qui ne figurent pas dans les considérations de la certification. De plus, la catégorie « Innovation et design » de la certification LEED®-Habitation est également susceptible de procurer un crédit pour des pratiques qui intègrent une conception axée sur les concepts d'adaptabilité et de flexibilité dans le bâtiment. Cette catégorie a pour but de récompenser l'amélioration faite au niveau de la planification et de la conception, en encadrant, notamment, la gestion de la durabilité et les concepts novateurs. Par contre, pour arriver à faire reconnaître ces efforts, c'est à l'équipe de conception que revient la tâche de démontrer dans quelle mesure l'intégration de ces nouvelles pratiques procurent des avantages environnementaux. Pour ce faire, il faudra rassembler la documentation adéquate qui sera ensuite soumise au comité d'évaluation du CBDCa ou au fournisseur, le cas échéant.

5.1.1.5 Limites de l'analyse environnementale

Il convient de noter que dans cette recherche, l'analyse du cycle de vie simplifiée, effectuée par l'entremise de la méthode Eco-indicator99, possède quelques limites. Dans un premier temps, l'expérimentation ne considère qu'un seul élément du sous-système des travaux intérieurs du bâtiment et les résultats obtenus, par l'entremise de l'analyse environnementale des différents types de construction de cloisons, ne sont applicables qu'à cet aspect spécifique du bâtiment. Il n'est donc pas possible d'extrapoler, de procéder à une généralisation des résultats, ni même d'établir certaines corrélations dans le but de les appliquer aux autres éléments du sous-système des travaux intérieurs ou aux autres sous-systèmes de la construction résidentielle tels que les fondations, la charpente, l'enveloppe, les services et les équipements. Par

conséquent, pour atteindre une vision plus systémique et pouvoir quantifier le niveau d'impact général d'un bâtiment, il faudrait procéder à l'analyse de l'ensemble des composantes de ce dernier. Cette démarche est laborieuse, mais demeure pertinente et nécessaire à la réalisation d'un profil environnemental complet. Cette analyse globale permettrait une meilleure identification des zones d'intervention, ce qui aurait pour effet de mener ultimement à une meilleure conception des bâtiments écologiques.

Malgré ces limitations, il est pertinent de privilégier l'utilisation de l'analyse de cycle de vie simplifiée pour les besoins de notre recherche puisqu'elle procure des avantages méthodologiques importants, notamment au niveau de l'accessibilité du processus, de la facilité d'utilisation et du degré d'efficacité de la démarche. Cette méthodologie, impliquant l'utilisation d'un système de pondération, a également des effets probants sur les finalités de l'investigation en procurant des données claires qui permettent de mener à une meilleure interprétation des résultats et une comparaison aisée entre le niveau d'impact des différents objets d'étude. L'utilisation de méthodes de pondération et d'agrégation a pour effet d'alléger le processus de cueillette de données. Par contre, il faut souligner la difficulté de trouver des bases de données d'inventaire qui proviennent de sources fiables, qui sont mises à jour de façon régulière et qui sont représentatives du milieu où le produit est analysé. De ce fait, dans l'investigation environnementale, nous avons fait appel à la méthode Eco-indicator99 qui regroupe des données scientifiques agrégées basées sur des éléments d'information fournis par l'analyse du cycle de vie. Ce système européen base ses méthodes de calcul sur les données et les particularités de cette partie du globe. Malgré la pertinence des données d'Eco-indicator99, il est donc possible que certains aspects ne soient pas en parfaite concordance avec la réalité canadienne. En contrepartie, étant donné le manque de données d'inventaire au Canada, la méthode Eco-indicator99 est tout de même jugée pertinente pour mener l'étude.

En plus, il faut noter que L'ACVS, comme méthode d'enquête, n'offre pas une couverture aussi complète que l'analyse du cycle de vie. Malgré sa lourdeur d'exécution et les ressources que sa mise en œuvre requiert, le caractère exhaustif et la méthodologie de l'ACV mènent à l'établissement de relations de cause à effet au niveau des impacts environnementaux en établissant des liens directs entre les données

d'inventaire et les dommages causés à l'environnement; au niveau de l'analyse et l'interprétation des résultats, nous en arrivons à mettre en relation le produit, les émissions qu'il engendre et les impacts environnementaux qui en résultent.

Il faut également souligner que la recherche qui est conduite est limitée au niveau de l'intégration des préoccupations sociales et économiques. L'investigation ne traite pas spécifiquement des critères sociaux et économiques puisque sa visée première est de fournir l'évaluation environnementale de trois types de construction de cloisons, de façon à pouvoir illustrer la pertinence des critères d'adaptabilité et de flexibilité dans la construction. Même si nous pouvons supposer que certains aspects sociaux et économiques sont pris en compte dans les calculs des bases de données d'inventaire de l'analyse du cycle de vie, de l'analyse du cycle de vie simplifiée et dans le système de pondération Eco-indicator⁹⁹, la couverture demeure tout de même limitée.

5.1.2 Nouvelles préoccupations conceptuelles en construction

5.1.2.1 Adéquation milieu de vie/besoins des occupants

La construction résidentielle, qui comprend la construction neuve et la rénovation, est un marché économique important au Canada. La rénovation des logements existants est une activité majeure puisqu'elle représente, à elle seule, la moitié des dépenses attribuées à l'industrie de la construction. Ainsi, en 2009, dans les dix plus grands centres urbains du Canada, nous dénombrons 2,1 millions de ménages ayant procédé à des rénovations, une proportion qui équivaut à la moitié des ménages propriétaires et qui représente un marché de 25,8 milliards de dollars. De plus, l'analyse du phénomène de la mobilité et du déménagement démontre qu'en 2008, plus de la moitié des ménages propriétaires a opté pour un logement plus spacieux. Cette réalité concorde avec les motivations des usagers, puisque dans le tiers des cas, le manque d'espace est considéré comme le facteur déterminant dans la décision de déménager. Nous notons également qu'en 2009, une grande majorité des ménages a fait l'acquisition d'un logement existant, une situation qui suppose un potentiel de rénovation probant afin d'adapter l'espace de vie aux besoins des nouveaux usagers. De ce fait, pour corroborer cette supposition, nous montrons qu'au cours de l'année 2009,

la même proportion des ménages a procédé à des modifications et à des améliorations au niveau de leur logement.

En plus de représenter un marché économique important, le marché de la construction et de la rénovation engendrent plusieurs impacts au niveau de l'environnement. En premier lieu, l'industrie contribue à 15% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle mondiale et le bâtiment consomme 30% de l'énergie au niveau canadien. Nous soutenons également que le secteur du bâtiment produit des dommages environnementaux aussi importants que les transports routiers. De façon plus spécifique, la CRD est une industrie génératrice d'une grande quantité de déchets, soit le tiers des matières résiduelles solides introduites chaque année dans le flux des déchets municipaux. Au Québec, la construction, la rénovation et la démolition produisent 4,38 Mt de déchets inertes, putrescibles et chimiques. Au niveau de la caractérisation des déchets de l'industrie de la CRD, nous remarquons que les agrégats comme le béton, l'asphalte, la pierre et la brique, représentent la majorité des débris. Suivent dans un ordre d'importance, le bois, les métaux, les panneaux de gypse, les bardeaux d'asphalte, le plastique, le carton et le papier. Au niveau de la construction résidentielle, la répartition connaît plusieurs variations tant au niveau du contenu que des pourcentages. Nous retrouvons en tête le gypse suivi du bois, les agrégats à base d'asphalte et d'argile, le papier, le carton et le métal. Plusieurs initiatives législatives sont mises de l'avant afin de stimuler et rendre plus compétitifs les processus de récupération et de mise en valeur des déchets de construction. Le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles et le Règlement sur les redevances exigibles pour l'élimination des matières résiduelles permettent d'augmenter grandement le niveau de performance de la récupération. Toutefois, la mise en décharge demeure encore un procédé d'élimination plus abordable dans certaines régions. Malgré tout, la mise en valeur des débris de la CRD connaît une forte croissance et surpasse les objectifs de la Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles 1998-2008. Cet exploit est principalement attribuable au haut taux de mise en valeur des matériaux granulaires, une réalité qui vient fausser quelque peu les données puisque le taux de valorisation des autres matériaux ne représente que la moitié de l'objectif fixé. De nouvelles stratégies doivent être mises en place pour améliorer la performance des matériaux non-granulaires, mais pour assurer une bonne

représentativité, le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, dans le plan d'action 2010-2015 du projet de politique québécoise de gestion des matières résiduelles, choisit désormais de séparer les matériaux granulaires des autres matériaux en leur donnant des objectifs respectifs.

Ce portrait global de l'industrie de la construction et de la rénovation démontre clairement l'importance économique que représentent ces secteurs d'activité et l'ampleur des impacts environnementaux qu'ils génèrent. Les données recueillies nous permettent également de confirmer le besoin réel qui s'établit entre les besoins des occupants/usagers, qui varient spatialement et temporellement, et les espaces de vie qui doivent être adaptés à ces besoins. Ce phénomène d'adéquation revêt une importance particulière autant au niveau social, économique qu'environnemental. Il intègre de multiples préoccupations, telles que la qualité de vie, la santé des occupants, la réduction des coûts de construction/rénovation, l'intégration des coûts environnementaux, la protection des ressources, l'utilisation de l'énergie, la qualité de construction, la durabilité de l'environnement bâti, etc. Dans le paradigme du développement durable, cette problématique doit être abordée de façon systémique afin de mener à la construction de bâtiments qui intègrent des critères de flexibilité et d'adaptabilité. Cette approche permettrait au bâtiment de mieux répondre au changement tout en générant moins de déchets et moins d'impacts sur l'environnement, et ce, sur tout son cycle de vie.

5.1.2.2 Écoconstruction : réalité et potentiel

En réponse aux préoccupations écologiques, l'écoconception s'établit comme un outil visant à améliorer les pratiques actuelles. De plus, elle représente principalement une réponse environnementale à la crise écologique puisqu'elle vise à réduire les impacts en maximisant l'utilisation des ressources, en réduisant la production de déchets à toutes les étapes du cycle de vie et en gérant la fin de vie des produits. L'écoconstruction, telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui, se situe au deuxième niveau d'écoconception, soit le re-design. Nous visons donc l'intégration des critères environnementaux dès la phase de conception afin de réduire l'impact sur l'environnement. Des outils de conception intégrée, tels que LEED®, s'inscrivent

également dans cette approche puisqu'ils dressent une liste exhaustive des caractéristiques environnementales à considérer lors du démarrage d'un nouveau projet de construction. Par contre, il est possible de pousser la réflexion encore plus loin afin d'atteindre le troisième niveau d'écoconception : le « bluesky ». Selon une approche spécifiquement environnementale, cette démarche nécessite un plus grand niveau d'analyse et de réflexion afin de mener à une compréhension et une évaluation approfondies des besoins et des usages relatifs au produit ou au service. Par conséquent, cette investigation plus poussée a tout le potentiel pour mener au développement de nouveaux concepts reconnus pour leur efficacité et leur efficience.

De plus, dans une perspective d'écoconception, nous pouvons aborder la construction selon différentes approches. Ainsi, dans une approche « produit », nous visons à réduire les impacts environnementaux en agissant sur le niveau d'efficacité et d'efficience de l'objet, en considérant aussi bien la fonction que l'usage. Par contre, le bâtiment gagnerait à être abordé selon une approche « besoin ». Cette façon de faire met l'objet en étroite relation avec l'utilisateur. Nous dirigeons l'investigation sur les aspects sociaux en étudiant l'intégration des considérations culturelles et sociétales, mais aussi en questionnant des concepts liés aux valeurs d'identité et de statut social. Cette approche de conception permet de réitérer l'importance de tenir compte des critères sociaux qui peuvent rapidement mettre en échec les projets à caractère écologique.

5.1.3 Orientation de la recherche : proposition de thèmes

Le portrait global de l'industrie de la CRD permet de démontrer le niveau d'importance sociale, économique et environnementale du secteur. La réalisation de ce projet de recherche permet également d'identifier certains sujets qui ne sont pas suffisamment documentés et qui comportent un potentiel de recherche intéressant. Nous avons identifié deux thèmes principaux. Le premier sujet concerne l'étude des aspects sociaux qui s'établissent entre l'utilisateur et son espace de vie. Le deuxième thème est l'étude de l'impact de l'inclusion des critères d'adaptabilité et de flexibilité au niveau du logement, spécifiquement par le biais des cloisons intérieures, dans un contexte d'utilisation réel (in situ).

5.1.3.1 L'usager et son espace de vie : aspects sociaux

Dans un premier temps, la conduite de ce mémoire permet de mettre en lumière le fait que les activités de recherche traitent rarement des aspects sociaux de la construction. Il existe peu de données dans la littérature qui permettent une analyse et une compréhension approfondie de certains faits observables. De ce fait, le phénomène de la rénovation et de la grande mobilité en Amérique du Nord suscite plusieurs questionnements. En premier lieu, nous pouvons nous interroger sur les motivations réelles qui peuvent être associées à la rénovation et au taux de déménagement. Nous saisissons bien que les éléments initiateurs tels que l'évolution des patrons de vie et de la situation familiale peuvent mener au constat que le milieu de vie n'est plus apte à répondre aux nouvelles demandes techniques et spatiales des occupants et des utilisateurs. Par contre, il serait intéressant de pousser l'investigation vers la nature de ces limitations et sur les liens qu'ils sont susceptibles d'entretenir avec les critères d'aménagement spatial. Le manque d'espace semble être la principale raison qui motive les ménages à changer d'espace de vie. Il est donc pertinent de s'interroger pour savoir dans quelle mesure ce manque d'espace peut avoir un impact sur la dynamique de la rénovation. Il serait tout d'abord justifié de chercher à déterminer le sens du terme « manque d'espace » en consultant les usagers afin de bien saisir les liens qui existent avec les pratiques de conception et le statut de rigidité actuel des plans d'aménagement. En plus, il serait intéressant de questionner et d'étudier les relations que l'usager entretient avec son espace de vie. Avec ce type d'investigation, il serait possible de bien saisir les comportements et les modes opératoires qui sont impliqués lorsque l'occupant prend conscience que son lieu de résidence ne correspond plus à ses besoins. Ce questionnement est d'autant plus intéressant que nous sommes très peu renseignés à propos des comportements des occupants face aux problèmes spatiaux qu'ils rencontrent. Sont-ils tentés de conjuguer avec la situation le plus longtemps possible avant de décider de déménager ou d'entreprendre de rénover? Quel sont les protocoles et les moyens déployés pour tenter de résoudre le problème? De plus, dans quelle mesure les occupants préfèrent-ils déménager plutôt que d'amorcer le processus laborieux de la rénovation qui a des implications temporelles et économiques importantes? Il est donc difficile, voir impossible, pour l'instant de bien cerner les besoins réels des occupants en terme d'espace. Cette investigation permettrait de

bonifier la conception qui a pour but de mener à une meilleure adéquation entre les usagers, leurs besoins évolutifs et l'habitation.

5.1.3.2 Cloisons adaptables et flexibles : étude in situ de l'impact

Dans un deuxième temps, la flexibilité du système de cloison à ossature d'aluminium, présenté au niveau de la cueillette de données, suscite le questionnement sur un autre aspect. Il serait pertinent de procéder à une investigation sur les impacts de l'inclusion des critères d'adaptabilité et de flexibilité au niveau du logement. Nous nous doutons bien que, dans le format de construction actuel, le processus laborieux de la rénovation agit comme un frein à l'adaptation de l'espace résidentiel aux besoins évolutifs des occupants et des usagers. Donc, en supposant qu'une résidence soit conçue en n'y intégrant que des cloisons qui permettent l'adaptabilité et la flexibilité de l'espace, quelles répercussions aurait cette pratique sur le niveau de mobilité des occupants? Pouvons-nous émettre l'hypothèse que les occupants seraient plus enclins à modifier leur espace afin de l'adapter au rythme de l'évolution de leurs besoins spatiaux? Pourrions-nous supposer que les résidences puissent satisfaire les usagers sur une plus longue période? De plus, comment se traduirait cette situation sur le profil de la rénovation? Pouvons-nous anticiper un effet sur la fréquence, la durée et les coûts des travaux de rénovation? Il existe plusieurs concepts de cloisons qui ont été développés dans une approche de construction en accord avec les visées du développement durable et qui sont présentement employés dans certains projets de construction. Cette opportunité de recherche permettrait de recueillir des données sur la pertinence sociale, économique et environnementale de cette approche constructive en évaluant les bénéfices engendrés dans un milieu de vie réel.

5.2 Ouverture

Dans cette section, nous présentons certains faits recueillis au niveau de la littérature qui apportent une ouverture sur le contexte futur de la construction écologique. En premier lieu, nous discutons des obstacles qui peuvent expliquer le faible taux d'intégration à la nouvelle forme de conception propre au bâtiment écologique. Subséquemment, nous abordons les conditions qui rendent la conjoncture actuelle favorable à l'implantation du processus d'industrialisation du bâtiment.

5.2.1 Obstacles freinant l'adhésion au bâtiment écologique

En somme, malgré le fait qu'en 2008, aux États-Unis et au Canada, les bâtiments verts représentaient environ 2% du marché non-résidentiel et 0,3% du marché résidentiel, cette proportion est appelée à progresser au cours des prochaines années. Nous notons une certaine effervescence au niveau de la conception et de l'évaluation des impacts environnementaux du bâtiment, une réalité qui se traduit par la diffusion de nombreux outils d'aide à la conception et le dénombrement de plusieurs systèmes de certification. Toutefois, la nature conservatrice de l'industrie de la construction limite la progression au niveau de l'adhésion au mouvement écologique dans le bâtiment. Nous reprochons à cette industrie d'être inefficace au niveau organisationnel, d'avoir recours à une main-d'œuvre importante au niveau du mode opératoire et de fournir un produit dont la qualité ne cesse de décroître. De plus, la construction n'est pas une industrie reconnue pour miser sur la R&D, ce qui l'empêche de se démarquer au niveau de l'innovation. Pourtant, le Conseil de la science et de la technologie (CST) établit un lien entre « innovation » et « développement durable » en reconnaissant clairement le potentiel de l'industrie de la construction à générer de l'innovation dans son processus et ses procédés (CST, 2001; CST, 2003).

Par contre, nous observons que dans le mode opératoire actuel de l'industrie de la construction, les avancées techniques et procédurales naissent principalement en réaction à des situations vécues sur les chantiers. Le potentiel d'innovation est probant, mais le faible niveau de diffusion entre les différents acteurs et les différents projets ne permet pas d'assurer la transmission des nouvelles connaissances. Dans son rapport intitulé *Bâtiments écologiques en Amérique du Nord*, la Commission de coopération

environnementale (CEC) a répertorié sept obstacles qui freinent toujours l'adhésion plus massive à l'approche du développement durable, une situation qui est susceptible de limiter la progression des bâtiments écologiques : la dissociation entre les budgets d'immobilisation et d'exploitation, la fragmentation des incitations, les coûts initiaux plus élevés (ou perçus comme tels), les risques et l'incertitude, le manque de main-d'œuvre expérimentée, le manque de coordination et de cohérence des politiques gouvernementales relatives au bâtiment, ainsi que le manque d'investissements dans la recherche (CEC, 2008).

Le premier obstacle identifié est la dissociation qui existe entre les budgets consacrés à l'immobilisation et ceux alloués à l'exploitation. Dans la construction traditionnelle, nous attribuons des fonds pour l'acquisition immobilière et ce, indépendamment du budget destiné à l'exploitation des bâtiments. Cette façon conventionnelle de procéder désavantage la construction écologique dans la mesure où les économies réalisées au niveau de l'exploitation des bâtiments ne peuvent compenser pour les coûts de construction qui peuvent être plus élevés. Par exemple, l'intégration des énergies renouvelables dans un projet est susceptible de mener à une diminution au niveau des coûts d'approvisionnement en électricité par le réseau provincial. Par contre, cette situation engendrera potentiellement des coûts additionnels au niveau de l'équipement, mais aussi au niveau de la conception des systèmes. Le deuxième obstacle répertorié est la fragmentation des incitations. Cette relation efforts/bénéfices suppose que le promoteur (ou le constructeur) est moins enclin à intégrer des caractéristiques écologiques au niveau des bâtiments puisque seuls les occupants en bénéficient. Ainsi, la seule source incitative du promoteur est de nature économique puisque le but recherché est de récupérer les frais supplémentaires encourus en établissant le prix de vente en conséquence. Le prochain obstacle concerne les coûts initiaux plus élevés, ou perçus comme tels, des technologies ou stratégies utilisées dans le bâtiment écologique. Nous notons que les intervenants de l'industrie de la construction tendent à surévaluer le coût réel des technologies environnementales, ce qui a un effet négatif sur les intentions d'intégrer le courant écologique. Le quatrième obstacle traite des risques et de l'incertitude. Malgré que le mouvement écologique dans le bâtiment prenne de l'ampleur, il semble subsister plusieurs incertitudes au niveau de la fiabilité des technologies, des coûts de construction engendrés, des avantages économiques et du

rendement des bâtiments écologiques dans le temps. Ces incertitudes ont pour effet de refroidir l'engouement des investisseurs et des institutions financières qui sont plus réticents à reconnaître l'importance de l'investissement supplémentaire consacré aux technologies écologiques. En cinquième lieu, le manque de main-d'œuvre expérimentée agit aussi comme un facteur limitatif important. Nous remarquons que l'engouement écologique et la progression rapide de l'industrie du bâtiment écologique pourraient faire augmenter la demande au niveau d'une main-d'œuvre plus expérimentée et spécialisée. Par contre, la formation des professionnels de la construction ne semble pas suivre cette même progression. Cette situation peut s'avérer critique puisque le processus de conception intégré soutenu par l'approche du bâtiment écologique n'est viable que si les professionnels impliqués possèdent les compétences requises. Suite à la conception d'un bâtiment écologique, la construction de ce dernier s'établit comme une étape cruciale puisque le processus de réalisation aura un impact direct sur la performance environnementale du projet. De ce fait, le niveau de compétence de tous les corps de métiers impliqués revêt une importance particulière. Le sixième obstacle concerne le manque de coordination et de cohérence qui existe au niveau des politiques gouvernementales relatives au bâtiment. Ce fait permet de mettre en lumière l'importance et le besoin d'uniformiser les différentes politiques relatives au bâtiment, telles que les codes du bâtiment, afin que leurs visées ne soient pas contradictoires aux intentions du bâtiment écologique. Le dernier obstacle traite du manque d'investissements dans la recherche propre au domaine de la construction. Nous remarquons qu'une grande partie de la recherche est effectuée par des entreprises privées désireuses de se positionner sur le marché du bâtiment écologique. Nous notons également que la plupart des interventions sont dirigées vers l'amélioration ou le développement de nouveaux matériaux ou produits plus écologiquement performants. Malgré le fait que l'injection de capitaux au niveau de la recherche relative au bâtiment écologique a pu connaître un excellent rendement, nous remarquons que le degré d'investissement demeure tout de même très bas.

5.2.2 Conjoncture favorable à l'industrialisation du bâtiment

Malgré tous ces obstacles, certains croient que la conjoncture actuelle serait désormais favorable à l'implantation et au développement de l'industrialisation de la

construction. Dans un premier temps, l'industrialisation du bâtiment semble être la meilleure alternative pour atteindre les préceptes du développement durable au niveau de l'industrie de la construction. Selon les trois pôles de cette approche, l'industrialisation rejoint des préoccupations sociales reliées à la qualité de vie et à celle de la construction, à la santé des occupants et aux conditions de travail des ouvriers de ce secteur. De plus, du point de vue économique, ce principe organisationnel a le potentiel de stimuler la croissance économique, d'augmenter la productivité, de diminuer les coûts de production et ainsi améliorer l'accessibilité au logement. Enfin, l'industrialisation permet d'augmenter la durabilité des constructions, de maximiser l'utilisation des matériaux, de diminuer la quantité de déchets et de faciliter le recyclage des débris, des avantages environnementaux indéniables.

Dans son document traitant des tendances et défis dans le secteur du bâtiment, le Conseil de la science et de la technologie (CST) propose cinq conditions qui permettent de supposer que la situation actuelle est propice à l'implantation d'un processus de construction industrialisée. En premier lieu, tel que mentionné précédemment, l'industrialisation a tout le potentiel pour atteindre les objectifs liés au développement durable. Nous amenons également, comme deuxième facteur, le réel besoin d'augmenter le niveau de productivité dans le secteur de la construction afin d'en réduire les coûts, les délais et les besoins en main-d'œuvre. De plus, l'industrialisation a le potentiel de combler la pénurie de main-d'œuvre qui se fait sentir dans les pays plus industrialisés par la mécanisation, l'automatisation et la robotisation. En plus, les processus organisationnels inhérents à l'industrialisation semblent être la solution pour réagir à la diminution de la qualité de la construction. En somme, l'ouverture à l'exportation semblerait être une condition qui permettrait aux corporations de proposer leurs produits d'habitation sur les grands marchés mondiaux (CST, 2003).

Références bibliographiques

1. AMERIGO, M. & J. I. Aragones (1997). "A theoretical and methodological approach to the study of residential satisfaction", *Journal of environmental psychology*, vol. 17, no. 1, pp. 47-57.
2. ATKINSON, Giles (2008). "Sustainability, the capital approach and the built environment", *Building Research & Information*, vol. 36, no. 3, pp. 241-247.
3. AUFFRET, Yves (2010). "Secteur CRD: le dopage d'un success", *Form*, vol. 6, no. 1, pp. 20-21.
4. BAUMERT, Kevin A., Timothy Kerzog & Jonathan Pershing (2005). *Navigating the Numbers*, Washington, World Resources Institute, 122 p.
http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf, consulté le 5 décembre 2007.
5. BECHTHOLD, M. (2010). "A continuous challenge in custom construction", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction, New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*. Zurich, IBB & ETH, pp. 53-65.
6. BERNEMAN, C., P. Lanoie, S. Plouffe et M-F Vernier (2009). *L'éco-conception : quels retours économiques pour l'entreprise?*, Working paper (Discussion paper IEA-09-03), HEC Montréal, Canada, 67 p.
7. BOIRAL, Olivier (2007). *Environnement et gestion – De la prévention à la mobilisation*, Québec, les Presses de l'Université Laval, 338 p.
8. BOKS, Casper (2006). "The soft side of design", *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, pp. 1346-1356.
9. BOOKCHIN, Murray (1993). "Société et écologie", dans *Une société à refaire: vers une écologie de la liberté*, Montréal, Écosociété, pp. 27-57.
10. BOSSEL, Hartmut (2005). *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*, Winnipeg, International Institute of Sustainable Development, 124 p.
11. BOWEN, Ted S. (October 26th, 2005). "Constructive Criticism: LEED green-building program confronts critics and growing pains", *Grist Magazine*:
<http://www.grist.org/article/leed1>, consulté le 2 juillet 2009.
12. BROOK, Daniel (2008). "MisLEEDing? Scientific American", *2008 Earth 3.0 Supplement*, vol. 18, no. 4, pp. 54-59.
13. BURELLE, Suzanne (2006). *Répertoire de la documentation de référence se rapportant à la gestion des matières résiduelles industrielles et des débris de construction et de démolition*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 18 p.
14. CAMPREDON, Jean-Pierre, Éric Martin et Daniel Croci (2001). *Habiter autrement: regards sur une architecture environnementale*, Aix-en-Provence, Edisud, 95 p.

15. CARROLL, David Thomas (August 2006). *Using LCA methods to evaluate the ability of LEED® to compare Green Buildings*, Master thesis, Tempe, Arizona State University, 161 p.
16. CBDCa – Conseil de bâtiment durable du Canada (2004). *LEED – Green Building Rating System: Trousse de référence pour les nouvelles constructions & les rénovations majeures LEED® Canada-NC, Version 1.0*. CBDCa, Ottawa, 501 p.
17. CBDCa – Conseil de bâtiment durable du Canada (2008). *LEED® Canada-NC : Revue technique*, CBDCa, Ottawa, 116 p.
18. CBDCa – Conseil de bâtiment durable du Canada (2009a). *LEED® Canada pour les habitations : diapositives et notes*, CBDCa, Ottawa, 63 p.
19. CBDCa – Conseil de bâtiment durable du Canada (2009b). *LEED – Système d'évaluation des bâtiments durables : LEED® Canada pour les habitations*, CBDCa, Ottawa, 157 p.
20. CBDCa – Conseil de bâtiment durable du Canada (2009c). *LEED® Canada pour les habitations : liste de vérification* <http://www.ecohabitation.com/Leed>, consulté le 7 juin 2010.
21. CEC - Commission for Environmental Cooperation (2008). *Greenbuilding in North America: opportunities and challenges*, Montréal, Communications Department of the CEC Secretariat, 75 p.
22. CIB Conseil international du bâtiment – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction (2010). *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*. Zurich, IBB & ETH, 431 p.
http://cibworld.xs4all.nl/dl/publications/tg57_pub329.pdf, consulté le 21 juin 2010.
23. CIDELL, Julie (2009). "Building Green: The Emerging Geography of LEED-Certified Buildings and Professionals", *The Professional Geographer*, Vol. 62, no. 2, pp. 200-215.
24. CIRAIG - Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services : <http://www.ciraig.org/fr/index.html>, consulté le 1er décembre 2008.
25. CMED – Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1988). *Notre avenir à tous*, Montréal, Les Publications du Québec, 432 p.
26. COLE, R. J. (July-August 2005). "Building Green: Moving Beyond Regulations and Voluntary Initiatives", *Policy options*, pp. 53-60.
27. COOPER, Tim (1994). *Beyond Recycling: The Longer Life Option*, London, New Economics Foundation, 20 p.
28. CRESWELL, John W. (1994). *Research design: qualitative & quantitative approaches*, Thousand Oaks (CA), Sage Publications, 228 p.
29. CRESWELL, John W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches (2nd ed.)*, Thousand Oaks (CA), Sage Publications, 395 p.

30. CST - Conseil de la science et de la technologie (2001). *Innovation et développement durable, l'économie de demain*, Québec, Gouvernement du Québec, 117 p. <http://www.cst.gouv.qc.ca/Innovation-et-développement>, consulté le 21 juin 2010.
31. CST - Conseil de la science et de la technologie (2003). *Avis : Bâtir et innover – Tendances et défis dans le secteur du bâtiment*, Québec, Gouvernement du Québec, 268 p. <http://www.cst.gouv.qc.ca/IMG/pdf/CSTBatirInnover.pdf>, consulté le 6 juillet 2010.
32. CURREY, Mason (February 14th, 2007). "LEED® by Any Other Name". *Metropolis Magazine*: <http://www.metropolismag.com/cda/story.php?artid=2508>, consulté le 2 Juillet 2009.
33. DEL PERCIO, Stephen (2007). "What's Wrong with LEED?", *The Next American City*, Spring 2007, Issue 14, pp. 38-40.
34. DING, G.K.C. (2008) "Sustainable construction - The role of environmental assessment tools", *Journal of Environmental Management*, vol. 86, no 3, pp. 451-464.
35. EMERY, Marc (2002). *Innovations durables - Une autre architecture française*, Basel, Birkhäuser, 144 p.
36. FELLOWS, Richard & Anita Liu (2008). *Research Methods for Construction (3rd ed.)*, Oxford (UK), Wiley-Blackwell, 307 p.
37. FLETCHER, Kate T. & P. A. Goggin (Été 2001). "The Dominant Stances on Ecodesign: A Critique", *Design Issues*, vol. 17, no. 3, pp. 15-25.
38. FRENETTE, Caroline D. (2009). *Analyse multicritère des compositions de mur à ossature légère en bois*, Thèse de doctorat, Québec, Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt, 264 p.
39. FREY, Patrice (2007). *Beyond LEED for New Construction: Recommendations for Change*, Presented at *National Historic Tax Credit Conference 2007*. November 8th 2007, Washington, D.C.
40. FRIEDMAN, Avi (2002). *The adaptable house*, New York, McGraw Hill, 271 p.
41. FRIEDMAN, Avi & Michelle Côté (2003). *Les maisons et les communautés de l'âge de l'information: Stratégies pour une croissance rationnelle*, Québec, Société d'habitation du Québec, 138 p.
42. GAGNON, Yves-C (2005). *L'étude de cas comme méthode de recherche*, Québec, Presses de l'Université du Québec, 128 p.
43. GENDRON, Corinne, et al. (2005). "La consommation comme mobilisation sociale: l'impact des nouveaux mouvements sociaux économiques sur la structure normative de l'industrie forestière", dans *Consommations et Sociétés*, no. 6. Paris, L'Harmattan, coll. Dossier sciences humaines et sociales, pp. 73-87.
44. GIBB, Alistair (1999). *Off-site fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*, New York, John Wiley and Sons, 288 p.

45. GIRMSCHEID, G. (2010a). "Context of industrialisation: introduction", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction. New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 3-13.
46. GIRMSCHEID, G. (2010b). "Industrialisation procedures in construction companies rationalisation and systematisation of processes", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction. New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 103-121.
47. GOEDKOOP, Mark, Suzanne Effting & Marcel Collignon (2000). *Eco-indicator 99 – Manual for Designers: a damage oriented for Life Cycle Impact Assessment*, Amersfoort, Pré Consultants B. V., 49 p.
48. GONCHAR, J. (2005). "Rapidly evolving rating system draws: Applause and criticism", *ENR (Engineering News-Record)*, vol. 254, no. 8, pp. 18-22.
49. GRAEDEL, Thomas E. (1998). *Streamlined Life-Cycle Assessment*, New Jersey, Prentice Hall, 310 p.
50. GRAY, Colin (1998). "Construction as a manufacturing process", dans *Asko Sarja (dir.), Open and Industrialised building*, New York, E & FN Spon, pp. 137-148.
51. HABRAKEN, John N. (1976). *Variations: the Systematic Design of Supports*, Cambridge, MIT Press, 216 p.
52. HABRAKEN, John N. (2005). "Change and the distribution of design", dans *LEUPEN, Bernard, René Heijne et Jasper van Zwol. Time-based architecture*. Rotterdam, 010 Publishers, pp. 22-28.
53. HUGHES, C. J. (March 31st, 2008). "When LEED® is misleading", *The Real Deal – New York Real Estate News*: <http://therealdeal.com/newyork/articles/when-leed-is-misleading-SatDec2005154605002008>, consulté le 2 juillet 2009.
54. HUMBERT, S. et al. (August 2007). "Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) – A critical evaluation by LCA and recommendations for improvement", *International Journal*, vol. 12, Special Issue 1, pp. 46-57.
55. ISO – Organisation internationale de normalisation (2006). *ISO 14040 – Management environnemental: Analyse du cycle de vie (Principes et cadre)*, Genève, ISO, 23 p.
56. JOLLIET, Olivier, M. Saadé & P. Crettaz (2005). *Analyse du cycle de vie: Comprendre et réaliser un écobilan*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 242 p.
57. KARLSSON, Reine & Conrad Luttrupp (2006). "EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue", *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, no. 15-16, pp. 1291-1298.
58. KATZ, Ashley (July 2008). "The Next Generation Of LEED®", *Sustainable Facility*: http://www.sustainablefacility.com/CDA/Articles/Leed/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000367790, consulté le 2 juillet 2009.

59. KENDALL, Stephen & Jonathan Teicher (2000). *Residential Open Building*, New York, E & FN Spon, 301 p.
60. KEYMER, Michael A. (2000). *Design Strategies for New and Renovation Construction that Increase the Capacity of Buildings to accommodate Change*, Master thesis, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 316 p.
61. KNIGHT, Andrew & Les Ruddock (2008). *Advanced Research Methods in the Built Environment*, Oxford (UK), Wiley-Blackwell, 232 p.
62. KRISTAL, Marc (November 8th, 2006). "Following Their LEED®", *Metropolis Magazine*: <http://www.metropolismag.com/cda/story.php?artid=2373>, consulté le 2 juillet 2009.
63. LANDIN, A. (2010). "Demands on the tolerances when industrialising the construction sector", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction". New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 197-205.
64. LAQUATRA, Joseph & Mark Pierce (2004). "Managing waste at the residential construction site", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 30, no. 2, pp. 67-74.
65. LAQUATRA, Joseph & Mark Pierce (2009). "Taking construction site waste management to the next level", *Journal of Green building*, vol. 4, no. 4, pp. 29-32.
66. LASSAR, Terry J. (February 2005). "Living Green", *Urban Land*, vol. 64, no. 2, pp. 58-62.
67. LECLERC, Alexandre (2004). *L'application de l'analyse du cycle de vie simplifiée à la pratique du design industriel pour la conception de produits ou services à moindre impact environnemental*, Mémoire de maîtrise, Montréal, Université de Montréal – Faculté des études supérieures, 269 p.
68. LEUPEN, Bernard, René Heijne & Jasper van Zwol (2005). *Time-based architecture*, Rotterdam, 010 Publishers, 249 p.
69. LEWIS, David (November 1st, 2007). "Shades of green: LEED certification may be flawed, but even critics concede it's not wasted", *ColoradoBiz Magazine*: <http://www.cobizmag.com/articles/shades-of-green/>, consulté le 2 juillet 2009.
70. LEWIS, Helen & John Gertsakis (2001). *Design + environment: a global guide to designing greener goods*, Sheffield, Greenleaf Publishing, 200 p.
71. MADGE, Pauline (Été 1997). "Ecological Design: A New Critique", *Design issue*, vol. 13, no. 2, pp 44-54.
72. MATTHIESSEN, L. F. & P. Morris (2004). "Costing green: A Comparative Cost Database and Budgeting Methodology", *Davis Langdon* : <http://www.davislangdon.com/USA/Research/ResearchFinder/2004-Costing-Green-A-Comprehensive-Cost-Database-and-Budgeting-Methodology/>, consulté le 31 juillet 2009.

73. MAURY Jr., Christopher L. (1999). *Framework to Assess a Facility's Ability to Accommodate Change: Application to Renovated Buildings*, Master thesis, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 310 p.
74. MDDEP – Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2009). *Projet de politique québécoise des matières résiduelles – Plan d'action 2010-2015*, Québec, Gouvernement du Québec, 31 p.
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf>, consulté le 24 juillet 2010.
75. MELLOS, Koula (1997). "Une science objective", dans B. Gauthier, *Recherche sociale – de la problématique à la collecte de données (3e éd)*, Québec, Presses de l'Université du Québec. pp. 497-514.
76. MIARA, Jim (June 2007). "LEED® Versus Green Globes", *Urban Land*, vol. 66, no. 6, pp. 124-129.
77. MIRANDA, Hernando (July 2008). "Reform the LEED process", *Consulting-Specifying Engineer (CSE Magazine)*: http://www.csemag.com/article/178824-Reform_the_LEED_process.php, consulté le 2 juillet 2009.
78. MOFFATT, Sebastian & N. Kohler (2008). "Conceptualizing the built environment as a social-ecological system", *Building Research & Information*, vol. 36, no. 3, pp. 248-268.
79. OREE (Sans date). *Guide de l'éco-conception des produits & services*: <http://ecoconception.oree.org/index.html>, consulté le 2 novembre 2009.
80. PATENAUDE, Mario (2007). *Construction de cloison et gestion du câblage dans une perspective de développement durable*, rapport synthèse (non publié), atelier du projet final, Université de Montréal – École de design industriel, Montréal, 23 p.
81. PATENAUDE, Mario (2009). *Écodesign et écoconstruction*, travail de session (non publié), cours de sociologie de l'environnement, Université de Montréal – Faculté de l'aménagement, Montréal, 7 p.
82. PEARL, Daniel & R. Cole (2007). *Boundaries in the Theory and Practice of Sustainable Building Design*, International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment, Glasgow.
83. PROCTER, Don (April/May 2007). "LEED Faces Growing Pains", *Building*, vol. 57, no. 2, p. 16.
84. RECYC-QUÉBEC (2007). *Bilan 2006 de la gestion des matières résiduelles au Québec*, Québec, 24 p.
85. RECYC-QUÉBEC (2008). *Fiche d'information: Les résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD)*, Québec, 3 p.
86. RECYC-QUÉBEC (2009a). *Fiche d'information: Les résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD)*, Québec, 5 p.
87. RECYC-QUÉBEC (2009b). *Bilan 2008 de la gestion des matières résiduelles au Québec*, Québec, 24 p.

88. RICHARD, Roger-Bruno (2005). "Looking for an Optimal Urban Residential System?", *International Journal of Construction management*, vol. 5, no. 2, pp. 93-104.
89. RICHARD, Roger-Bruno (2006). *Industrialised, flexible and demountable building systems: quality, economy and sustainability*, The CRIOCM International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate". http://www.bot.yildiz.edu.tr/ids09/_data/_readings/INDUST%20DEMOUNTABLE%20BUILD%20SYSTEMS.pdf, consulté le 25 mai 2010.
90. RICHARD, Roger-Bruno (2007). "A Generic Classification of Industrialised Building Systems", dans *Open Building Manufacturing: Core Concepts and Industrial Requirements*. Finlande, ManuBuild, pp. 33-48.
91. RICHARD, R.-B. (2010a). "Five degrees of industrialised building production", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction". New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 15-27.
92. RICHARD, R.-B. (2010b). "Four strategies to generate individualised buildings with mass customisation", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction". New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 79-89.
93. RICHARD, R.-B. (2010c). "Generic classification of industrialised building systems", dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction. New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 303-316.
94. ROSKOSKEY, Duane (January 2007). *Drywall Recycling*, Michigan Department of Environmental Quality – Waste and Hazardous Materials Division. http://www.michigan.gov/documents/deq/deq-essp2tas-drywall_185414_7.pdf, consulté le 25 mai 2010.
95. RUSSELL, James S. (November, 2007). "Can LEED® Survive the Carbon-Neutral Era?", *Metropolis Magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 108-117.
96. SCHENDLER, A. & R. Udall (October 26th, 2005). "LEEDing Us Astray?", *Grist Magazine*: www.grist.org/comments/soapbox/2005/10/26/leed/, consulté le 3 octobre 2008.
97. SCHENDLER, A. & R. Udall (October 26th, 2005). "LEED Is Broken; Let's Fix It". *iGreenBuild Web Magazine*: http://www.igreenbuild.com/cd_1706.aspx, consulté le 8 juillet 2009.
98. SCHEUER, C. W. & G. A. Keoleian (September 2002). *Evaluation of LEED® using Life Cycle Assessment methods*, Ann Arbor, University of Michigan, 157 p.
99. SCHINDLER, Sarah B. (June 2009). "Following Industry's LEED®: Municipal Adoption of Private Green Building Standards", *Social Science Research Network*: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1424587, consulté le 31 juillet 2009.

100. SCHL - Société canadienne d'hypothèques et de logement (2001). "Logement des générations du baby-boom, de l'effondrement de la natalité et de l'écho du baby-boom", *Le point en recherche, Série socio-économique*, Numéro 77, Ottawa, Division de la recherche, SCHL, 5 p.
101. SCHL – Société canadienne d'hypothèques et de logement (2003). *Analyse documentaire des tendances socioéconomiques influant sur les marchés de l'habitation et de la consommation*, Canada, SCHL, 130 p.
102. SCHL – Société canadienne d'hypothèques et de logement (2008). *Rapport sur la rénovation et l'achat de logements*, Canada, SCHL, 12 p.
103. SCHL – Société canadienne d'hypothèques et de logement (2009). *Rapport sur la rénovation et l'achat de logements*, Canada, SCHL, 12 p.
104. SCHL – Société canadienne d'hypothèques et de logement (2010). *Rapport sur la rénovation et l'achat de logements*, Canada, SCHL, 12 p.
105. SCHMIDT III, R., Eguchi, S. Austin & A. Gibb (2010). *What is the meaning of adaptability in the building industry?* Presented at O&SB2010, the 16th International Conference on "Open and Sustainable Building", May 17th-19th 2010, Bilbao, Spain.
106. SCHNEIDER, Tatjana & J. Till (2005). "Flexible housing: opportunities and limits", *Architectural Research Quarterly*, vol. 9, no. 2, pp. 157-166.
107. SLAUGHTER, E. Sarah (2001). "Design strategies to increase building flexibility", *Building Research & Information*, vol. 29, no. 3, pp. 208-217.
108. SOLOMON, Nancy B. (June 2005). "How Is LEED® Faring After Five Years in Use?", *Architectural Record*, vol. 193, no. 6, pp. 135-142.
109. Sommet de la Terre de Rio (1992). *L'Agenda 21 (sur le site des Nations Unies)*. <http://wikiwix.com/cache/?url=http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/>, consulté le 29 octobre 2009.
110. STEIN, J. et R. Reiss (Septembre 2004). "Ensuring the Sustainability of Sustainable Design: What Designers Need to Know about LEED® (Paper AED-04-01)", *E Source*: <http://www.esource.com/esource/preview/12019?highlight=allsubs>, consulté le 29 juin 2009.
111. STERN, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern Review*, Cambridge, Cambridge University Press, 692 p.
112. TEASDALE, Pierre (1999). *Logements adaptables à prix abordables*, Canada, SCHL - Société canadienne d'hypothèques et de logement, 66 p.
113. THIBAUT, M. (2007). *Traité d'écoconception*, Québec, K2 Impressions, 115 p.
114. TILL, Jeremy & T. Schneider (2005). "Flexible housing: the means to the end", *Architectural Research Quarterly*, vol. 9, no. 3/4, pp. 287-296.
115. TISCHNER, Ursula, E. Schmincke, F. Rubik et M. Prösler (2000). *How to do EcoDesign?: a guide for environmentally and economically sound design*, Berlin, German Federal Environmental Agency, 197 p.

116. TPSGC – Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2000). *Guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement* : <http://www.solutions.ca/Knowledge Bank/Documents/Guide D%C3%A9tail%C3%A9 - F.PDFH>, consulté le 28 septembre 2009.
117. TRUSTY, Wayne (December 2006). *Integrating LCA into LEED – Working Group A (Goal and Scope) - Interim Report #1*. U.S. Green Building Council: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=2241>, consulté le 2 juillet 2009.
118. U.S. Green Building Council (USGBC): <http://www.usgbc.org/>, consulté le 1er décembre 2008.
119. VACHON, Jean-François Luc (2009). *Profil de la gestion des débris de construction, rénovation et démolition (CRD) au Québec*, RECYC-QUÉBEC, Montréal, 128 p.
120. VAN DER RYN, S. & Stuart Cowan (2007). *Ecological design – 10th anniversary edition*, Washington D.C., Island Press, 238 p.
121. VAN EGMOND-DE WILDE DE LIGNY, E. (2010a). “Industrialisation for sustainable construction?”, dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction. New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 37-51.
122. VAN EGMOND-DE WILDE DE LIGNY, E. (2010b). “Conditions for industrialisation and innovation in construction”, dans *Conseil international du bâtiment (CIB) – CIB Task Group 57 Industrialisation in Construction. New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, Zurich, IBB & ETH, pp. 67-75.
123. VAN HINTE, E. et al. (2003). *Smart Architecture*, Rotterdam, 010 Publishers, 171 p.
124. VAN ZWOL, Jasper (2005). “The combination of living and working”, dans *LEUPEN, Bernard, René Heijne et Jasper van Zwol. Time-based architecture*, Rotterdam, 010 Publishers, pp. 30-40.
125. VISCHER, Jacqueline C. (2008). “Towards a user-centred theory of the built environment”, *Building Research & Information*, vol. 36, no. 3, pp. 231-240.
126. WILTS, Rodney (December 2006/January 2007). “Comparing the systems”, *Building*, vol. 56, no. 6, pp. 12-14.
127. YIN, Robert K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods (4th ed.)*, Thousand Oaks (CA), Sage Publications, 219 p.
128. ZIMMERMAN, A. & C.J. Kibert (2007). “Informing LEED's next generation with the natural step”, *Building Research and Information*, vol. 35, no. 6, pp. 681-689.

Annexe 1

Feuille de cueillette de données de L'ACVS

Ossature de bois

Structure	Dimensions (")	Matériaux	Qt	Masse (kg)	Indi.	Total	Vol. (m3)
Sablière	1,5 x 3,5 x 96	épinette	3	10,705	6,6	70,656	0,025
Lisse	1,5 x 3,5 x 56	épinette	2	4,1635	6,6	27,479	0,010
Montant	1,5 x 3,5 x 91,5	épinette	10	34,012	6,6	224,482	0,081
Poteau nain	1,5 x 3,5 x 79,5	épinette	2	5,9102	6,6	39,008	0,014
Potelet	1,5 x 3,5 x 8,5	épinette	1	0,3158	6,6	2,085	0,001
Linteau	1,5 x 3,5 x 35	épinette	2	0,5666	6,6	3,739	0,001
Total				55,67		367,448	0,133
	0,5 x 3,5 x 35	Panneau	1	0,31	39	12,09	0,001
Total				0,31		12,09	0,001

Boite de porte

Total	4,75 x 31,5 x 80,75						0,204
bâtit	0,75 x 4,75 x 31	pin blanc	1		6,6		
	0,75 x 4,75 x 80,75	pin blanc	2		6,6		
astragale	0,75 x 0,5 x 30	pin blanc	1		6,6		
	0,75 x 0,5 x 80	pin blanc	2		6,6		
Total							0,204

Quincaillerie

Clou com.	4"	acier galvan.	38	0,426	110	
	3,5"	acier galvan.	28	0,230	110	
	2,5"	acier galvan.	52	0,192	110	
Total			145	0,848		

Annexe 2

Feuille de cueillette de données de L'ACVS

Ossature d'acier

Structure	Dimensions (")	Matériaux	Qt	Masse (kg)	Ind.	Total	Vol. (m3)
Sablère	1,125 x 3,75 x 144	acier galvan.	1	1,272	110	139,911	0,017
Lisse	1,125 x 3,75 x 56	acier galvan.	2	1,187	110	130,583	
Montant	1,25 x 3,625 x 96	acier galvan.	10	13,200	110	1452,000	0,044
Poteau nain	1,5 x 3,5 x 96	épinette	2	7,137	6,6	47,102	0,017
Potelet	1,25 x 3,625 x 15	acier galvan.	1	0,206	110	22,688	
Linteau	1,125 x 3,75 x 36	acier galvan.	1	0,382	110	41,974	
Total				23,384		1834,258	0,078

Boite de porte

Total	4,75 x 31.5 x 80,75						0,204
bâtit	0,75 x 4,75 x 31	pin blanc	1		6,6		
	0,75 x 4,75 x 80,75	pin blanc	2		6,6		
astragale	0,75 x 0,5 x 30	pin blanc	1		6,6		
	0,75 x 0,5 x 80	pin blanc	2		6,6		
Total							0,204

Quincaillerie

			Qt			
Vis	1 1/2"	acier	52	0,582	110	
Vis	1 1/4"	acier	36	0,050	110	
Total			111	0,633		

Annexe 3

Feuille de cueillette de données de L'ACVS

Ossature d'aluminium

Structure	Dimensions (")	Matériaux	Qt.	Masse (kg)	Ind.	Total	Vol. (m3)
Sablière	4 x 7 x 48	alu. 6063	2	10,915	780	8513,70	0,045
Couvercle	,3125 x 5,125 x 48	alu. 6063	2	0,781	780	609,336	0,003
Lisse	4 x 7 x 48	alu. 6063	2	10,915	780	8513,7	0,045
Couvercle	,3125 x 5,125 x 48	alu. 6063	2	0,781	780	609,336	0,003
Lisse vert.	4 x 7 x 89,875	alu. 6063	2	20,424	780	15931,03	0,085
Couvercle	,3125x5,125x89,875	alu. 6063	2	1,402	780	1093,404	0,005
Montant	1,25 x 3,5 x 84	alu. 6063	6	5,597	780	4365,504	0,037
Linteau	4 x 7 x 49	alu. 6063	1	5,555	780	4332,822	0,023
Couvercle	,3125 x 5,125 x 49	alu. 6063	1	0,426	780	332,592	0,001
Attache	1,125 x 1,75 x 4,5	alu. 6063	4	0,169	780	131,664	0,001
Total				56,966		44433,1	0,248

Boite de porte

Ensemble	6,75 x 36,5 x 90,625	Pin blanc		14,093	6,6		0,209
Total				14,093			0,209

Quincaillerie

			Qt			Fraisage
Vis	1 1/2"	acier inox.	52	0,154	110	0,0166 dm3
Vis autotar.	1/2"	acier galvan.	60	0,101	110	0,0064 dm3
Équerre	1 1/2" x 2" x 2 3/4"	acier galvan.	4	0,223	110	
Total			140	0,324		