

Université de Montréal

Influence de la phase d'usage dans les enjeux de la rénovation de
bâtiments résidentiels écologiques : vers une approche diachronique

par Mario Patenaude
Faculté de l'aménagement

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention
du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.) en aménagement

Novembre 2015

© Mario Patenaude , 2015

Université de Montréal

Influence de la phase d'usage dans les enjeux de la rénovation de bâtiments résidentiels écologiques : vers une approche diachronique

par Mario Patenaude
Faculté de l'aménagement

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Pierre De Coninck	président-rapporteur
Sylvain Plouffe	directeur de recherche
Mithra Zahedi	membre du jury
Cécile Bulle	examinatrice externe
Tatjana Leblanc	représentante du doyen de la FESP

Résumé

En Amérique du Nord, les pratiques actuelles de conception de l'industrie de la construction suscitent de nombreux et importants problèmes, tant au niveau environnemental, que social et économique. Certaines tendances conceptuelles, telles que l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale proposent des moyens afin de répondre à cette problématique. La conception synchronique, qui ne se base encore que sur des besoins immédiats, produit des bâtiments statiques qui ne peuvent accommoder l'évolution des besoins. En plus de la phase d'usage qui se révèle la plus coûteuse en termes de consommation d'énergie, d'eau, de matériaux et de génération de déchets, le bâtiment statique est amené à subir de nombreuses rénovations, profondément délétères pour l'environnement et la situation économique des ménages.

Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable, la problématique de recherche concerne la considération de la phase d'usage dans le processus conceptuel de l'habitation. Dans l'optique de favoriser une conception plutôt diachronique, 55 projets de rénovation résidentiels ont été analysés et comparés afin de décrire la nature et l'intensité des interventions effectuées. L'examen des plans avant/après rénovation a permis de quantifier le niveau d'intensité des interventions et ainsi, mettre en relief certaines tendances et récurrences des pratiques actuelles.

Dans le but de valider si le bâtiment vert est en mesure de répondre aux enjeux environnementaux contemporains de l'habitation, les contenus de trois programmes de certification utilisés en Amérique du Nord, à savoir BOMA-BES[®], LEED[®], et Living Building Challenge[™], sont analysés. Une classification des stratégies proposées montre la répartition des préoccupations envers le *bâtiment*, les *systèmes* et l'*usager*. Une analyse permet de mettre en relief que les considérations semblent, de façon générale, cohérentes avec les impacts associés à l'habitation. Un examen plus ciblé sur la teneur et les objectifs des stratégies considérant l'usager permet l'émergence de deux ensembles thématiques : les cinq sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur), ainsi que les quatre thèmes reliés aux objectifs et aux finalités des stratégies (entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage; comportement et habitude).

La discussion a permis d'émettre des pistes d'écoconception pour permettre à l'habitation d'accommoder l'évolution des besoins des occupants, à savoir la « démontabilité », l'aptitude à l'évolution et l'accessibilité. Des recommandations, telles que la nécessité de mieux prendre en compte l'utilisateur comme facteur d'influence des impacts occasionnés par la phase d'usage, sont ensuite proposées. D'autres suggestions appellent à une concrétisation de la performance en suscitant l'implication, l'engagement, la responsabilisation et l'autonomisation des occupants. Enfin, il semble que certaines modifications des programmes de certification et de la législation en vigueur pourraient favoriser l'émergence d'une vision nouvelle concernant la nécessaire réduction de la superficie habitable. Toutes ces opportunités d'amélioration ont le potentiel de mener ce secteur vers une démarche plus globale et systémique, tout en bonifiant de façon majeure les implications environnementales, économiques et sociales de l'habitation.

Mots clés

Écoconception, habitation, conception diachronique, phase d'usage, impact environnemental.

Abstract

In North America, construction industry design practices are linked to varied and important environmental, economic, and social concerns. Conceptual trends, like the industrialization of construction, green building, the diachronic approach, and spatial rationalization have proposed to address these issues. Synchronic housing design, still based only on present-day needs, generates static buildings that cannot accommodate needs that evolve over time. Furthermore, during the use phase, which reveals itself as the most costly in terms of energy, water, materials consumption, and waste generation, static buildings may undergo various renovations that are profoundly deleterious, both to the environment and the household's economic situation.

From a perspective that seeks to operationalize sustainable development, the research problem concerns the consideration of the use phase in the housing design process. In order instead to foster diachronic design, fifty-five residential renovation projects were analyzed and compared in order to describe the nature and intensity of their interventions. A review of before/after renovation plans allowed quantification of intervention intensity and highlighted certain trends and recurrences among current practices.

In order to determine if green building can respond to contemporary environmental issues in housing, a content analysis of strategies proposed by three certification programs used in North America—BOMA-BEST®, LEED®, and Living Building Challenge™—is conducted. Classification of these strategies reveals the distribution of concerns regarding building, systems, and user. An analysis shows, generally, that considerations seem consistent with the impacts associated with housing. An examination focused on the content and objectives of those design strategies which consider the user yields the emergence of two thematic clusters: five potential sources of impacts (energy, water, materials, waste, and indoor environment) and four themes linked to the design strategies' objectives and purposes (maintenance and monitoring; awareness and training; modeling and metering; behaviour and habit).

Discussion permitted the formulation of ecological design criteria, such as disassembly, updatability, and accessibility, to allow for housing that accommodates occupants' changing needs. Recommendations are proposed, such as the need for better consideration of the user phase in order to make it more consistent with the impacts it generates. Other suggestions call

for making building performance more concrete by encouraging the involvement, commitment, accountability, and empowerment of occupants. Finally, it seems that particular changes in certification programs and legislation could encourage the emergence of a new, much-needed vision for total floor area reduction. All these opportunities for improvement seek to lead the sector toward a more holistic approach and to improve significantly the environmental, economic, and social implications of housing.

Keywords

Ecodesign, housing, diachronic design, use phase, environmental impact.

Table des matières

Résumé	v
Abstract	vii
Liste des tableaux	xv
Liste des figures	xvii
Liste des sigles et abréviations	xix
Remerciements	xxiii
1. Introduction	1
2. Construction résidentielle : problèmes et impacts	5
2.1. Problèmes de l'industrie	6
2.1.1. Rendement déficient	6
2.1.2. Qualité en décroissance	7
2.1.3. Lacunes dans le transfert des connaissances	9
2.1.4. Sous-utilisation des technologies	10
2.1.5. Résistance à l'innovation	13
2.1.6. Manque d'investissement et d'engagement politique	16
2.1.7. Problèmes au niveau de la main-d'œuvre	19
2.1.8. Approche synchronique	22
2.2. Sources potentielles d'impacts du bâtiment	25
2.2.1. Énergie	25
2.2.2. Eau	26
2.2.3. Matériaux et ressources	26
2.2.4. Déchets	26
2.2.5. Environnement intérieur	29
2.2.6. Aspect économique	30
3. Tendances conceptuelles	33
3.1. Industrialisation de la construction	33
3.1.1. Origine et définition	34
3.1.2. Principes et caractéristiques	39
3.1.2.1. Particularités de l'industrialisation	39
3.1.2.2. Degrés d'industrialisation	40

3.1.2.3. Systèmes constructifs industrialisés	41
3.1.2.4. Préfabrication intérieure	42
3.1.2.5. Production en série personnalisée	43
3.1.3. Avantages	45
3.1.3.1. Réduction des pertes de temps et des délais	45
3.1.3.2. Accroissement de la productivité	46
3.1.3.3. Diminution du besoin de main-d'œuvre	46
3.1.3.4. Augmentation de la qualité	47
3.1.3.5. Réduction des coûts	47
3.1.3.6. Meilleure flexibilité	48
3.1.3.7. Bénéfices environnementaux	48
3.1.3.8. Aspect économique	50
3.2. Bâtiment vert	50
3.2.1. Origine et définition	51
3.2.2. Principes et caractéristiques	52
3.2.2.1. Programmes de certification	52
3.2.2.1.1. ENERGY STAR®	53
3.2.2.1.2. Novoclimat ^{mc}	54
3.2.2.1.3. BOMA-BES ^t ®	56
3.2.2.1.4. LEED®	58
3.2.2.1.5. Living Building Challenge TM	60
3.2.3. Avantages	64
3.2.3.1. Énergie	65
3.2.3.2. Eau	66
3.2.3.3. Matériaux et déchets	67
3.2.3.4. Santé et qualité de vie	68
3.2.3.5. Aspect économique	68
3.3. Approche diachronique	75
3.3.1. Adaptabilité de l'espace	78
3.3.1.1. Origine et définition	78
3.3.1.2. Principes et caractéristiques	80
3.3.1.2.1. Notion temporelle	81
3.3.1.2.2. Catégories d'intervention	81
3.3.1.2.3. Démarches d'adaptabilité	82
3.3.1.2.4. Stratégies de l'adaptabilité	83

3.3.1.3. Avantages	86
3.3.1.3.1. Avantages économiques	86
3.3.1.3.2. Bénéfices environnementaux	88
3.3.1.3.3. Gains sociaux	89
3.4. Rationalisation spatiale	90
3.4.1. Origine et définition	90
3.4.2. Principes et caractéristiques	92
3.4.2.1. Aspect conceptuel	93
3.4.2.2. Concepts et mécanismes	96
3.4.2.2.1. Pièces multifonctionnelles	96
3.4.2.2.2. Décloisonnement et cloisons	97
3.4.2.2.3. Mobilier intégré	98
3.4.2.2.4. Mobilier	98
3.4.3. Avantages	99
3.4.3.1. Avantages économiques	99
3.4.3.2. Bénéfices environnementaux	100
4. Phase d'usage	103
4.1. Évolution des usages	105
4.1.1. Cuisine	107
4.1.2. Salle de bains	108
4.1.3. Pièces de vie	109
4.1.4. Capacité de rangement	110
4.1.5. Superficie d'habitation	111
4.2. Profil de la rénovation	112
4.2.1. Ampleur du phénomène	113
4.2.2. Motivations menant à la rénovation	114
4.2.3. Interventions en rénovation	118
4.2.3.1. Cuisine	119
4.2.3.2. Salle de bains	120
4.2.3.3. Pièces de vie	122
4.2.3.4. Capacité de rangement	122
4.2.3.5. Superficie habitable	122
4.3. Impacts reliés à la phase d'usage de l'habitation	124
4.3.1. Énergie	124

4.3.2. Eau	126
4.3.3. Matériaux et ressources	127
4.3.4. Déchets	127
4.3.5. Environnement intérieur	128
4.3.6. Aspect économique	129
5. Méthodologie	131
5.1. Stratégie de recherche et méthodes	134
5.1.1. Étape 1 – Revues de la littérature	134
5.1.1.1. Revue 1 – Construction résidentielle : problèmes et impacts	135
5.1.1.2. Revue 2 – Tendances conceptuelles	135
5.1.1.3. Revue 3 – Phase d’usage	135
5.1.2. Étape 2 – Collectes, analyses et interprétations des données	136
5.1.2.1. Phase 1 – Interventions en rénovation résidentielle	137
5.1.2.2. Phase 2 – Considération de l’usage	142
5.1.3. Étape 3 – Discussion	144
5.1.4. Conclusion	144
5.1.5. Limites de la recherche	144
6. Collectes, analyses et interprétations des données	147
6.1. Interventions en rénovation résidentielle	147
6.1.1. Profil descriptif des interventions	148
6.1.1.1. Cuisines	148
6.1.1.2. Salles de bains	150
6.1.1.3. Pièces de vie	152
6.1.1.4. Capacité de rangement	154
6.1.1.5. Superficie habitable	156
6.1.2. Repérage de tendances et de récurrences	159
6.1.2.1. Revêtements	160
6.1.2.2. Mobiliers intégrés	161
6.1.2.3. Services	162
6.1.2.4. Cloisons	164
6.2. Considération de l’usage	167
6.2.1. Classification des stratégies selon leurs considérations	168
6.2.1.1. BOMA-BEST® – Immeubles résidentiels	168
6.2.1.1.1. Bâtiment	168

6.2.1.1.2.	Bâtiment et systèmes	170
6.2.1.1.3.	Systemes	172
6.2.1.1.4.	Systemes et usager	173
6.2.1.1.5.	Usager	173
6.2.1.1.6.	Bâtiment et usager	174
6.2.1.2.	LEED® – Habitations	175
6.2.1.2.1.	Bâtiment	175
6.2.1.2.2.	Bâtiment et systèmes	177
6.2.1.2.3.	Systemes	178
6.2.1.2.4.	Systemes et usager	179
6.2.1.2.5.	Usager	180
6.2.1.2.6.	Bâtiment et usager	180
6.2.1.3.	Living Building Challenge™ – Bâtiments	180
6.2.1.3.1.	Bâtiment	181
6.2.1.3.2.	Bâtiment et systèmes	183
6.2.1.3.3.	Systemes	184
6.2.1.3.4.	Systemes et usager	185
6.2.1.3.5.	Usager	185
6.2.1.3.6.	Bâtiment et usager	185
6.2.2.	Cohérence avec les sources potentielles d’impacts	187
6.2.2.1.	Énergie	187
6.2.2.2.	Eau	189
6.2.2.3.	Matériaux	191
6.2.2.4.	Déchets	192
6.2.2.5.	Environnement intérieur	194
6.2.3.	Analyse des stratégies concernant l’usager	197
6.2.3.1.	Regroupement thématique 1 : 5 sources potentielles d’impacts...	197
6.2.3.1.1.	Énergie	200
6.2.3.1.2.	Eau	201
6.2.3.1.3.	Matériaux	203
6.2.3.1.4.	Déchets	203
6.2.3.1.5.	Environnement intérieur	204
6.2.3.2.	Regroupement thématique 2 : 4 thèmes	206
6.2.3.2.1.	Entretien et surveillance	207
6.2.3.2.2.	Sensibilisation et formation	208

6.2.3.2.3. Modélisation et mesurage	208
6.2.3.2.4. Comportement et habitude	209
7. Discussion	213
7.1. Pistes d'écoconception	213
1.1.1. Concept de « démontabilité »	214
1.1.2. Concept d'aptitude à l'évolution	216
1.1.3. Concept d'accessibilité	217
7.2. Considération de l'utilisateur	219
7.3. Superficie habitable	223
8. Conclusion	227
9. Références	239
10. Annexes	253
Annexe 1	254
Annexe 2	255
Annexe 3	256
Annexe 4	257

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Comparaison entre l'approche synchronique et diachronique	76
Tableau 2 :	Grille d'analyse de l'intensité des interventions en rénovation (revêtements, mobiliers intégrés, services et cloisons)	140
Tableau 3 :	Grille d'analyse de l'intensité des variations en rénovation (capacité de rangement ou de superficie habitable)	141
Tableau 4 :	Rénovation de cuisines : intensité des interventions	149
Tableau 5 :	Rénovation de salles de bains : intensité des interventions	151
Tableau 6 :	Rénovation de pièces de vie : intensité des interventions	154
Tableau 7 :	Capacité de rangement : intensité des variations	155
Tableau 8 :	Augmentation de la superficie habitable lors des rénovations	157
Tableau 9 :	Superficie habitable: intensité des variations	157
Tableau 10 :	Revêtements : intensité des interventions	161
Tableau 11 :	Mobiliers intégrés : intensité des interventions	162
Tableau 12 :	Services : intensité des interventions	163
Tableau 13 :	Cloisons : intensité des interventions	165
Tableau 14 :	Stratégies en lien avec l'énergie	188
Tableau 15 :	Stratégies en lien avec l'eau	190
Tableau 16 :	Stratégies en lien avec les matériaux	192
Tableau 17 :	Stratégies en lien avec les déchets	193
Tableau 18 :	Stratégies en lien avec l'environnement intérieur	195
Tableau 19 :	Stratégies considérant l'utilisateur : 5 sources potentielles d'impacts	199
Tableau 20 :	Stratégies considérant l'utilisateur : 4 thèmes	207

Liste des figures

Figure 1 :	Les couches du bâtiment (Building layers) Source : www.adaptablefutures.com	77
Figure 2 :	Le cadre de référence (Framecycle) Source : www.adaptablefutures.com	84
Figure 3 :	Cycle de vie anticipé des constructions et potentiel des bénéfices d'une conception accommodant le changement Source : (Manewa et al., 2009)	87
Figure 4 :	Sources potentielles d'impacts environnementaux associés aux bâtiments résidentiels (États-Unis)	125
Figure 5 :	Plan de la stratégie de recherche	133
Figure 6 :	Éléments interdépendants de la performance de l'habitation	167
Figure 7 :	Classification des stratégies de BOMA-BEST® – Immeubles résidentiels	170
Figure 8 :	Classification des stratégies de LEED® – Habitation	176
Figure 9 :	Classification des stratégies de Living Building Challenge™ – Bâtiments	182

Liste des sigles et abréviations

3R MCDQ	Regroupement des récupérateurs et des recycleurs de matériaux de construction et de démolition du Québec
APCHQ	Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
CBDCa	Conseil du bâtiment durable du Canada
BOMA-BES[®]	Building Owners and Managers Association – Building Environment Standards
BOMA-BES[®]-IR	BOMA-BES [®] -Immeubles résidentiels
CCQ	Commission de la construction du Québec
CEC	Commission for Environmental Cooperation
CFAO	Conception et fabrication assistée par ordinateur
CFC	Chlorofluorocarbures
CIB	Conseil international du bâtiment
COV	Composés organiques volatils
CRD	Secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition
CSA	Canadian Standards Association
CST	Conseil de la science et de la technologie
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DEL	Diode électroluminescente
EE	Embodied energy
FSC	Forest Stewardship Council
GES	Gaz à effet de serre
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HERS	Home Energy Rating System

HFC	Hydrofluorocarbures
ILFI	International Living Future Institute
ISO	Organisation internationale de normalisation
LBC™	Living Building Challenge™
LBC™-B	Living Building Challenge™ – Bâtiments
LEED®	Leadership in Energy and Environmental Design
LEED®-H	LEED – Habitations; LEED – Homes
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
NAHB	National Association of Home Builders
OAQ	Ordre des architectes du Québec
ODEQ	Oregon Department of Environmental Quality
PIB	Produit intérieur brut
PVC	Polychlorure de vinyle
QAI	Qualité de l'air intérieur
R et D	Recherche et développement
REIMR	Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles
SBCI	Sustainable Buildings and Climate Initiative
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement
SFI	Sustainable Forestry Initiative
SFM	Sustainable Forest Management System
TI	Technologies de l'information
UNEP	United Nations Environment Programme
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
USGBC	U. S. Green Building Council
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

Cette thèse est dédiée à mes parents, Mimi et Laurent.

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la concrétisation de cette thèse. Dans un premier temps, je remercie grandement Monsieur Sylvain Plouffe, directeur de recherche, de m'avoir accompagné dans cette démarche enrichissante par son écoute, ses aptitudes et sa passion contagieuse pour l'opérationnalisation du développement durable et l'écoconception.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux organismes qui, par leur soutien financier, ont fait en sorte que ce projet de recherche se réalise. Premièrement, merci spécial au Fonds de recherche du Québec – Société et culture (FRQSC) pour la bourse de doctorat en recherche (B2) qui m'a permis de me concentrer sur mes études. Je tiens également à remercier la Faculté de l'aménagement pour son support à différentes étapes de ce processus.

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. Les études de troisième cycle représentent avant tout une démarche de nature solitaire, mais dont l'accomplissement repose sur le support et la contribution d'un groupe d'individus importants. De façon plus particulière, merci à Egest pour l'accompagnement, le soutien continu et l'aide précieuse dans le développement des tableaux et des figures; à Marie et Judith pour les précieux conseils, les discussions enrichissantes et les rires; à Marc, Renée, Chantale et Louis-Philippe pour leur contribution et leur générosité durant le terrain de recherche; à Laurent Salez, Mimi et Edwin Janzen pour la relecture et la révision des textes; ainsi qu'à Ann et Véronique, Julie et Jenika, Daphnée et François pour m'avoir permis d'accéder à des lieux de retraite inspirants pour la rédaction.

1. Introduction

La genèse de cette recherche émerge de la rencontre entre deux disciplines : le design d'intérieur et le design industriel. Fort d'une passion pour l'habitation et pourvu d'une grande expérience professionnelle en design d'intérieur, le chercheur entreprend d'abord des études de premier cycle en design industriel, puis ensuite des études supérieures en aménagement (maîtrise et doctorat), pour acquérir une expertise en écoconception. Au niveau de ces disciplines du design, la réflexion environnementale globale mène à une révision des façons de faire pour améliorer l'empreinte des bâtiments et des produits de consommation. Le design industriel a recours à des outils ou des principes systémiques, tels que la conception en vue de la récupération (design for recovery), l'aptitude à l'évolution et l'analyse du cycle de vie pour répondre aux préoccupations de réduction de la consommation d'énergie, de l'utilisation des matériaux, mais aussi de la minimisation des déchets, des rejets dans l'air et dans l'eau. Pour aborder cette problématique, le secteur du bâtiment se tourne vers des programmes de certification, tels que BOMA-BEST®, LEED® et le Living Building Challenge™, proposant des visées et des objectifs diversifiés. Cette recherche a donc été motivée par un désir d'appliquer une approche plus globale et systémique du design industriel à la sphère du bâtiment, comme moyen d'aborder un passage de l'habitation à la maison-produit.

L'industrie de la construction représente un secteur économique d'importance dont les pratiques actuelles de conception et de construction de l'habitation sont à l'origine de plusieurs problèmes : rendement déficient du secteur, qualité des bâtiments en décroissance,

lacunes dans le transfert des connaissances entre le chantier et l'industrie, sous-utilisation des technologies, résistance à l'innovation, manque d'investissement et d'engagement politique, problèmes de main-d'œuvre et production de bâtiments statiques due à une conception synchronique (Conseil international du bâtiment, 2010; Deslauriers et Gagné, 2012; Rundquist et al., 2013; Woudhuysen et Abley, 2004). Dans une perspective générale, les habitations sont des constructions sur mesure qui permettent de répondre à une diversité au niveau des ménages et des usages. En raison de son ancrage sur un site, le produit d'habitation n'est pas considéré au même titre que les autres produits de consommation courants. La conception synchronique (voir p. 22) se base sur un programme architectural regroupant les demandes et les besoins du présent recueillis au niveau de la phase de conception, ce qui a pour effet de produire un bâtiment statique; par opposition, concevoir selon une approche diachronique (voir p. 75) permettrait au bâtiment d'accommoder le changement en prenant en compte l'évolution des ménages et des usages (Douglas, 2006; Duffy, 1990; Kronenburg, 2007). De plus, les pratiques usuelles de conception et de construction sont également à l'origine de plusieurs impacts négatifs dus à la consommation d'énergie et d'eau, l'utilisation de matériaux, la génération de déchets, ainsi que des répercussions sur l'environnement intérieur et sur l'aspect économique (APCHQ, 2012c; CEC, 2008a; MDDEP, 2011; UNEP, 2011).

Certaines tendances conceptuelles émergentes abordent les problèmes et les impacts de l'industrie de la construction résidentielle : l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale. Premièrement, originalement développée pour répondre à une pénurie de main-d'œuvre et un grand besoin de logement (période de l'après-guerre; reconstruction rapide suite à des désastres; augmentation de la population), l'industrialisation du bâtiment est un processus centralisé qui regroupe les activités de conception, de gestion, de contrôle de la qualité et de production dans un même environnement contrôlé, dans le but d'augmenter le rendement et la qualité du produit. Pour atteindre cet objectif, ce processus vise encore aujourd'hui à une augmentation du niveau de standardisation, mais également une diminution du travail manuel par la mécanisation, l'automatisation et/ou la robotisation (van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010b). Deuxièmement, le bâtiment vert vise la réduction des impacts environnementaux et sociaux associés à l'habitation, et ce, en terme d'énergie, d'eau, de matériaux, de déchets, mais aussi d'environnement intérieur en considérant les répercussions sur la santé, le confort et la qualité de vie des occupants (UNEP, 2011). Pour évaluer la performance des bâtiments, ce mouvement de conception et de construction a vu émerger divers programmes de certifications tels que BOMA-BEST®, LEED® et le Living Building Challenge™. Troisièmement, l'approche diachronique

est mise en place pour pallier à la production de bâtiments statiques. Cette approche conceptuelle vise la conception et la construction de bâtiments qui accommodent le changement et qui permettent une meilleure réponse à l'évolution des besoins des occupants et des usagers (Schmidt III et al., 2010). Quatrièmement, la rationalisation spatiale questionne les besoins en termes de superficie habitable puisque cette caractéristique est de plus en plus associée à des impacts environnementaux, sociaux et économiques importants et délétères (Ahn et al., 2008).

La conception synchronique est problématique parce qu'elle génère des bâtiments statiques qui ne sont pas en mesure d'accommoder la diversité et l'évolution des usages, des caractéristiques inhérentes à la phase d'usage de l'habitation (période qui succède la construction du bâtiment et qui précède sa démolition). Il apparaît donc pertinent de s'attarder sur les tendances et l'évolution des usages en ce qui concerne l'utilisation de pièces telles que les cuisines, les salles de bains, les pièces de vie (salons ou salles de séjour, salles à manger ou salles à dîner, bureaux à domicile, pièces de divertissement et chambres), mais aussi au niveau de concepts comme la capacité de rangement et la superficie habitable. De plus, l'évolution des usages implique nécessairement des cycles de rénovation que l'habitation est susceptible de subir durant sa durée de vie, variant entre 50 ans et 100 ans (Palmeri, 2009; Thomsen et van der Flier, 2011). Les motivations menant à la rénovation sont de plusieurs ordres; elles peuvent être reliées à l'obsolescence économique (en lien avec la valeur de l'habitation), fonctionnelle (en lien avec la réponse aux attentes et aux besoins des occupants) et psychologique (en lien avec la valeur identitaire et esthétique). Enfin, l'importance d'une meilleure considération de la phase d'usage de l'habitation se révèle à travers les sources potentielles d'impacts qui lui sont associés, à savoir la presque totalité de la consommation d'énergie et d'eau, mais aussi près de la moitié des matériaux utilisés et des déchets générés. La phase d'usage génère également des répercussions sur l'environnement intérieur (confort thermique, confort visuel, confort acoustique et qualité de l'air intérieur) et représente un potentiel d'effets physiques et psychologiques pour les occupants (McGraw Hill Construction, 2014a). La phase d'usage concerne également des implications d'ordre économique puisque les coûts associés à la rénovation ajoutent une source de dépenses supplémentaires aux occupants (Houzz and Edge Research, 2014).

Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable de ce secteur, cette recherche vise l'amélioration des pratiques de conception de l'habitation, et ce, en discutant du potentiel (environnementale, social et économique) de passer d'une approche

synchronique (conception selon des besoins du moment menant à la construction de bâtiments statiques) à une approche diachronique (conception permettant au bâtiment d'accueillir l'évolution des ménages et des usages) (Douglas, 2006; Duffy, 1990). La problématique de recherche concerne la considération de la phase d'usage dans le processus conceptuel de l'habitation. Par l'exploration de la phase d'usage de l'habitation, cette recherche souhaite identifier des opportunités pour améliorer les pratiques de conception du bâtiment résidentiel. Dans une approche de conception diachronique, cette recherche vise une meilleure considération de l'usage afin que l'habitation puisse accueillir le changement. Cette prise en compte de l'évolution des besoins des occupants représente un potentiel de minimisation des impacts environnementaux associés à la phase d'usage.

Cette thèse comporte huit parties : le chapitre 1 présente l'introduction de la recherche; le chapitre 2 est le cadre de référence qui dresse un profil exhaustif de la construction résidentielle en traitant des problèmes et des causes potentielles d'impacts de cette industrie; le chapitre 3 présente différentes tendances conceptuelles émergentes mises en place pour améliorer la performance de l'habitation : industrialisation de la construction, bâtiment vert, approche diachronique et rationalisation spatiale; le chapitre 4 établit le jalon de la problématique de recherche qui concerne la considération de l'usage dans le processus conceptuel de l'habitation; le chapitre 5 traite de la méthodologie utilisée, en présentant la stratégie et les méthodes privilégiées pour répondre aux questions de recherche et aux objectifs du projet doctoral; le chapitre 6 regroupe les résultats des collectes, analyses et interprétations de données : l'étude des interventions en rénovation par l'analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation de 55 projets résidentiels et l'étude de la considération de l'usage par l'analyse de contenu des programmes de certification de bâtiment vert (BOMA-BEST®, LEED® et Living Building Challenge™); le chapitre 7 comprend la discussion en faisant un retour sur les résultats et en discutant des enjeux et des questionnements soulevés au cours de cette recherche; enfin, le chapitre 8 présente la conclusion générale et certaines pistes de recherches futures.

2. Construction résidentielle : problèmes et impacts

L'industrie de la construction représente une part importante du marché économique, soit 10% du PIB canadien (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004). Au Québec, l'industrie de la construction est le seul secteur de production de biens où l'emploi a connu une importante progression; les dépenses reliées à la construction connaissent également une augmentation, car si elles atteignaient un peu moins de 6% du PIB en 2000, elles en représentaient 8,5% en 2008 (Deslauriers et Gagné, 2012). Dans la province, 5% des personnes travaillent dans l'industrie de construction, un secteur qui engendre des dépenses annuelles de plus de 45 milliards de dollars (CCQ, 2011-2012). Plus spécifiquement, l'industrie de la construction résidentielle, qui regroupe la construction neuve, la rénovation, ainsi que les tâches de réparations et d'entretien, représentait un marché de 26 milliards de dollars en 2013, soit plus de 8% du produit intérieur brut (PIB) (APCHQ, 2014). Cette industrie totalise 174 000 emplois temps plein créés au Québec en 2013, soit 105 000 emplois en rénovation et 69 000 emplois en construction neuve (APCHQ, 2014).

L'industrie de la construction représente donc à l'évidence un secteur économique important. Mais ce secteur, aussi important qu'il soit, n'en présente pas moins des failles majeures. Ainsi les pratiques de conception et de construction actuelles sont à l'origine de plusieurs problèmes qui seront exposés dans cette thèse. Cette recherche doctorale s'amorce par une revue de littérature menée afin de dresser le profil de la construction résidentielle. L'objectif de cette introduction bibliographique est de mettre en avant les problèmes reliés aux pratiques actuelles de l'industrie de la construction résidentielle à l'origine d'impacts environnementaux, sociaux et économiques majeurs. Parmi ceux répertoriés, notons un

rendement déficient du secteur de la construction, une qualité en décroissance des bâtiments, des lacunes dans le transfert des connaissances entre le chantier (entrepreneurs et métiers de la construction) et l'industrie (architectes, designers, fabricants et fournisseurs de produits et matériaux de construction), la sous-utilisation des technologies (TI, DAO, CFAO), la résistance à l'innovation en construction, le manque d'investissement et d'engagement politique, les problèmes de main-d'œuvre, ainsi que l'approche synchronique qui produit des bâtiments statiques. Ensuite, les pratiques usuelles en construction sont également à l'origine de plusieurs impacts dus à la consommation d'énergie et d'eau, à l'utilisation de matériaux, à la génération de déchets et la dégradation d'environnement intérieur. Enfin, cette recherche s'intéresse à l'aspect économique de la construction.

2.1. Problèmes de l'industrie

Au Canada, le secteur de la construction possède un profil très particulier dû à la fragmentation d'une industrie qui regroupe majoritairement de petites entreprises comportant moins d'une dizaine d'employés (CCQ, 2011-2012; CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004). La plupart de ces petites firmes regroupent les services de gestionnaires et/ou d'entrepreneurs. Les équipes sont complétées en fonction du type et de l'ampleur du projet, en ayant recours à la sous-traitance. Les diverses disciplines de la construction sont divisées en fonction des spécialisations du bâtiment (fondations, charpente, revêtements extérieurs, revêtements intérieurs, portes et fenêtres, cloisons intérieures, électricité, plomberie, chauffage-ventilation-climatisation) et interviennent tour à tour dans les différentes étapes d'avancement d'un projet.

2.1.1. Rendement déficient

L'industrie de la construction est un secteur économique qui n'est pas reconnu pour sa performance, et ce, sous plusieurs aspects. Premièrement, le taux de productivité du milieu est plutôt stagnant (CST, 2003; Deslauriers et Gagné, 2012; Woudhuysen et Abley, 2004). Bien qu'il soit possible d'observer une amélioration du niveau de productivité du travail¹ entre 2000 et 2010, cette situation est plutôt attribuable à l'augmentation de la taille du secteur qu'à une réelle amélioration de la productivité (Deslauriers et Gagné, 2012). De ce fait, la performance de la construction demeure tout de même inférieure à la moyenne du secteur des entreprises au Québec, puisque « *sans être mauvaise, la performance de l'industrie de la construction au*

¹ La productivité du travail est obtenue en divisant le produit intérieur brut (PIB) par le nombre d'heures travaillées.

Québec au chapitre de la productivité au travail est loin d'être exceptionnelle » (Deslauriers et Gagné, 2012, p. 10).

Ensuite, par opposition aux autres secteurs manufacturiers, le temps n'est pas un facteur très contrôlé sur les chantiers de construction (Maugard et Héros, 2007). Les activités de conception et de construction sont des processus qui prennent beaucoup trop de temps (Kieran et Timberlake, 2004; Woudhuysen et Abley, 2004); une situation qui mène trop souvent au dépassement des délais (Rodrigue et Corriveau, 2004). Les importantes pertes de temps peuvent s'expliquer, entre autres, par des pratiques de gestion et de coordination déficientes des différents corps de métiers impliqués dont les tâches doivent se succéder; un processus responsable de plus de 50% du temps gaspillé dans un projet de construction (CST, 2003). De plus, beaucoup de temps est également perdu dans la correction des travaux mal exécutés, une pratique qui semble malheureusement habituelle sur les chantiers de construction (CST, 2003; Womack et Jones, 1996). De façon plus spécifique, M. John Egan estime que 30% du temps de construction est consacré à corriger ou à refaire certains travaux (Construction Task Force, 1998).

Enfin, l'industrie de la construction du bâtiment s'articule dans un cadre où le pouvoir décisionnel au niveau des projets se divise entre plusieurs entités, soit les promoteurs, les concepteurs et les entrepreneurs. Cette réalité a pour effet de nuire à l'efficacité de l'industrie puisque chacun a tendance à agir de façon indépendante et non dans l'intérêt spécifique du projet (Warszawski, 1999). Cette relation hiérarchique, qui s'articule autant au niveau de la responsabilité qu'au niveau de la prise de décisions, contribue négativement à la cohésion entre les différentes équipes de travail (Kieran et Timberlake, 2004) et ultimement impacte la performance de la construction.

2.1.2. Qualité en décroissance

Malgré le fait qu'il soit possible d'observer une amélioration générale de la qualité de la grande majorité des produits de consommation, l'industrie de la construction, quant à elle, semble produire des bâtiments dont la qualité ne cesse de diminuer (Conseil international du bâtiment, 2010; Kieran et Timberlake, 2004; Maugard et Héros, 2007). Ce constat est principalement attribuable au fait que l'industrie de la construction n'a pas su intégrer le même niveau d'industrialisation ou de standardisation que les autres secteurs industriels (Landin, 2010; Rundquist et al., 2013). Maugard et Héros (2007) illustrent bien l'étendue de cette problématique en établissant que « *si le bâtiment avait suivi une évolution comparable aux*

autres secteurs, il devrait être garanti pendant la durée du prêt immobilier, soit 20 à 25 ans, avec une politique d'entretien adéquate » (p. 49); une affirmation bien loin de représenter la réalité actuelle. Et nous présentons ici les différents facteurs qui contribuent, de près ou de loin, à la diminution de la qualité des constructions.

Le premier facteur mis en relief est le fait que le « *bâtiment ne subit pas la sanction du consommateur* » (Maugard et Héros, 2007, p. 50). Malgré le fait que l'habitation ait une durée de vie beaucoup plus importante que la grande majorité des biens de consommation, « *les exigences de qualité sont, paradoxalement, moins fortes* » (Maugard et Héros, 2007, p. 49). Certains critères, tels que l'emplacement de l'habitation, sont considérés comme étant plus importants que la qualité de la construction; situation s'expliquant par le fait que les défauts et les déficiences ne sont pas perçus comme des finalités puisqu'ils peuvent toujours être réparés (Maugard et Héros, 2007). Dans ce même ordre d'idées, même si le consommateur voulait prioriser la qualité dans son achat résidentiel, « *il n'existe pas de réelle mesure de la qualité générale et de la fiabilité d'un bâtiment* » (Maugard et Héros, 2007, p. 49). Cette réalité complique les démarches du consommateur qui voudrait éviter les mauvaises surprises causées par les vices cachés ou prévenir toutes dépenses, ultérieures à l'achat d'un bâtiment ou d'un logement, qui seraient nécessaires pour corriger ou améliorer la qualité de la construction.

Les problèmes de qualité en décroissance découlent en partie du fait que les responsabilités se retrouvent en quelque sorte diluées dans le processus de construction. En effet, selon les pratiques de construction usuelles, il est impossible pour le maître d'ouvrage de garantir le travail exécuté par les différents intervenants du bâtiment (charpentier-menuisier, électricien, plombier, carreleur, peintre et autres professions de la construction) (Maugard et Héros, 2007). Dans le format actuel, les différentes disciplines de la construction réalisent leurs tâches selon leurs intérêts et connaissances sans se préoccuper des répercussions sur les autres. En effet, la présence de plusieurs sous-traitants indépendants, qui se succèdent dans le processus de construction, complexifie la gestion du chantier; cette organisation du travail est défailante puisque le manque de cohésion entre les disciplines crée des problèmes de construction qui doivent, la plupart du temps, être réglés par l'intervenant suivant (CST, 2003). Cette situation, qui minimise le travail d'équipe, a des répercussions sur la qualité et sur les délais de construction (Kieran et Timberlake, 2004; McWilliams, 2004). Enfin, dans le format actuel, la qualité est grandement tributaire de la formation et de la compétence de la main-d'œuvre technique et professionnelle qui interviendra dans le projet (Warszawski, 1999).

En somme, le principal facteur en cause dans la décroissance du niveau de qualité de la construction est que, dans la structure actuelle de l'industrie, chaque bâtiment est, en quelque sorte, un prototype (Kieran et Timberlake, 2004; Maugard et Héros, 2007). La construction nécessite le recours à une multitude de sous-traitants afin de « *fournir une main-d'œuvre qualifiée et diverses matières premières sur un site, et ce, pour créer, à chaque fois, un prototype [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2008, p. 1). Puisque la construction d'un bâtiment ne sera que très rarement répétée, il est donc extrêmement difficile d'apprendre des projets antérieurs et d'en améliorer la conception et la réalisation (CST, 2003). Certains iront jusqu'à affirmer que selon les méthodes de construction employées aujourd'hui, il est difficile de mener à la complétion d'une résidence sans défektivité ni imperfection majeure (Woudhuysen et Abley, 2004). Cet argument semble amener que le processus constructif actuel produit habituellement un exemplaire unique de bâtiment dont l'optimisation ne bénéficie pas, au même titre que les autres produits industrialisés, de la répétition ou de la standardisation des pratiques.

2.1.3. Lacunes dans le transfert des connaissances

La division et la surspécialisation des différentes disciplines de la construction se soldent par une sectorisation hermétique des corps de métiers, une configuration qui minimise les échanges et le travail conjoint, tout en causant la perte de l'intelligence collective (Kieran et Timberlake, 2004). Un système collaboratif basé sur une relation de confiance et une éthique de travail permettrait l'amélioration de la cohésion au sein des membres de l'équipe de projet tout en soutenant l'amélioration continue dans le temps (Maugard et Héros, 2007; van Egmond, 2012; Woudhuysen et Abley, 2004). Cette façon de faire permettrait d'obtenir des gains de productivité, mais également de bonifier le rapport qualité/prix des constructions (Maugard et Héros, 2007). Cette finalité demande une continuité dans les relations entre l'entrepreneur et les différents intervenants, ce qui n'est pas possible pour le moment puisque chaque projet possède une équipe différente (Rundquist et al., 2013).

Les innovations en construction naissent souvent en réponse à des problèmes rencontrés directement sur le chantier. Un manque de cohésion et de coopération entre les différents corps de métiers de l'équipe de projet (designer, architecte, entrepreneur et intervenants de la construction), mais aussi entre les fabricants et les fournisseurs (matériaux, produits, composantes et systèmes du bâtiment), engendre un faible niveau de diffusion des nouvelles connaissances, qui finissent par se perdre en fin de projet (CST, 2003; Rundquist et al., 2013; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a). Cette problématique de transfert de la

connaissance peut s'expliquer par le fait qu'il n'existe pas de structure ou de processus permettant de recueillir les idées ou les solutions mises de l'avant pour répondre aux problématiques rencontrées dans la pratique. Ces informations pourraient être pertinentes aux fabricants et aux fournisseurs dans l'atteinte d'une meilleure connaissance et compréhension du marché, menant ultimement à l'amélioration des produits ou des processus de construction, mais aussi au développement de nouveaux produits répondant aux besoins réels de l'industrie (Rundquist et al., 2013). Les principaux défis sont donc de trouver une façon d'accéder aux connaissances acquises sur les chantiers, de trouver les moyens de les conserver afin de pouvoir les réutiliser sur de prochains projets, mais aussi de trouver le moyen de diffuser cette connaissance collective pour qu'elle soit reçue par les fabricants et les fournisseurs (Rundquist et al., 2013). Afin d'améliorer le niveau de communication et de coopération, mais aussi pour permettre une meilleure intégration de la connaissance, il est possible de répertorier quatre mécanismes de transfert de la connaissance :

- > **Routines préliminaires** (*Pre-launch routines*) : processus visant à intégrer les différents intervenants en début de projet de façon à favoriser une meilleure collaboration (Rundquist et al., 2013);
- > **Groupe de discussion** (*Focus group*) : processus utile pour identifier des problèmes à partir de la perspective de l'utilisateur, pour résoudre des problèmes, pour valider la conception ou pour recueillir des commentaires ou recommandations avant le lancement d'un nouveau produit/projet (Rundquist et al., 2013);
- > **Boîte à idées** (*Idea box*) : mécanisme permettant de recueillir des informations qui peut prendre une forme physique sur le chantier ou une forme virtuelle au bureau des intervenants en construction impliqués dans le projet (Rundquist et al., 2013);
- > **Bilan** (*Post-mortem*) : effectué en fin de projet, cet important mécanisme d'apprentissage en innovation permet une rétention des nouvelles connaissances acquises en cours de projet (van Egmond, 2012).

2.1.4. Sous-utilisation des technologies

L'informatisation a contribué à augmenter le niveau d'efficacité des bureaux d'architecture, et ce, tant au niveau de la gestion, de la conception que de la communication interne et externe (Aedifica, 2007). Le processus d'informatisation inclut le développement des technologies de l'information (TI), un terme qui peut se définir comme l'« *utilisation d'appareils*

électroniques et de logiciels pour le traitement, le stockage, le transfert et la présentation des informations [traduction libre]» (Björk, 1999, p. 4). Ces outils de gestion de l'information et de la documentation, ces logiciels de partage, de communication et de collaboration virtuels permettent à toutes les disciplines de la construction d'être impliquées plus directement dans le projet puisqu'ils assurent des échanges efficaces et des transferts rapides d'informations ou de dessins, et ce, durant toute la durée du projet (Kieran et Timberlake, 2004). Par contre, de façon générale, à part l'utilisation du courriel, ces façons de faire sont peu intégrées au niveau des entreprises (CST, 2003; McWilliams, 2004; Rodrigue et Corriveau, 2004). Le niveau d'intégration des TI est relié à la taille des organisations. En effet, les petites et moyennes entreprises (PME) ne possèdent souvent pas l'expertise ni l'équipement nécessaire pour les exploiter pleinement (Rodrigue et Corriveau, 2004). Pourtant, les TI ont le potentiel de changer et de bonifier les pratiques de la construction et, par extension, d'améliorer la performance générale de l'industrie (McWilliams, 2004). En effet, les différents outils des TI sont susceptibles de fournir plusieurs avantages :

- > **amélioration des délais** en permettant, entre autres, d'accélérer le processus de développement du projet, de fournir des informations en temps réel sur les changements, de réduire le temps d'approbation et le temps d'archivage (Kieran et Timberlake, 2004; Rodrigue et Corriveau, 2004);
- > **diminution des coûts de construction**, entre autres, par une meilleure gestion administrative et meilleure gestion des matériaux (i.e. prévoir les coûts d'implantation des TI) (Kieran et Timberlake, 2004; Rodrigue et Corriveau, 2004);
- > **meilleure documentation du déroulement du projet** qui permet, entre autres, de relater les changements apportés au niveau des plans et devis, un atout important pour prévenir et régler des conflits. Cette traçabilité peut également être utilisée pour renseigner sur la performance de l'entreprise à travers ses différents projets (Rodrigue et Corriveau, 2004);
- > **meilleure collaboration entre les différents intervenants** d'un projet (usager, client, architecte, entrepreneur, fournisseur, fabricant, ouvrier) qui peuvent participer à la conception et à la résolution de problèmes, échanger, explorer et arriver à une meilleure compréhension du projet avant sa mise en chantier (Kieran et Timberlake, 2004; Knaack et al., 2012);

- > **meilleure cohésion** entre les sphères de recherche, de conception, de représentation, de fabrication et d'assemblage (Kieran et Timberlake, 2004; Knaack et al., 2012; Woudhuysen et Abley, 2004).

En marge du développement des TI, des avancées ont également été relevées au niveau de la représentation graphique des projets de construction. L'utilisation des outils informatiques de dessin assisté par ordinateur (DAO), au niveau de la conception des plans, a permis de gagner en rapidité comparativement au dessin réalisé à la main. Cette façon de faire accessible, qui est aujourd'hui bien implantée dans les pratiques de design et d'architecture, permet d'améliorer la communication entre les différents intervenants du projet (Aedifica, 2007; CST, 2003; McWilliams, 2004). Par contre, malgré les avantages que procure cette pratique, il est important de noter que la maîtrise du logiciel de dessin bidimensionnel (2D) dépend uniquement de la compétence du dessinateur. De plus, le dessin 2D semble participer à la production d'erreurs d'exécution puisque cette technique ne permet pas de vérifier ni de valider les détails et les assemblages qui sont, quant à eux, mis en forme en trois dimensions (3D); décalage susceptible d'engendrer des problèmes et des déficiences qui devront par la suite être réglés sur le chantier (McWilliams, 2004).

Le dessin tridimensionnel semble donc être l'outil le plus précis dans la représentation graphique du projet (Aedifica, 2007). Malheureusement, le résultat dépend lui aussi de la compétence du dessinateur, et l'utilisation de la représentation 3D par les ingénieurs et les architectes demeure toujours très marginale au Canada (CST, 2003). La modélisation 3D, accessible aux différents intervenants, permet de faciliter la compréhension et d'éliminer les ambiguïtés (Woudhuysen et Abley, 2004). Elle permettrait également d'atteindre un plus haut niveau de précision, d'augmenter la productivité, de faciliter la coordination, d'accroître la fiabilité des concepts et de rendre plus prévisibles les différentes phases de construction (McWilliams, 2004). Par contre, pour atteindre un maximum de bénéfices, la modélisation 3D en mode partagé devra devenir la norme à travers toute l'industrie de la construction (Woudhuysen et Abley, 2004). Ce concept de modélisation 3D multidisciplinaire pourrait permettre une économie de 2% sur les coûts du projet, simplement par la meilleure gestion des matériaux (Woudhuysen et Abley, 2004). D'autres gains sont notamment possibles au niveau des tâches de planification des travaux de construction et des livraisons, ainsi que dans l'identification rapide des problèmes d'assemblage et de coordination (Woudhuysen et Abley, 2004).

Enfin, nous assistons également au développement de la conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO), une technologie qui permet à l'architecture, malgré la singularité des projets, d'explorer la fabrication industrielle et tous les avantages qu'elle peut apporter (niveau de qualité, de précision, de rapidité et d'efficacité) (Finn, 1992; Maugard et Héros, 2007). Un autre avantage de ce type de technologie est qu'il est possible, par le traitement de l'information, de mettre en production des éléments sur mesure afin qu'ils soient fabriqués selon les principes industriels, tout en demeurant économiquement compétitifs (Knaack et al., 2012; Maugard et Héros, 2007). Il est également intéressant de noter que l'utilisation de la robotisation, pour la fabrication, procure également plusieurs avantages comme le fait d'augmenter la rapidité d'exécution et le niveau de précision, tout en offrant la possibilité d'exécuter les tâches répétitives et celles plus dangereuses (Finn, 1992; Warszawski, 1999).

2.1.5. Résistance à l'innovation

De façon générale, la construction est une industrie conservatrice dans ses façons de faire, tant du point de vue organisationnel, technologique que conceptuel (Richard, 2004). Cette nature particulière amène certaines résistances envers le progrès, l'innovation et les nouvelles technologies (Friedman, 2002; Häkkinen et Belloni, 2011; Woudhuysen et Abley, 2004). Le marché de l'habitation n'a offert que trop peu d'avancées technologiques depuis les cinquante dernières années si on le compare aux autres industries (Kintrea, 2007). La performance de l'industrie de la construction est un peu moins satisfaisante que les autres industries de production de biens (services publics, industries primaires et entreprises manufacturières), un fait attribuable à la faible évolution technologique du secteur (Deslauriers et Gagné, 2012). Ce secteur tend donc à privilégier plutôt les conceptions et les méthodes de construction plus traditionnelles; situation qui est, entre autres, renforcée par le fait que la majorité des acheteurs soit peu exigeante sur le plan technologique et sur celui de l'innovation (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004).

Le développement des matériaux est aujourd'hui de loin l'industrie la plus prolifique et la plus proactive au niveau de l'innovation en construction. En effet, nous assistons à la mise en marché de plusieurs nouveaux produits et au renouvellement continu des produits existants (Gann, 1997; Maugard et Héros, 2007); nous estimons que « *près de la moitié d'entre eux sont renouvelés [...] tous les deux ans* » (Maugard et Héros, 2007, p. 51). Malgré le fait qu'ils ont le potentiel de contribuer à changer le secteur de la construction, les nouveaux matériaux sont trop lentement intégrés dans l'industrie (Kieran et Timberlake, 2004). De plus, le profil

fragmenté de l'industrie au Canada, sujet abordé précédemment, semble aussi être un facteur qui empêche le développement de l'innovation au niveau de la construction puisque la plupart des petites firmes ne possèdent pas les ressources techniques, scientifiques et financières pour implanter des programmes de R et D (CST, 2003; Nadim, 2012). Selon Gann (1997) la R et D se définit comme un processus « *qui englobe toute activité de création, entreprise sur une base systématique en vue d'accroître le niveau des connaissances, ainsi que l'utilisation de ces connaissances dans la conception de nouvelles applications. Elle réunit la recherche fondamentale, la recherche stratégique, la recherche appliquée et le développement expérimental [traduction libre]* » (p. 259).

Dans l'ouvrage intitulé « *L'innovation dans l'industrie du bâtiment au Québec en 2004* », les auteurs répertorient plusieurs obstacles à l'intégration de l'innovation dans la construction, ce qui permet de dresser un portrait global de la situation (Rodrigue et Corriveau, 2004). La première difficulté est la réticence à jouer le rôle de pionnier et à être le premier à utiliser une nouveauté, qu'il s'agisse d'un matériau, d'un produit ou d'un système (Rodrigue et Corriveau, 2004). La plupart des professionnels préfèrent privilégier la prudence et attendre que l'élément innovant fasse ses preuves afin de minimiser les risques en termes de répercussions économiques et temporelles (CST, 2003; Häkkinen et Belloni, 2011; Smith, 2010); une situation qui complique la pénétration des matériaux/produits/systèmes innovants sur le marché de la construction. Cette hésitation est compréhensible puisque 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 (CST, 2003). Cette réalité est directement liée à un des problèmes généraux de la construction puisque le partage des risques et bénéfices est présentement mal réparti entre les différents intervenants du projet de construction (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004).

Un deuxième obstacle à l'intégration de l'innovation est le type d'attribution des contrats. En effet, lorsque les projets vont en appel d'offres, l'entreprise de construction est presque exclusivement sélectionnée en fonction du critère économique, privilégiant la soumission du moins-disant, ce qui ne représente pas toujours la solution optimale pour stimuler l'innovation (Häkkinen et Belloni, 2011; Maugard et Héros, 2007; Rodrigue et Corriveau, 2004). En effet, en soumissionnant aux prix les plus faibles possible, les entreprises de construction se mettent souvent en situation de confrontation avec les sous-traitants auxquels ils demandent de baisser les prix au maximum afin d'obtenir le contrat, et ensuite, de le

respecter (CST, 2003). En connaissance de cause et en voulant s'assurer les meilleures chances d'obtention des projets, les estimateurs ne vont pas privilégier des solutions innovantes pour répondre aux devis, mais plutôt les processus de construction usuels. Cette compétitivité économique a des effets pervers spécifiquement sur la culture de la qualité en construction puisque les entreprises « *ont tendance à avoir un sens beaucoup plus développé des coûts et un sens sous-développé de la valeur ou de la qualité [traduction libre]* » (Gann, 1997, p. 262). De plus, l'industrie véhicule une vision à court terme (Rodrigue et Corriveau, 2004) puisqu'au niveau des estimations des coûts de construction, l'intérêt est seulement porté sur les coûts primaires (*first costs*), sans toutefois tenir compte des frais d'exploitation, de la qualité, des coûts d'entretien et de la fiabilité (Brown, 2002). Enfin, les soumissions sont élaborées à partir du devis; document qui a pour but de définir les standards de qualité du projet de construction, ainsi que de faciliter la communication entre les différents intervenants. En réalité, le devis n'a pas toujours une contribution positive puisqu'il « *contient soit trop ou trop peu d'informations, qu'il comporte des déclarations ambiguës ou des éléments qui ne devraient pas s'y retrouver [traduction libre]* » (Morris, 2004, p. 229). Cette situation laisse souvent place à de multiples interprétations menant potentiellement à des soumissions imprécises qui peuvent engendrer des dépenses supplémentaires en cours de projet.

Un troisième obstacle fait référence aux lacunes dans la formation des intervenants. Bien qu'il existe peu d'innovations dans les procédés de construction, tel que mentionné précédemment, la réalité est diamétralement opposée au niveau des produits et matériaux de construction. Cette effervescence et cette rapidité de renouvellement ne sont pourtant pas assimilées par les concepteurs et les entrepreneurs qui ont tendance à spécifier et utiliser les mêmes produits par souci de simplicité. Cette réalité ne permet pas aux innovations de pénétrer adéquatement les procédés de construction (Maugard et Héros, 2007). Il est même permis d'évaluer que « *pour chaque bon produit de l'industrie de la construction internationale d'aujourd'hui [...] on compte cent procédés qui demeurent les tâches opaques et pénibles qu'elles étaient au 19e siècle [traduction libre]* » (Woudhuysen et Abley, 2004, p. 3). À l'heure actuelle, la formation initiale ou la connaissance sur les nouveaux produits, procédés ou services en construction n'est pas adéquate (Häkkinen et Belloni, 2011; Rodrigue et Corriveau, 2004). Les intervenants du bâtiment se doivent de demeurer proactifs pour se tenir à jour et acquérir les connaissances sur les nouveaux matériaux et produits; cette prérogative est essentielle pour assurer une amélioration des processus et de la qualité des constructions (Maugard et Héros, 2007). Cet aspect formatif est également valable pour les différentes

innovations dans les méthodes de gestion de projets, ainsi qu'au niveau des différents outils technologiques qui font leur entrée sur le marché (Rodrigue et Corriveau, 2004).

Le quatrième obstacle recensé est la réglementation de la construction qui peut être considérée comme un frein à l'innovation lorsqu'elle est normative (CST, 2003; Woudhuysen et Abley, 2004). Vu la complexité des différents codes du bâtiment, l'équipe de projet se contente habituellement de rechercher la conformité aux exigences, sans chercher à innover. Ce constat permet également de mettre en lumière l'importance et le besoin d'uniformiser les différentes politiques relatives au bâtiment afin que leurs visées ne soient pas contradictoires aux intentions du bâtiment vert (CEC, 2008a). Dans l'optique où la réglementation serait développée à l'image d'un guide de performance, le résultat serait potentiellement différent puisque les intervenants seraient encouragés à promouvoir les innovations et ces dernières permettraient d'améliorer les gains et les performances du bâtiment (CST, 2003).

Le dernier obstacle à l'intégration de l'innovation en construction est le manque de communication entre l'industrie et les établissements universitaires qui comportent un programme en lien, de près ou de loin, avec cette industrie (Rodrigue et Corriveau, 2004). Cette situation limite grandement le partage et les échanges entre la pratique et la recherche universitaire (Rodrigue et Corriveau, 2004). De ce fait, les chercheurs gagneraient à s'intéresser plus concrètement aux problématiques vécues au quotidien sur les chantiers de construction afin d'orienter les sphères de recherches. Les différents intervenants de l'industrie pourraient aussi bénéficier des questionnements et des réflexions mis en œuvre au niveau des chaires de recherches. Nonobstant le fait que l'industrie de la construction n'a traditionnellement jamais été proactive au niveau de la R et D (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004), l'établissement d'une meilleure communication ne pourrait qu'être bénéfique.

2.1.6. Manque d'investissement et d'engagement politique

Malgré le fait que l'industrie de la construction représente une part importante de l'économie canadienne (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004), le niveau d'investissement demeure très bas dans ce secteur économique (Woudhuysen et Abley, 2004). La situation au Québec, et au Canada, est préoccupante puisque le niveau de recherche ne progresse pas et les initiatives gouvernementales, en dehors des crédits d'impôt en R et D, sont inexistantes (CST, 2003). Certains soutiennent que le gouvernement a une responsabilité dans la stimulation de l'innovation du secteur (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004). Par contre, selon l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ)

(2012a), « *l'approche actuelle, où l'habitation est sujette à l'influence de plusieurs ministères agissant en silos, témoigne à notre avis d'une certaine incompréhension quant à l'impact global des interventions gouvernementales* ». Pour combler le retard du secteur en ce qui a trait au domaine de l'innovation, tous les acteurs importants de l'industrie de la construction du Québec devront se réunir pour travailler de concert (Rodrigue et Corriveau, 2004).

De plus, de par sa nature conservatrice, le secteur de la construction est une industrie qui possède un cycle d'évolution et de changement plutôt lent. Pour cette raison, il est difficile d'obtenir une continuité dans l'engagement et l'encadrement politiques puisque les mandats, tant provinciaux que fédéraux, sont renouvelés à l'intérieur de quelques années seulement. En plus, la faible implication gouvernementale au niveau de l'industrie de l'habitation démontre que ce secteur ne semble plus faire partie des préoccupations nationales (CST, 2003). Plusieurs s'entendent pour dire que cette situation devrait être corrigée en réalignant l'implication des gouvernements avec la mise sur pied d'un plus grand nombre de programmes de support et de développement (Rodrigue et Corriveau, 2004). À cet effet, un réel débat s'articule dans la littérature autour de la question de l'implication des instances gouvernementales au niveau du financement de la recherche. Ceux qui sont en faveur de cette implication de l'État présentent plusieurs arguments : l'avancement de la connaissance est essentiel au développement de la société; la science participe au développement de la technologie, laquelle contribue spécifiquement à la création de richesses; la recherche universitaire, financée par les fonds publics, fournit les bases de connaissances sur lesquelles peut se baser la recherche en entreprise (Gann, 1997; Kealey, 1996). En comparaison, les opposants au financement de la recherche par les gouvernements soutiennent que 90% des innovations ou des avancées technologiques proviennent directement des entreprises privées et qu'une implication gouvernementale diminuerait la proactivité de l'industrie en R et D (Langrish et al., 1972). En définitive, certains considèrent qu'un partage serait souhaitable : du financement privé pour le déploiement des technologies du secteur des affaires et un investissement public au niveau de la recherche fondamentale, qui pourrait prendre la forme de subventions dans des domaines de recherche comme l'environnement (Gann, 1997).

Dans son rapport intitulé *Bâtir et innover - Tendances et défis dans le secteur du bâtiment*, le Conseil de la science et de la technologie (CST, 2003) recommande l'implantation d'un programme faisant appel à l'implication gouvernementale qui comporte trois aspects :

- > **Créer un centre de recherche, de démonstration et de transfert en innovation sur le bâtiment** : cette mesure, qui aurait pour but de stimuler le recours à la recherche et à

l'expérimentation en mettant de l'avant la collaboration entre les entreprises, les universités et les centres de recherche publics, « *permettrait d'instaurer un lieu d'échange et d'expérimentation en matière de développement technologique et d'innovation et d'amorcer le développement d'une culture de l'innovation dans les entreprises du secteur de la construction* » (CST, 2003, p. 234). En plus d'augmenter le savoir-faire, de stimuler la transmission des expertises et de favoriser le réseautage, cette entité pourrait avoir recours à la réalisation de projets de démonstration comme moyen de vulgarisation et de démonstration de la pertinence des innovations et des meilleures pratiques dans le domaine de la construction (CST, 2003; Rodrigue et Corriveau, 2004).

- > **Modifier les politiques d'achat public de manière à favoriser l'innovation** : les gouvernements provinciaux et fédéraux représentent des acteurs très importants au niveau de la construction et pourraient avoir un impact probant sur l'innovation de ce secteur, et ce, de plusieurs façons : par la modification des politiques d'appels d'offres et d'attribution des contrats, l'intégration de contraintes de sécurité ou environnementales, l'implantation d'une mesure semblable à la politique du 1% des arts et de la culture, en octroyant un pourcentage du budget global du projet à l'innovation (CST, 2003).
- > **Intensifier la recherche universitaire ainsi que la formation d'étudiants** : ce type de recherche appliquée, financé par le gouvernement et les organismes subventionnaires, permettrait la création de nouvelles chaires de recherche, ainsi que l'augmentation du nombre de professeurs-chercheurs (CST, 2003).

En somme, force est de constater que la situation est très différente dans certaines parties du monde. Au Japon, le gouvernement joue un rôle prépondérant du point de vue de l'innovation en obligeant les grandes entreprises de la construction à faire de la R et D pour se qualifier pour les projets publics (CST, 2003). De plus, dans plusieurs pays européens, l'implication gouvernementale au niveau du financement des centres de recherche publics et les mesures incitatives à la collaboration entre entreprises, centres de recherche publics et universités, sont des actions qui ont grandement contribué à stimuler l'innovation (CST, 2003). Au Royaume-Uni, le gouvernement a harmonisé ses pratiques d'achats en construction afin de participer à vitaliser l'innovation, tandis qu'aux États-Unis, les entreprises de la construction se sont jointes aux universités et à certains ministères pour mettre en place le *Construction*

Industry Institute (CII), un centre de recherche spécifiquement consacré à l'innovation dans le domaine du bâtiment (CST, 2003).

2.1.7. Problèmes au niveau de la main-d'œuvre

La main-d'œuvre de l'industrie de la construction se divise entre les corps de métiers de la conception (architectes, designers, ingénieurs) et ceux de la construction (entrepreneurs, charpentiers-menuisiers, électriciens, plombiers, peintres et autres professions de la construction). Du point de vue académique, la formation collégiale et/ou universitaire des disciplines de la conception est axée sur le développement des habiletés réflexives, conceptuelles et techniques, tandis que la formation professionnelle des disciplines de la construction met principalement l'accent sur le développement des capacités manuelles et techniques. Cette dichotomie découle de la séparation nette qui existe entre les disciplines de conception et celles de construction (Kieran et Timberlake, 2004; Woudhuysen et Abley, 2004).

Cette divergence est également transmise aux problèmes associés à la main-d'œuvre. Au niveau des disciplines de la conception, c'est le rôle de l'architecte qui est questionné. La profession d'architecte a connu une transition importante au cours des derniers siècles. Avant l'époque victorienne, l'architecte était le maître d'œuvre du projet de construction (Woudhuysen et Abley, 2004). Ce rôle capital d'orchestration comprenait les tâches de conception, de réalisation des plans et détails, d'exécution et de supervision des travaux. L'époque du Modernisme a mené à la séparation des différents champs d'expertise du bâtiment; a posteriori, cette situation a eu pour effet de multiplier le nombre d'intervenants et de complexifier le processus de réalisation des projets. À partir de ce moment, le domaine d'expertise de l'architecte n'a cessé de diminuer. Maintenant centralisée vers les activités conceptuelles et esthétiques (Kieran et Timberlake, 2004), la tâche de l'architecte comporte deux composantes : l'idéation et la réalisation. L'idéation regroupe toutes les étapes d'étude, de recherche et de conception qui mènent au développement du programme architectural et du condensé des exigences et des besoins du client; il inclut les aspects budgétaires et techniques, ainsi que les échéanciers (Aedifica, 2007). La deuxième composante, la réalisation, peut regrouper des étapes telles que le choix des différents intervenants, la surveillance de chantier et le contrôle de la qualité pour mener à bien le projet.

Cette évolution du champ d'expertise amène l'architecte à consulter différents intervenants techniques, dont les spécialités de l'ingénierie du bâtiment (génie de la construction, génie électrique et génie mécanique), à qui il laisse la tâche de mener à bien le

développement de ses concepts (Woudhuysen et Abley, 2004). Selon Quale (2012), un nombre grandissant d'intervenants en éducation pensent qu'il serait pertinent et bénéfique d'intégrer la notion de collaboration interdisciplinaire à même la formation des architectes et des ingénieurs afin d'obtenir des produits d'habitation qui « *sont généralement plus riches et étudiés plus en profondeur [traduction libre]* » (p. 51). Malgré tout, l'importance du rôle de l'architecte se valide par une composante légale exprimée par sa signature et l'application de son sceau sur les plans. Par sa formation universitaire, et par une formation continue, l'architecte est en mesure d'agir à titre d'expert-conseil; ses actes sont encadrés par la Loi sur les architectes et il possède une assurance responsabilité émise par l'Ordre des architectes du Québec (OAQ). La Loi sur les architectes fait également état de la nature et de l'ampleur des projets qui nécessitent obligatoirement le recours à la profession, excluant les habitations unifamiliales isolées et les bâtiments dont la superficie brute est inférieure ou égale à 300 m² (Gouvernement du Québec, 2013a). Du point de vue résidentiel, les promoteurs et les entrepreneurs sont de plus en plus impliqués, de près ou de loin, dans la conception et le design de ces bâtiments (Quale, 2012). Cette réglementation influence la composition des revenus des architectes qui varie selon le type de projets : résidentiel (12,9%), commercial (31,5%), institutionnel (46,8%) et industriel (8,8%) (selon des données de 1999, recueillies par Statistiques Canada et présentées dans Aedifica, 2007).

Au niveau des disciplines de la construction, plusieurs auteurs reconnaissent que le manque de relève et les lacunes dans la formation de la main-d'œuvre sont autant d'éléments qui ont des répercussions importantes sur l'industrie de la construction (Finn, 1992; Warszawski, 1999; Woudhuysen et Abley, 2004). Dans un premier temps, l'acuité de la formation de la main-d'œuvre revêt une importance particulière puisqu'elle a un impact sur la qualité de la construction (Warszawski, 1999). La Commission de la construction du Québec (CCQ) privilégie généralement l'entrée d'apprentis diplômés issus des écoles professionnelles (écoles des métiers) au sein de l'industrie de la construction. Les apprentis non diplômés peuvent toutefois être admis ponctuellement pour pallier à une pénurie de main-d'œuvre; ceux-ci devront faire l'apprentissage de leur métier directement sur le chantier, dans un encadrement qui diffère des écoles des métiers. Dans les deux cas, en plus de la formation initiale, les apprentis doivent satisfaire à un programme de formation obligatoire pour acquérir et maintenir leur certificat de compétence; la durée de cette formation obligatoire diffère selon le niveau de complexité du métier choisi (peintre, électricien, plâtrier, couvreur, maçon, carreleur, etc.) (Carvajal, 2006). À la suite de la complétion d'un programme d'études, la réussite de l'examen de qualification provincial permet le passage du statut d'apprenti à celui de compagnon par

l'obtention d'un certificat de compétence. D'un point de vue statistique, parmi les jeunes accédant à l'industrie de la construction, une proportion de 80% s'oriente vers un métier et, de ceux-ci, 40% détiennent un diplôme professionnel (Carvajal, 2006).

Dans un deuxième temps, selon les pratiques actuelles, le domaine de la construction est une industrie qui nécessite, encore aujourd'hui, une quantité importante de main-d'œuvre (CST, 2003; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a). La Commission de la construction du Québec (CCQ) soutient que les besoins de main-d'œuvre resteront importants, principalement dus au roulement élevé et au renouvellement du bassin vieillissant de travailleurs dont une proportion de plus en plus importante part à la retraite (CCQ, 2011-2012; Dupuis et al., 2008). Le problème repose sur la tendance démographique du Canada qui se traduit par une main-d'œuvre vieillissante, mais dont le nombre d'ouvriers ne cesse de diminuer étant donné l'absence de relève (Finn, 1992; Richard, 2004). Cette croissance dans les retraites, qui suit la tendance générale de vieillissement de la population, signifie une perte potentielle au niveau du transfert des connaissances et des compétences due au retrait grandissant d'ouvriers d'expérience (Delagrave, 2006).

Certains croient que le manque de relève s'explique par un manque d'intérêt pour les professions de la construction jugées monotones, ardues et répétitives (McWilliams, 2004; Saxon, 2003). Pourtant, le recrutement auprès des jeunes ne semble pas être la source du problème, d'autant plus qu'un certain regain de popularité au niveau des métiers de la construction a été observé dans les dernières années (Dupuis et al., 2008). Ce regain d'intérêt est tangible puisque les établissements d'enseignement professionnel, qui encadrent la formation des métiers de la construction, fonctionnent à plein rendement (Carvajal, 2006). Ainsi, la problématique semble plutôt se situer au niveau de la rétention de la main-d'œuvre en construction où, entre 1993 et 2001, entre 33% et 44% des nouveaux apprentis ont abandonné le milieu après cinq ans seulement et où les diplômés des métiers de la construction ont quitté le secteur dans une proportion de 25% à 27% au cours de la même période (Carvajal, 2006; Dupuis et al., 2008); de ce nombre, il est possible de soustraire un pourcentage de départs reliés aux emplois temporaires, aux fermetures d'entreprise et/ou au manque de travail, aux problèmes de santé et/ou aux accidents de travail, ainsi qu'au changement de statut au niveau des conventions collectives (Carvajal, 2006). À cet effet, la CCQ considère que plusieurs départs « (...) *sont en fait des changements de statut de salariés couverts par les conventions collectives vers celui d'entrepreneur ou de salarié non couvert. Ce sont donc en quelque sorte de faux départs* » (Dupuis et al., 2008, p. 45).

Plusieurs facteurs peuvent être avancés pour expliquer cette difficulté de retenir la main-d'œuvre. Des raisons reliées à la sécurité des travailleurs, tant au niveau des risques pour la santé des personnes qu'au niveau des accidents, peuvent être émises (Dupuis et al., 2008; Sebestyén, 1998). Les efforts physiques reliés à certains métiers peuvent aussi être évoqués, de même que les conditions de travail, les horaires de travail, la répétitivité des tâches, les délais trop serrés, l'instabilité de l'emploi, les variations saisonnières, les exigences de formation et la supervision insuffisante (Dupuis et al., 2008). Afin d'améliorer la situation, certains croient qu'il faut continuer à encourager la main-d'œuvre à obtenir une formation préalable afin de valider leur intérêt et leur compétence, ce qui aurait pour effet d'augmenter les chances de trouver un emploi satisfaisant, d'atteindre une meilleure productivité et une meilleure rétention sur le marché du travail (Dupuis et al., 2008). Il faudrait également développer, auprès de la main-d'œuvre, une curiosité ou un intérêt pour l'innovation qui devrait minimalement se traduire par une expertise et une connaissance approfondies des produits et matériaux, en incluant les nouveautés (Maugard et Héros, 2007). Cet ajustement dans la formation, qui mettrait plus l'emphase sur l'innovation, pourrait stimuler la relève. Dans cette optique, la R et D devient aussi un outil stratégique pour dynamiser l'image du secteur en permettant de l'associer aux professions de pointe (CST, 2003). Une modernisation des méthodes de construction, sur le chantier ou hors chantier, aurait le potentiel de rendre l'industrie plus attrayante et plus stimulante pour les jeunes (Warszawski, 1999).

En somme, la qualité de la construction est tributaire de la compétence, mais aussi de la disponibilité de l'ensemble des ouvriers des divers métiers de la construction impliqués. Pour une meilleure performance de la main-d'œuvre, il serait souhaitable que les principaux intervenants de la construction (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, entreprises) possèdent des systèmes d'évaluation de la qualité et des compétences adaptés aux différentes professions, en se basant sur des référentiels tels qu'ISO 9000 (gestion de la qualité) ou ISO 14000 (management environnemental) (Maugard et Héros, 2007).

2.1.8. Approche synchronique

D'un point de vue historique, l'habitation a connu une énorme progression dans la complexité de son processus de conception et de construction. Au début du vingtième siècle, 95% des coûts de construction étaient reliés à l'objet-bâtiment (structure, murs extérieurs et intérieurs, fenêtres, toits, finitions); tandis que les 5% restants concernaient les deux systèmes de la maison de l'époque, soit le foyer qui servait au chauffage et à l'éclairage, ainsi que le système de tuyauterie pour gérer les eaux pluviales (Kieran et Timberlake, 2004). De nos jours,

le profil du bâtiment est tout autre puisque 27% des coûts sont consacrés à l'installation d'une dizaine de systèmes supplémentaires afin d'assurer une réponse à une multitude de fonctions et de satisfaire à une pluralité de besoins concurrents: les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC); les systèmes de distribution et d'évacuation d'eau pour les salles de bains et les cuisines; les systèmes de distribution électrique et d'éclairage; les télécommunications (téléphone, Internet, fibre optique); et les systèmes de sécurité (Kieran et Timberlake, 2004). Le niveau de complexité provient également du fait que ces éléments de construction relèvent d'une multitude de spécialisations différentes, un nombre qui se situe habituellement entre une vingtaine et une trentaine, dont la participation au projet doit être coordonnée et planifiée (CST, 2003; Warszawski, 1999). Ce qui ajoute également à la complexité est le fait que pour perdurer dans le temps, le bâtiment nécessite des investissements périodiques pour assurer l'entretien, la mise à niveau et la rénovation (Thomsen et van der Flier, 2011). Il est à noter que la complexité des bâtiments est appelée à s'accroître avec le développement continu et rapide des technologies.

Dans une perspective générale, les habitations sont des constructions sur mesure qui sont majoritairement toutes différentes les unes des autres. Cette réalité découle du fait d'une nécessité de répondre à une diversité au niveau de la composition des ménages, mais aussi à une variation au niveau de leurs besoins, leurs habitudes de vie, leurs préférences et leurs attentes face à l'habitation. La singularité des bâtiments résulte aussi de critères économiques qui déterminent le mode d'occupation (locataire ou propriétaire), la superficie et la localisation. La localisation signifie que les bâtiments sont conditionnés par le milieu dans lequel ils sont implantés, mais aussi par la vision qu'a le concepteur ou l'équipe de conception (Gann, 1997; Rundquist et al., 2013; Warszawski, 1999). Certains avancent qu'il est difficile de considérer le statut du produit d'habitation au même titre que celui des autres produits de consommation courants puisque ce dernier a la caractéristique d'être très fixe de par son ancrage sur un site (CST, 2003; Nutt et al., 1976; Thomsen et van der Flier, 2011). Le site, qui est habituellement soigneusement sélectionné avant le début des travaux, a une influence sur la conception du bâtiment. Les conditions d'ensoleillement et d'aération, la morphologie et la composition du terrain, la nature du voisinage, les services sont autant de facteurs du site qui influencent, de près ou de loin, le processus conceptuel (Richard, 2004; Rundquist et al., 2013).

Tous les facteurs d'influence précédemment énumérés ont le potentiel de participer à la mise en forme d'une habitation, mais ces nombreuses contraintes semblent supposer une difficulté à établir des dénominateurs communs à l'ensemble des différents bâtiments

construits lors d'une même période. M. John Egan, dans un rapport intitulé *Rethinking Construction*, s'oppose à ce consensus global en mentionnant que « *le processus de construction est, de façon générale, lui-même répété d'un projet à l'autre. En effet, des études démontrent que jusqu'à 80% des interventions dans le bâtiment sont répétées [traduction libre]* » (Construction Task Force, 1998, p. 21). Cette affirmation pousse à revoir notre conception de la construction et soutient qu'il faut se libérer de la « *croyance populaire qui veut que chaque résidence doive toujours être une œuvre unique de conception [traduction libre]* » (Woudhuysen et Abley, 2004, p. 192).

La conception du bâtiment résidentiel se base sur le programme architectural dans lequel sont colligés tous les besoins et demandes du client, si ce dernier est connu. En situation contraire, le programme est élaboré à partir du profil imprécis de l'acheteur potentiel. La programmation architecturale peut se définir comme « *l'évaluation approfondie et systématique des interrelations entre les valeurs, les objectifs, les faits et les besoins des clients, des utilisateurs et la communauté environnante [traduction libre]* » (Hershberger, 2000, p. 1). Un programme bien conçu a tout le potentiel pour arriver à un bâtiment performant (Brand, 1994; Hershberger, 2000). Par contre, avec les méthodes de construction actuelles qui s'inscrivent dans une approche synchronique, le programme a tendance à mettre une certaine emphase sur les besoins immédiats, produisant des bâtiments pertinents pour le présent, mais inadaptés pour le futur. La synchronie est un concept emprunté à la linguistique qui considère la langue « *dans son fonctionnement à un moment donné de temps, sans référence à l'évolution qui l'aurait amené à cet état* » (Dubois et al., 2012, p. 462). Au niveau de l'industrie de la construction, cette approche signifie que les bâtiments statiques correspondent à des besoins et des demandes établis à un moment précis et très tôt dans le processus, soit à l'étape d'élaboration du programme au niveau de la phase de conception, sans égard pour le futur (Douglas, 2006; Duffy, 1993; Kronenburg, 2007).

La nature statique du bâtiment ne lui permet pas d'accommoder la variation et l'évolution des usages (Eguchi et al., 2011; Kelly et al., 2011; Schmidt III et al., 2010). Dans l'approche synchronique actuelle, pour amener le bâtiment à se transformer en fonction des besoins, la seule option demeure la rénovation résidentielle. Avec son importante durée de vie, qui se situe entre une cinquantaine et une centaine d'années (Friedman, 2002; Palmeri, 2009; Thomsen et van der Flier, 2011; UNEP, 2011), le bâtiment risque de subir plusieurs cycles de rénovation, un processus qui a un potentiel d'impacts non négligeable. La nature statique du bâtiment a des répercussions au niveau de l'utilisateur qui peut devoir, par exemple, conjuguer

avec des insatisfactions spatiales, des contraintes d'usage ou une diminution de la qualité de vie. Ces impacts sociaux se perpétuent en situation de rénovation, où l'utilisateur peut vivre des situations de perturbation et de stress. Du point de vue économique, les ménages doivent gérer les coûts associés à la rénovation et/ou au déménagement. Enfin, du point de vue environnemental, la rénovation est source d'utilisation de matériaux et de ressources, mais également de production de déchets. En somme, dans le format synchronique actuel, le bâtiment statique n'est pas en mesure d'intégrer les transformations en lien avec la diversité et l'évolution des ménages et des usages. Dans une perspective de développement durable, les pratiques de conception architecturale devraient être en mesure d'orchestrer une meilleure compréhension et intégration des notions temporelles dans la construction afin de répondre aux nouvelles préoccupations environnementales, sociales et économiques du bâtiment (Schmidt III et al., 2010).

2.2. Sources potentielles d'impacts du bâtiment

En plus de tous les problèmes qui viennent d'être énumérés, les pratiques actuelles de conception et de construction de l'industrie du bâtiment engendrent plusieurs impacts associés à la consommation d'énergie et à la production de gaz à effet de serre, à la consommation d'eau, à l'utilisation de matériaux et de ressources, à la génération de déchets, mais ont aussi des répercussions sur la qualité de l'environnement intérieur et sur l'aspect économique. La prochaine section s'attarde donc à détailler et expliquer ces causes potentielles d'impacts afin de compléter le profil de la construction.

2.2.1. Énergie

La consommation d'énergie est un facteur important des préoccupations environnementales liées aux bâtiments. La consommation énergétique des bâtiments résidentiels et commerciaux est en progression constante depuis les années 80, surpassant même celle du secteur industriel depuis 1998 (McGraw Hill Construction, 2010). À l'échelle mondiale, le bâtiment consomme entre 30% et 40% de l'énergie totale (Smith, 2010; UNEP, 2011; UNEP SBCI, 2009, 2010) et représente le secteur qui produit le plus de gaz à effet de serre (GES), soit 30% des émissions totales (UNEP SBCI, 2010). La consommation énergétique globale comprend l'énergie opérationnelle utilisée dans l'exploitation du bâtiment (chauffage, ventilation mécanique, climatisation, éclairage, électroménagers et autres besoins); l'énergie intrinsèque qui regroupe l'énergie employée pour l'extraction des matières premières, la fabrication des matériaux de construction, le transport des

composantes, la construction du bâtiment et l'installation des matériaux; ainsi que l'énergie déployée pour la démolition du bâtiment et/ou le recyclage des matériaux et ressources, si applicable (UNEP, 2011). Ainsi, le bâtiment consomme de l'énergie sur tout son cycle de vie de façon directe au niveau de la construction, de l'exploitation, de la rénovation et de la démolition, ou de manière indirecte au niveau de la production des matériaux et des transports (Sharma et al., 2011).

2.2.2. Eau

La consommation d'eau est également un aspect important associé aux impacts environnementaux liés au bâtiment puisqu'en excluant l'eau utilisée pour la production d'électricité et de matériaux, l'industrie de la construction utilise environ 12% de l'eau potable en Amérique du Nord (UNEP, 2011). En 2009, la répartition de la consommation d'eau des entités reliées au réseau municipal de distribution se répartissait comme suit: le secteur résidentiel (57,4%), le secteur commercial et institutionnel (18,7%), les industries et les exploitations agricoles (10,6%), ainsi que les fuites et l'entretien du système de distribution (13,3%) (Environnement Canada, 2011). Enfin, l'industrie du bâtiment est également responsable de la production d'environ 20% des eaux usées dans les zones urbaines (CEC, 2008a; UNEP SBCI, 2010).

2.2.3. Matériaux et ressources

La performance environnementale de l'industrie du bâtiment dépend également de l'utilisation des ressources naturelles. Le secteur de la construction est reconnu comme un grand consommateur de ressources (Kieran et Timberlake, 2004). Au Canada, le bâtiment consomme 50% des ressources naturelles (CEC, 2008a), une proportion qui se situe entre 35% et 40% au niveau mondial (Khasreen et al., 2009; UNEP, 2011). Par contre, cette proportion est appelée à augmenter avec le boom de la construction observé dans les économies émergentes comme l'Inde et la Chine (UNEP SBCI, 2010). Ces données, même si elles manquent à fournir tout type de caractérisation, donnent tout de même une idée générale de l'importance de cette problématique.

2.2.4. Déchets

L'industrie de la construction est responsable de la génération de 30% à 40% du volume mondial des déchets solides (CEC, 2008a; UNEP, 2011). À l'échelle du Québec, RECYC-QUÉBEC (2009b) soutient qu'en 2008, les débris générés par l'industrie de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD) représentaient 35% des résidus du Québec, un peu

moins de la moitié étant associé directement au bâtiment.² Ce secteur est reconnu pour participer au gaspillage de plusieurs matériaux, un pourcentage estimé à au moins 10% de la somme de ceux qui sont utilisés dans la construction (Construction Task Force, 1998; CST, 2003). L'enjeu associé aux déchets réside dans le traitement et l'élimination des débris de la CRD qui se composent principalement « *de béton bitumineux et de ciment, de pierres et de briques, de métaux ferreux et non ferreux, de bois, de panneaux de gypse, de bardeaux d'asphalte, d'emballages de plastique, de papiers et de cartons et de plusieurs autres éléments* » (Vachon, 2010, p. 1).

Par la politique québécoise de gestion des matières résiduelles, RECYC-QUÉBEC encadre la mise en valeur des débris de la CRD dans le but de minimiser le recours à l'enfouissement. Dans son bilan de 2008, RECYC-QUÉBEC (2009a) fait état de la très bonne performance du secteur de la CRD avec un taux de récupération de 74%, dépassant largement l'objectif fixé à 60%. Premièrement, cette performance s'explique par l'amélioration du cadre réglementaire de la gestion des matières résiduelles au Québec. Pour encadrer les procédés d'élimination et pour rendre le processus de récupération plus concurrentiel, deux règlements importants entrent en vigueur en 2006 : le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (REIMR) et le Règlement sur les redevances exigibles pour l'élimination des matières résiduelles (RECYC-QUÉBEC, 2009a; Vachon et al., 2009). De plus, en 2010, le gouvernement a décidé de majorer les redevances à l'enfouissement pour aider certaines régions où les coûts d'élimination demeurent plus bas que ceux associés à la récupération (MDDEP, 2011). Deuxièmement, la performance de la CRD est aussi attribuable à la très forte mise en valeur des matériaux granulaires (asphalte, béton, brique et pierre) qui représentent près de 85% des débris de CRD en 2008 (Auffret, 2010; Gouvernement du Québec, 2013b; RECYC-QUÉBEC, 2009a). Le taux de récupération et de valorisation élevé des matériaux granulaires est unique, puisque seulement 37% des autres matériaux de la CRD (matériaux non granulaires) sont récupérés, une performance bien en deçà de l'objectif de 60% du secteur; cette situation s'est traduite par l'enfouissement de près de 1,2 million de tonnes de résidus de CRD en 2008 (Vachon, 2010).

Parmi les matériaux non granulaires de la CRD, la performance de la catégorie du bois et ses dérivés a tout de même connu une importante progression, puisqu'entre 2000 et 2006, « *la récupération du bois a augmenté de plus de 780%, passant de 79 000 tonnes en 2000 à 621*

² Vu le trop faible taux de réponse des centres de tri, RECYC-QUÉBEC (2012a) n'a pu mettre à jour ses données sur les résidus de CRD dans son *Bilan 2010-2011 de la gestion des matières résiduelles au Québec*.

000 tonnes en 2006» (RECYC-QUÉBEC, 2008, p. 2). Le recyclage du bois se divise en deux catégories : les particules de grade 1, qui sont de tailles homogènes ne comportant pas de contaminants, sont utilisées dans la fabrication de nouveaux matériaux de construction tels que les panneaux de particules, les cartons de construction et les tuiles de plafond (Levéé, 2012); les particules de bois de grade 2, qui sont de tailles hétérogènes et contaminées par des revêtements de finition et de traitement du bois, ne peuvent être recyclées et sont plutôt dirigées vers des filières de valorisation énergétique (Levéé, 2012). À partir de 2014, le bannissement de l'élimination du bois et ses dérivés, qui représentent de 35% à 40% des résidus des centres de tri, risque de continuer à contribuer positivement à la performance du secteur de la CRD (Levéé, 2012; RECYC-QUÉBEC, 2012a).

Dans son plan d'action 2011-2015, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) souhaite la mise en place de mesures concrètes pour stimuler la performance de l'industrie de la CRD « *afin que les matières résiduelles générées par le segment du bâtiment soient triées sur place ou dirigées vers un centre de tri, telle une exigence lors de l'émission des permis de construction, de rénovation et de démolition pour des travaux pouvant générer des quantités importantes de résidus* » (Gouvernement du Québec, 2013b, p. 11; MDDEP, 2011, p. 27). Dans son Plan stratégique 2012/2017, RECYC-QUÉBEC (2012b) s'aligne avec cet objectif afin d'inciter les entreprises de l'industrie de la CRD à adopter « *des pratiques de séparation des matières sur les chantiers et que les citoyens aient accès à des centres de dépôt des matières résiduelles dans leur voisinage (éco centres)* » (p. 8). De façon plus spécifique, le plan d'action 2010-2015 sépare désormais les matériaux granulaires des matériaux non granulaires, en leur attribuant des objectifs respectifs : triage à la source de 70% des résidus de CRD (matériaux non granulaires) et recyclage ou valorisation de 80% des résidus granulaires (asphalte, béton, brique et pierre) d'ici 2015 (Gouvernement du Québec, 2013b; MDDEP, 2011; RECYC-QUÉBEC, 2012a). Malgré tout, 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 puisque plusieurs matériaux non granulaires, tels que le bois, le gypse, les métaux, les bardeaux d'asphalte, les tapis, les fibres isolantes et le carton, offrant un bon potentiel de récupération et de mise en valeur (Gouvernement du Québec, 2013b), sont toujours redirigés vers les sites d'enfouissement (MDDEP, 2011).

2.2.5. Environnement intérieur

Les facteurs qui influencent la qualité des environnements intérieurs, tels que le confort thermique (température, ventilation et humidité), le confort visuel (positionnement des fenêtres, lumière naturelle et vue sur l'extérieur), le confort acoustique (bruits, vibrations et isolation sonore) et la qualité de l'air intérieur (moisissures, contaminants, sélection des matériaux et renouvellement de l'air), peuvent avoir un impact sur le bien-être des usagers et des occupants. Par exemple, plusieurs études ont démontré et quantifié que la non-consideration de ces critères pouvait avoir des effets, entre autres, sur la productivité des employés, sur le taux d'absentéisme au travail et le niveau de satisfaction des travailleurs (Loftness et al., 2003; McGraw Hill Construction, 2014a; UNEP, 2011). De plus, un nombre grandissant d'études sur la qualité de l'air intérieur (QAI) démontrent le potentiel de dommages reliés à la présence d'une multitude de substances chimiques dans le bâtiment, un endroit clos et mal aéré dans lequel l'utilisateur passe une très grande majorité de son temps (Quale, 2012). Les Nord-Américains passent, en moyenne, 90% de leur temps à l'intérieur, une proportion qui augmente pour les Canadiens durant la saison hivernale (Wilford et al., 2004). L'emphasis mise sur l'efficacité énergétique des constructions des dernières années a contribué à cette problématique puisque l'isolation et l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments a minimisé, voire éliminé tout échange d'air sans toutefois assurer une ventilation adéquate (Coumau, 2009; UNEP SBCI, 2010).

Les sources de pollution de l'air intérieur sont diverses et varient d'un bâtiment à l'autre : l'humidité (moisissures), les matériaux (adhésifs, teintures, peintures, vernis, insecticides et fongicides), les appareils à combustion (foyers et appareils de chauffage), les activités humaines (cigarette, entretien et produits nettoyants) et même les facteurs environnementaux extérieurs (monoxyde de carbone, smog, pollen et poussière) susceptibles de pénétrer par les portes et les fenêtres du bâtiment. Cette variété de sources de pollution, à potentiel toxique et dommageable pour la santé, rappelle l'importance de conserver une QAI optimale, afin d'éviter l'accumulation de substances polluantes, par un apport régulier en air frais extérieur et une bonne ventilation des espaces (UNEP SBCI, 2010). Des méthodes de mesure sont disponibles pour déterminer la performance du bâtiment au niveau des environnements intérieurs : les tests de niveau de bruit, la mise en service des CVC, les tests d'infiltrométrie (pour vérifier l'étanchéité du bâtiment), la mesure de la qualité de l'air, ainsi que les sondages et enquêtes auprès des usagers et des occupants sur les expériences relatives à la santé et au bien-être (McGraw Hill Construction, 2014a).

Les substances les plus médiatisées sont probablement les composés organiques volatils (COV) qui se dégagent de nombreux matériaux et finis tels que le contreplaqué, la peinture, le vernis et le tapis. Les effets de l'exposition aux substances polluantes dans le bâtiment, telles que les COV, sont diversifiés. Ils peuvent se regrouper au niveau du *syndrome du bâtiment malsain* (*Sick Building Syndrome*), une manifestation de plus en plus reconnue semblant découler de la mauvaise QAI. Il se définit comme une « *épidémie de malaises non expliqués touchant des personnes présentant les mêmes symptômes somatiques, mais sans cause organique apparente* » (Coumau, 2009, p. 90). Les symptômes peuvent affecter les systèmes respiratoire, immunitaire ou nerveux en prenant la forme de problèmes de santé tels qu'allergies, asthme, fatigue, maux de tête, infertilité, et même cancer (Coumau, 2009). Malgré cette prise de conscience grandissante, plusieurs défis subsistent et empêchent de mener à une meilleure considération de la santé des usagers et des occupants dans la conception et la construction du bâtiment. Ces facteurs concernent le manque de requêtes de la part des propriétaires, les préoccupations financières des divers partis concernés, le manque de renseignements fiables sur les impacts des produits et des procédés sur la santé, le manque de sensibilisation sur les répercussions du bâtiment sur la santé, les priorités concurrentes (telles que les préoccupations environnementales) et les allègements fiscaux ou les incitatifs financiers inexistantes ou insuffisants (McGraw Hill Construction, 2014a).

2.2.6. Aspect économique

La problématique économique de la construction repose premièrement sur le fait que le bâtiment nécessite des investissements importants, dont l'augmentation des coûts et le dépassement des estimations de construction s'articulent comme un problème sérieux (Maugard et Héros, 2007; Rodrigue et Corriveau, 2004; Woudhuysen et Abley, 2004). Un projet de construction entraîne des coûts généraux, regroupant toutes les sommes encourues avant l'étape de construction (préparation, études, achat du terrain, honoraires des architectes et ingénieurs), ainsi que les coûts de construction, comprenant les sommes engendrées jusqu'à la livraison finale du bâtiment (honoraires de l'entrepreneur et des différents corps de métiers de la construction, coûts des matériaux) (Aedifica, 2007). Selon Smith (2010), les coûts totaux de main-d'œuvre représentent entre 40% et 60% du coût estimé de la construction, tandis que Aedifica (2007) estime que 65% des coûts de construction sont attribués à la main-d'œuvre (tous les corps de métiers impliqués), tandis que 30% de ceux-ci sont associés aux matériaux.

En effet, la problématique des coûts a des répercussions sur l'accessibilité à la propriété qui a tendance à s'effectuer plus tardivement qu'auparavant (Beer et al., 2011). Cette

situation risque de s'aggraver avec les changements apportés aux règles de l'assurance hypothécaire (APCHQ, 2012c). Dans la foulée de la crise immobilière américaine (hypothèques à risques), le Gouvernement du Canada a apporté des modifications à la période maximale d'amortissement des prêts assurables qui est passée de 40 ans à 35 ans en 2008, ensuite abaissée à 30 ans en mars 2011 et finalement à 25 ans en juillet 2012. Ces règles hypothécaires plus strictes ont pour objectif de réduire le niveau d'endettement des ménages canadiens, mais « *cette mesure risque d'avoir un effet significatif sur l'accession à la propriété, du moins en ce qui concerne la maison neuve* » (APCHQ, 2012c, p. 3) puisque près de 40% des premiers acheteurs privilégiaient un financement avec une période d'amortissement supérieure à 25 ans (APCHQ, 2012c; Bergeron, 2013). Enfin, si l'accession à la propriété devient financièrement plus difficile pour les ménages, cette situation contribuera à certains impacts sociaux importants, tels que l'étalement urbain, le dépérissement du parc immobilier, la gentrification, la ghettoïsation et la demande accrue au niveau des logements sociaux (APCHQ, 2012a).

En résumé, du point de vue environnemental, les sources potentielles d'impacts présentées nécessitent une mise en perspective. La consommation d'énergie demeure un enjeu assurément prédominant au niveau du bâtiment. Toutefois, l'ampleur des impacts est dépendante de la répartition des sources de production (charbon, nucléaire, gaz naturel, produits pétroliers, hydroélectricité, biomasse, énergies renouvelables, etc.), où les énergies fossiles utilisées pour la génération d'électricité et de chauffage sont celles qui sont les plus dommageables du point de vue des changements climatiques. Au Québec, par exemple, l'énergie utilisée pour le chauffage résidentiel provient du gaz naturel (5,6%), du bois (9,1%), du mazout (17,2%) et de l'électricité (67,9%) (Michaud et al., 2008). La principale source énergétique utilisée est l'hydroélectricité, considérée comme une énergie propre, responsable d'une très faible proportion des émissions de gaz à effet de serre. Tout en demeurant un aspect majeur du secteur, cette réalité diminue l'importance relative des impacts de la consommation énergétique de la province par rapport à l'ensemble des impacts associés au bâtiment. Ensuite, les impacts intrinsèques associés aux matériaux (extraction des matières premières, production et transport) représentent probablement, après celui de l'énergie, l'enjeu le plus prépondérant dans le contexte québécois du bâtiment. Au niveau de la consommation d'eau, les données présentées ne permettent pas de connaître la consommation totale de l'industrie de la construction puisqu'aucune donnée concernant la proportion d'eau employée dans la production d'énergie, l'extraction des matières premières, la fabrication des matériaux et la construction n'a pu être recensée. Il est

quand même possible de supposer que les impacts associés à cet aspect ne soient pas prédominants vu la disponibilité et l'abondance de l'eau potable au Québec et au Canada, mais aussi en raison des réglementations en vigueur concernant la gestion des eaux usées et la protection de cette ressource. Enfin, même si la quantité de déchets et le gaspillage engendrés par la construction participent aux problèmes reliés à l'élimination et à la progression de la demande envers les matériaux vierges, les impacts associés à cet aspect ne sont généralement pas considérés aussi importants que ceux de l'énergie, ni des matériaux. Cette situation peut s'expliquer par le fait qu'au Québec, cette problématique est encadrée par des mesures incitatives et des réglementations stimulant le triage à la source, la récupération et la valorisation de ces matières résiduelles.

Ce chapitre permet de dresser un portrait exhaustif et réaliste de l'industrie de la construction résidentielle. Le recensement et le traitement des différents problèmes associés aux pratiques de conception et de construction actuelles, ainsi que l'établissement des sources potentielles d'impacts qu'elles génèrent, permettent l'établissement de connaissances primaires, un état des lieux nécessaire au développement de l'argumentaire de ce projet de recherche doctoral. Le prochain chapitre prend ancrage sur ce profil pour présenter différentes tendances conceptuelles mises en place pour tenter d'améliorer la performance du secteur en cherchant à minimiser les problèmes et prévenir les impacts.

3 Tendances conceptuelles

Le précédent chapitre a permis de dresser le profil de la construction en faisant état des problèmes reliés à cette industrie, ainsi que des impacts qu'elle engendre en termes d'énergie, d'eau, de matériaux et ressources, de déchets, mais aussi de répercussions sur l'environnement intérieur et sur l'aspect économique. Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable, le présent chapitre répertorie des tendances conceptuelles émergentes dans l'habitation, développées afin d'aborder les problèmes et/ou les impacts de l'industrie de la construction résidentielle. Les quatre processus de conception présentés sont l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale.

3.1 Industrialisation de la construction

La première tendance conceptuelle abordée est l'industrialisation de la construction qui vise l'amélioration de la performance de l'industrie du bâtiment en la faisant passer d'un paradigme de conception sur mesure où la grande majorité des tâches est effectuée sur le chantier, à la production en série en usine et la standardisation. Cette façon de faire vise à pallier aux problèmes de rendement, de qualité de la construction et de la main-d'œuvre en mettant de l'avant l'utilisation des technologies et de l'innovation pour produire des bâtiments. L'industrialisation du bâtiment est présentée en traitant de son origine, sa définition, ses principes et caractéristiques, ainsi que ses principaux avantages.

3.1.1 Origine et définition

La révolution industrielle a permis l'implantation à grande échelle de procédés d'industrialisation et de production de masse au niveau de la grande majorité des secteurs industriels. Dès les années trente, à l'image de l'industrie automobile, le secteur de l'habitation tente d'emboîter le pas en produisant des maisons en série sur des chaînes de montage; l'objectif de cette démarche étant de rendre l'habitation accessible au plus grand nombre (Kieran et Timberlake, 2004; Richard, 2004) et faire de l'architecture un produit de l'industrialisation qui deviendrait « *un objet, une marchandise, un abri vernaculaire pour le 20^e siècle [traduction libre]* » (Kieran et Timberlake, 2004, p. 7). Cette nouvelle façon de faire a été stimulée par les réalités de l'après-Seconde Guerre mondiale, soit la pénurie de main-d'œuvre et les besoins imminents en matière de logement (Maugard et Héros, 2007). Cette pratique a également permis de répondre à l'accroissement de la population européenne en permettant la création de projets d'habitation publics, de nouveaux quartiers et de nouvelles villes (Warszawski, 1999). Entre les années 50 et le début des années 70, l'industrialisation de la construction a été une pratique importante en Europe, effectuant même une percée aux États-Unis, surtout avec la préfabrication de systèmes de construction en béton découlant de l'initiative gouvernementale « *Operation Breakthrough* » (Warszawski, 1999). Par contre, la production industrialisée de bâtiments n'a jamais représenté une grande part du marché au niveau mondial, sauf pour des pays comme la Suède et le Japon (CST, 2003). Mis à part un essor important au niveau du second œuvre (portes et fenêtres, cloisons, tuyauteries, gaines techniques, robinetteries et sanitaires) et du tiers œuvre (traitement de l'information dans les équipements techniques), un désintéressement face à l'industrialisation de l'habitation (gros œuvre) se met en place.

Plusieurs définitions sont répertoriées au niveau des écrits pour définir le concept d'« industrialisation ». Il est important de noter que des termes, tels que « construction hors chantier » et « préfabrication », sont souvent associés et englobés à celui de l'industrialisation. Comme nous le verrons plus tard, la « préfabrication » représente aussi le premier degré d'industrialisation du bâtiment. M. Roger-Bruno Richard soutient que l'industrialisation est le moyen de s'affranchir des « *opérations linéaires et séquentielles quasi artisanales* » de la construction traditionnelle (Richard, 2004, p. 68). À partir de ce précepte, l'industrialisation consiste à l'optimisation des processus (conception, planification, fabrication, construction), par l'exploitation des technologies, afin d'améliorer la performance économique de l'industrie et fournir un produit d'habitation amélioré :

- > **Optimisation des processus** : le succès de l'industrialisation du bâtiment dépend de la rationalisation de la conception, de la planification, de la fabrication et de la gestion des travaux de construction (Warszawski, 1999). Au niveau conceptuel, l'optimisation des processus signifie le regroupement des intervenants clés de la construction (concepteurs, gestionnaires et fournisseurs) dans une approche de conception plus intégrée (Richard, 2007). Cette systématisation vise à accroître le degré d'efficacité et de productivité par une centralisation des effectifs. Cette organisation en système intégré, qui comprend les activités de conception, de fabrication et de commercialisation, relève d'une seule autorité et assure une optimisation de la coordination entre ces différentes disciplines (Warszawski, 1999). Cette façon de faire vise l'atteinte d'un niveau organisationnel supérieur par l'optimisation de la planification, de la coordination, ainsi que du contrôle de la fabrication et de la construction (van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a; Warszawski, 1999);
- > **Exploitation des technologies** : en plus de la centralisation des effectifs, l'industrialisation nécessite des investissements importants au niveau des installations, des équipements et des technologies. Les technologies sont une composante importante de l'industrialisation qui cherche à augmenter le niveau de rendement, tant au niveau conceptuel et organisationnel en maximisant l'utilisation des TI et du DAO, qu'au niveau de la fabrication et de la construction par la mécanisation et l'automatisation (van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a; Warszawski, 1999).
- > **Améliorer la performance économique** : la viabilité économique et la rentabilité de l'industrialisation, mais également l'accessibilité du produit, sont dépendantes du volume de production puisque les coûts d'investissements sont répartis sur le nombre d'unités fabriquées (Richard, 2007; Warszawski, 1999).
- > **Produit d'habitation amélioré** : par une conception intégrée, une planification optimisée, un contrôle accru de la qualité et une production précise, le processus d'industrialisation tend à fournir un produit amélioré. Cette façon de faire vise la réalisation d'un produit d'habitation qui permet la personnalisation afin de rejoindre une clientèle variée (Richard, 2007). Le bâtiment est un des rares produits de consommation qui n'est pas, à ce jour, encadré par un processus d'industrialisation généralisé. Plusieurs tentatives ont été mises en œuvre, sans toutefois atteindre le niveau des autres secteurs économiques. Pourtant, les industries automobile, navale et aéronautique ont réussi malgré le niveau de complexité élevé relié aux moyens de transport, et ce, même s'« *il y a environ 4 000 pièces dans une voiture, 1 000 000 de*

pièces pour un avion Boeing 777, et des millions pour un grand navire» (Kieran et Timberlake, 2004, p. 69). À la fin des années 90, la proportion d'éléments préfabriqués dans les travaux de construction de bâtiment ne dépassait pas les 40% à 50% (Warszawski, 1999). Aux États-Unis, la proportion des projets de construction qui ont recours à la préfabrication ou la modularisation demeure assez marginale; autour de 2010, seulement 37% des utilisateurs affirmaient les utiliser à un niveau « élevé » ou « très élevé » (c.-à-d. dans plus de 50% du projet), une proportion qui devait passer à 45% en 2013 (McGraw Hill Construction, 2011).

De façon générale, l'industrialisation de la construction n'a pas su surmonter les différents obstacles rencontrés lors des tentatives de développement initiales. Pourtant, ce retard n'est pas dû à des contraintes à caractère technique, mais plutôt à un manque d'engouement et à des problèmes organisationnels (Maugard et Héros, 2007; Woudhuysen et Abley, 2004). Plusieurs facteurs ou arguments peuvent être mis de l'avant afin d'expliquer la faible progression de l'industrialisation du bâtiment et son insuccès à s'établir comme une alternative aux modes de construction traditionnels :

1. **Singularité des projets** : les projets sont à priori tous différents les uns des autres; la diminution de la taille des projets et des chantiers, ainsi que la dispersion géographique de ces derniers, ont compliqué le maintien et le développement de l'industrialisation (Maugard et Héros, 2007; Warszawski, 1999);
2. **Facteurs économiques** : la volatilité du marché de l'habitation et la diminution de la demande pour les grands projets de logements publics, dans la plupart des pays développés, rendent les investissements en industrialisation plus risqués comparativement aux méthodes de construction traditionnelles (Knaack et al., 2012; Warszawski, 1999). De plus, pour justifier les investissements, il faudrait que l'adhésion soit plus importante au niveau de l'industrie pour assurer une continuité et une stabilité (Nadim, 2012). Enfin, au lieu de travailler à contrôler les coûts de construction à partir d'un prototype, les protagonistes de l'industrialisation ont grandement misé sur le potentiel d'efficacité économique de la phase de production, sans toutefois prendre en compte que ces nouvelles façons de faire allaient mener les entrepreneurs et les intervenants à augmenter les frais pour se protéger contre les imprévus (Quale, 2012);
3. **Vision non systémique** : le manque de vision systémique, ainsi que l'absence d'approche intégrée regroupant les professions de conception, de construction et de gestion sont également à blâmer pour cet insuccès puisque l'implantation d'un

processus industrialisé en habitation nécessite une compréhension approfondie des contraintes du projet et des relations entre les intervenants (Warszawski, 1999);

4. **Image négative** : la tendance excessive vers la répétitivité et la normalisation dans les projets publics a produit des ensembles de bâtiments inintéressants qui se sont dégradés rapidement (Finn, 1992; Glendinning et Muthesius, 2004; Knaack et al., 2012; Warszawski, 1999). De ce fait, les logements industrialisés sont associés à un niveau de qualité inférieur, image renforcée par des défauts de fabrication assez fréquents dans les phases primaires de la préfabrication et résultant principalement d'un manque d'expertise technique et d'un contrôle de qualité déficient (Quale, 2012; Warszawski, 1999). De plus, l'esthétique des habitations était également en faute puisqu'elle ne véhiculait pas les caractéristiques de modernité retrouvées au niveau des produits manufacturés (Glendinning et Muthesius, 2004); les concepteurs et les fabricants n'ont pas su rendre les systèmes suffisamment attrayants et efficaces, une situation qui a mené graduellement à la diminution de la demande et de la pertinence (Warszawski, 1999). L'architecte n'est pas enclin à concevoir des projets qui intègrent la préfabrication, et ce, en réponse à une certaine résistance manifestée par le propriétaire ou le client (McGraw Hill Construction, 2011). En somme, cette image négative traduit un manque de confiance général envers l'industrie de la préfabrication (Knaack et al., 2012);
5. **Manque de flexibilité** : l'industrialisation de la construction nécessite que le concept d'habitation soit finalisé dans les moindres détails avant de pouvoir amorcer toute activité de construction sur le chantier, une situation qui peut être jugée inflexible et trop contraignante (McGraw Hill Construction, 2011). De plus, les systèmes industrialisés ont été considérés comme étant très rigides puisqu'ils ne permettaient pas au bâtiment, au cours de sa durée de vie, d'évoluer en fonction des besoins des occupants (Warszawski, 1999);
6. **Manque d'adhésion des professionnels** : les processus organisationnels, conceptuels et technologiques de la préfabrication n'ont jamais fait partie intégrante de la formation académique et professionnelle des ingénieurs et des architectes; cette situation a mené les concepteurs et les constructeurs à privilégier des méthodes familières, avec une intégration minimale d'éléments préfabriqués (McGraw Hill Construction, 2011; Warszawski, 1999). Une adhésion plus large aux principes d'industrialisation de la construction consisterait, premièrement, à normaliser un plus grand nombre d'éléments industrialisés, et deuxièmement, à employer des logiciels

de conception afin de faciliter l'intégration de ces composantes dans la mise en forme de bâtiments préfabriqués (Warszawski, 1999). De plus, ces systèmes de conception et de fabrication assistée par ordinateur (CFAO) peuvent représenter une solution pour répondre plus adéquatement aux petits volumes de production, et ce, en demeurant compétitifs et en permettant une personnalisation des projets en fonction des besoins des clients (Knaack et al., 2012; Warszawski, 1999).

7. **Niveau de complexité** : la préfabrication requiert une logistique plus importante, et ce, en termes de manutention, de transport et d'installation des éléments constructifs. Pour ce faire, il est nécessaire de considérer le volume et le poids des sections de bâtiment construites en usine, pour s'assurer qu'elles soient conformes aux gabarits des moyens de transport, aux restrictions du code routier, aux exigences des permis de circulation, mais aussi aux capacités des machineries de levage et d'assemblage (McGraw Hill Construction, 2011).

Malgré les critiques énoncées, les avancements technologiques et les expertises développées dans le domaine de la construction industrialisée, au cours des dernières décennies, permettent de remettre en perspective l'effet des arguments concernant le niveau de risque, la perception et le manque de flexibilité de ce processus (Warszawski, 1999). Les technologies numériques, la conception et la fabrication assistée par ordinateur, ainsi que la robotisation sont toutes des sphères où les perspectives de recherche poussent à ramener la question de l'industrialisation du bâtiment à l'avant-plan des préoccupations actuelles (Nadim, 2012; Picon, 2012). De plus, le manque grandissant de main-d'œuvre qualifiée, l'augmentation des coûts et le désir d'améliorer la performance de l'industrie suggèrent que le temps serait opportun pour reconsidérer cette approche globale (McGraw Hill Construction, 2011; Nadim, 2012). Par contre, dans une perspective d'industrialisation du produit d'habitation, le questionnement se porte sur les aptitudes des architectes qui « *ne sont généralement pas compétents dans la conception de produits et de productions et ne sont pas formés pour être des industriels [traduction libre]* » (Smith, 2010, p. 42). Dans un contexte de préfabrication, l'architecte doit aborder la préfabrication à la manière d'un designer industriel en reliant étroitement la conception à la fabrication; le designer de produits « *ne peut penser à la conception d'un produit sans chercher à élaborer la méthode de production comme un processus intégral [traduction libre]* » (Smith, 2010, p. 216). Le designer industriel représente un atout important dans l'amélioration continue de la chaîne de montage (Woudhuysen et Abley, 2004). En somme, selon Smith (2010), la préfabrication ne peut se mettre en place que dans un

contexte de collaboration entre les différents intervenants de la conception et de la construction.

3.1.2 Principes et caractéristiques

Suite à la détermination de l'origine et de la définition de l'industrialisation du bâtiment, présentés dans la section précédente, cette section s'attarde maintenant aux différents principes et caractéristiques de cette tendance conceptuelle. Ce processus s'amorce par la présentation des particularités de l'industrialisation de la construction afin de les comparer aux pratiques usuelles. Ensuite, les différents degrés d'industrialisation recensés sont abordés afin de mettre en lumière les alternatives possibles. De plus, cette section introduit le concept de système constructif industrialisé, tout en poursuivant avec celui de la préfabrication intérieure. Enfin, cette partie traite de l'avenir de l'industrialisation du bâtiment par le principe de production en série personnalisée.

3.1.2.1 Particularités de l'industrialisation

L'auteur Warszawski (1999) s'est attardé à comparer les processus d'industrialisation du secteur manufacturier aux pratiques actuelles de l'habitation. En s'inspirant fortement de ses conclusions, plusieurs aspects sont présentés dans cette section. Premièrement, cette mise en contraste révèle que l'industrialisation concentre ses activités dans un lieu permanent, contrôlé et à l'abri des intempéries, tandis que les tâches de construction ont tendance à s'effectuer dans plusieurs endroits différents, généralement temporaires et dont certains sont la merci des conditions météorologiques. Deuxièmement, les produits manufacturés ont une durée de vie courte à moyenne, comparativement à l'habitation qui possède une longue durée de vie. Troisièmement, l'industrialisation permet un degré important de répétitivité et de standardisation des tâches et des procédés, tandis que les processus de construction usuels nécessitent beaucoup de main-d'œuvre et ne possèdent qu'un faible niveau de standardisation. Quatrièmement, les tâches en usine sont effectuées à des postes de travail fixes et dans un environnement ergonomique ajusté aux besoins des ouvriers, tandis que le chantier représente un espace de travail souvent contraignant et mal adapté aux tâches exécutées, où les ouvriers doivent effectuer beaucoup de déplacements. Cinquièmement, la main-d'œuvre de l'usine est relativement stable, tandis qu'en construction il est possible d'observer un roulement important au niveau des travailleurs. Finalement, dans un contexte d'industrialisation, le pouvoir décisionnel est harmonisé et centralisé en ce qui concerne la conception, la production et la

commercialisation, tandis que dans la construction standard, le pouvoir décisionnel est divisé entre plusieurs entités (promoteurs, concepteurs, entrepreneurs et sous-traitants).

3.1.2.2 Degrés d'industrialisation

Les particularités du concept de l'industrialisation du bâtiment varient également selon les processus industriels qui sont employés. De ce fait, au niveau de la littérature, il est possible de répertorier cinq degrés d'industrialisation de la construction (CST, 2003; Nadim, 2012; Richard, 2010a) :

- > **Préfabrication ou usinage simple:** consiste à fabriquer en usine, selon des méthodes de construction usuelles, des composantes, des sous-assemblages ou des modules complets qui sont ensuite livrés et assemblés sur le chantier (par exemple, les fermes de toit, les revêtements, les portes, les fenêtres, les robinetteries et appareils sanitaires et les armoires de cuisine);
- > **Mécanisation :** dans le cadre des procédés de construction traditionnels, ce degré d'industrialisation fournit une assistance technologique aux ouvriers en intégrant l'usage d'un outillage spécialisé pour faciliter le travail (par exemple, les outils électriques et pneumatiques);
- > **Automatisation :** les pratiques de construction usuelles sont conservées dans un cadre organisationnel de chaîne de montage, afin d'optimiser les tâches et minimiser les déplacements des ouvriers; cette approche permet également de substituer certains ouvriers par des machines spécialisées;
- > **Robotisation :** ce degré d'industrialisation atteint une automatisation plus poussée en intégrant des machines très sophistiquées pouvant exécuter des tâches complexes et variées à la place des ouvriers. La robotisation permet d'atteindre des taux d'efficacité, de précision et de vitesse d'exécution supérieurs, mais nécessite un investissement considérable;
- > **Reproduction :** diffère complètement des autres degrés d'industrialisation puisqu'elle fait appel à la R et D afin de simplifier la production. D'un point de vue conceptuel, cette façon de faire vise l'optimisation d'un procédé ou le développement d'un processus innovateur permettant de diminuer le nombre d'opérations et ainsi mener à des économies de temps et d'argent (par exemple, le circuit imprimé et le puits de plomberie). Par conséquent, la reproduction priorise l'innovation et le développement de nouvelles idées.

3.1.2.3 Systèmes constructifs industrialisés

L'industrialisation du bâtiment peut se traduire par l'élaboration de systèmes de construction produits en usine. Le système constructif industrialisé se définit comme un ensemble de pièces et de composantes préfabriquées, dont les détails d'assemblage sont réglés et élaborés de façon à permettre une multitude d'agencements pour répondre aux besoins de divers bâtiments (CST, 2003; Richard, 2004; Warszawski, 1999). La simplification des assemblages et des interfaces de jointement permettent de faciliter la tâche des ouvriers sur les chantiers en permettant une connexion rapide et précise (Knaack et al., 2012; Warszawski, 1999). Ce point est très important puisque les détails d'assemblage et de connexion représentent la principale faiblesse des systèmes de construction industrialisés existants (Warszawski, 1999). En tirant avantage de l'industrialisation pour la préfabrication des pièces et des composantes du système, tout en visant à minimiser les tâches effectuées sur le chantier, le système constructif industrialisé a pour but principal d'accroître la performance économique de la construction de bâtiments (CST, 2003). En réglant les détails de construction et d'assemblage en amont, le système de construction permet d'éviter de réinventer ces derniers à chaque projet, tout en assurant l'atteinte d'un niveau de diversité et de personnalisation des bâtiments (Richard, 2010b). Ce potentiel de variété se traduit par la multiplicité des systèmes de construction industrialisés qui se regroupent en trois grandes catégories (Knaack et al., 2012; Richard, 2010b) :

- > **Meccano assemblé au chantier** : à l'image du jeu de construction de type 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 : poutres et colonnes, dalles et poteaux, panneaux, et joints intégrés;
- > **Volume usiné** : cette classe fournit des modules tridimensionnels structuraux qui sont entièrement conçus, réalisés et finis en usine. À noter que la dimension des unités est tributaire du gabarit de transport routier. Suite à leur complétion, les modules sont livrés au chantier où ils seront installés par des grues, assemblés entre eux, fixés aux fondations et raccordés aux services (électricité, eau et égout). Nous retrouvons deux types de volume usiné : le module « sectionnel » et la boîte;
- > **Système hybride** : cette catégorie vise une combinaison des deux classes précédentes en fabriquant les éléments complexes en usine et en confiant au chantier

les opérations simples qui ne justifient pas le recours à l'industrialisation. Le système hybride propose trois avenues : le noyau porteur, la mégastructure et la mécanisation du chantier.

Les différents systèmes constructifs industrialisés peuvent être de nature « ouverte » ou « fermée ». Les sous-systèmes d'un système fermé sont conçus et développés spécifiquement pour l'usage et la concordance avec un seul système, ne permettant pas d'effectuer d'échanges avec d'autres systèmes constructifs (Girmscheid, 2010a). À l'opposé, le système ouvert est beaucoup plus polyvalent puisqu'il est conçu de façon à assurer une compatibilité avec d'autres systèmes, ce qui permet une « *plus grande souplesse architecturale* » (Maugard et Héros, 2007, p. 57). Pour atteindre cette polyvalence et ce niveau d'interchangeabilité, les systèmes ouverts doivent répondre à des critères de performance tels qu'une coordination dimensionnelle stricte, une concordance précise à une trame de bâtiment et des interfaces de compatibilité standardisées (CST, 2003; Maugard et Héros, 2007; Richard, 2006). Malgré un plus grand niveau de complexité, cette façon de faire permet d'outrepasser les limites de chaque système en donnant accès à une multitude de sous-systèmes ou de composantes provenant de manufacturiers différents, décuplant les possibles pour les concepteurs et les clients (Girmscheid, 2010a; Richard, 2010b).

3.1.2.4 Préfabrication intérieure

En plus des systèmes constructifs industrialisés, qui se concentrent principalement sur la structure des bâtiments, l'industrialisation pénètre également les espaces intérieurs du bâtiment. Au niveau de la sphère résidentielle, Deborah Schneiderman (2011) statue que les éléments préfabriqués intérieurs sont perçus comme le résultat de l'efficacité et de la précision de l'industrialisation, mais également comme « *un symbole de succès et de réussite technologique [traduction libre]* » (p. 244). La préfabrication intérieure regroupe trois catégories (D. Schneiderman et Freihoefer, 2013) :

- > **Construction plane** : se compose de panneaux et d'écrans, statiques ou amovibles, servant à diviser l'espace dans des environnements résidentiels ou de bureaux. Ces éléments peuvent être fixes, pliants ou coulissants afin de créer des murs, des portes, ou toutes autres formes de division spatiale, tout en permettant une certaine flexibilité dans la variation de l'espace de vie;
- > **Construction modulaire** : regroupe des modules ou des éléments standardisés qui représentent l'unité de base d'un système, dont la combinaison et l'agencement de

modules sur le chantier permettent, entre autres, la fabrication de mobiliers intégrés de cuisines et salles de bains, mais aussi d'environnements de travail;

- > **Construction d'unité** : unité se définissant comme un élément complet et indépendant conçu pour regrouper tous les équipements nécessaires pour faire office de cuisine, de salle de bains ou d'espace de travail. L'installation d'une unité dans une pièce suffit pour lui donner sa fonction.

3.1.2.5 Production en série personnalisée

L'industrialisation ou la production en série de l'habitation, dont les principes reposent sur l'économie d'échelle, est un concept architectural du début du 20^e siècle, mis de côté suite au désintéressement général (Kieran et Timberlake, 2004). Tel que mentionné plus haut (point 3.1.1), la connotation négative associée au concept, le manque d'adhésion des professionnels de la construction, les investissements importants requis et le manque de flexibilité sont des facteurs qui ont miné les chances de l'industrialisation du bâtiment d'être considérée comme une alternative aux pratiques de construction usuelles. Pour éviter les méfaits découlant de la répétitivité, l'industrialisation est remplacée par le concept de la « production en série personnalisée » (*mass customization*) ou l'« individualisation à l'intérieur de la production en série » (Kieran et Timberlake, 2004; Richard, 2004). Devenue la réalité du 21^e siècle, ce type d'industrialisation fait la promotion de la différence impliquant l'utilisateur dans le processus de conception afin de tendre vers une meilleure correspondance aux besoins et aux attentes de ce dernier (Kieran et Timberlake, 2004). Le marché du développement immobilier et des condos neufs a recours à cette forme de personnalisation. Par l'entremise d'une conception participative, le client se voit offrir un choix limité d'options ou d'alternatives pour différents éléments de l'habitation : matériaux de finition de l'extérieur, cabinets de cuisine et de salles de bains, comptoirs et revêtements de sol. Par contre, cette façon de faire suppose tout de même que les options prédéterminées par le designer ou l'architecte ont le potentiel de ne pas satisfaire complètement l'utilisateur (Niemeijer et al., 2010).

Les entreprises japonaises de la construction, qui ont pris le virage de l'industrialisation du bâtiment, ont réalisé depuis longtemps que la préfabrication pouvait être compatible avec un certain degré de personnalisation (Woudhuysen et Abley, 2004). Cette hybridation conceptuelle utilise donc les processus de l'industrialisation, tout en permettant de prendre en considération les contraintes déterminées par le site d'implantation du projet, l'usage du bâtiment, ainsi que les désirs de l'utilisateur (Kieran et Timberlake, 2004). Dans cette optique, la diversité est une notion qui permet à l'industrialisation de répondre plus adéquatement à la

pluralité des besoins des consommateurs (Warszawski, 1999). Par l'entremise de la conception assistée par ordinateur, le processus de personnalisation est possible sans nécessairement engendrer des coûts additionnels (Niemeijer et al., 2010; Warszawski, 1999). Cette façon de faire est rendue possible grâce à la recherche et développement dans les technologies numériques et les outillages de fabrication (Smith, 2010). Pour une meilleure adaptation aux réalités actuelles de l'industrialisation du bâtiment, les usines doivent désormais réunir trois caractéristiques : la flexibilité du produit permettant de satisfaire à une demande diversifiée et imprévisible; la souplesse de la production afin de permettre un ajustement rapide aux variations de la demande; ainsi que le faible coût d'investissement assurant un amortissement des dépenses sur un plus petit volume de production (Brown, 2002). Toutefois, la production en série personnalisée « *n'est pas incompatible avec la présence de quelques invariants (partie d'ouvrages intérieurs techniques)* » (Maugard et Héros, 2007, p. 60); certains invariants communs à tous les projets, tels que les salles de bains, peuvent être produits en série de façon générique (Maugard et Héros, 2007). Selon Niemeijer et al. (2010), il existe quatre typologies de production en série personnalisée qui peuvent potentiellement être transposées à l'habitation :

- > **Personnalisation collaborative** (*collaborative customization*) : des échanges entre le fabricant et le consommateur permettent d'identifier les besoins de ce dernier avant de procéder à la construction en usine (présentement utilisée dans l'industrie automobile);
- > **Personnalisation adaptable** (*adaptive customization*) : le produit d'habitation est standardisé, mais certains mécanismes intégrés permettent à l'utilisateur de personnaliser son espace selon ses besoins (cloison coulissante ou mobilier escamotable);
- > **Personnalisation transparente** (*transparent customization*) : le produit d'habitation est personnalisé selon une clientèle cible identifiée avant la mise en production; les usagers ont ainsi accès à une personnalisation sans vraiment en prendre conscience;
- > **Personnalisation cosmétique** (*cosmetic customization*) : ce type de personnalisation a pour levier le marketing qui met de l'avant différentes caractéristiques d'un même produit d'habitation afin d'en faire la promotion auprès de clientèles variées.

3.1.3 Avantages

L'industrialisation du bâtiment regroupe un important potentiel d'avantages par rapport aux pratiques de conception et de construction usuelles. Les procédés industrialisés permettent de délaier la séquence linéaire des étapes de la construction traditionnelle en mettant de l'avant de nouvelles approches qui proposent d'exécuter plusieurs phases de fabrication en simultanément; cette façon de faire permettrait de s'affranchir du cadre rigide actuel (Kieran et Timberlake, 2004). Les principaux objectifs de l'industrialisation sont de stimuler la croissance économique, d'augmenter le niveau de productivité et permettre une meilleure accessibilité aux produits de consommation; elle vise également à améliorer la qualité de la fabrication, à utiliser moins de main-d'œuvre, à diminuer les coûts et à réduire les délais de construction (CST, 2003; Kieran et Timberlake, 2004; Maugard et Héros, 2007; Smith, 2010; Warszawski, 1999).

3.1.3.1 Réduction des pertes de temps et des délais

Le format de la construction traditionnelle ne permet pas d'avoir une gestion optimale du temps, ni un contrôle efficace sur les délais; le processus est trop long, les délais ne sont que rarement respectés et les pertes de temps sont énormes. En plus, la réduction des délais de construction est un facteur qui a des répercussions sur plusieurs aspects puisque « *toute réduction des délais est synonyme de réduction des coûts d'immobilisation de matériel et de main-d'œuvre [...]. Chaque process de construction a une durée normale de réalisation qui peut être réduite par la précision dimensionnelle du gros œuvre : le chantier est mené rapidement avec une optimisation de l'organisation des tâches* » (Maugard et Héros, 2007, p. 60). Ainsi la préfabrication permet de réduire les délais sur le site de construction (Knaack et al., 2012); cette réduction des délais de construction est rendue possible par l'atteinte d'une meilleure efficacité et d'une plus grande productivité au niveau de la fabrication en usine. De plus, l'utilisation de technologies employées dans l'industrie automobile, telles que la modélisation 3D, les simulations virtuelles, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et le branchement intranet, permettrait de réduire considérablement le temps de conception et de construction (Kieran et Timberlake, 2004). Selon McGraw Hill Construction (2011), 66% des utilisateurs de la préfabrication rapportent une diminution des délais de construction, ce qui correspond à quatre semaines ou plus pour 35% d'entre-deux. Certains avancent même que les bâtiments préfabriqués peuvent réduire les délais de construction de 50% par rapport aux méthodes de construction traditionnelles (Smith, 2010).

3.1.3.2 Accroissement de la productivité

Le rapport de McGraw Hill Construction (2011) démontre que dans une proportion de 82%, l'augmentation de la productivité est la motivation la plus importante pour ceux qui choisissent de privilégier le recours à la préfabrication. Selon plusieurs auteurs, l'atteinte d'une amélioration tangible au niveau de la productivité et de la qualité de la construction ne peut se faire que par l'atteinte de deux objectifs : maximiser le travail en usine; simplifier les étapes d'assemblage et de finition, mécaniser et automatiser les activités de construction restantes afin d'augmenter la vitesse d'exécution sur le chantier (Friedman, 2002; Girmscheid, 2010b; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a; Warszawski, 1999). Les assemblages sont soigneusement planifiés et l'attention apportée à la précision dimensionnelle permet de développer un agencement de qualité entre le gros œuvre et le second œuvre (Knaack et al., 2012; Maugard et Héros, 2007). Enfin, du point de vue organisationnel, la fabrication en usine permet une production constante sur toute l'année, en fournissant un environnement contrôlé au niveau de la température et de l'humidité, un accès à un outillage plus élaboré qui entraîne une plus grande précision et également une meilleure cohésion dans la planification et la gestion (Girmscheid, 2010b; Knaack et al., 2012; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a). Toutes ces caractéristiques contribuent ultimement à l'augmentation de la productivité du secteur de la construction des produits industrialisés.

3.1.3.3 Diminution du besoin de main-d'œuvre

Les problèmes de main-d'œuvre dans la construction sont de plusieurs ordres : la piètre efficacité découlant de la structure de travail, les lacunes dans la formation et la compétence des ouvriers, ainsi que les conditions difficiles et la sécurité de l'environnement de travail. L'industrialisation a l'avantage de fournir un milieu protégé, sécuritaire et ergonomique pour les ouvriers, en offrant des horaires réguliers, un environnement contrôlé, une formation et une surveillance adéquate (Smith, 2010). De plus, la préfabrication peut également avoir un impact sur les conditions au site de construction. À cet effet, McGraw Hill Construction (2011) rapporte que 34% des architectes, ingénieurs et entrepreneurs interrogés considèrent que la préfabrication peut augmenter la sécurité des chantiers en réduisant, entre autres, l'usage d'échafaudages et d'échelles; 56% d'entre eux croient que le niveau de sécurité n'est ni plus ni moins important, mais que dans 10% des cas, le risque est plus élevé dû à la manutention et l'installation des éléments préfabriqués de grande taille (McGraw Hill Construction, 2011). De plus, l'automatisation, la mécanisation et/ou la robotisation permettent de réduire les besoins de main-d'œuvre, une économie d'effectifs de l'ordre de 40% à 50% (Richard, 2004; Warszawski, 1999). Le profil canadien de la construction, comportant une main-

d'œuvre vieillissante et une relève trop peu nombreuse, est particulièrement propice à l'implantation de l'industrialisation du bâtiment puisque cette pratique nécessite moins d'ouvriers et moins de métiers spécialisés (Finn, 1992; Knaack et al., 2012).

3.1.3.4 Augmentation de la qualité

La qualité en décroissance est actuellement une problématique majeure dans le secteur de la construction; dans le format actuel, le prototype d'habitation n'offre pas de garanties satisfaisantes et ne subit pas suffisamment de contrôles de qualité. Ainsi, dans la même approche que les autres produits de consommation, le client devrait être en mesure d'avoir des options en cas de défaillances (Woudhuysen et Abley, 2004). L'industrialisation du bâtiment permet une amélioration de la qualité en fournissant un environnement contrôlé, en procédant à un choix minutieux des matériaux, en donnant accès à un meilleur outillage, en effectuant un contrôle rigoureux de la qualité, et ce, tout en augmentant le niveau de rapidité des processus de construction (Finn, 1992; Knaack et al., 2012; McGraw Hill Construction, 2011; Warszawski, 1999). Ainsi, la préfabrication permet une plus grande précision et un meilleur contrôle de la production (Smith, 2010). L'industrie de la construction gagnerait à profiter des avantages obtenus par la production en série mise en place dans le secteur automobile; des bénéfiques tels que l'amélioration du design, de la finition, de la performance et de la précision dimensionnelle (Woudhuysen et Abley, 2004). Il est anormal que le domaine de la construction se contente d'une précision dimensionnelle au demi-pouce lorsque celle de l'automobile se calcule actuellement en millimètres (Kieran et Timberlake, 2004). Au niveau de l'industrialisation, la qualité devient une contrainte qui est sérieusement prise en compte autant dans la conception et dans la fabrication (Maugard et Héros, 2007).

3.1.3.5 Réduction des coûts

Les coûts de construction, qui ne cessent d'augmenter, ont un impact direct sur l'accessibilité à l'habitation. Ainsi, du point de vue économique, l'industrialisation représente 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, les composantes et les fournitures (Girmscheid, 2010b; Knaack et al., 2012; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010a). Selon Richard (2004), il est théoriquement possible d'atteindre une diminution des coûts de construction de l'ordre de 15% à 30%; un rapport de McGraw Hill Construction (2011) démontre que 65% des utilisateurs de la préfabrication rapportent une baisse des coûts de construction, une diminution de 6% et plus pour 41% d'entre eux; cette réduction de coûts provient, entre autres, d'une diminution des frais

d'acquisition et d'installation des matériaux. À titre informatif, entre 1998 et 2004, les bénéfices de l'industrialisation de l'automobile ont permis de réaliser des économies de près de 34% au niveau des coûts associés à la main-d'œuvre de production et de conception, ainsi que des gains de plus de 16% dans la sphère des matériaux (Kieran et Timberlake, 2004).

3.1.3.6 Meilleure flexibilité

L'industrialisation de la construction offre également un potentiel d'avantages ayant des répercussions au niveau des phases d'exploitation, d'entretien et de réparation du bâtiment. Ce processus permettrait de faciliter le changement, la mise à jour et le remplacement au niveau des composantes, des équipements ou des finis (Maugard et Héros, 2007; Woudhuysen et Abley, 2004). De par sa durée de vie importante, le bâtiment doit intégrer des notions de flexibilité afin de permettre une certaine évolution en fonction des besoins des utilisateurs et des occupants qui se transforment dans le temps. Les changements d'usages, l'évolution des ménages et des modes de vie, le vieillissement de la population sont des facteurs pouvant nécessiter des transformations au niveau du bâtiment (Maugard et Héros, 2007; Warszawski, 1999). Une meilleure planification et conception des assemblages suppose une certaine considération du désassemblage qui, par extension, agit comme agent de simplification dans l'accommodation d'une capacité évolutive dans le bâtiment. Ainsi, « *le bâtiment doit être un facilitateur des évolutions de la société. Cela peut conduire à des programmes plus complexes, moins datés et moins localisés* » (Maugard et Héros, 2007, p. 103).

3.1.3.7 Bénéfices environnementaux

Les préoccupations environnementales ne font pas partie intégrante des motivations originelles de la mise en place des processus d'industrialisation de la construction. Selon Knaack et al. (2012), l'avenir de l'industrialisation en construction repose, entre autres, sur un questionnement au niveau de la perspective environnementale, englobant les principes du développement durable, l'utilisation des énergies renouvelables, la sélection des matériaux et leur contenu énergétique (*EE – Embodied energy*), ainsi que la capacité de recycler. Comme le signale Smith (2010), à ce jour, la « *préfabrication ne signifie pas nécessairement une construction durable et la construction durable n'implique pas l'utilisation de la préfabrication [traduction libre]* » (p. 218). À titre d'exemple, l'utilisation de la préfabrication dans le bâtiment vert est représentée de la façon suivante : dans une proportion de 63%, la préfabrication est peu ou pas utilisée (comptant pour moins de 25% du projet); dans 18% des cas, elle est moyennement utilisée (dans plus de 25% et jusqu'à 50% du projet); dans 9% des cas, elle

représente une utilisation élevée (entre 51% et 75% du projet); et dans 10% des cas, elle équivaut à une utilisation très élevée (plus de 75% du projet) (McGraw Hill Construction, 2011). À la connaissance du chercheur, aucune étude récente ne fait état du profil d'utilisation de la préfabrication au niveau du bâtiment conventionnel. Avec l'étalement et la diffusion des répercussions environnementales de la construction, les entreprises de préfabrication contemporaines tentent d'exploiter ce nouvel argument de vente « *mais peu d'entre elles prennent la durabilité (sustainability) avec un quelconque degré de rigueur [traduction libre]* » (Quale, 2012, p. 39).

La prise en compte des facteurs environnementaux au niveau de l'industrialisation a le potentiel de se traduire par des bénéfices directs. Du point de vue organisationnel, la construction en usine permet d'aspirer à une optimisation de l'utilisation des matériaux, minimisant ainsi les pertes, le gaspillage et la production de déchets; la préfabrication du bâtiment dans un site centralisé permet de faciliter la mise en place d'un programme de recyclage efficace des matériaux; la construction en usine, un environnement contrôlé à l'abri des intempéries, permet ultimement d'améliorer la qualité de l'air intérieur des bâtiments en minimisant la présence d'humidité et les risques de moisissures au niveau des matériaux; la préfabrication pourrait également permettre au bâtiment d'intégrer une capacité à évoluer en mettant de l'avant des stratégies comme la conception pour permettre le changement (McGraw Hill Construction, 2011; Richard, 2004; Smith, 2010). Selon McGraw Hill Construction (2011), 77% des utilisateurs de la préfabrication rapportent une réduction des déchets sur les sites de construction (puisqu'ils sont générés à l'usine), avec une diminution égale ou supérieure à 5% pour 44% d'entre-deux; 62% des répondants croient que la préfabrication engendre une réduction de l'utilisation des matériaux, une proportion supérieure ou égale à 5% pour 27% de ceux-ci. Enfin, 31% des répondants suggèrent que la préfabrication permet le choix de matériaux de construction qui produisent moins d'impacts sur l'environnement (McGraw Hill Construction, 2011).

Par opposition, certains auteurs soutiennent que, du point de vue environnemental, la préfabrication en usine peut engendrer plus d'impacts que les procédés usuels de construction à ossature de bois exécutés sur un chantier, et ce, à trois niveaux différents. Dans un premier temps, l'implantation, la construction et l'exploitation des infrastructures de l'usine représentent des impacts environnementaux importants qui doivent être pris en compte dans l'équation. Dans un deuxième temps, l'industrialisation du bâtiment peut utiliser de 20% à 30% de matériaux supplémentaires afin de protéger des intempéries, de solidifier, de contreventer

et de limiter le mouvement durant les phases de manutention, de transport et d'installation des éléments préfabriqués (Knaack et al., 2012; Ludeman, 2008; Smith, 2010). Enfin, ces façons de faire peuvent altérer la performance énergétique du bâtiment puisque les supports structuraux et les contreventements peuvent augmenter les surfaces de ponts thermiques et le transport peut aussi affecter le rendement des isolants en nattes ou en vrac qui risquent d'être déplacés ou compactés (Ludeman, 2008). Cet enjeu est majeur puisqu'il est susceptible d'affecter la performance énergétique globale du bâtiment durant toute sa durée de vie utile.

3.1.3.8 Aspect économique

Un des préceptes de l'industrialisation se base sur le principe d'économie d'échelle pour offrir un produit le plus abordable possible de façon à rendre l'habitation accessible au plus grand nombre. Cette organisation permet d'avoir un meilleur pouvoir d'achat au niveau des matériaux et composantes, de gérer les achats de façon plus précise en suivant les projets mis en production afin d'éviter les surplus et l'entreposage, mais aussi de diminuer les coûts associés à la surveillance et à la gestion de chantier. Pourtant, le portrait actuel des avantages économiques semble diverger des revendications des entreprises. En effet, les coûts de production associés à une maison préfabriquée semblent identiques ou supérieurs à la construction à ossature de bois sur un chantier (Ludeman, 2008). Cette réalité s'explique par le fait que les objectifs d'abordabilité de l'industrialisation peuvent être contrecarrés par plusieurs aspects économiques qui sont habituellement décontextualisés : les frais afférents à l'implantation et l'exploitation de l'usine (investissement initial, bâtiments, équipements, entretien et employés à temps plein), les frais de conception associés aux différents concepts et plans proposés (architectes, ingénieurs et designers), les coûts de transport, de manutention et de montage de gros volumes (camion, train, bateau, avion, chariot de levage et grue) et finalement le niveau de profit des entreprises; tous ces facteurs peuvent contribuer à minimiser ou annuler les économies d'échelle encourues par l'industrialisation et ainsi en diminuer la pertinence économique (Knaack et al., 2012; Ludeman, 2008; Smith, 2010).

3.2 Bâtiment vert

La deuxième tendance conceptuelle présentée ici est le bâtiment vert qui vise principalement à remédier aux impacts des bâtiments associés à la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et de ressources, la génération de déchets, mais aussi, si l'on considère l'environnement intérieur, les répercussions sur la santé, le confort et la qualité de vie des occupants. La présentation du

bâtiment vert débute en traitant de son origine et de sa définition, puis de ses principes et de ses caractéristiques, lesquels se déclinent principalement à travers les programmes de certification tels que *ENERGY STAR*[®], *Novoclimat*^{mc}, *BOMA-BEST*[®], *LEED*[®] et *Living Building Challenge*TM. Enfin, les principaux avantages du bâtiment vert sont traités en termes de bénéfices sur les impacts associés à l'énergie, à l'eau, aux matériaux et aux déchets, ainsi qu'aux répercussions sur la santé et la qualité de vie, mais aussi sur l'aspect économique.

3.2.1 Origine et définition

Initié vers 1994, le mouvement du bâtiment vert (ou construction écologique ou écoconstruction) cherche à réduire l'empreinte environnementale de l'habitation en mettant de l'avant une variété de stratégies. Cette approche globale, qui considère tout le cycle de vie du bâtiment (conception, construction, usage et fin de vie), intègre désormais les critères environnementaux aux critères usuels de conception tels que la fonctionnalité, l'esthétique, la durabilité et le coût (van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010b). Ces critères environnementaux englobent, entre autres, la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et ressources et la génération de déchets.

Au cours des quarante dernières années, l'attention a principalement été dirigée sur la réduction de la consommation d'énergie par des mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (UNEP, 2011). Par conséquent, une révision des pratiques de conception des bâtiments (performance de l'isolation et des fenêtres), ainsi que de ses systèmes énergétiques (éclairage, chauffage, climatisation, ventilation et chauffage de l'eau), a mené à des bénéfices en termes d'efficacité énergétique se transposant en une réduction des coûts d'exploitation (Kats, 2010). Le bâtiment vert se préoccupe également de l'optimisation de l'utilisation de l'eau de façon à protéger la ressource, minimiser sa contamination, réduire les besoins en eau potable, mais aussi diminuer la pression exercée sur les infrastructures de traitement des eaux usées (UNEP, 2011). Plusieurs solutions sont proposées pour minimiser la consommation d'eau potable, telles que la récolte des eaux pluviales, l'utilisation de robinetteries à faible débit ou des appareils sanitaires à consommation réduite ou nulle, la sélection d'électroménagers à faible consommation d'eau et la réutilisation des eaux grises (provenant du lave-linge, de la douche et de la baignoire) (Kats, 2010). Le bâtiment vert privilégie également l'emploi de matériaux recyclés, réutilisés et/ou produits localement. Une sélection rigoureuse de ces matériaux peut contribuer à réduire considérablement la production de déchets, ainsi que les impacts environnementaux associés à leur production, leur composition, leur durabilité, leur origine, leur utilisation et leur gestion de fin de vie (UNEP,

2011). De plus, le bâtiment vert vise à réduire les impacts associés à la production de déchets par l'optimisation de l'utilisation des matériaux, ainsi que le recyclage et la réutilisation des déchets qui sont générés (BOMA Canada, 2013; CBDCa, 2009). Enfin, le bâtiment vert procure des bénéfices au niveau des environnements intérieurs en améliorant la qualité de l'air intérieur (ventilation et produits sans COV), mais également en contribuant à améliorer la qualité de vie, le confort et l'expérience des occupants (lumière naturelle, confort thermique et vues) (Häkkinen et Belloni, 2011).

Pour faciliter l'atteinte de ces objectifs, le bâtiment vert compte sur des programmes de certification qui contribuent à la diffusion et la normalisation des pratiques dans le domaine. La promotion et la reconnaissance des bénéfices environnementaux, économiques et sociaux du bâtiment vert participent à la progression d'une certaine forme d'institutionnalisation de cette pratique (Domard et Lanoie, 2011). La certification LEED® (voir le point 3.2.2.1.4), par exemple, est graduellement intégrée dans des initiatives gouvernementales et publiques, sous forme « *de lois, d'ordres exécutifs, de résolutions, d'ordonnances, de politiques et d'incitatifs [traduction libre]* » (USGBC, 2010); une pratique désormais courante dans quarante-quatre états américains (USGBC, 2010) et qui tend à se répandre au Canada. Dans cette foulée, de plus en plus d'études se consacrent à documenter la pertinence de l'écoconstruction du point de vue de l'économie, de l'environnement et de l'utilisateur.

3.2.2 Principes et caractéristiques

La principale caractéristique du bâtiment vert est qu'il peut se baser sur l'utilisation de programmes de certification pour orienter la conception, la construction et la performance environnementale. Selon le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) (2014), le recours à ce type de programmes procure plusieurs bénéfices : des bâtiments plus performants, un avantage promotionnel et concurrentiel, l'établissement d'un standard commun dans l'industrie et l'encouragement de l'usage de la conception intégrée. Par contre, certains facteurs dissuasifs restreignent l'usage de programmes de certifications face au coût trop élevé, aux délais et aux exigences du processus de certification, ainsi qu'à l'inaptitude à accommoder les spécificités climatiques régionales et les implications culturelles (McGraw Hill Construction, 2013).

3.2.2.1 Programmes de certification

Le développement des pratiques d'écoconstruction dépend de plusieurs facteurs, dont l'adhésion des différents intervenants du milieu à ce mouvement. Pour ce faire, il faut voir

à populariser les façons de procéder, et ce, dans le but de viser une adoption et une intégration plus larges des principes de la construction écologique (van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010b). À cette fin, l'écoconstruction dispose de plusieurs programmes de certification de bâtiments écologiques qui participent à la diffusion et à la normalisation des pratiques du domaine. Seront présentés dans cette section les principaux systèmes que l'on retrouve sur le territoire canadien, dont les programmes ENERGY STAR®, Novoclimat^{mc}, BOMA-BEST®, mais également la certification LEED® et le Living Building Challenge™.

3.2.2.1.1 ENERGY STAR®

Géré par Ressources naturelles Canada, ENERGY STAR® est un programme d'efficacité énergétique spécifiquement développé pour les maisons neuves, qui vise une performance supérieure aux exigences minimales imposées par les codes du bâtiment provinciaux (Ressources naturelles Canada, 2011a). Cette initiative, qui fournit des exigences selon les régions, vise une réduction de la consommation d'énergie, engendrant un potentiel d'économies et de diminution de la pollution; ces pratiques permettent également de générer des améliorations au niveau de la qualité de l'air, contribuant à une meilleure santé et à un confort supérieur. Pour atteindre ces bénéfices, le programme ENERGY STAR® pour les maisons neuves regroupe des mesures selon les catégories suivantes (Ressources naturelles Canada, 2011b) :

- > **Fenêtres, portes et puits de lumière** : catégorie qui définit les exigences minimales de performance des produits et les surfaces totales admissibles;
- > **Niveaux d'isolation** : traite des exigences minimales d'isolation pour les plafonds, les murs extérieurs, les planchers exposés, les dalles et les murs de sous-sol;
- > **Fuites d'air** : concerne l'étanchéité de l'enveloppe et le taux de renouvellement de l'air intérieur;
- > **Ventilation mécanique et distribution** : fournit les exigences de performance au niveau de la ventilation, des ventilateurs récupérateurs de chaleur (VRC) et des systèmes de distribution;
- > **Systèmes de chauffage** : donne les spécifications techniques des appareils admissibles et des procédés d'évacuation des gaz de combustion;

- > **Conduits** : traite des spécifications d'installation et d'étanchéisation des conduits de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC);
- > **Chauffe-eau** : établit les exigences de performance au niveau des appareils et de la récupération de la chaleur des eaux de drainage;
- > **Exigences en matière d'économies applicables à l'électricité** : fournit les spécifications au niveau de l'électricité, des appareils d'éclairage, des types d'ampoules et de certains électroménagers (lave-linge, réfrigérateur et lave-vaisselle).

3.2.2.1.2 Novoclimat^{mc}

Instauré en 1999, Novoclimat^{mc} est un programme normatif volontaire de construction écoénergétique pour les maisons neuves. Il fournit des exigences techniques pour la conception de plusieurs types de bâtiments résidentiels, soit les habitations neuves unifamiliales (maison individuelle, jumelée ou en rangée), les maisons usinées, les plex (duplex, triplex et quadruplex) et les immeubles à logements ou à condominiums (cinq unités ou plus comportant sept étages ou moins) (Gouvernement du Québec, 2011). De façon générale, Novoclimat^{mc} encadre l'efficacité énergétique du bâtiment, le confort des résidents, mais aussi la qualité de l'air intérieur (QAI) et la durabilité de l'habitation. Pour obtenir cette certification, les projets doivent satisfaire à toutes les exigences minimales relatives à l'enveloppe du bâtiment, aux exigences techniques relatives aux systèmes mécaniques, mais également à un choix d'exigences complémentaires (Gouvernement du Québec, 2013b). Voici l'exemple des exigences techniques des volets « maison » et « petit bâtiment multilogement » du programme Novoclimat^{mc} 2.0 mis en place en octobre 2013 (Gouvernement du Québec, 2013b) :

Exigences minimales relatives à l'enveloppe du bâtiment

- > **Isolation thermique** : donne les exigences de conception et d'installation de l'isolation, mais aussi les niveaux d'isolation minimaux pour les toitures, les murs de fondation, les planchers de sous-sol et les dalles de sol;
- > **Étanchéité** : traite des exigences au niveau de la perméabilité à la vapeur d'eau, de l'étanchéité à l'air et de la protection contre le radon et les gaz souterrains;
- > **Fenêtrage et portes extérieures** : fournit les critères d'installation et les exigences minimales de performance énergétique des fenêtres et des portes extérieures.

Exigences techniques relatives aux systèmes mécaniques

- > **Systèmes de chauffage et de climatisation:** indique les exigences au niveau des systèmes, du rendement énergétique, de la régulation par thermostats électroniques, des rejets atmosphériques des systèmes de chauffage au bois, mais traite aussi des systèmes géothermiques;
- > **Systèmes de chauffage de l'eau :** définit les exigences au niveau des systèmes, du rendement énergétique, de la tuyauterie de distribution d'eau chaude et traite aussi de l'homologation des chauffe-eau solaires;
- > **Alimentation et évacuation de l'air de combustion :** encadre l'alimentation en air de combustion, la combustion en circuit scellé, le mécanisme limitant le retour d'air froid dans le logement, la dépression d'air et la recirculation interne, les spécifications quant aux conduits d'alimentation et d'évacuation, ainsi que les avertisseurs de monoxyde de carbone;
- > **Ventilation autonome :** établit les critères de conception, les exigences de performance au niveau des ventilateurs récupérateurs de chaleur (VRC), de la distribution de la ventilation, mais également de la ventilation de la cuisine, des salles de bains et des espaces communs.

Choix d'exigences complémentaires

Cette section contient une combinaison d'exigences obligatoires et d'exigences au choix. Ces dernières visent à offrir une certaine flexibilité au niveau de la certification en laissant le choix à l'équipe de projet de choisir celles qu'elle estime adéquates au projet :

> **Qualité de l'air intérieur**

Exigences obligatoires : encadre les émissions de contaminants en définissant les exigences au niveau de la sortie de balayeuse centrale, des avertisseurs de monoxyde de carbone et des produits à faible toxicité et à faible émission de composés organiques volatils (COV);

Exigences au choix : fournit des exigences au niveau de la réduction à la source des contaminants de l'air (faible taux de COV certifié pour les enduits, vernis, peintures, adhésifs et revêtements intérieurs; faible taux de COV certifié ou sans urée-formaldéhyde pour les isolants).

> **Gestion durable de l'eau et des ressources**

Exigences obligatoires : traite de l'utilisation de toilettes à faible consommation et de robinetteries à faible débit (évier, lavabo et douche) en établissant des exigences minimales.

Exigences au choix : encadre l'utilisation de toilettes à très faible consommation et de robinetterie à très faible débit (évier, lavabo et douche) en établissant des exigences supérieures; établit les exigences au niveau de la récupération des matériaux sur le chantier (bois, métal, carton, matériaux isolants et gypse); fournit les exigences du contenu recyclé selon les catégories de matériaux isolants.

> **Optimisation énergétique**

Exigences obligatoires : traite de l'utilisation d'appareils d'éclairage avec lampe de type efficace (fluorescent compact et DEL) dans les espaces communs; les éclairages extérieurs reliés à un interrupteur situé à l'intérieur, un détecteur de mouvement, une minuterie programmable ou une commande à cellule photoélectrique; les prises électriques extérieures reliées à un interrupteur situé à l'intérieur.

Exigences au choix : encadre l'utilisation d'appareils d'éclairage avec lampe de type efficace homologués ENERGY STAR; établit les exigences d'utilisation de performance et d'installation de chauffe-eau relié à un système de récupération de chaleur des eaux de drainage; encadre l'installation de prises électriques près de l'aire de stationnement pour la recharge de voitures électriques.

3.2.2.1.3 BOMA-BES[®]

BOMA Canada (Building Owners and Managers Association) lance le programme de certification national BOMA-BES^t (Building Environment Standards) en 2005 pour reconnaître l'excellence dans la performance et la gestion environnementale des bâtiments. BOMA-BES^t soutient l'amélioration continue et possède plusieurs déclinaisons pour accommoder différentes typologies de bâtiments : immeubles de bureaux, immeubles multirésidentiels, centres commerciaux fermés, centres commerciaux ouverts (centres commerciaux à ciel ouvert et centre d'achats) et industrie légère (entrepôts et ateliers). Ce système de pointage comporte plusieurs catégories qui se distinguent en importance selon chacune des déclinaisons. Chacune des six catégories comporte des préalables obligatoires nommés « exigences des meilleures pratiques ».

Dans le processus de certification, l'équipe de projet se base sur un questionnaire qui comporte environ 175 questions pour orienter la conception et évaluer la performance du bâtiment. Au moment jugé opportun, le questionnaire est, dans un premier temps, présenté au comité pour ensuite être soumis à une vérification externe effectuée par un agent de BOMA-Canada; cet évaluateur externe est « nommé par les associations locales BOMA et affecté à la vérification de leur région » (BOMA Canada, 2013, p. 21). Le programme BOMA-BES_t permet d'atteindre quatre niveaux de certification : le *Niveau 1* correspond à un projet qui répond aux exigences des meilleures pratiques (voir le document BOMA Canada, 2009) établies par la certification et représente une gestion et une performance environnementale de base; le *Niveau 2* correspond à un pointage de 70% à 79% et se décrit comme une meilleure performance et gestion; le *Niveau 3* correspond au score de 80% à 89% et représente une performance supérieure et une excellente gestion; finalement, le *Niveau 4* atteint un pointage supérieur à 90% et équivaut à l'atteinte de l'excellence aussi bien au niveau de la performance que de la gestion environnementale (BOMA Canada, 2012a). Le pointage de la déclinaison la plus proche des préoccupations résidentielles, à savoir celui des immeubles multirésidentiels, est réparti au niveau des six catégories distinctes suivantes (BOMA Canada, 2012b) :

- > **Énergie** : demande un bilan sur l'énergie, une politique écrite pour la mise en place d'un programme de gestion énergétique et un programme de maintenance préventive pour les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC);
- > **Environnement intérieur** : nécessite la production de documents explicatifs sur la qualité de l'air intérieur (QAI) du bâtiment, destinés à l'usage des occupants;
- > **Émissions et effluents** : requiert un programme de gestion des substances appauvrissant la couche d'ozone, ainsi qu'un plan de remplacement ou d'élimination de ces dernières; demande un inventaire des matériaux de construction dangereux, ainsi qu'un programme de gestion de ces derniers;
- > **Système de gestion environnementale** : sollicite l'élaboration d'une politique écrite sur la sélection des matériaux de construction, ainsi qu'un système de communication efficace avec les occupants concernant les questions environnementales, les initiatives et les pratiques du bâtiment;
- > **Réduction des déchets et site** : souhaite la mise en place d'un programme de recyclage, ainsi qu'une politique écrite sur la gestion des déchets de construction;

- > **Eau** : nécessite un bilan sur l'eau et une politique écrite sur la gestion de l'eau, concernant autant l'utilisation que la conservation.

3.2.2.1.4 LEED®

En Amérique du Nord, le programme de certification LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*) est l'outil le plus utilisé pour la conception de bâtiments écologiques (CEC, 2008a). L'approche normative de la certification LEED®, développée par l'U.S. Green Building Council (USGBC), a été adaptée au Canada, en 2002, par le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa), détenteur exclusif de la licence LEED® au pays. 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 une certification du bâtiment durable assurée par une tierce partie indépendante. Les avantages de ce programme sont multiples puisque le CBDCa soutient que les bâtiments certifiés LEED® 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, ont une durée de vie économique plus longue et sont plus confortables (CBDCa, 2004). Le programme de certification LEED® est offert sous plusieurs déclinaisons: 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® – ND (Neighborhood Development) pour l'aménagement des quartiers; LEED® – H (Homes) pour les habitations.

LEED® – Habitations, déclinaison lancée au Canada au début de l'année 2009, vise à fournir des habitations saines, confortables, durables, écoénergétiques et respectueuses de l'environnement; cette certification considère, entre autres, 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). LEED® encourage la conception intégrée, une pratique qui réunit les principaux intervenants du projet pour qu'ils participent à la réflexion et à la conception. 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 nécessaires à la

certification. Chaque projet est soumis à un évaluateur écologique indépendant, pour ensuite être vérifié et approuvé par le fournisseur de LEED® – H de chaque province canadienne. Celui-ci attribue, selon le nombre de points accumulés durant le processus, la certification selon le niveau de performance en émettant la dénomination *Certifié* (45 à 59 points), *Argent* (60 à 74 points), *Or* (75 à 89 points) ou *Platine* (90 à 136 points) (CBDCa, 2009a). Toutefois, il faut noter que LEED® – H permet d’ajuster les seuils des niveaux de certification en fonction de la dimension de l’habitation (superficie et nombre de chambres); cette mesure reconnaît qu’il existe une relation entre la superficie résidentielle et le niveau de consommation d’énergie et d’utilisation de matériaux, et ce, en facilitant l’atteinte des seuils de certification des habitations plus petites (CBDCa, 2009). Au niveau du bâtiment résidentiel, le pointage est distribué selon huit catégories (CBDCa, 2009; USGBC, 2013) :

- > **Emplacement et liaisons** : encadre la sélection des sites qui sont plus respectueux de l’environnement (sélection d’un site ne se trouvant pas dans une zone inondable, recours à LEED® pour le développement des quartiers, sélection du site, densité d’aménagement, accès aux infrastructures et aux transports en commun);
- > **Aménagement écologique des sites** : permet de prendre conscience de l’impact du développement sur les sites (prévention de la pollution du site durant la construction, aménagement paysager n’utilisant pas de plantes envahissantes, réduction des îlots de chaleur, gestion des eaux pluviales et utilisation de produits antiparasitaires non toxiques);
- > **Gestion efficace de l’eau** : concerne l’efficacité de l’utilisation de cette ressource, à l’intérieur comme à l’extérieur (mesurage de la consommation d’eau, efficacité du système d’irrigation, efficacité des appareils sanitaires et des électroménagers);
- > **Énergie et atmosphère** : vise à réduire la consommation d’énergie et la pollution atmosphérique (performance énergétique minimale, consommation d’énergie annuelle, mesurage de la consommation d’énergie, efficacité du chauffage de l’eau et de la distribution de l’eau chaude, utilisation des énergies renouvelables, étanchéité de l’enveloppe, efficacité de l’isolation, performance des fenêtres, efficacité des appareils et de la distribution de CVC, performance des appareils d’éclairage, efficacité des appareils électroménagers, détermination de la superficie habitable et formation des intervenants et des occupants,);
- > **Matériaux et ressources** : traite de l’impact environnemental qui découle des choix et de l’utilisation des matériaux et ressources (bois tropicaux certifiés FSC, gestion et suivi

de la durabilité, produits à privilégier du point de vue environnemental, gestion des déchets et utilisation efficiente des matériaux de charpente);

- > **Qualité des environnements intérieurs**: aspire à la création d'environnements intérieurs plus sains et moins dommageables pour les occupants et les usagers (efficacité de la ventilation, évacuation des gaz de combustion, protection contre les polluants du garage, protection contre le radon, efficacité de la filtration de l'air, compartimentation des unités d'habitation, extraction localisée dans les cuisines et salles de bains, contrôle des contaminants, efficacité de la distribution du chauffage et de la climatisation, utilisation de matériaux et produits à faibles émissions de COV);
- > **Innovation**: vise à l'amélioration de la planification et de la conception (évaluation préliminaire, stratégie d'innovation et professionnel agréé LEED®);
- > **Priorité régionale** : permet de répondre à des spécificités et des priorités régionales particulières identifiées par l'organisme de certification.

3.2.2.1.5 Living Building Challenge™

Maintenant encadrée par l'*International Living Future Institute* (ILFI), la certification Living Building Challenge™ (LBC™), ou Défi du bâtiment vivant, a été lancée en 2006 aux États-Unis. Plus qu'un programme de certification, le LBC™ est une philosophie qui appelle à un changement de paradigme; cette « *norme cohérente rassemble les idées les plus progressistes du monde de l'architecture, de l'ingénierie, de la planification, de l'architecture du paysage et de la politique [traduction libre]* » (ILFI, 2012, p. 5). Cette démarche est motivée par le constat que même si les pratiques du bâtiment vert ont beaucoup évolué, les améliorations de la sphère de la construction sont considérées encore trop timides pour espérer participer à « *remodeler la relation de l'humanité avec la nature et réaligner notre empreinte écologique en fonction de la capacité d'absorption de la planète [traduction libre]* » (ILFI, 2012, p. 6). Cette norme, basée sur la performance, est en constante évolution et encourage l'approche de conception intégrée où l'équipe de projet doit posséder des connaissances techniques de pointe dans la conception et la construction de bâtiments verts. L'intérêt pour le LBC™ est grandissant, et ce, dans plusieurs pays, tels que le Canada, le Mexique, l'Australie, l'Irlande et l'Allemagne. Au niveau local, le Québec possède, depuis un an, un chapitre chapeauté par la Section du Québec du CBDCa, soit le *Living Building Challenge Collaborative : Montréal*.

Le Living Building Challenge™ comporte sept catégories de performance : Site, Eau, Énergie, Santé, Matériaux, Équité et Beauté. Regroupant un total de 20 impératifs, chacune des catégories possède ses objectifs propres (ILFI, 2012, 2014):

- > **Site** : vise la restauration d'une saine coexistence avec la nature en remettant en question le développement et l'environnement bâti. Les préoccupations de cette catégorie sont encadrées par quatre impératifs:
 1. **Limites à la croissance** : la construction est permise seulement sur des sites déjà développés, des friches urbaines ou industrielles, mais qui ne sont pas classifiés comme des habitats écosensibles, des terres agricoles et qui ne sont pas situés dans une zone inondable;
 2. **Agriculture urbaine** : en proportion de sa superficie et de sa densité, le projet de construction doit intégrer une surface dédiée à l'agriculture pour permettre un approvisionnement maraîcher (potager et/ou toit vert);
 3. **Compensation pour la biodiversité** : une superficie équivalente à celle de chaque développement doit être protégée à titre de compensation pour supporter le maintien de la biodiversité;
 4. **Mode de vie sans voiture** : le projet doit permettre le développement de communautés basées sur les déplacements pédestres de façon à minimiser, voire éliminer, l'utilisation de la voiture.

- > **Eau** : l'objectif est de minimiser les besoins en infrastructures en créant des sites, des bâtiments et des communautés autonomes en eau, et ce, selon un impératif :
 5. **Autonomie en eau (nette zéro)** : 100% des besoins en eau doivent être comblés par la récupération des eaux pluviales ou par le recyclage des eaux usées du projet (récupération et traitement sans produits chimiques); la totalité des eaux pluviales et usées doit être gérée sur place pour répondre aux besoins du projet ou retournée vers d'autres sites pour des besoins externes.

- > **Énergie** : vise à éviter l'utilisation de la combustion en optimisant l'exploitation des énergies renouvelables pour combler les besoins annuels en énergie du bâtiment. Cette catégorie comporte un seul impératif :

6. **Autonomie en énergie (nette zéro)** : sur une base annuelle, 100% des besoins en énergie doivent être comblés par les sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien et/ou géothermie) du site (aucune forme de combustion n'est permise).
- > **Santé** : a pour objectif de maximiser la santé et le bien-être physique et psychologique dans les environnements intérieurs. Trois impératifs traitent de cette préoccupation :
7. **Environnement civilisé** : tous les espaces d'occupation intérieurs doivent posséder des fenêtres ouvrantes donnant accès à la lumière naturelle et à l'air frais;
8. **Environnement intérieur sain** : la qualité de l'air intérieur doit être maintenue par l'installation de dispositif de capture de la saleté au niveau des entrées, d'une ventilation indépendante dans les pièces telles que la cuisine et la salle de bains, des systèmes de ventilation performants, d'une proscription de la fumée de tabac, ainsi qu'une évaluation de la qualité de l'air avant et neuf mois après l'occupation;
9. **Environnement biophilique** : la conception des bâtiments doit être faite de façon à satisfaire l'attraction innée de l'utilisateur pour les systèmes et processus naturels en représentant des éléments tels que les caractéristiques du monde naturel, les représentations de formes naturelles, l'intégration de propriétés retrouvées dans la nature, la lumière et l'espace, les liens et les relations avec le lieu, mais aussi les relations fondamentales entre l'homme et la nature (Kellert et al., 2008);
- > **Matériaux** : permet d'approuver les produits et procédés qui sont sans danger dans le temps, et ce, autant pour les êtres humains que pour les écosystèmes. Cette catégorie comporte cinq impératifs :
10. **Liste rouge** : regroupe les matériaux et les produits chimiques à proscrire dans la construction de bâtiments (exemples : amiante, néoprène, formaldéhyde, plomb, mercure, fertilisants et pesticides pétrochimiques, polychlorure de vinyle (PVC) et bois traité avec des substances toxiques);
11. **Bilan carbone intrinsèque** : nécessite de tenir compte du bilan carbone intrinsèque en favorisant, entre autres, des matériaux identifiés suite à une analyse du cycle de vie (ACV);

12. **Industrie responsable** : privilégie les entreprises qui ont recours à des certifications, effectuées par une tierce partie, pour encadrer les pratiques durables au niveau de l'extraction des ressources et des conditions de travail équitables;
 13. **Approvisionnement adéquat** : encadre l'approvisionnement local afin de stimuler une économie régionale ancrée dans des pratiques, des produits et des services durables;
 14. **Conservation et réutilisation** : vise la conservation des ressources naturelles par la réduction ou l'élimination de la production de déchets aux différentes phases du cycle de vie du bâtiment (conception, construction, exploitation et fin de vie).
- > **Équité** : permet de supporter un monde juste et équitable pour tous en respectant quatre impératifs :
15. **Échelle humaine et lieux humanisés** : le projet doit être conçu selon une échelle humaine, et non selon l'échelle automobile, de façon à redonner la place à l'homme et ainsi promouvoir la culture et l'interaction;
 16. **Accès universel à la nature et au lieu** : assure que les transports, les routes et autres infrastructures soient accessibles à tous, et ce, en dépit de l'origine, l'âge et la classe socioéconomique; le projet ne doit en aucun cas empêcher un accès à l'air pur, à l'ensoleillement ou à l'eau, ni à diminuer la qualité de ces derniers;
 17. **Investissement équitable** : l'équipe de projet doit réserver un pourcentage du coût d'investissement total du bâtiment afin de le remettre en don de charité à l'organisme de son choix;
 18. **Organisations justes** : afin de promouvoir une transparence au niveau des pratiques, au moins un membre de chacune des organisations impliquées dans le projet doit posséder une certification JUST.
- > **Beauté** : reconnaît l'importance de l'esthétique comme critère affectant la préservation et la conservation du bien commun. Cette catégorie comporte deux impératifs :
19. **Beauté et esprit** : le projet doit contenir des caractéristiques de conception destinées uniquement au plaisir de l'homme, mais aussi à l'expression de la culture, de l'esprit et du lieu correspondants à la fonction du projet;

20. **Inspiration et éducation** : la production de matériel pédagogique sur le fonctionnement et les performances des projets réalisés, en plus de visites publiques, lorsque possibles, permettant une diffusion et une démystification du LBC™.

À priori, le respect de tous les impératifs est nécessaire, mais le nombre varie en fonction de la typologie du projet et le niveau de certification visé. Dans un premier temps, le programme encadre la certification de différentes typologies de projets : *bâtiment* (nouveau ou rénovation majeure), *rénovation* (regroupe la rénovation et la réhabilitation historique), *paysage ou infrastructure* (parc, routes, pont et place publique), *développement de quartiers* (campus scolaires et universitaires, artères résidentielles, secteurs commerciaux ou industriels) (ILFI, 2012). Dans un deuxième temps, LBC™ offre trois niveaux de certification : la certification *Complète* requiert le respect de tous les impératifs; le niveau *Reconnaissance* demande de satisfaire aux impératifs d'un minimum de trois catégories, en incluant minimalement celles de l'eau, de l'énergie et des matériaux; l'attestation *Autonomie complète en énergie (nette zéro)* met uniquement l'accent sur la performance énergétique du bâtiment. En plus de s'identifier à une typologie, chaque projet doit s'inscrire dans un des six types de territoire, reconnaissant ainsi la diversité régionale et le degré de densification (habitat naturel préservé; zone rurale et agricole; village ou campus; zone urbaine générale; centre-ville; quartier des affaires).

Enfin, malgré l'exhaustivité et la complexité du programme, LBC™ permet une certaine flexibilité au niveau de certains crédits en mettant en place un mécanisme du « changement d'échelle » (*Scale jumping*). Ce processus reconnaît qu'en considérant les sources potentielles d'impacts environnementaux, l'investissement initial et les frais d'exploitation associés à l'atteinte de certains impératifs, il peut être nécessaire et préférable de sortir du cadre du projet (ILFI, 2012). À cet effet, le « saut d'échelle » permet, dans certains cas, le regroupement de plusieurs bâtiments ou projets dans le partage des coûts et bénéfices de la mise en place de systèmes ou d'infrastructures permettant à ces derniers de répondre aux impératifs.

3.2.3 Avantages

Recensés dans la littérature, les bénéfices associés à la conception du bâtiment vert sont regroupés dans cette section. Selon CBDCa (2014), les motivations qui poussent à construire des bâtiments verts sont, par ordre d'importance, la réduction de la consommation d'énergie (68%), la minimisation des GES (30%), l'amélioration de la qualité de l'air (25%), la protection des ressources naturelles (23%) et la réduction de la consommation d'eau (11%). Les

avantages répertoriés se divisent sous différentes catégories, soit l'aspect économique, l'énergie, l'eau, les ressources et les déchets, ainsi que la sphère sociale de la santé et de la qualité de vie des occupants. Plusieurs incitatifs peuvent stimuler l'entreprise de travaux de rénovation écologiques, tels que l'aide financière (subventions, prêts à taux préférentiels et crédits d'impôt), l'accompagnement par un professionnel et l'augmentation du coût des énergies fossiles (Écohabitation, 2014). En contrepartie, plusieurs facteurs dissuasifs peuvent freiner ce type de pratiques, tels que le coût élevé des travaux, le manque de connaissances, l'inquiétude face à l'ampleur des travaux et le manque de temps (délais, malfaçon et complexité) (Écohabitation, 2014).

3.2.3.1 Énergie

La consommation énergétique est un facteur important des préoccupations environnementales du bâtiment. Au cours des quarante dernières années, la grande majorité des efforts a été concentrée à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (UNEP, 2011), reléguant les autres préoccupations telles que la consommation d'eau et la génération de déchets au second plan (McGraw Hill Construction, 2010). L'énergie est le critère initiateur du questionnement environnemental amorcé suite aux différentes crises énergétiques qui ont entraîné la révision des pratiques et l'amélioration du rendement; remise en question initialement entamée au niveau du coût des ressources en énergie, mais qui a intégré, par la suite, des critères environnementaux reliés à la pollution atmosphérique, aux GES et à la qualité de l'air (Lucuik et al., 2005). La préoccupation énergétique est présentement l'argument le plus reconnu et le plus associé au bâtiment vert, d'autant plus que la variation du prix de l'énergie est difficile à prédire et à anticiper (Kats, 2010). Cette réalité est bien illustrée dans les différents programmes de certification qui accordent majoritairement beaucoup d'importance à la question énergétique. Pour une grande majorité des projets de bâtiments verts, soit dans 82% des cas, les propriétaires et les promoteurs observent une diminution de la consommation d'énergie (CBDCa, 2014).

À cet effet, le bâtiment vert a le potentiel de mener à des réductions de consommation qui peuvent varier entre 10% et 100% (autonomie en énergie), tout en ayant la possibilité de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme (Kats, 2010). De façon plus précise, il est possible d'établir un lien entre le niveau de réduction de la consommation d'énergie et le niveau de certification LEED® : des économies médianes de 23% pour le niveau 'Certifié', de 31% pour le degré 'Argent', de 40% pour l'échelon 'Or' et de 50% pour la certification 'Platine' (Kats, 2010). Par exemple, des améliorations au niveau de l'isolation des murs et plafonds, de la

performance des fenêtres et des systèmes énergétiques (chauffage, climatisation, ventilation, éclairage et eau chaude) ont permis de diminuer la consommation d'énergie et ainsi abaisser les coûts liés à l'usage du bâtiment (Kats, 2010; UNEP, 2011).

La recherche dans ce domaine est orientée sur plusieurs aspects de la consommation énergétique : l'énergie nécessaire à l'extraction des matières premières et la fabrication des matériaux et des composantes de la construction, l'énergie inhérente au processus de construction, ainsi que l'énergie utilisée durant la phase d'usage du bâtiment (UNEP, 2011). Selon Kats (2010), l'écoconstruction peut permettre des économies directes par la conception de bâtiments plus efficaces nécessitant une consommation réduite en énergie; des économies indirectes en diminuant la demande d'énergie, ce qui peut mener à une minimisation des besoins en infrastructures et une réduction des prix courants; mais aussi des économies d'énergie associées aux matériaux et aux processus de construction/rénovation regroupés sous le terme d'énergie grise (extraction, fabrication et transport). Ces économies d'énergie grise peuvent être atteintes par toutes actions limitant le recours à des matériaux vierges; celles qui offrent le meilleur potentiel sont la réutilisation des matières, les matériaux à contenu recyclé et/ou ceux produits localement (Kats, 2010).

3.2.3.2 Eau

Les bâtiments verts ont également une préoccupation pour l'optimisation de la consommation d'eau afin de protéger cette ressource, de minimiser sa contamination ou sa pollution, mais également de réduire les besoins en infrastructures d'approvisionnement d'eau potable et de traitement des eaux usées (Kats, 2010; UNEP, 2011). Dans 68% des cas, les propriétaires ou les promoteurs de bâtiments verts rapportent une diminution de la consommation d'eau (CBDCa, 2014). Ces derniers offrent un potentiel de réduction de la consommation d'eau qui varie entre 0% et 80%, avec une médiane de 39%; une performance aussi reliée au niveau de certification LEED® du bâtiment : une économie de 21% pour le niveau 'Certifié', de 36% pour le degré 'Argent', de 39% pour l'échelon 'Or' et de 55% pour la certification 'Platine' (Kats, 2010). L'utilisation d'eau associée au bâtiment se divise en trois catégories : la consommation intérieure des appareils sanitaires tels que les toilettes, les robinetteries, les baignoires et les douches; la consommation extérieure pour l'irrigation de l'aménagement paysager ou certaines tâches de nettoyage; la consommation en lien avec l'exploitation du bâtiment pour la climatisation, par exemple (Kats, 2010). Pour minorer l'utilisation de l'eau potable, plusieurs solutions sont apportées telles que la récolte des eaux pluviales (utilisée pour l'arrosage des plantes ou pour la chasse d'eau des toilettes),

l'utilisation de robinetteries à faible débit, de sanitaires à faible consommation ou à consommation nulle (urinoirs sans eau ou toilettes à compost), l'utilisation d'électroménagers à faible consommation (lave-vaisselle et lave-linge), la réutilisation des eaux grises (eaux provenant du lave-linge, de la douche et de la baignoire traitées et réutilisées pour la chasse d'eau des toilettes) ou la minimisation du ruissellement des eaux de pluie en influençant la perméabilité du sol ou des revêtements (dans l'aménagement paysager) pour faciliter la recharge de la nappe phréatique (Kats, 2010; UNEP, 2011).

3.2.3.3 Matériaux et déchets

La construction d'un bâtiment nécessite l'usage d'une quantité importante de ressources et de matériaux, mais ce dernier génère également beaucoup de déchets tout au long de son cycle de vie. La phase de conception et de planification est une étape décisive aussi bien pour la détermination des besoins en énergie que pour l'utilisation responsable des ressources (UNEP, 2011). Des alternatives sont privilégiées au niveau du bâtiment vert afin de minimiser l'impact environnemental associé aux matériaux et à la production de déchets. Une meilleure sélection des matériaux représente un fort potentiel de réduction aussi bien au niveau des déchets qu'au niveau des impacts environnementaux liés à leur fabrication, leur durabilité, leur transport (provenance), leur utilisation, mais aussi à leur gestion en fin de vie; une sélection toujours compliquée par des données qui, lorsque disponibles, sont souvent incomplètes et/ou imprécises (Palmeri, 2010). En revanche, d'autres options existent, notons l'approvisionnement en bois provenant de forêts gérées selon des principes de durabilité (*certifications FSC® – Forestry Stewardship Council, SFI® – Sustainable Forestry Initiative, CSA SFM Standard – Sustainable Forest Management System*); la stimulation du recyclage en privilégiant des matériaux à contenu recyclé préconsommation (rejets industriels) et/ou postconsommation (matières issues de la collecte sélective); la réutilisation ou le réemploi de matériaux ou de composants obtenus par la déconstruction de bâtiment (UNEP, 2011). Malgré le bienfondé de l'utilisation de matériaux récupérés, cette pratique comprend plusieurs obstacles qui en limitent l'emploi, tels que les problèmes de disponibilité, les délais d'approvisionnement, la variabilité de la qualité et les différences de coûts (Palmeri, 2010). Enfin, l'écoconstruction encadre également l'aspect des déchets en incitant à une meilleure planification et une optimisation de l'usage des matériaux pour limiter les pertes, mais également à une meilleure gestion des déchets de construction afin d'en réduire les impacts environnementaux (BOMA Canada, 2013; CBDCa, 2009).

3.2.3.4 Santé et qualité de vie

Le bâtiment vert est aussi reconnu pour apporter des bénéfices au niveau de la santé, du confort et de la qualité de vie des occupants (Häkkinen et Belloni, 2011; Kats, 2010; UNEP, 2011). Selon un rapport du CBDCa (2014), 60% des répondants (architectes, entrepreneurs, promoteurs immobiliers, consultants et ingénieurs) mentionnent que la promotion de la santé et du bien-être des occupants est une préoccupation importante du bâtiment vert. L'amélioration du confort thermique, de la qualité de l'air intérieur, de l'augmentation de l'éclairage naturel et des vues sont autant de critères susceptibles d'avoir un impact positif sur l'expérience de l'utilisateur. Ces aspects sociaux méritent une attention aussi importante que les critères environnementaux et économiques puisque « *ces bénéfices peuvent rivaliser, voire supplanter, les coûts d'énergie et les bénéfices climatiques [...] [traduction libre]* » (UNEP, 2011, p. 354). Le bâtiment vert porte une attention particulière à la pollution des environnements intérieurs, où l'être humain passe la majorité de son temps, afin de minimiser les problèmes liés à l'asthme, à la grippe, au rhume, aux allergies et au syndrome du bâtiment malsain (Kats, 2010). Pour atteindre cet objectif, la plupart des programmes de certification s'intéressent à cette problématique en proposant des interventions pour préserver la santé et le bien-être des occupants et des usagers. Par exemple, LEED® encadre la problématique de la qualité de l'air (renouvellement de l'air et surveillance de sa qualité; protection des matériaux durant la construction pour prévenir le développement de moisissures et de contaminants; isolement des sources polluantes pour éviter la pollution de l'air intérieur : produits chimiques, fumée de tabac et imprimantes; utilisation de matériaux et finis à faibles émissions : peinture, teinture, bois et colles), la planification des vues, la considération de l'éclairage naturel et l'établissement du confort thermique (Kats, 2010).

3.2.3.5 Aspect économique

La perception générale véhiculée est que les bâtiments verts sont des constructions qui nécessitent un investissement supplémentaire en comparaison des habitations conventionnelles (Kats, 2010; Kaufmann et Remick, 2009; WBCSD, 2007). Par contre, la réalité diffère puisque la construction de bâtiments plus écologiques semble pouvoir être réalisée avec un budget similaire. Selon une récente statistique portant sur les coûts initiaux de construction et effectuée à partir de plusieurs documents de recherche (pour plus de détails, voir l'article de Domard et Lanoie, 2011), il est possible d'observer une absence de hausse ou une légère hausse des coûts des projets, et ce, selon le niveau de certification du programme LEED® : une augmentation des coûts de construction de 0 à 2,5% pour le niveau 'Certifié', de 0 à 3,3% pour le niveau 'Argent', de 0,3 à 5% pour le niveau 'Or' et de 4,5 à 11,5% pour le niveau

'Platine' (Domard et Lanoie, 2011). De façon plus détaillée, l'étude de Kats (2010) révèle que 41% des bâtiments investigués notent un accroissement des coûts inférieur ou égal à 1%, tandis que plus de 75% de ceux-ci occasionnent une majoration inférieure ou égale à 4%. Au niveau du Québec, un rapport d'Écohabitation (2014) démontre que les surcoûts réels de l'habitation écologique sont inférieurs à 2% dans 6% des cas, que les coûts additionnels se situent entre 2% et 5% pour 66% d'entre eux et que les surcoûts sont supérieurs à 5% pour 28% des projets. La performance économique des bâtiments verts est toutefois dépendante de plusieurs facteurs qui sont susceptibles d'avoir une influence sur les budgets de construction, soit les buts et priorités du client, les caractéristiques climatiques du lieu de construction, l'échelle de la construction, les usages du bâtiment, la présence d'incitatifs économiques, mais aussi les coûts de l'énergie et de l'eau (ILFI, 2009). De plus, par une réduction de la consommation d'énergie et d'eau, le bâtiment vert neuf permet une diminution moyenne de 9% des coûts d'exploitation dès la première année, une proportion qui passe à 17% sur une période de cinq ans; la période moyenne de retour sur l'investissement est évaluée à huit ans (CBDCa, 2014). Enfin, sans toutefois pouvoir relier les facteurs économiques à la qualité de l'environnement intérieur, McGraw Hill Construction (2014a) établit qu'une moyenne de 57%⁴ des propriétaires, architectes et entrepreneurs sont prêts à payer plus cher pour l'achat d'un bâtiment démontrant un impact positif sur la santé, tandis qu'une moyenne de 60%⁵ des propriétaires résidentiels sont motivés à payer plus cher pour une habitation saine.

Ensuite, pour assurer une comparaison pertinente et juste entre le profil économique des bâtiments conventionnels et des bâtiments écologiques, l'UNEP (2011) privilégie l'approche du « coût global » (*Total Cost of Ownership approach*) qui tient compte, en plus du coût d'acquisition ou d'investissement initial (*first costs*), de l'ensemble des coûts et bénéfices, directs ou indirects, à chacune des étapes du cycle de vie. Dans cette optique, le cycle de vie du bâtiment comprend l'extraction des matières premières, la fabrication des matériaux, la construction, l'usage, l'entretien et la fin de vie de ce dernier (recyclage/réutilisation ou démolition du bâtiment) (UNEP, 2011). D'après Lucuik et al. (2005) et Yudelson et Meyer (2013), l'ensemble des coûts du bâtiment vert se catégorise de la façon suivante :

- > **Coûts d'investissement directs:** les coûts associés à la conception et à la construction du bâtiment (incluant les rénovations majeures et la démolition en fin de vie);

⁴ Moyenne calculée à partir des données de la figure intitulée «Willingness to Pay More for Buildings With Demonstrated Positive Impact on Health (According to Building Owners, HR Executives, Architects and Contractors)» (McGraw Hill Construction, 2014a, p. 46).

⁵ Moyenne calculée à partir des données de la figure intitulée «Amount Extra Homeowners Will Pay for a Healthy Home (By Age Homeowner)» (McGraw Hill Construction, 2014a, p. 90).

- > **Coûts d'exploitation directs:** les coûts en lien avec l'exploitation du bâtiment sur sa durée de vie totale comprenant la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'entretien (réaménagement, remplacement, réparation et rénovation), les déchets, les taxes et les assurances;
- > **Coûts du cycle de vie:** la combinaison des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation pour déterminer l'effet économique net d'un investissement;
- > **Gains de productivité:** pour les bâtiments commerciaux/de bureaux, il s'agit de la différence entre le niveau de productivité des employés/occupants d'un bâtiment vert en comparaison avec celle d'un bâtiment standard;
- > **Valeur foncière et taux d'absorption:** un facteur clé pour les développeurs spéculatifs qui ne peuvent pas nécessairement évaluer les coûts d'exploitation et les gains de productivité;
- > **Autres avantages indirects ou immatériels :** des avantages qui peuvent se transposer en une augmentation des ventes au détail (par l'intégration de lumière naturelle et des environnements intérieurs de meilleure qualité) et en réduction des risques de mal fonctionnement (meilleure efficacité des systèmes);
- > **Bénéfices économiques externes :** des effets dont le lien est plus difficile à établir avec les caractéristiques du bâtiment vert, mais qui peuvent se traduire par une réduction de la dépendance aux infrastructures (égouts, aqueduc et traitement des eaux), une diminution des émissions de gaz à effet de serre et une minoration des coûts de santé.

L'approche du « coût global » permet de considérer les coûts d'intégration des caractéristiques environnementales au niveau du bâtiment, mais permet aussi de prendre en compte les bénéfices économiques en termes d'usage. De cette façon, les bâtiments verts, qui pourraient représenter un investissement initial plus important au niveau de la construction, peuvent demeurer compétitifs par rapport aux bâtiments standards s'ils consomment moins d'énergie, occasionnent moins d'impacts sur l'environnement et génèrent moins de déchets (UNEP, 2011). La dynamique économique a un effet sur la souscription à des pratiques de construction plus écologiques puisque ces dernières sont de plus en plus perçues comme des opportunités d'affaires. À cet effet, 69% des courtiers immobiliers du Québec estiment qu'un bâtiment vert a une valeur ajoutée se situant entre 5% et 15% (Écohabitation, 2014). Ces façons

de faire ont le potentiel de procurer des avantages qui peuvent se transposer de plusieurs façons :

- > **Augmentation des retours sur l'investissement** : dans une proportion moyenne de 19,2% pour les rénovations et de 9,9% sur les constructions neuves (McGraw Hill Construction, 2010);
- > **Diminution des frais d'exploitation et d'entretien** : en lien avec les ressources, l'énergie et les services, une diminution moyenne de 8,5% pour les rénovations ou de 13,6% pour les constructions neuves (Ambec et Paul, 2008; Häkkinen et Belloni, 2011; Kats, 2010; McGraw Hill Construction, 2010; Yudelson et Meyer, 2013);
- > **Augmentation du prix de vente et de la valeur foncière** : augmentation moyenne de 6,8% pour les rénovations et de 10,9% pour les constructions neuves (Kats, 2010; McGraw Hill Construction, 2010);
- > **Diminution du risque de mal fonctionnement des systèmes du bâtiment vert** : permet un potentiel de réduction des frais des primes d'assurances vu la réduction anticipée du nombre de réclamations (Ambec et Paul, 2008; Kats, 2010; Yudelson et Meyer, 2013);
- > **Meilleur positionnement par rapport à la concurrence** : le bâtiment vert représente une image positive, un taux de satisfaction élevé des occupants, un meilleur confort et une augmentation de l'attractivité des employés/occupants (Ambec et Paul, 2008; Häkkinen et Belloni, 2011; McGraw Hill Construction, 2010; Yudelson et Meyer, 2013).
- > **Augmentation de la valeur locative et du taux d'occupation** : les bâtiments certifiés LEED® ou ENERGY STAR® permettent d'atteindre une valeur locative supérieure de 4% à 17,3% et un taux d'occupation de 10,2% à 16% plus élevé par rapport aux bâtiments standards (Ambec et Paul, 2008; Domard et Lanoie, 2011; Kats, 2010; Yudelson et Meyer, 2013).

Les avantages qui viennent d'être énumérés témoignent de la performance et de la pertinence économiques des bâtiments verts rendues possibles par une « *meilleure conception qui engendre des économies par l'élimination de systèmes devenus inutiles, ou par la réduction de la capacité des systèmes, [ce qui] compense les coûts supplémentaires résultant de la mise en place de systèmes plus avancés [traduction libre]* » (Lucuik et al., 2005, p. 16). En effet, la nouveauté et la méconnaissance des nouveaux systèmes en écoconstruction

peuvent contribuer à majorer les coûts de construction, mais ceux-ci peuvent, en retour, contribuer à des économies au niveau des étapes subséquentes du cycle de vie du bâtiment, telles que l'usage. Comme le mentionne Kats (2010), une meilleure isolation du bâtiment peut être initialement plus dispendieuse, mais risque de se traduire rapidement par une réduction des frais associés au chauffage et à la climatisation, initiée par la baisse des besoins, la diminution de la consommation et la minimisation des capacités des systèmes; une conception tenant compte de l'orientation du bâtiment et une disposition optimale de la fenestration peuvent réduire les besoins en éclairage et, par extension, le budget octroyé aux appareils et à l'utilisation d'énergie. Ces auteurs laissent également sous-entendre que « *le coût supplémentaire dépend davantage de la qualification et de l'expérience de l'équipe de design et de construction et le choix des stratégies écologiques, que du niveau de durabilité [traduction libre]* » (Kats, 2010, p. 10), relevant l'importance des connaissances et de leur mise en application. L'importance de l'expérience comme facteur influençant la performance économique semble se confirmer auprès des constructeurs et des promoteurs puisque les « *entreprises qui font plus de projets verts connaissent habituellement des coûts inférieurs de mise en œuvre [traduction libre]* » (McGraw Hill Construction, 2014b, p. 15).

Enfin, la reconnaissance grandissante des avantages potentiels du bâtiment vert se vérifie par un engouement, bien que timide, au niveau de mesures d'encouragement mises en place pour supporter le développement et le financement du bâtiment vert, et ce, en termes de produits hypothécaires, de crédits d'impôt pour la rénovation, d'assurance habitation et d'assurance hypothécaire. Premièrement, du point de vue des prêts hypothécaires, malgré le fait que le service soit offert depuis plusieurs années aux États-Unis, l'offre d'hypothèques spécifiques aux bâtiments verts demeure restreinte au Canada. À ce titre, certaines institutions financières ont mis en place, en 2007 au Canada, l'*Hypothèque d'efficacité énergétique (Energy Efficient Mortgages)* qui permet d'acheter une maison écoénergétique ou de financer les frais associés à l'implantation de mesures permettant d'améliorer l'efficacité énergétique de l'habitation (ENERGY STAR, 2013; Ryan, 2013). Pour obtenir ce type d'hypothèque, il est nécessaire de procéder à une évaluation de la résidence pour valider sa performance ou identifier quels systèmes ou produits (fenêtres, systèmes de CVC, étanchéité de l'enveloppe et systèmes d'énergies renouvelables) doivent être mis à jour pour optimiser l'efficacité énergétique; cette évaluation permet également de déterminer les économies envisageables et les dépenses octroyées pour les mises à jour qui ne peuvent être supérieures à ces dernières (ENERGY STAR, 2013; Ryan, 2013). L'*Hypothèque d'efficacité énergétique* peut prendre la forme d'une augmentation d'emprunt qui peut atteindre, dans certains cas, jusqu'à

15% de la valeur estimée de l'habitation, mais peut également prendre la forme d'une remise en argent (Ryan, 2013).

Seulement quelques institutions offrent des produits financiers de ce type. Dans un premier temps, la *Caisse d'économie solidaire Desjardins*, avec son programme *HypothÉco*, offre une remise en argent lorsqu'un prêt hypothécaire, d'un montant égal ou excédant 100 000\$, est demandé pour l'achat d'une maison neuve LEED®. La teneur de la ristourne varie selon le niveau de certification : le niveau Certifié donne droit à une remise de 1000\$, Argent à 1250\$, Or à 1500\$ et Platine à 1750\$ (Desjardins, 2013a). Dans un deuxième temps, la *Banque de Montréal*, par l'entremise de l'*Hypothèque Énergie Plus BMO*, offre un produit hypothécaire à taux fixe, sur un terme fermé de 5 ans, pour financer une maison qui répond aux critères d'efficacité énergétique établis par BMO et qui doit être approuvée par un vérificateur indépendant mandaté par la banque (Banque de Montréal, 2013). Les critères d'admissibilité concernent l'efficacité du système de chauffage et de climatisation, la qualité d'isolation du vide sous le toit, la performance des fenêtres et des portes extérieures, la performance du système de chauffage et de distribution de l'eau chaude, ainsi que l'utilisation d'appareils électroménagers homologués *ENERGY STAR*® (Banque de Montréal, 2013). Toutefois, même si la dénomination de ce prêt hypothécaire cible les propriétaires de bâtiments verts, le taux officiel est identique au forfait hypothécaire standard équivalent (Banque de Montréal, 2015).

De plus, la *RBC Banque Royale* propose deux produits financiers distincts. Premièrement, disponible depuis 2009, le *Prêt Énergie RBC* encadre les rénovations résidentielles en accordant, pour les prêts de plus de 5000\$ remboursables par versements à taux fixe, une réduction du taux d'intérêt de 1% ou une remise de 100\$ applicable sur la conduite d'une vérification de l'efficacité énergétique de l'habitation (RBC Banque Royale, 2013b). Le *Prêt Énergie RBC* peut être utilisé, entre autres, pour financer des produits et services identifiés lors de la vérification et qui permettraient d'améliorer la performance énergétique résidentielle, des produits homologués *ENERGY STAR*® et des projets d'énergies renouvelables (RBC Banque Royale, 2013b). Deuxièmement, la *RBC Banque Royale* propose, depuis 2008, l'*Hypothèque Énergie RBC* qui prévoit une remise jusqu'à concurrence de 300\$ sur les frais de vérification de l'efficacité énergétique de la résidence; cette vérification est menée par un conseiller accrédité qui produit un rapport regroupant des recommandations et une liste de tâches à accomplir afin d'améliorer la performance énergétique et réduire les coûts en énergie (RBC Banque Royale, 2013a). Cette vérification énergétique évalue, entre

autres, l'efficacité des systèmes de chauffage et de climatisation, l'isolation, l'étanchéité aux fuites d'air et les électroménagers (RBC Banque Royale, 2013a).

Deuxièmement, le Gouvernement du Québec propose deux mesures temporaires pour encourager la rénovation écologique : le programme *Rénoclimat* et le crédit d'impôt *ÉcoRénov*. Premièrement, le programme *Rénoclimat*, mis en place le 18 décembre 2012 pour une durée maximale de trois ans, vise à améliorer l'efficacité énergétique des habitations en subventionnant partiellement l'évaluation énergétique de la résidence (test d'infiltrométrie), avant et après les travaux, ainsi que les travaux de rénovation nécessaires à l'amélioration de la performance énergétique (Gouvernement du Québec, 2012). Les travaux admissibles à l'aide financière concernent l'amélioration du facteur d'isolation de la toiture, des fondations, des murs extérieurs, des planchers exposés, mais aussi l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment; l'aide financière s'applique également au remplacement ou à l'installation d'appareils ou de systèmes mécaniques relatifs à la ventilation, le chauffage et au chauffe-eau (Gouvernement du Québec, 2012). De plus, à partir du 7 octobre 2013, *Rénoclimat* offre une aide supplémentaire ciblée pour remplacer les systèmes de chauffage à combustibles fossiles par des systèmes à énergies renouvelables (géothermie, hydroélectricité, éolien ou solaire) (Grammond, 2013). Deuxièmement, le programme provincial *ÉcoRénov* visait à stimuler les rénovations résidentielles écoresponsables effectuées par un entrepreneur qualifié entre le 7 octobre 2013 et le 1^{er} novembre 2014. Cette aide prenait la forme d'un crédit d'impôt remboursable correspondant à 20% des dépenses admissibles (supérieures à 2 500\$), et ce, jusqu'à concurrence de 10 000\$. Dans le but d'améliorer le bilan environnemental et énergétique de l'habitation, les travaux admissibles au crédit d'impôt *ÉcoRénov* concernaient les interventions pour améliorer la performance de l'enveloppe du bâtiment (isolation du toit, des murs extérieurs, des fondations et des planchers exposés; étanchéisation; installation de portes et fenêtres), des systèmes mécaniques (système de chauffage, de climatisation, de ventilation et de chauffe-eau), mais aussi pour promouvoir l'implantation de pratiques concernant la conservation et la qualité de l'eau, la qualité des sols, les toits verts et les énergies renouvelables (solaire et éolien) (Revenu Québec, 2013).

Finalement, certaines compagnies d'assurances encouragent l'adhésion à des pratiques plus durables en construction en offrant certains produits spécifiques à la rénovation. C'est le cas de la *Lexington Insurance Company* qui offre, aux propriétaires de certains États américains, l'accès à l'assurance *Upgrade to Green Residential* qui, en cas de sinistre, permet

« la reconstruction de l'habitation et le remplacement des appareils [...] selon les normes d'efficacité énergétique ENERGY STAR® » (Gagné, 2009, p. 32). Toujours au niveau de l'assurance habitation, certaines firmes reconnaissent la diminution des risques de mal fonctionnement, associée à une réduction potentielle des réclamations, en offrant une diminution des primes d'assurances générales : *La Capitale assurances générales* offre un rabais de 15% pour les maisons certifiées LEED® – Habitations (Gagné, 2009), tandis que *Desjardins Assurances, LaPersonnelle* et *ALPHA assurances* offrent, quant à elles, un escompte de 10% (ALPHA, 2013; Desjardins, 2013b; laPersonnelle, 2013). En ce qui a trait à l'assurance hypothécaire, la SCHL offre la possibilité d'un remboursement équivalent à 10% de la prime d'assurance du prêt hypothécaire suite à l'achat d'une maison écoénergétique ou à la rénovation résidentielle visant à accroître l'efficacité énergétique (SCHL, 2013); *Genworth Canada* offre un programme de remboursement identique, mais au niveau du bâtiment résidentiel certifié *Novoclima^{mc}* ou *ENERGY STAR®* (Genworth, 2013).

3.3 Approche diachronique

La troisième tendance conceptuelle présentée est l'approche diachronique qui vise principalement à pallier aux problèmes reliés à la production de bâtiments statiques de l'approche synchronique, mais aussi aux impacts environnementaux, sociaux et économiques qui lui sont associés. Nonobstant la rareté des écrits à ce sujet, cette recherche réunit tout de même des éléments pour mettre en forme une définition et constituer l'ébauche des principales caractéristiques et particularités de ce concept. Subséquemment, pour faciliter la compréhension des approches synchronique et diachronique, les données recueillies sont résumées dans un tableau synoptique comparatif (Tab. 1). Enfin, cette partie traite en détails de la principale manifestation de l'approche diachronique du bâtiment, l'adaptabilité de l'espace, en présentant son origine et sa définition, ses principales caractéristiques, ainsi que ses avantages.

L'approche diachronique découle du constat que le bâtiment, conçu selon une approche synchronique, n'est pas en mesure d'évoluer en fonction de la diversité et de l'évolution des ménages et des usages. Les pratiques actuelles de construction produisent des bâtiments statiques (voir point 2.1.8, p. 22) à partir de besoins précis, de fonctions établies et de formes déterminées très tôt au niveau de la phase de conception; une façon de faire qui ne concorde plus avec les nouvelles préoccupations sociales, techniques et environnementales du bâtiment (Gibb et al., 2007; Schmidt III et al., 2010). À l'image de la

synchronie, la diachronie est un concept provenant de la linguistique. À défaut d'aborder la langue « *comme un système fonctionnant à un moment déterminé du temps (synchronie)* », l'approche diachronique la considère comme un système « *analysé dans son évolution* » qui « *suit les faits de langue dans leur succession, dans leur changement d'un moment à un autre de l'histoire* » (Dubois et al., 2012, p. 141). Cette notion de prospective et d'évolution dans le temps semble avoir été transposée pour la première fois au bâtiment par Duffy (1993) et reprise par la suite par Douglas (2006), sans toutefois que ce terme ne gagne d'adhésion significative au sein de la littérature, de la recherche et de la pratique architecturale.

Tableau 1. Comparaison entre l'approche synchronique et diachronique

		Approches de conception	
		Approche synchronique	Approche diachronique
Définition		Conception qui considère des besoins établis très tôt dans le processus, produisant des bâtiments statiques pertinents pour le présent, mais souvent inadaptés pour le futur	Conception qui considère le présent et le futur, produisant des bâtiments plus cinétiques pouvant évoluer dans le temps et s'adapter à l'évolution des ménages et des usages
Type de bâtiment		Bâtiment statique	Bâtiment dynamique
Prise en compte des besoins		Besoins du présent Court terme	Besoins du présent et du futur Long terme
Processus d'adaptation		Cycles de rénovation	Capacité évolutive
Impacts environnementaux		Impact environnemental associé aux cycles de rénovations	Impact environnemental associé à la capacité évolutive

Concevoir selon une approche diachronique permettrait au bâtiment d'évoluer dans le temps, d'être plus cinétique et de pouvoir s'adapter à l'évolution des ménages et des usages (Douglas, 2006; Duffy, 1993; Kronenburg, 2007). Dans cette lignée, les pratiques actuelles de conception du bâtiment doivent être révisées afin d'incorporer une « *compréhension de l'environnement bâti qui est plus dynamique et qui se base sur le long terme [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2010, p. 234). Plusieurs s'entendent pour dire qu'« *[e]n tant qu'industrie, nous devons remettre en question les méthodes traditionnelles de conception, d'approvisionnement et de construction pour répondre à ce futur en constante évolution [traduction libre]* » (Gibb et al., 2007, p. 8). Aux trois considérations spatiales de l'espace construit, soit la longueur, la largeur et la profondeur, il faut désormais ajouter une quatrième dimension tout aussi importante : le temps (Douglas, 2006). Le tableau synoptique

comparatif précédant regroupe les définitions proposées et les particularités des approches synchronique et diachronique (voir **Tab. 1**).

Le passage d'une approche synchronique à une approche diachronique doit être mis en œuvre même si la compréhension de la notion de changement, dans le bâtiment, demeure laborieuse. L'approche diachronique doit premièrement conjuguer avec la complexité d'un environnement physique qui se divise en six couches, et dont chacune possède une durée de vie et un cycle de remplacement qui lui est propre (voir **Fig. 1**) (Adaptable Futures, 2013; Brand, 1994) :

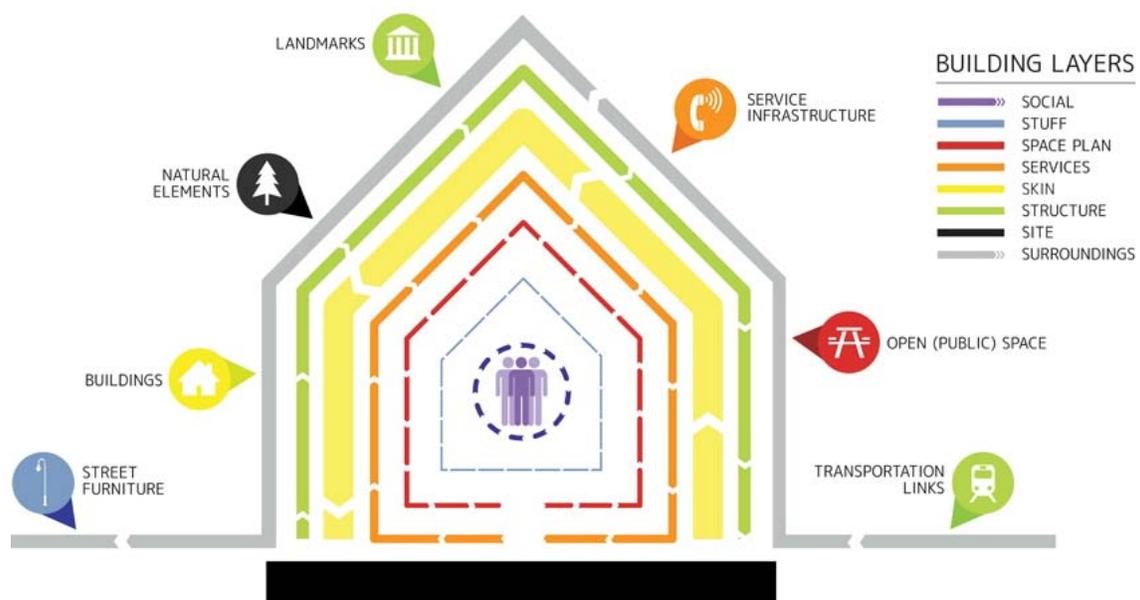


Figure 1. Les couches du bâtiment (Building layers)
Source : www.adaptablefutures.com

- > **Site (site)** : représente la situation géographique, le terrain ou le lot défini légalement sur lequel le bâtiment est implanté. La durée de vie du site est jugée éternelle;
- > **Structure (structure)** : constitue la base du bâtiment et est composée des fondations et des éléments structuraux de la charpente. Les interventions à ce niveau sont rares, puisque complexes et coûteuses, et la durée de vie de la structure varie entre trente et trois cents ans;
- > **Enveloppe (skin)** : inclut tous les revêtements extérieurs du bâtiment qui protègent le bâtiment des conditions climatiques, au sens large. Ils doivent être remplacés environ à tous les vingt ans pour des raisons esthétiques, techniques ou technologiques;

- > **Services** (services) : regroupent la distribution du filage pour la communication (téléphone, Internet, etc.), la distribution électrique, la plomberie, le chauffage, la ventilation et la climatisation. La durée de vie des services se situe entre sept et quinze ans;
- > **Aménagement intérieur** (space plan) : comprend le positionnement des murs, des plafonds, des planchers et des portes, dont l'espérance de vie peut représenter aussi peu que trois ans dans les espaces de bureaux et plus de trente ans au niveau du secteur résidentiel;
- > **Objets** (Stuff) : tous les meubles, les électroménagers, les éclairages, les objets du quotidien qui sont susceptibles d'être déplacés sur une base journalière à mensuelle.

En plus, la compréhension de la notion de changement dans le bâtiment résidentiel relève de la considération de la dynamique entre l'usager, l'espace et le temps dont la résultante est difficile à prédire (van Zwol, 2005). La prise en compte de ce phénomène complexe permettrait toutefois d'éviter que le choix d'un espace de vie s'exécute sur une situation de compromis entre les caractéristiques de l'habitation, les besoins et préférences des ménages, le budget, mais également selon la disponibilité des logements sur le marché (van Ham, 2012). En somme, l'approche diachronique privilégie une considération du long terme, par la prise en compte du présent et du futur, pour procurer une capacité évolutive au bâtiment afin qu'il demeure en meilleure adéquation avec les occupants.

3.3.1 Adaptabilité de l'espace

Au niveau du bâtiment, malgré que l'approche diachronique puisse prendre la forme de façons de faire telles que l'allongement de la durée de vie, l'aptitude à l'évolution ou la séparation des matériaux, les recherches sont principalement dirigées vers l'adaptabilité de l'espace. La présentation de l'adaptabilité commence en cernant l'origine et la définition du concept, puis en traitant de ses principes et caractéristiques, et ce, en termes de notion temporelle, de catégories d'intervention, de démarches et de stratégies. Enfin, cette section traite des principaux avantages environnementaux, sociaux et économiques de l'adaptabilité.

3.3.1.1 Origine et définition

L'approche synchronique considère les besoins du présent et produit des bâtiments statiques qui ont le potentiel de subir plusieurs cycles de rénovation pour répondre au changement (voir p. 22). Pourtant, la composition des occupants, la nature

des modes de vie et l'intensité des activités varient nécessairement durant le cycle de vie d'un bâtiment. Au niveau résidentiel, le ménage est un concept dynamique dont la composition peut évoluer au cours d'une seule génération avec les enfants qui grandissent et viennent à déménager, laissant certaines pièces sous-utilisées et qui, à terme, changeront d'usage (Douglas, 2006; Kronenburg, 2007). De plus, le vieillissement de la population sollicite également le milieu de vie puisque les problèmes de mobilité chez les personnes âgées peuvent nécessiter une intervention au niveau de l'aménagement de l'espace; l'habitation est aussi mise à l'épreuve par la diversification des modes de vie qui mène à la dissipation des frontières entre le lieu de résidence et de travail offrant la possibilité, grâce aux technologies de communication, de travailler à distance (Kronenburg, 2007).

La nature statique du bâtiment et son incapacité à accommoder le changement conduisent à des insatisfactions qui naissent de la discordance entre le ménage et l'habitation. Pour pallier à cette situation, plusieurs phases de rénovation sont menées durant le cycle de vie du bâtiment, pouvant prendre la forme d'une intervention esthétique, d'une mise à jour technologique et/ou d'un réaménagement spatial. Le paradigme du développement durable participe également à stimuler la réflexion au niveau de l'adaptabilité en ajoutant un objectif de réduction de l'empreinte environnementale de l'industrie de la construction (CSA, 2006; Eguchi et al., 2011). Cette remise en question appelle l'adhésion à l'adaptabilité pour contrer les impacts associés aux interventions menées durant la phase d'usage du bâtiment; ces sources potentielles d'impacts peuvent être de nature écologique (émissions de GES, consommation d'énergie et d'eau, utilisation de matériaux et de ressources, génération de déchets engendrés par la construction, la rénovation et la démolition), économique (coûts de rénovation et coûts de déménagement) et sociale (diminution de la qualité de vie et du confort, perturbation et stress) (Kronenburg, 2007). Selon Haack et Höpfner (2010), sans l'intégration de l'adaptabilité et/ou de la flexibilité architecturale « *nous serons confinés à un cycle sans fin de démolition, de construction et de rénovation [traduction libre]* » (p. 22).

L'adaptabilité se définit comme « *la capacité d'un bâtiment à accommoder efficacement les besoins évolutifs dictés par le contexte d'utilisation, contribuant ainsi à la maximisation de la valeur du bâtiment tout au long de sa durée de vie [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2010, p. 235). Dans une approche diachronique, l'adaptabilité est une caractéristique de conception qui permet au bâtiment de se modifier durant sa vie utile afin d'accommoder une évolution au niveau des fonctions ou des usages (CSA, 2006; Kaufmann et

Remick, 2009; Kronenburg, 2007). Concrètement, ce type de conception peut se traduire par des « *espaces et éléments facilement manipulables et adaptables au jour le jour, ou ayant la capacité de se transformer fondamentalement avec un minimum de perturbations et de dépenses pour une période plus longue [traduction libre]* » (Kronenburg, 2007, p. 111). D'un point de vue architectural, cette notion se rapporte aussi bien à la gestion qu'à la maîtrise du changement, et ce, au niveau des caractéristiques physiques et fonctionnelles (Douglas, 2006); le changement concerne les caractéristiques physiques qui se rapportent, entre autres, à la division de l'espace, ainsi que les spécificités fonctionnelles qui regroupent les systèmes du bâtiment (éclairage, chauffage, ventilation, alimentation en énergie, systèmes de communication, systèmes de sécurité et d'incendie) (Kronenburg, 2007).

Le concept d'adaptabilité réunit plusieurs thématiques telles que l'accessibilité des espaces; le plan dégagé (*open plan*) permettant de moduler l'espace selon les besoins; la réactivité du bâtiment menant à accommoder le changement en temps réel; ou la performance du bâtiment dans le maintien de ses fonctions dans le temps (Schmidt III et al., 2010). L'adaptabilité peut se manifester par un changement « *de forme, de volume et d'apparence par une altération physique de structure, d'enveloppe extérieure ou de surface intérieure, entraînant une modification significative dans la manière dont il est utilisé ou perçu [traduction libre]* » (Kronenburg, 2007, p. 146). La capacité au changement, ou la capacité du bâtiment de demeurer en adéquation avec l'usage et les usagers, peut également se traduire par une augmentation de la valeur et de la durée de vie du bâtiment (Douglas, 2006; Kelly et al., 2011). Concevoir en termes d'adaptabilité demande une réflexion plus approfondie sur le contexte dans lequel s'inscrit le bâtiment, et ce, en portant une attention au futur et en mettant à l'avant-plan des considérations temporelles (CSA, 2006; Schmidt III et al., 2010). Certes, la prise en compte de l'évolution des besoins des usages et des ménages est une tâche complexe et incertaine, mais qui doit être envisagée au niveau de la conception (Smith, 2010). L'adaptabilité reconnaît que même si les besoins ultérieurs ne peuvent pas être prédits, il est toujours possible de concevoir de telle sorte que le bâtiment puisse les supporter (CSA, 2006; Gibb et al., 2007; Kronenburg, 2007).

3.3.1.2 Principes et caractéristiques

Suite à la présentation de l'origine et de la définition de l'adaptabilité du bâtiment, cette section s'attarde maintenant aux différents principes et caractéristiques de cette tendance conceptuelle. Ce processus débute par la présentation de la notion temporelle, le concept central de cette approche de conception et de construction. Ensuite, les

catégories d'intervention sont exposées en regroupant les motivations qui expliquent la souscription à une telle pratique. De plus, cette section porte l'attention sur les approches de l'adaptabilité qui se déclinent par la préfabrication, la séparation et la « surperformance ». Enfin, cette partie traite des stratégies de l'adaptabilité qui présente les termes et les alternatives par lesquels l'adaptabilité peut être atteinte.

3.3.1.2.1 Notion temporelle

L'aspect distinctif de l'adaptabilité est l'inclusion des préoccupations temporelles dans le processus réflexif de la conception du bâtiment. L'intégration de ce concept ne peut simplement être menée par la technique. Cette vision, qui dépasse le simple fait de permettre la modulation de l'espace selon les besoins, vise la compréhension de la dynamique des différents usages afin d'aborder l'architecture avec une approche plus globale et systémique tenant compte de la notion du temps et du changement (Schmidt III et al., 2010). L'adaptabilité vise « *l'intégration du facteur temporel dans la conscience du design [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2009, p. 1). Cette considération du temps peut s'articuler selon deux axes différents. Le premier, relié au vieillissement, concerne la durabilité du bâtiment et de ses matériaux. Le deuxième axe, sur lequel on met peu d'emphase pour l'instant, concerne le temps en lien avec la performance du bâtiment et sa capacité à accommoder les besoins qui évoluent. Cette nouvelle façon de modéliser le temps dans la construction mène à une modification de la perception du bâtiment : celui-ci n'est plus simplement une entité physique, mais il doit à l'avenir être perçu comme une « entité socialisée » en développement continu (Schmidt III et al., 2010). Cette réalité met en relief que le bâtiment doit maintenant être abordé comme un système dynamique (Manewa et al., 2009), comme « *un objet imparfait dont les formes sont en constante évolution afin de s'accorder aux métamorphoses fonctionnelles, techniques et esthétiques de la société [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2010, p. 2). Désormais, « *l'architecture ne peut plus être abordée comme un nom, mais comme un verbe – toujours en mouvement – afin de répondre à une situation de changement [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2010, p. 5).

3.3.1.2.2 Catégories d'interventions

Les motivations susceptibles de justifier le recours à l'adaptabilité dans le bâtiment sont multiples. Ces motivations sont regroupées sous quatre catégories d'interventions distinctes (Douglas, 2006) :

- > **Conformité au code du bâtiment** : le bâtiment doit pouvoir accommoder l'évolution de la réglementation de façon à permettre un meilleur accès aux personnes à mobilité

réduite; une mise à jour du système de prévention des incendies; une amélioration de l'isolation acoustique; ainsi qu'une consolidation de l'efficacité énergétique;

- > **Modernisation de la structure et des matériaux** : le bâtiment doit être conçu de façon à faciliter la réfection des revêtements extérieurs (améliorer la résistance aux intempéries, l'esthétique, les propriétés acoustiques et thermiques de l'enveloppe du bâtiment); à permettre l'augmentation de la capacité de charge de la structure (ajout de poutres et/ou de colonnes); et à simplifier l'accès et la réparation des éléments structuraux;
- > **Performance environnementale** : le bâtiment doit également permettre une mise à jour des systèmes afin de bonifier l'efficacité énergétique (isolation, appareils de CVC, portes et fenêtres); diminuer la consommation d'eau (efficacité des robinetteries et des appareils sanitaires); améliorer la qualité de l'air intérieur (choix des matériaux, performance de la ventilation et renouvellement de l'air); et accroître la durabilité;
- > **Transformation spatiale** : le bâtiment doit faciliter la modification des divisions verticales ou horizontales d'un bâtiment; la combinaison des espaces; le réaménagement intérieur; l'agrandissement de l'espace existant; le changement de fonction des espaces; ainsi que l'ajustement en fonction des besoins des personnes âgées et/ou des personnes à mobilité réduite.

3.3.1.2.3 Démarches d'adaptabilité

L'atteinte d'un certain niveau d'adaptabilité dans la conception de logements peut recourir à trois avenues d'intervention : les démarches de préfabrication, de séparation et de « surperformance » (Keymer, 2000). Dans un premier temps, la démarche de préfabrication découle de l'avancement technologique qui a permis à l'industrie de la construction d'automatiser ses procédés et d'industrialiser la production de certaines composantes (Douglas, 2006). La conception de bâtiments adaptables peut profiter de l'utilisation de systèmes constructifs préfabriqués et d'équipements adaptables qui sont suffisamment sophistiqués pour répondre au changement (Kronenburg, 2007), en soutenant qu'il est plus facile de les remplacer (Keymer, 2000). Dans un deuxième temps, la démarche de séparation met l'accent sur la séparation physique des systèmes et des sous-systèmes du bâtiment de façon à pouvoir isoler l'intervention dans un secteur spécifique par rapport aux autres sphères (Keymer, 2000). Il est possible d'atteindre cet objectif en conservant un accès aux services tels que la distribution du filage et de la plomberie afin de faciliter l'entretien et la mise à jour; éviter de cacher le filage dans les

murs en le distribuant par des « gouttières » ou des moulures creuses installées sur les murs ou au plafond (Brand, 1994). L'adaptabilité doit également s'intégrer au niveau des différents systèmes ou équipements du bâtiment de façon à assurer une concordance entre le nouveau et l'ancien lors des mises à jour (Kronenburg, 2007). Enfin, la démarche de « surperformance » 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 (Keymer, 2000). Cette technique, qui engendre des coûts supplémentaires, nécessite, par exemple, l'installation d'un système électrique de plus grande capacité afin d'accommoder les besoins futurs (Brand, 1994).

3.3.1.2.4 Les stratégies de l'adaptabilité

Une revue de littérature exhaustive a permis au groupe de recherche *Adaptable Futures* (Loughborough University, Angleterre) de recenser une panoplie de stratégies de design en lien avec l'adaptabilité. Autour de la définition de l'adaptabilité, six termes ou adjectifs représentent les différentes stratégies permettant d'atteindre l'adaptabilité : convertible, extensible, mobile, ajustable, polyvalent et permettant la mise à jour (voir **Fig. 2**) (Schmidt III et al., 2010). Chacune de ces stratégies est associée à un aspect du bâtiment (fonction, taille, emplacement, tâche/usager, espace, performance) et propose des alternatives ou des solutions pour atteindre l'adaptabilité. Voici la définition de ces différentes stratégies :

- > **Convertible** (*convertible*) : En lien avec la fonction du bâtiment, la convertibilité signifie la capacité à se transformer. L'association canadienne de normalisation (CSA) la définit comme un concept qui permet de répondre à une variation dans les besoins et les usages en procédant à des modifications au niveau du bâtiment (CSA, 2006). S'apparentant à la polyvalence, la convertibilité peut permettre une conversion à court terme en intervenant au niveau de l'espace de façon temporaire, mais peut aussi permettre une conversion à plus long terme en changeant complètement la vocation du lieu (par exemple, l'aménagement de condominiums dans un immeuble de bureaux ou l'aménagement de bureaux dans une ancienne usine) (CSA, 2006; Davies et Jokiniemi, 2008; Douglas, 2006). Cette stratégie peut se traduire par la conception d'espaces multifonctionnels, l'aménagement de planchers surélevés ou de plafonds surbaissés pour permettre la distribution des services (électricité, eau, câblage, Internet et fibre optique) ou l'installation de services dont la capacité peut être augmentée (Schmidt III et al., 2010);

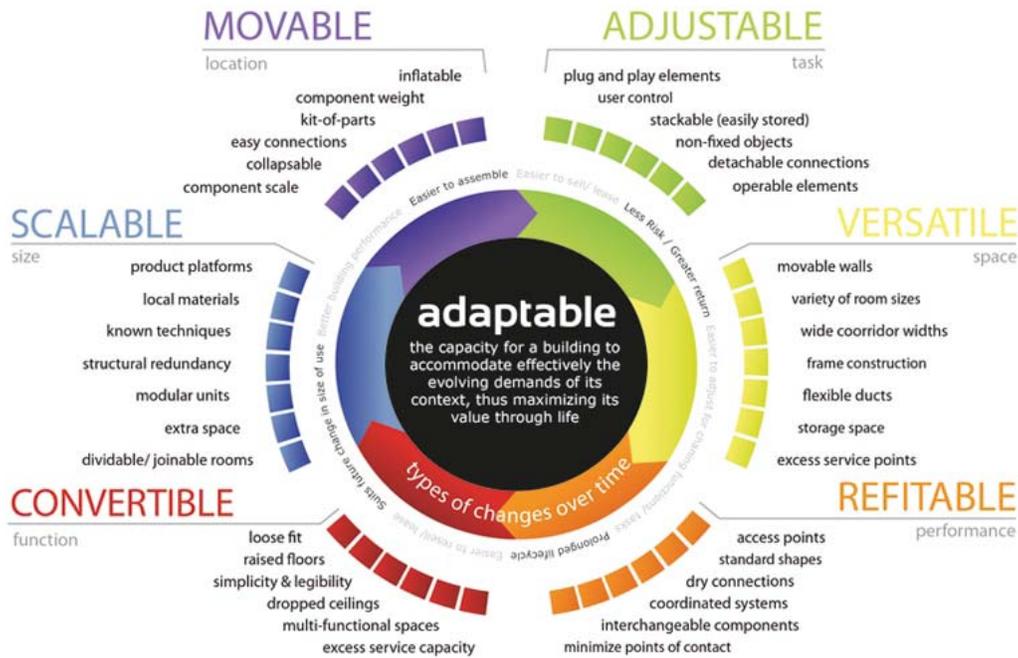


Figure 2. Le cadre de référence (Framecycle)
Source : www.adaptablefutures.com

- > **Extensible** (*scalable*) : en lien avec la taille, l’extensibilité est un concept qui demande de prévoir l’éventualité d’une augmentation de capacité ou de volume (ou une réduction) par un ajout (ou un retrait) vertical ou horizontal (CSA, 2006; Davies et Jokiniemi, 2008; Douglas, 2006). Cette approche peut se traduire, entre autres, par l’utilisation de la modularité ou par la conception de pièces qui peuvent se diviser ou s’unir (Schmidt III et al., 2010);
- > **Mobile** (*movable*) : en lien avec l’emplacement, cette démarche doit permettre le déplacement des structures et des espaces en considérant le poids et l’échelle des composantes, la facilité et l’efficacité des assemblages, ainsi que le démontage (Schmidt III et al., 2010);
- > **Ajustable** (*adjustable*) : en lien avec la tâche/usager et la difficulté de prédire les besoins futurs, cette stratégie, qui s’apparente au concept de la flexibilité du bâtiment, considère cette incertitude dans la conception (Leaman et Bordass, 2004) en prévoyant la possibilité de procéder à des modifications de l’aménagement afin de le rendre plus efficace (Douglas, 2006). Deux approches distinctes sont possibles : la flexibilité douce ou dure. La flexibilité douce privilégie un aménagement à aires ouvertes où les espaces n’ont pas de fonctions prédéterminées. La conception d’espaces polyvalents

pouvant répondre à différentes fonctions est, à première vue, la solution simple pour intégrer le concept d'adaptabilité au bâtiment. Pourtant, ce type de conception, qui doit nécessairement éliminer le recours aux murs porteurs, est complexe, coûteux et mène habituellement au développement d'espaces inadéquats et inintéressants pour l'utilisateur (Kronenburg, 2007). La flexibilité dure, quant à elle, correspond à un aménagement où l'architecte ou le designer ont déterminé des mécanismes permettant la flexibilité de l'espace, tels que des cloisons amovibles (Smith, 2010). Les changements au niveau de la division de l'espace doivent prendre en compte des critères de qualité quant à la distribution d'air, au chauffage, à la climatisation, à l'éclairage, à l'isolation acoustique et à la sécurité (en lien avec les coupe-feux) (Kronenburg, 2007). En plus des composantes mobiles, cette stratégie peut se traduire par la conception d'éléments empilables, des structures autoportantes, ou des dispositifs qui assurent à l'utilisateur un certain contrôle sur l'aménagement de l'espace (Schmidt III et al., 2010);

- > **Polyvalent (*versatile*)** : en lien avec l'espace, la polyvalence se définit comme un concept qui permet de répondre à diverses fonctions en n'apportant que des modifications mineures (CSA, 2006; de Vigan, 2008). Au niveau du bâtiment, la polyvalence permet de varier l'utilisation de l'espace en permettant la tenue de différentes activités ou tâches. Cette approche met l'accent sur des solutions comme les cloisons amovibles, les espaces de rangement ou la variété au niveau de la dimension des pièces (Schmidt III et al., 2010);
- > **Permettant la mise à jour (*refitable*)** : en lien avec la performance, cette stratégie s'apparente aux concepts de réfection et de rénovation. La réfection d'un bâtiment existant se traduit par une intervention plus ou moins importante au niveau de celui-ci, dans le but avoué d'améliorer ou de mettre à niveau son apparence et/ou ses installations techniques et/ou sa fonction (Davies et Jokiniemi, 2008; Douglas, 2006). L'importance de la mise à niveau varie selon l'état du bâtiment. Elle peut s'articuler seulement au niveau de critères esthétiques par la mise à jour des finis des planchers, des murs ou du mobilier, par exemple. Par contre, ce concept peut nécessiter une intervention plus importante par la modernisation de différents services, tels que la distribution de l'électricité, de l'eau, ou du câblage informatique, mais peut aussi agir au niveau du bâtiment lui-même par un agrandissement de l'espace (Douglas, 2006). La rénovation d'un bâtiment peut également se traduire en travaux d'assainissement, de réparation ou de remodelage pour répondre à de nouveaux besoins (Davies et Jokiniemi, 2008). La rénovation, ou la mise à jour, peuvent mener à la mise à niveau des

équipements, mais également à des changements au niveau de la division de l'espace intérieur selon les besoins actuels (de Vigan, 2008). Une des visées de la rénovation est de permettre à un bâtiment existant d'atteindre les mêmes performances qu'un bâtiment neuf (Bucher et Madrid, 1996). En lien avec la performance, cette démarche favorise les techniques d'assemblage sèches, les composantes interchangeable et les formes usuelles (Schmidt III et al., 2010).

3.3.1.3 Avantages

L'industrie de la construction japonaise, par exemple, a su profiter des avantages que procure l'adaptabilité, et ce, en termes de bénéfices environnementaux, de rentabilité, mais également de satisfaction de l'utilisateur (Eguchi et al., 2011). Malgré un contexte culturel différent, ces avantages ont tout le potentiel de se transposer à la situation nord-américaine. Cette partie de la revue de littérature traite donc des multiples considérations et avantages en lien avec l'adaptabilité de la construction. Ces propos ont été regroupés sous différents thèmes que sont les avantages économiques, qui discutent des implications financières du bâtiment adaptable, les avantages environnementaux, qui abordent les bénéfices écologiques de cette approche, ainsi que les gains sociaux, qui traitent d'une bonification de la relation entre le bâtiment et l'utilisateur.

3.3.1.3.1 Avantages économiques

L'adaptabilité peut être incorporée au bâtiment à la conception, ou pendant la phase d'usage, pour répondre à des changements de besoins (Beadle et al., 2008; Gibb et al., 2007). Malgré qu'elle puisse engendrer un investissement initial plus important, dû aux changements de pratiques de conception et de construction, l'intégration de l'adaptabilité peut, ultimement, permettre de diminuer les dépenses lors des phases subséquentes d'adaptation et d'entretien du bâtiment (Kronenburg, 2007; Manewa et al., 2009). Selon Douglas (2006), il est généralement plus économique et plus rapide d'adapter un bâtiment existant, en réutilisant la structure et les services, plutôt que de le démolir et de reconstruire. De plus, l'adaptabilité permet un changement de vocation en minimisant les coûts de conversion (Gibb et al., 2007). En outre, l'adaptabilité de la construction minimise la surabondance au niveau des bâtiments, et ce, en optimisant l'utilisation de l'espace, par des mécanismes novateurs et efficaces, de façon à ce qu'il puisse accommoder les besoins futurs (Manewa et al., 2009). Le concept de surabondance (*redundancy*) se traduit par une accumulation d'espaces ou de bâtiments dépréciés ou obsolètes qui ne sont plus en mesure de remplir la fonction pour laquelle ils ont été construits ou qui ne répondent adéquatement aux besoins du marché (Davies et

Jokiniemi, 2008; Manewa et al., 2009); malgré une demande grandissante en termes d'espaces, la réhabilitation de ces bâtiments n'est pas une option économiquement viable puisqu'elle nécessiterait un investissement important en temps et en argent (Leaman et Bordass, 2004; Manewa et al., 2009).

Le bâtiment adaptable est une option qui semble être avantageuse économiquement sur le long terme uniquement (Kronenburg, 2007; Manewa et al., 2009). La **Figure 3** illustre de façon éloquente les avantages économiques que procure la conception de bâtiments évolutifs; cette approche implique le cycle de vie complet du bâtiment et considère mieux le revenu et l'avantage d'un roulement de capital (*cash flow*) positif (Manewa et al., 2009). Enfin, l'adaptabilité du bâtiment peut être atteinte par le recours à des systèmes de construction industrialisés, qui offrent plusieurs avantages économiques, tels que la possibilité de diminuer les délais de construction; cette caractéristique engendre « *moins de risques et plus de contrôle, ce qui permet le report de décisions d'investissement importantes, des coûts d'immobilisation réduits, ainsi qu'une possibilité de reconfiguration rapide des installations lors de la conception [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2008, p. 1). Malgré la difficulté de trouver des écrits traitant de la viabilité économique des bâtiments adaptables, il est tout de même possible de supposer que les promoteurs immobiliers impliqués dans le développement de ce type de construction vont chercher à assurer un retour sur leur investissement (Manewa et al., 2009).

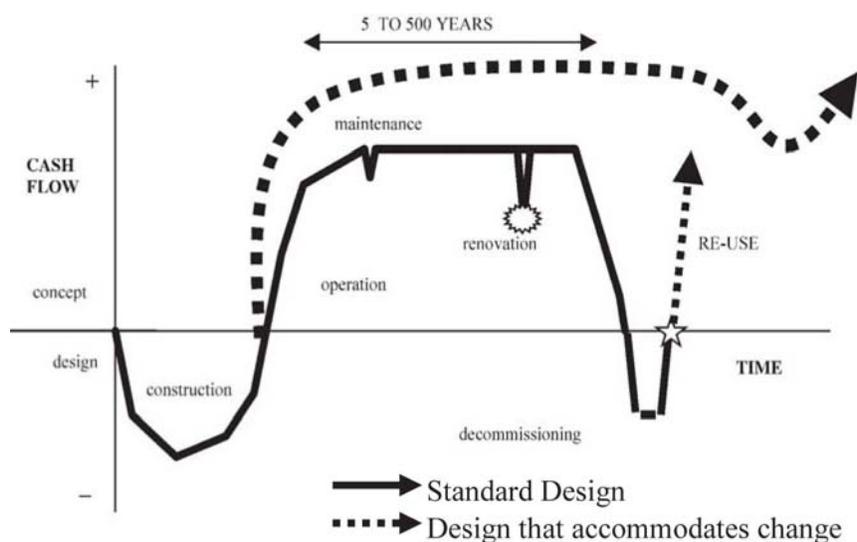


Figure 3. Cycle de vie anticipé des constructions et potentiel des bénéfices d'une conception accommodant le changement.

Source : (Manewa et al., 2009)

Autant dans l'implantation du concept d'adaptabilité que dans toute autre nouvelle pratique en construction, le critère économique ne peut plus être la seule contrainte décisionnelle; dans une approche plus globale et systémique s'ajoutent les préoccupations sociales et environnementales contemporaines (Manewa et al., 2009). Dans cette optique de globalité, Manewa et al. (2009) propose l'« analyse de vie complète » (*Whole Life Analysis*) qui se définit « *comme un examen systématique de tous les coûts (en incluant le coût d'investissement initial et le coût des adaptations), les avantages, les risques et la performance d'un bâtiment pour l'ensemble de ses vies fonctionnelles exprimées en valeurs actuelles [traduction libre]* » (Manewa et al., 2009, p. 4). Cette approche économique s'apparente à celle du « coût global », présenté précédemment, qui considère l'ensemble des coûts et bénéfices, directs ou indirects, à chacune des étapes du cycle de vie (UNEP, 2011). En plus des coûts de construction initiaux, l'« analyse de vie complète » utilise des méthodes pour transposer en termes économiques, les frais et les bénéfices engendrés par les mises à jour subséquentes du bâtiment; ce processus global permet de quantifier l'investissement associé à l'adaptabilité, dans l'immédiat et sur le long terme, de façon à éclairer la rentabilité de telles procédures de construction (Manewa et al., 2009).

3.3.1.3.2 Bénéfices environnementaux

L'adaptabilité est un principe étroitement lié aux caractéristiques du bâtiment ainsi qu'à la gestion de ce dernier (Leaman et Bordass, 2004). En permettant une augmentation de la durée de vie utile des bâtiments, cette façon de faire a le potentiel d'entraîner une diminution de la génération de déchets (en minimisant l'ampleur et la fréquence des cycles de rénovation et en reportant la démolition), une réduction de la consommation de nouveaux matériaux (ce qui inclut l'énergie nécessaire à leur extraction, leur fabrication et à leur transport) et par conséquent une minimisation de la production de gaz à effet de serre (CSA, 2006; Douglas, 2006) (à condition que le bâtiment adaptable ait une empreinte environnementale équivalente à celle du bâtiment conventionnel). L'adaptabilité souscrit à un potentiel d'améliorations continues en ce qui concerne la performance environnementale du bâtiment en permettant une mise à jour des systèmes pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire la consommation d'eau et bonifier la qualité de l'air. En somme, l'adaptabilité est une opportunité de design qui pourrait permettre une réduction de l'empreinte environnementale de la construction par la génération de bâtiments pouvant s'adapter aux usages en évolution et pouvant être déconstruits en fin de vie (CSA, 2006). Toutefois, tous ces bénéfices potentiels reposent sur les caractéristiques conceptuelles, mais aussi sur la façon qu'elles sont utilisées ou

exploitées, puisque rien ne garantit que tous les bâtiments adaptés procureront un meilleur environnement intérieur et extérieur aux occupants ou aux usagers (Douglas, 2006).

3.3.1.3.3 Gains sociaux

L'adaptabilité de l'architecture est nécessaire et souhaitable dans plusieurs types de construction, notamment au niveau résidentiel afin d'assurer une meilleure réponse aux besoins des usagers qui évoluent dans le temps, en contribuant ultimement à l'amélioration de la qualité de vie des habitants (Kronenburg, 2007). Tel que discuté précédemment (voir Fig. 1, p. 77), le bâtiment est composé de plusieurs couches, dont l'aménagement intérieur (*Space plan*) et les objets (*Stuff*) qui sont en relation directe avec l'utilisateur et ses besoins. L'interaction quotidienne avec ces couches amène l'utilisateur de l'espace à procéder à des changements par la transformation ou la rénovation, un processus motivé par un désir d'améliorer le caractère esthétique, mais aussi l'habitabilité du logement. Pour cette raison, la conception et la rénovation devraient être faites de façon à permettre une capacité évolutive, ou un remodelage aisé, pour accommoder les besoins futurs des usagers (Brand, 1994; Douglas, 2006). Le changement est devenu la norme dont la nature et le rythme ne cessent de progresser (Douglas, 2006; Kronenburg, 2007). Ainsi, l'adaptabilité permet au bâtiment de devenir source d'opportunités et d'options; situation qui engendre une liberté décisionnelle et permet d'atteindre une meilleure concordance entre le lieu de vie, les besoins et le mode de vie de l'utilisateur (Kronenburg, 2007).

L'architecture adaptable prétend redonner le contrôle de l'environnement de vie aux occupants puisqu'elle permet aux « *usagers du bâtiment d'influer sur les décisions de conception. Comme le plan du bâtiment a plus de capacité d'agencements différents, à la fois à ses débuts et lors des changements futurs, clients, usagers et habitants peuvent mieux cerner leurs besoins, car le concepteur de la coque fixe moins les restrictions* » (Kronenburg, 2007, p. 116). Par l'intégration de préoccupations temporelles dans la conception, qui suscite une forme d'échange entre le résident et son milieu de vie, « *permettant au bâtiment 'd'apprendre' et à l'utilisateur 'd'enseigner' ou de façonner l'espace lui-même [traduction libre]* » (Schmidt III et al., 2010). Du point de vue conceptuel, le designer et l'architecte doivent mettre l'accent sur le processus d'adaptation sans chercher à imposer un mode de vie ou tenter de prévoir le futur (Schmidt III et al., 2010). Selon Kronenburg, « *[l]'architecture flexible [...] n'est ni arrogante ni autocrate, car elle tient compte du fait que d'autres ont leur mot à dire dans la façon de faire et d'utiliser les bâtiments. L'architecture flexible est démocratique* » (Kronenburg, 2007, p. 111). Le développement d'outils informatiques de design pourrait participer à démocratiser

l'habitation en permettant l'accès à un logement optimisé du point de vue conceptuel et technologique; processus possible à condition de placer l'utilisateur au centre du processus de conception, mais également en normalisant les procédés de fabrication et de construction (Larson et al., 2004). Enfin, ce processus identitaire se met en œuvre différemment dans les bâtiments adaptables puisque « *[Les gens répondent à un environnement mobile tout à fait autrement qu'à un environnement statique, leur implication dans le bâtiment devenant une interaction plus qu'une simple réaction [traduction libre]* » (Kronenburg, 2007, p. 171).

3.4 Rationalisation spatiale

La quatrième et dernière tendance conceptuelle abordée est la rationalisation spatiale qui s'intéresse principalement à pallier aux impacts associés à la superficie habitable et qui concerne la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et ressources, la génération de déchets, mais également les répercussions en lien avec l'environnement intérieur et l'aspect économique du bâtiment. À l'image des précédentes, cette pratique est d'abord présentée en abordant l'origine et la définition du concept, puis en s'intéressant aux principes et caractéristiques, et ce, en termes d'aspect conceptuel, mais aussi par les concepts et mécanismes permettant une meilleure utilisation de l'espace habitable. Enfin, cette section traite des principaux avantages économiques et environnementaux de cette tendance conceptuelle.

3.4.1 Origine et définition

La rationalisation de l'utilisation de l'espace est une tendance conceptuelle moins établie et documentée que l'industrialisation de la construction ou le bâtiment vert. Malgré que la majorité de la documentation consultée provienne de monographies, de sites Internet et de blogues, cette tendance conceptuelle semble gagner en intérêt au niveau d'articles à caractère plus scientifique. Ce principe se base sur le constat qu'il existe une corrélation entre la superficie habitable résidentielle, qui ne cesse de progresser, et l'importance des problématiques environnementales qui y sont associées; plus le milieu de vie est grand, plus importants sont les impacts reliés à l'usage de terrain, de consommation d'énergie, d'utilisation de ressources et de génération de déchets (Palmeri, 2010). En réaction à cette réalité, ce mouvement architectural et social suscite, entre autres, un questionnement général sur le rapport à l'habitation, sur les besoins réels en termes d'espace et sur la définition du lieu de vie; l'optimisation spatiale demande une révision de l'approche conceptuelle de

l'habitation de façon à assurer une réponse aux besoins des occupants, et ce, en utilisant un minimum d'espace.

En marge des préoccupations environnementales, l'intérêt, précédemment centré sur la superficie de l'habitation, se déplace graduellement vers des caractéristiques qui prennent une plus grande importance, telles que l'emplacement en choisissant un meilleur quartier, la proximité du travail et des services en offrant le potentiel de réduire l'utilisation des transports, ainsi qu'à la qualité de l'aménagement et de la construction (Ahn et al., 2008; Lyttle, 2007; Susanka, 1998). Pour des raisons variables, certains groupes de population privilégient déjà le choix d'un logement plus petit. De ce fait, il existe un lien entre la superficie habitable et le type de ménage puisque « *les jeunes couples sans enfant ont tendance à vivre dans de plus petites maisons, les couples d'âges moyens avec enfants dans les maisons de taille moyenne et les couples retraités, qui peuvent se le permettre, dans des maisons de plus grande taille [traduction libre]* » (Ahn et al., 2008, p. 89). Certaines catégories de ménages, telles que les personnes seules, les familles monoparentales, les couples non mariés, semblent prédisposées à privilégier des espaces de vie plus petits, et ce, principalement pour des raisons financières; également pour des motifs économiques, les premiers acheteurs représentent aussi une clientèle spécifique des petits espaces (Ahn et al., 2008). Les baby-boomers et les couples dont les enfants ont quitté le foyer familial représentent un segment en progression au niveau de la demande de logements plus petits, mais qui comportent des motivations différentes; ils tendent à vouloir diminuer le niveau d'entretien résidentiel tout en recherchant un niveau de qualité supérieure (Ahn et al., 2008).

Du point de vue conceptuel, rationaliser l'utilisation de l'espace requiert une démarche de réflexion approfondie menant à la redéfinition des notions de satisfaction et de bien-être associées au milieu de vie. La conception d'habitations de petite taille est un défi important pour les architectes qui doivent composer avec cette contrainte pour créer un logement fonctionnel, adaptable et flexible, dans lequel la restriction spatiale doit être minimalement perçue afin de ne pas engendrer d'impacts sur le confort des occupants (Broto et al., 2005; Campos, 2008; Schleifer, 2005). En effet, choisir de vivre dans un espace spatialement optimisé doit être vécu comme une expérience positive afin d'assurer la pérennité de ce choix. Les Japonais ont démontré qu'il était possible de relever ce défi puisqu'en abordant le problème spatial de façon astucieuse, ils ont mis au point des solutions d'habitation qui sont compactes, polyvalentes et très fonctionnelles en dépit de leur taille (Tanqueray et Everard, 2003). Ce qui rend un intérieur intéressant à habiter relève moins de la superficie que de l'impression

d'espace qui s'en dégage. Pour atteindre cet objectif, certains éléments tels que les détails architecturaux, les vues et perspectives offertes par les ouvertures, la lumière et les volumes sont déterminants (Conran, 2007). La conception de petits espaces habitables requiert le développement de constructions d'une précision élevée et d'une efficacité supérieure, un processus susceptible de stimuler le niveau d'innovation en construction (Haack et Höpfner, 2010). Pour assurer l'atteinte de ce niveau de performance, mais également pour réduire la maison à sa plus simple expression, l'architecte dispose d'un allier important : le progrès technologique. Ce dernier a nettement contribué à l'avancement de cette tendance conceptuelle en architecture, en permettant la miniaturisation de plusieurs appareils domestiques, électroménagers, mobiliers, éclairages, matériaux et de systèmes constructifs (Losantos, 2006; Lyttle, 2007).

Malgré le fait que ce concept soit toujours considéré comme marginal et qu'il ne connaisse pas une large adhésion, il est tout de même possible de noter une progression au niveau de l'intérêt des professionnels et de la population (Lyttle, 2007). Selon Tanqueray et Everard (2003) « *small spaces are the next big thing* » (p. xx), suggérant que la conception d'espaces réduits représente un potentiel important face à plusieurs problématiques actuelles reliées à l'habitation. Il est particulièrement intéressant de souligner que les petites maisons captent de plus en plus d'attention non seulement dans les villes aussi densément peuplées que Tokyo et Londres, mais également dans les villes de l'Amérique du Nord et du nord de l'Europe, où la population est moins dense. Par contre, il est important de noter que cette démarche peut être limitée ou contrecarrée par le cadre rigide des différentes sphères de l'industrie de la construction. En effet, « *les réglementations de zonage, les clauses restrictives concernant l'utilisation de la propriété, les normes de conception et les exigences hypothécaires (mises en place pour maintenir la valeur marchande de la propriété en cas de reprise par l'institution financière) peuvent limiter considérablement les options de conception de petites maisons unifamiliales dont la superficie est optimisée, certaines municipalités établissent même des limites strictes quant à la superficie minimale des résidences. Même si ces pratiques sont moins courantes, elles existent toujours [traduction libre]* » (Wilson et Boehland, 2005, p. 282).

3.4.2 Principes et caractéristiques

Afin de continuer la description de cette approche, cette partie s'attarde aux principes et caractéristiques de la rationalisation spatiale. Dans un premier temps, cette démarche traite de l'aspect conceptuel en précisant les caractéristiques et les principes de base de

conception d'espaces d'habitation rationalisés. Par la suite, la tâche a pour but d'apporter des précisions au niveau des concepts et mécanismes mis en place au niveau de cette tendance conceptuelle, tels que les pièces multifonctionnelles, le décroissement et cloisons, le mobilier intégré et le mobilier.

3.4.2.1 Aspect conceptuel

D'un point de vue formel, la petite maison doit se baser sur un plan d'aménagement rationnel pour maximiser l'utilisation de l'espace et minimiser le besoin de matériaux et ressources (Bahamón et Asensio Cerver, 2003; Kaufmann et Remick, 2009). La conception d'un espace d'habitation restreint en superficie se caractérise souvent par la simplicité des volumes, le niveau d'ouverture, la continuité des transitions et l'orthogonalité des plans d'aménagement (Bahamón et Asensio Cerver, 2003; Losantos, 2006). Du point de vue conceptuel, l'atteinte d'une adéquation parfaite entre la superficie réduite et les besoins des occupants nécessite un travail de réflexion rigoureux (Chan, 2007; Conran, 2007). La petitesse n'est pas une limite conceptuelle en soi, mais représente une possibilité d'innovation en architecture (Chan, 2007). Cette contrainte spatiale doit être transformée en avantage afin de procurer un milieu de vie polyvalent, stimulant et significatif, qui se base sur des concepts tels que la compacité, l'ingéniosité, l'efficacité, la discrétion et la sensibilité (Chan, 2007; del Valle, 2005; Piironen, 2007; Pople, 2003; Zeiger, 2009). Dans une approche rationnelle de simplification, seulement les fonctions de base qui doivent être desservies par une résidence sont conservées (del Valle, 2005; Pople, 2003). Les aires qui ne sont pas essentielles, telles que le hall d'entrée et les couloirs sont éliminés afin d'attribuer une plus grande surface à l'espace de vie principal (Schleifer, 2006a). Ainsi, de nouvelles stratégies architecturales traitent ou interprètent sous un angle nouveau les limitations, les zones de circulation, la fenestration, les mobiliers intégrés, les finis, en inculquant un sens d'ordre et de spatialité à l'environnement (Chan, 2007).

Afin de tirer le meilleur parti des petits espaces, il est important de déterminer les différentes fonctions de base auxquelles la résidence doit être en mesure de satisfaire. Suite à leur identification, les occupants devront ensuite associer un niveau d'importance à chacune d'elle (Asensio, 2007; Bahamón et Asensio Cerver, 2003; Broto et al., 2005). De par leur proximité, les différentes fonctions doivent être articulées d'une façon cohérente et logique (Chan, 2007). Il existe deux approches distinctes pour structurer les unités d'habitation restreintes. D'une part, la méthode qui suppose que chaque fonction doit posséder sa propre zone, une situation qui nécessite l'établissement de frontières artificielles permettant la

différenciation claire de chacune des activités (cuisiner, relaxer, travailler, dormir); d'autre part, une deuxième approche rejette cette catégorisation typologique en proposant d'aborder l'espace comme une entité fluide dans laquelle prend place une série d'activités et d'événements de façon plus informelle (Chan, 2007). Grandement inspirés par la catégorisation de Gauer et Tighe (2004), voici huit principes de base permettant la conception d'espaces d'habitation rationalisés:

1. **Conception centrée sur l'utilisateur** : au niveau de la rationalisation spatiale, la conception centrée sur l'utilisateur est une condition *sine qua non* puisque les petits espaces doivent assurer la réponse aux besoins et attentes de l'utilisateur tout en assurant son confort (Haack et Höpfner, 2010; Wilson et Boehland, 2005). L'optimisation de l'espace « appelle à une compréhension exacte de l'activité humaine dans l'espace en vue de réorganiser les fonctions interspatiales [traduction libre] » (Haack et Höpfner, 2010, p. 12). En plus de comprendre la relation que l'utilisateur entretient avec l'espace, le concepteur doit prévoir et anticiper des comportements et des actions et considérer l'évolution temporelle potentielle des fonctions de l'espace (Kalhöfer, 2010);
2. **Proportion et échelle** : particulièrement sensibles au niveau des petits espaces, les proportions suggèrent une recherche d'harmonie entre les dimensions (hauteur, longueur, largeur) des différents éléments architecturaux (pièce, porte, fenêtre et mouluration), tout en prenant en compte leur rapport avec l'occupant (Gauer et Tighe, 2004). Cette relation est également présente dans le concept d'échelle qui concerne le rapport perçu des différents éléments architecturaux entre eux. Dans la conception de petits espaces, l'échelle peut s'avérer particulièrement utile pour donner du rythme, mettre de l'emphase sur un aspect en particulier ou jouer avec les perceptions (Gauer et Tighe, 2004);
3. **Distribution spatiale et hiérarchie** : ces caractéristiques traitent de la façon dont les pièces s'imbriquent entre elles, et ce, selon deux approches distinctes : l'enfilade (modèle classique) ou l'espace ouvert (modèle contemporain). Les petites habitations demandent de porter une attention particulière à la hiérarchie des espaces, et ce, en termes de distribution, de superficie et de volume déterminés en fonction de leur importance architecturale relative (Gauer et Tighe, 2004).
4. **Perception spatiale et transparence** : la rationalisation de l'espace doit jouer avec la perception des limites spatiales intérieures de l'habitation et la transcendance de ces dernières vers l'extérieur par la transparence. Selon Haack et Höpfner (2010), ce

principe de « *perception multidimensionnelle complexe de l'espace* » est un des « *axes centraux de l'optimisation de l'espace* » (p. 11). Cette caractéristique revêt un potentiel important pour les petites habitations puisqu'elle peut donner l'illusion d'un espace plus grand que réel (Gauer et Tighe, 2004);

5. **Lumière naturelle** : la lumière naturelle est une composante importante de la conception architecturale et un outil très pertinent au niveau de l'optimisation spatiale (Gauer et Tighe, 2004). Une attention particulière doit être portée au positionnement des ouvertures de façon à pouvoir répondre à la variabilité de l'utilisation de l'espace et aux différentes fonctions desservies (Haack et Höpfner, 2010);
6. **Multifonctionnalité** : la rationalisation de l'espace, par une diminution de la superficie habitable, mène les pièces à desservir plusieurs fonctions (Gauer et Tighe, 2004). Ce principe de concentration des fonctions implique activement l'utilisateur ou l'occupant dans la détermination de son espace de vie, permettant une relation plus directe et un attachement plus probant avec ce dernier (Haack et Höpfner, 2010; Kalhöfer, 2010). En somme, cette multifonctionnalité est un processus qui amène à modifier le rapport, la perception et l'utilisation de l'espace (Haack et Höpfner, 2010);
7. **Adaptabilité** : cette tendance conceptuelle implique la conception d'habitations flexibles et adaptables pour mettre efficacement à profit le peu d'espace disponible (Chan, 2007; Schleifer, 2006a; Schleifer et Seidel, 2008b). L'adaptabilité de l'espace devient un concept important dans l'optimisation spatiale avec une approche passant de la bidimensionnalité à la tridimensionnalité (Haack et Höpfner, 2010). Les scénarios et les fonctions des espaces peuvent évoluer par des mécanismes dynamiques comme le pliage, le déplacement et le coulissement d'éléments architecturaux ou de mobilier, et ce, en fonction de l'occupation ou des besoins échelonnés dans le temps (Haack et Höpfner, 2010; Kalhöfer, 2010). L'architecture n'est plus un cadre normatif, mais un processus dynamique et stimulant pour l'utilisateur surtout s'il est impliqué dans la transformation de son espace de vie. Pour assurer le succès de cette implication, elle doit se traduire par des solutions simples, faciles et rapides à utiliser, des facteurs de performance décisifs pour l'usage et l'utilisateur (Kalhöfer, 2010).
8. **Simplicité, économie et modestie** : dans les petits espaces, la simplicité dans la conception est nécessaire, voire obligatoire, pour éviter toute forme d'accumulation ou de désordre (Gauer et Tighe, 2004). De plus, la rationalisation de l'espace sous-entend un retour à l'essentiel en promouvant l'économie au niveau des gestes

architecturaux, de la construction et des choix de vie (Gauer et Tighe, 2004; Haack et Höpfner, 2010). Enfin, l'optimisation spatiale intègre une notion de modestie puisque ce concept n'envisage pas l'espace de vie comme le reflet d'un statut social, mais supporte la conception d'habitation en fonction des besoins réels des occupants (Gauer et Tighe, 2004).

3.4.2.2 Concepts et mécanismes

L'espace est une condition qui se fait de plus en plus rare et, paradoxalement, son importance croît en fonction de sa carence; cette situation ne laisse d'autres choix à l'architecte que d'optimiser la composante spatiale en exploitant la polyvalence et la multifonctionnalité des installations, des éléments constructifs et des mobiliers (Broto et Guilloux, 2007). Dans une perspective de rationalisation spatiale, la conception peut tirer profit d'une multitude de concepts et de mécanismes tels que les pièces multifonctionnelles, les zones polyvalentes et les éléments de mobilier à fonctions multiples. De plus, le décroissement ou l'utilisation innovante d'éléments pour diviser l'espace, en fonction des besoins, sont des facteurs qui assurent une meilleure optimisation spatiale.

3.4.2.2.1 Pièces multifonctionnelles

Lors de la conception d'un espace restreint, il est préférable d'éviter les enfilades de petites pièces qui comportent chacune leur fonction propre. En effet, ce type de subdivision spatiale n'a pas beaucoup de sens puisqu'elle engendre une grande perte d'espace (Conran, 2006; Schleifer et Seidel, 2008b; Tanqueray et Everard, 2003). Les pièces multifonctionnelles, ou à usages multiples, sont des alternatives intéressantes au manque d'espace puisqu'avec l'intégration d'un certain niveau de flexibilité, elles permettent de répondre à plusieurs fonctions et, par extension, accommodent différents besoins (Chan, 2007; Crafti, 2003; del Valle, 2005; Soane, 2003). Toutefois, ces pièces doivent permettre l'accomplissement de chacune des fonctions tout en évitant que ces dernières empiètent les unes sur les autres (Tanqueray et Everard, 2003). Ces salles polyvalentes requièrent un niveau supérieur de planification et d'organisation afin de garantir une bonne exploitation de l'espace, mais aussi pour que chaque activité puisse se réaliser dans un climat de facilité et d'efficacité (Conran, 2006). De plus, l'augmentation du niveau de flexibilité permet de créer des pièces ou des volumes qui se transforment et s'adaptent selon les besoins qui se succèdent et qui évoluent (Crafti, 2003; Schleifer et Seidel, 2008b). De ce fait, les espaces à usages multiples se caractérisent par une facture de neutralité qui permet une liberté dans l'attribution des fonctions à l'espace (Schleifer et Seidel, 2008b). Malgré que certains suggèrent d'allouer une

zone spécifique à chacune des fonctions afin d'éviter la confusion (Conran, 2007), les pièces à usages multiples qui sont dépourvues de tous types de cloisonnement permettent difficilement ce type d'assignation. Cette détermination souple et fluide des espaces se caractérise par des frontières qui changent en fonction des activités qui s'y tiennent et permettent, à tout moment, l'intégration de fonctions additionnelles (Chan, 2007).

Voici deux exemples qui permettent de mettre en image le concept de la pièce multifonctionnelle. Premièrement, à l'heure du repas, la zone de la salle à manger peut comporter tous les éléments de mobilier habituels (table, chaises et bahut). Par contre, pour accommoder un convive pour la nuit, l'espace peut être adapté afin de répondre à ce nouveau besoin. La table et les chaises sont déplacées, un lit pliable est déployé et un panneau acoustique coulissant procure de l'intimité à l'invité (Tanqueray et Everard, 2003). Un deuxième exemple illustre bien le partage des fonctions qui peut s'effectuer au niveau d'une même pièce. La combinaison de la chambre à coucher et de l'espace bureau est une option tout indiquée puisque les deux fonctions occupent habituellement des plages horaires différentes : le travail durant le jour et le sommeil durant la nuit. L'intégration de certains éléments de mobilier flexibles permet l'atteinte d'une certaine différenciation des usages : un lit escamotable qui pourra être dissimulé durant les heures de travail; un bureau rétractable et des caissons de rangement fermés pour faire disparaître toutes traces des tâches professionnelles accomplies à la tombée de la nuit. Cette condition est essentielle afin de prévenir un engorgement des fonctions dans la pièce (Tanqueray et Everard, 2003).

3.4.2.2 Décloisonnement et cloisons

Une des décisions les plus délicates au niveau des petits espaces est d'établir le mode et le degré de division de l'espace (Chan, 2007). Cette réalité nécessite de porter un regard global sur la maison et d'avoir une approche conceptuelle qui considère l'espace disponible comme un tout et non comme une succession de pièces juxtaposées (Conran, 2006). L'élimination du cloisonnement est une solution architecturale qui est souvent adoptée dans le traitement des petits espaces d'habitation. Cette approche procure des avantages puisqu'elle permet d'atteindre une meilleure convivialité, ainsi qu'une plus grande fluidité au niveau de la circulation. Par contre, elle possède aussi quelques désavantages étant donné que cette amélioration de l'habitabilité des lieux peut être compromise par l'amplification des sons et le manque d'intimité (Conran, 2007). Il est également suggéré que garder un certain niveau de division de l'espace peut participer à donner une illusion de grandeur à un logement; en ne pouvant déterminer le périmètre de la résidence d'un simple coup d'œil, ce principe donne

l'impression que l'espace se poursuit au-delà des cloisons et qu'il est plus vaste qu'il ne le paraît (Tanqueray et Everard, 2003). Malgré ce décroissement, il existe tout de même des mécanismes ou des systèmes de division de l'espace, tels que les cloisons et portes coulissantes, les écrans sur rails, les panneaux translucides, les murs amovibles, les éléments mobiles (sur roulettes) et les cloisons pivotantes (Bahamón et Asensio Cerver, 2003; Campos, 2008; Crafti, 2003; Schleifer, 2005, 2006b; Schleifer et Seidel, 2008a); ceux-ci permettent de moduler le plan d'aménagement du logement, en divisant ou en réunissant différentes zones afin de fournir un niveau d'intimité variable (Campos, 2008; Schleifer, 2005).

3.4.2.2.3 Mobilier intégré

Au niveau résidentiel, le mobilier intégré (*built-in furniture*) est incorporé à l'architecture, ou l'architecture peut elle-même devenir le mobilier, en prenant soit la forme d'un objet ou d'un système distribué dans l'ensemble de la maison (Chan, 2007). D'un point de vue conceptuel, les mobiliers intégrés représentent une alternative qui offre plusieurs avantages. Dans un premier temps, ils sont conçus spécifiquement pour répondre aux besoins de l'espace, ainsi qu'aux demandes et aux habitudes de vie des occupants (Broto et al., 2005). Cette solution architecturale de rangement maximise l'utilisation du lieu et permet de rendre l'espace plus dégagé (Conran, 2006). En plus d'organiser l'espace et de fournir un rangement adapté, ce type de mobilier, de par son niveau d'intégration, procure une meilleure harmonie visuelle et psychologique; cette solution travaille avec l'espace au lieu d'agir contre lui (Chan, 2007; Tanqueray et Everard, 2003). Le mobilier intégré n'est pas une solution flexible en elle-même, mais il peut servir de support pour intégrer la flexibilité, tout en permettant l'élimination de meubles autoportants qui peuvent encombrer inutilement l'espace restreint (Tanqueray et Everard, 2003).

3.4.2.2.4 Mobilier

À l'échelle du mobilier il est possible de recenser une multitude d'alternatives ingénieuses qui permettent d'optimiser l'espace disponible. Dans la rationalisation de l'espace, il est recommandé de privilégier des éléments de mobilier qui sont polyvalents et pratiques. Ainsi, si le mobilier est performant et qu'il peut répondre à plus d'une fonction, il sera possible d'en réduire le nombre (Conran, 2007; Tanqueray et Everard, 2003). Premièrement, il existe la table pliante, la table à rabats ou à rallonges, la table rabattable, la table portable; nous retrouvons également le lit suspendu au plafond qui est descendu seulement lors de son utilisation, le lit mural, le lit escamotable, le lit pliant ou rétractable, le canapé-lit; ensuite d'autres dispositifs tels que le plan de travail coulissant ou le bloc-cuisine

qui rassemble tout le nécessaire pour la préparation des repas et qui tient dans un caisson compact, ou un placard, permettant un gain d'espace maximal (Bahamón et Asensio Cerver, 2003; Conran, 2007; Schleifer, 2005, 2006b; Tanqueray et Everard, 2003).

3.4.3 Avantages

Le marché immobilier tend à renforcer l'idée qu'une petite surface équivaut nécessairement à un second choix. Certes, la vie dans un petit espace suppose certains compromis, mais ne suggère pas uniquement des sacrifices. De ce fait, il est supposé que la rationalisation spatiale permet d'atteindre une meilleure soutenabilité (*sustainability*) (Zeiger, 2009). Les avantages associés à cette tendance conceptuelle peuvent être regroupés sous deux thèmes : les avantages économiques et les bénéfices environnementaux.

3.4.3.1 Avantages économiques

D'un point de vue historique, la hiérarchie sociale a longtemps dicté la façon de construire les maisons, faisant de la résidence une représentation de fortune, de pouvoir, de statut, d'accomplissement et de grandes aspirations (del Valle, 2005; Gauer et Tighe, 2004; Pople, 2003; Wilson et Boehland, 2005). Cette perception perdure et explique en partie le phénomène de progression constante de la superficie des habitations en Amérique du Nord (voir le point 4.1.5). De nos jours, nombreuses sont les raisons qui peuvent expliquer un changement d'approche au niveau de la détermination dimensionnelle des habitations en privilégiant la rationalisation de l'espace ou la conception de milieux de vie plus petits. Autant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement, le coût de la vie, l'évaluation des terrains et les frais liés à la construction augmentent de façon continue. Ces facteurs impactent le niveau d'accessibilité au logement et d'accession à la propriété et mènent les ménages à faire, entre autres, des compromis au niveau de la superficie habitable. En effet, la rationalisation de l'espace peut se traduire en gains économiques importants, et ce, à plusieurs niveaux. Premièrement, en règle générale, les superficies réduites ont un impact direct sur les coûts d'investissement initiaux qui sont inférieurs grâce à une diminution des coûts de construction et des coûts des matériaux, ce qui mène à des paiements hypothécaires moins élevés; les petits espaces ont également des répercussions sur les coûts d'exploitation du bâtiment se traduisant par une minimisation des taxes municipales et scolaires, déterminées selon la superficie résidentielle, mais également au niveau des frais associés à la consommation d'énergie (éclairage, chauffage, climatisation et ventilation), des coûts d'entretien et des assurances (Conran, 2002, 2007; Gauer et Tighe, 2004; Zeiger, 2009). La considération de ces avantages économiques est importante puisque la plupart d'entre eux

sont engendrés durant tout le cycle du bâtiment, un argument de taille dans une approche du « coût global » (voir point 3.2.3.5).

3.4.3.2 Bénéfices environnementaux

En rationalisant l'utilisation de l'espace, cette tendance conceptuelle fait le pari que les impacts environnementaux de l'habitation seront moins importants. Selon Ahn et al. (2008), « *la réduction de la taille de construction ou l'utilisation rationnelle des espaces est un thème important dans le développement de bâtiments durables [traduction libre]* » (p. 86). Diminuer la superficie habitable peut procurer des bénéfices environnementaux, et ce, sur différentes phases du cycle de vie du bâtiment. Premièrement, il est possible de minimiser les besoins en matériaux et en ressources au niveau de la phase de construction pour la réalisation du projet, mais aussi à la phase d'usage pour les tâches d'entretien, de mise à jour et de rénovation de l'habitation. À ce titre, 39% des entreprises œuvrant dans la conception et la construction résidentielle identifient les habitations de plus petite taille comme une des meilleures pratiques dans la préservation des matériaux et ressources (McGraw Hill Construction, 2014b). Deuxièmement, toujours au niveau de la phase d'usage, il est envisageable de réduire la consommation d'énergie nécessaire, entre autres, à l'éclairage, au chauffage et à la climatisation du lieu de résidence. Troisièmement, il est pensable de supposer une minoration de la génération de déchets durant la phase de construction, durant la phase d'utilisation par l'entretien et la rénovation du bâtiment, mais également lors de la démolition en fin de vie. Enfin, de façon générale, habiter dans un espace plus petit peut mener à la minimisation de la consommation et de la possession de biens étant donné les contraintes spatiales (Palmeri, 2010; Zeiger, 2009).

D'un point de vue statistique, certains estiment qu'une diminution de la superficie habitable peut permettre de réduire de 20% à 40% des impacts environnementaux, en passant d'une résidence d'une superficie de 2262 pi² à 1149 pi² (réduction de près de 50% de la superficie), ou de 40% à 60%, en passant d'une habitation de 3424 pi² à 1149 pi² (réduction de plus de 66% de la superficie), « *suggérant que la taille de la maison est parmi les facteurs les plus déterminants au niveau de l'impact environnemental [traduction libre]* » (Palmeri, 2010, p. XXI). Au niveau de l'utilisation des matériaux, Wilson et Boehland (2005) supposent que « *[r]éduire la superficie habitable d'une habitation à ossature de bois de 25% pourrait permettre d'économiser beaucoup plus de bois que l'utilisation de méthodes de construction plus efficaces et utilisant moins de bois (wood-efficient advanced framing techniques) (ex. : espacement de 24'' entre les montants, etc.) [...]. Et il est plus facile de réduire l'énergie*

intrinsèque (embodied energy) d'une maison en la construisant plus petite qu'en la construisant avec des matériaux à faible énergie grise [traduction libre] » (p. 284).

Ce troisième chapitre a permis de présenter en détail quatre tendances conceptuelles importantes et émergentes dans l'industrie du bâtiment, soit l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale. Pour des fins de description et d'analyse, ces tendances conceptuelles ont été introduites séparément. Toutefois, dans une démarche conceptuelle, ces dernières peuvent être combinées et amalgamées de diverses façons pour répondre aux besoins du projet ou du client. Cette démarche poursuit les fondements du développement de l'argumentaire du projet de recherche doctoral. Le quatrième chapitre établit la problématique de recherche en mettant l'emphase sur la phase d'usage du bâtiment résidentiel.

4. Phase d'usage

Pour traiter de la phase d'usage de l'habitation, le premier aspect à aborder est l'occupant ou le ménage, un concept dynamique qui se caractérise par sa diversité. Le ménage se définit comme une « *[p]ersonne ou groupe de personnes (autres que des résidents étrangers) occupant un même logement et n'ayant pas de domicile habituel ailleurs au Canada [...]* » (Statistiques Canada, 2010, p. 169). Au niveau de ses recherches, la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) (2011) reconnaît cette diversité en divisant le ménage, ou les occupants, en trois catégories : le ménage unifamilial, le ménage multifamilial et le ménage non familial. Le ménage unifamilial comprend les familles composées d'un couple vivant avec leurs enfants, d'un couple sans enfants ou dont les enfants ont quitté le domicile, ainsi que les familles monoparentales (parents célibataires ou seuls); le ménage multifamilial qui intègre plus d'une famille sous un même toit; et le ménage non familial qui regroupe les personnes seules et les colocations de deux personnes ou plus n'ayant aucun lien familial (SCHL, 2011). Une diversification des typologies familiales qui regroupent maintenant, outre les familles nucléaires (modèle traditionnel composé d'un couple et leur(s) enfant(s)), les familles étendues, les familles intergénérationnelles et les familles reconstituées, amène des contraintes supplémentaires en termes d'espace, mais également au niveau de la planification et de l'organisation du milieu de vie (Kintrea, 2007; Ortiz et al., 2009; Sabbah, 2009).

Cette pluralité des types d'occupants regroupe des clientèles avec des besoins et des attentes distinctes face au bâtiment résidentiel. Dans un contexte de vieillissement de la population, cette problématique contemporaine inclut les personnes âgées et la génération des baby-boomers. Premièrement, avec une espérance de vie qui se prolonge, les

personnes âgées, regroupées sous le libellé de « retraités », comprennent une très grande variation d'individus âgés entre soixante ans et plus (Cohen, 2009b). Les personnes de ce groupe se distinguent grandement entre eux, entre autres par leur niveau d'activité, leur revenu, leur santé, leur mobilité et leur degré d'autonomie. Cette population rejoint la problématique du bâtiment résidentiel puisque plusieurs études démontrent qu'une majorité d'entre eux manifeste le désir de vieillir dans leur habitation (APCHQ, 2010; Beer et al., 2011; Cohen, 2009b), dans leur communauté, tout en conservant un maximum d'indépendance (Davey, 2006). Enfin, la génération des baby-boomers, comprenant les personnes nées entre 1947 et 1966 et représentant près du tiers de la population du Québec en 2004, est graduellement intégrée au groupe des personnes âgées puisqu'elle a commencé à atteindre l'âge de retraite depuis 2012 (APCHQ, 2004). Une majorité de ce segment de la population envisage de demeurer dans leur résidence actuelle le plus longtemps possible, ou tant que leur santé leur permettra (APCHQ, 2010).

Les types d'occupants représentent une grande diversité qui engendre, par extension, une multiplicité de besoins et d'attentes en termes d'habitation. De plus, le ménage est un concept dynamique qui se module dans le temps. En effet, plusieurs situations interviennent de façon planifiée ou non au cours du cycle de vie du ménage, lesquelles ont un impact sur sa composition et, par extension sur les besoins et les usages en habitation. Ainsi, des événements comme la naissance ou le décès, le mariage ou le divorce, l'union ou la séparation, le départ ou le retour des enfants à la maison familiale, la reconstitution de familles, le célibat temporaire ou permanent, le vieillissement, la retraite, la perte de mobilité ou d'autonomie, la maladie ou les déficiences, la variation des revenus et le travail autonome peuvent tous avoir des répercussions sur l'espace habitable. Par exemple, le divorce et la séparation, qui changent la composition et la taille des ménages, ont des répercussions sur les revenus et les capacités de paiement, modifiant ainsi les besoins d'espace; en somme ces situations ont un effet perturbateur sur le logement (van Ham, 2012).

Enfin, certaines activités ou circonstances temporaires sont également susceptibles d'avoir un impact sur l'habitation en nécessitant des aménagements particuliers en termes d'espace et de mobilier. Le travail à domicile, ou le télétravail, sujet abordé ultérieurement, peuvent nécessiter un aménagement minimal pouvant se greffer aux différentes installations d'une majorité de pièces (salon, salle à manger, cuisine et chambre) ou l'aménagement d'une pièce strictement dédiée au travail dans laquelle du mobilier, du rangement, des équipements électroniques, ainsi que des infrastructures de télécommunication sont prévus à cet effet.

Recevoir la famille et/ou les amis est un autre exemple d'activité ponctuelle qui impacte l'espace résidentiel par l'aménagement d'espaces ou de pièces pouvant les accueillir et assurer leur confort (chambre et salle de bains). Une réflexion sur l'optimisation de l'espace suscite des questionnements sur la pertinence et l'utilisation de certaines pièces de l'habitation : la grande salle à manger formelle qui monopolise une pièce, mais qui n'est généralement pas utilisée sur une base quotidienne ; la chambre d'invités qui occupe un espace permanent, d'autant plus grand si une salle de bains y est attenante, mais qui peut n'être utilisée que trop rarement ; la chambre à coucher qui est utilisée sur une base journalière, mais dont la fonction ne couvre habituellement que 7 à 8 heures par jour.

Ce chapitre a pour but de mettre en évidence que la conception synchronique est problématique puisqu'elle ne considère ni la diversité ni l'évolution des usages. Pour valider la pertinence de cette prise en compte, une revue de littérature est menée pour démontrer concrètement les tendances et l'évolution de l'usage dans l'habitation, et ce, au niveau de pièces telles que la cuisine, la salle de bains, les pièces de vies, mais aussi au niveau de concepts tels que la capacité de rangement et la superficie habitable. Ensuite, cette section s'intéresse à dresser le profil de la rénovation en traitant de l'ampleur du phénomène, des motivations menant à la rénovation et des types d'interventions menées à travers ce processus. Enfin, ce chapitre se conclut en s'attardant sur les impacts associés à la phase d'usage, incluant la rénovation, se déclinant en termes d'énergie, d'eau, de matériaux et ressources, de déchets, ainsi que sur les répercussions au niveau de l'environnement intérieur et de l'aspect économique.

4.1 Évolution des usages

Le parcours résidentiel (l'enchaînement ou la somme des milieux de vie) de chaque ménage est variable et conditionné par plusieurs facteurs. Pour expliquer ce phénomène, Beer et al. (2011) proposent le concept de « transitions résidentielles » (*housing transitions*) pour illustrer « *la relation complexe et fluide entre les individus des économies développées et leur habitation au 21^e siècle [traduction libre]* » (p. 33). Cette représentation réitère la dimension évolutive des besoins des occupants modulés par des facteurs sociaux, économiques et culturels, tout en reconnaissant l'imprévisibilité du processus qui découle de la dimension plus subjective des désirs et des choix (Beer et al., 2011; van Ham, 2012). La représentation de Beer et al. (2011) regroupe cinq catégories de critères qui influencent l'habitation :

1. **La santé** : l'invalidité, les déficiences, les maladies et les besoins en frais de soins et de support;
2. **L'historique résidentiel** : les expériences passées (locataire et/ou propriétaire);
3. **Les ressources financières** : les éléments tels que l'emploi, le chômage, la retraite et l'éducation ;
4. **Les aspirations** : le sentiment d'identité et de communauté, les préférences de localisation, les objectifs de vie et l'histoire individuelle ;
5. **L'aspect démographique** : les événements qui ont un impact sur la composition du ménage tels que les naissances, les mariages et unions, les divorces et ruptures et les décès.

Cette catégorisation illustre le nombre important de facteurs susceptibles d'influencer le parcours résidentiel des occupants. Le concept de transitions résidentielles reconnaît la participation active des individus dans l'expérience globale de l'habitation, par leurs choix et leurs décisions influencés aussi bien par des critères plus arbitraires et subjectifs, tels que le sentiment d'appartenance, que par des facteurs objectifs et quantifiables, tels que le revenu (Beer et al., 2011). Toutefois, cette équation devrait intégrer une dimension supplémentaire : l'habitation en tant qu'entité. Plus précisément, la capacité de l'habitation à accommoder l'évolution des usages, en permettant une intervention auprès du bâtiment et/ou des systèmes, de façon à mieux satisfaire les besoins du ménage dans le temps. Ce critère est d'une grande importance puisque la nature statique de l'habitation, si elle contraint le ménage au niveau de l'usage, peut influencer le parcours résidentiel en menant à la rénovation ou au déménagement, par exemple.

Dans l'habitation, l'usage est associé au concept de la « pratique (résidentielle) » qui représente « *la construction de la routine domestique quotidienne qui façonne, mais qui est aussi façonnée par les relations entre l'environnement matériel, les occupants, ainsi que les systèmes plus larges dans lesquels elles s'inscrivent [...] une pratique est un comportement routinier impliquant les éléments connexes des activités physiques et mentales, des objets/matériaux, ainsi que des habilités et des compétences [traduction libre]* » (Maller et al., 2012, p. 258). La diversité des usages en habitation signifie que les occupants tendent à utiliser des espaces similaires, tels que la cuisine ou la salle de bains avec les technologies qu'elles comportent, d'une manière différente (Hand et Shove, 2007). Par conséquent, les pratiques

culinaires, récréatives et d'hygiène des occupants, par exemple, déterminent la façon dont ceux-ci perçoivent, conçoivent et vivent l'habitation, et ce, tant du point de vue de l'aménagement et de l'organisation de l'espace, que des besoins en termes d'équipements et de technologies. L'évolution des usages signifie que les besoins et les attentes des usagers, les contraintes et les opportunités spatiales, les pressions et les tolérances temporelles, contribuent à la mise en forme et à la transformation de l'habitation. L'évolution semble être une caractéristique inhérente de la pratique, ou de l'usage, qui trouve un ancrage dans les configurations du passé des savoir-faire, des traditions, des apprentissages et des habitudes, mais qui est également influencée par les attentes et aspirations du futur (Shove et Hand, 2003). En termes d'habitation, l'usage est donc un processus d'équilibre dynamique entre le ménage, l'espace et le temps, qui est sans cesse mis à l'épreuve. Vu la nature statique du bâtiment, l'évolution des usages est susceptible d'impacter le ménage en engendrant des insatisfactions spatiales. Ces insatisfactions naissent d'un déséquilibre ou d'une discordance entre l'évolution des usages et la capacité du bâtiment résidentiel à les accommoder. Selon le degré de tolérance des occupants, ces pressions spatiales et temporelles ont le potentiel de mener à des rénovations, telles que la réorganisation de l'espace intérieur, la mise à jour de l'équipement, l'agrandissement de la superficie habitable ou, ultimement, au déménagement (Hand et Shove, 2007).

Dans les prochains paragraphes, la diversité et l'évolution des usages seront plus explicitement illustrées en parcourant différentes pièces de l'habitation, telles que la cuisine, la salle de bains, les pièces de vie, ainsi que des aspects plus spécifiques comme la capacité de rangement et la superficie habitable.

4.1.1 Cuisine

Au cours du dernier siècle, la cuisine a subi des changements importants. En marge de la préparation et de la conservation alimentaire, cette pièce doit désormais incorporer des activités supplémentaires reliées à la prise des repas, à la socialisation, au divertissement, au travail et au recyclage. De par ces additions, la cuisine devient un milieu polyvalent et une pièce centrale importante de la maison (Ahn et al., 2008). Précédemment, la salle à manger était exclusivement réservée à la prise des repas, une activité qui a maintenant percolé du côté de la cuisine où l'intégration d'une table est maintenant courante. Cet aménagement permet un regroupement de personnes et une socialisation au moment de la préparation des repas, se poursuivant tout naturellement lors de la consommation des aliments (Hand et Shove, 2007). Selon un rapport de la *National Association of Home Builders* (NAHB), la table et

le comptoir-lunch sont très susceptibles d'être inclus dans la nouvelle maison unifamiliale moyenne en 2015, tandis qu'il est assez probable que l'îlot central y soit inclus (Quint, 2010). Ainsi, le réaménagement de la cuisine s'oriente vers l'ouverture sur un espace contigu intégrant une table avec chaises, et/ou un comptoir-lunch avec tabourets, pour répondre aux activités de restauration et de socialisation (Maller et al., 2012). De plus, ces nouveaux aménagements permettent la tenue d'activités reliées au divertissement et au travail. Enfin, la cuisine est devenue le centre de la gestion des matières résiduelles de l'habitation en intégrant des dispositifs de tri des déchets, de recyclage et de récupération des matières organiques.

4.1.2 Salle de bains

À l'instar de la cuisine, la salle de bains tend à devenir multifonctionnelle. En plus de l'hygiène, cette pièce intègre des fonctions liées à l'entretien des vêtements (lave-linge, sèche-linge, planche et fer à repasser), au divertissement (téléviseur et appareils audio), au bien-être (relaxation et soins du corps), et même, dans certains cas, à la mise en forme (Quitau et Røpke, 2009). Cette évolution des usages a une incidence sur les appareils de plomberie. Même si la baignoire, dans toutes ses déclinaisons (bain sur pied, bain tombeau, bain à remous et spa), demeure le symbole de la détente (Quitau et Røpke, 2008), la douche tend tout de même à concurrencer cette icône en intégrant des jets de corps et une variation de têtes de douche. De plus, selon la NAHB, « *une toilette séparée ainsi qu'une cabine de douche et une baignoire sont assez probables de se retrouver dans la suite des maîtres, de même que [...] de multiples têtes de douche [...] [traduction libre]* » (Quint, 2010, p. 28). Même le caractère privé de la salle de bains connaît une évolution par l'inclusion d'installations ou d'équipements, tels que le bain pour deux personnes, la vanité à deux lavabos, la douche surdimensionnée, lesquels ont un impact sur l'aménagement de l'espace (Quitau et Røpke, 2008).

En plus de la multifonctionnalité, la salle de bains est également confrontée au phénomène de multiplication de ses entités au sein d'une même habitation (Hand et Shove, 2007; Quitau et Røpke, 2008). Une salle de bains secondaire, une salle de douche (douche, toilette et lavabo), ou à tout le moins une salle d'eau (toilette et lavabo) sont maintenant un prérequis minimal au niveau de la plupart des nouveaux logements. Cette tendance est intégrée lors des rénovations résidentielles où l'espace est redivisé ou agrandi pour en permettre l'installation (Hand et Shove, 2007). Plusieurs arguments peuvent être avancés pour expliquer cette évolution. Premièrement, le mode de vie imposé par les horaires

professionnels amène des périodes de pointe matinales au niveau des salles de bains (Hand et Shove, 2007; Quitzau et Røpke, 2008). Deuxièmement, pour améliorer l'intimité et le confort, la chambre d'invités tend à inclure une salle de bain attenante, permettant ainsi de séparer complètement les espaces à usage privé de ceux à usage public (Hand et Shove, 2007; Quitzau et Røpke, 2008). Troisièmement, une propension à l'individualisme peut également expliquer la multiplication de ces espaces où chaque membre du ménage veut sa salle de bains privée pour prévenir le partage, l'attente ou le conflit (Cohen, 2009a; Maller et al., 2012; Quitzau et Røpke, 2008). Enfin, des incitatifs économiques, conditionnés par les raisons précédemment énoncées et les attentes du marché de l'habitation (où une seule salle de bains peut être considérée insuffisante), peuvent également mener à l'intégration de nouvelles salles de bains (Hand et Shove, 2007). Par contre, la multiplication des salles de bains demeure paradoxale en considérant la proportion de temps où se présentent les besoins de pointe, et ce, tant au niveau de la routine matinale qu'au niveau de l'accommodation des invités ; ces événements ou ces occasions sont variables dans le temps et changent au cours du cycle de vie des occupants (Hand et Shove, 2007).

4.1.3 Pièces de vie

Cette catégorie regroupe différentes pièces telles que les salons (ou salles de séjour), les salles à manger (ou salles à dîner), les bureaux à la maison, les pièces de divertissement (salles familiales, salles de jeux, cinéma-maison, etc.), ainsi que les chambres. La crise immobilière qui a sévi aux États-Unis en 2008 amène une remise en question de la vocation et de la taille de certaines pièces de vie (Quint, 2010; U.S. Census Bureau, 2012). Le salon est peut-être la pièce dont le destin est le plus incertain puisqu'une étude de la NAHB rapporte que 52% des intervenants américains de la construction sondés (entrepreneurs, architectes, designers, manufacturiers, promoteurs et ingénieurs) croient que cette pièce sera fusionnée à d'autres pièces de l'habitation, tandis que 30% des répondants prédisent que le salon pourrait disparaître complètement (Quint, 2010). Toujours selon la NAHB, la « grande pièce » (*the great room*), qui réunit la cuisine, le salon et la salle familiale, est « *la pièce la plus susceptible d'être incluse dans la nouvelle maison unifamiliale en 2015 [traduction libre]* » (Quint, 2010, p. 18). Enfin, plus de la moitié des intervenants interrogés pensent que la salle familiale est la seule pièce de vie dont la superficie pourrait augmenter (Quint, 2010).

Le développement des technologies, au niveau des téléviseurs, des ordinateurs portables et des téléphones intelligents, a grandement participé à l'évolution des usages des pièces de vie en participant à la dissolution des frontières entre le travail et le divertissement.

Les technologies sans fil, la miniaturisation et l'abordabilité des appareils électroniques ont contribué à permettre à n'importe quelle pièce de la maison d'être utilisée à des fins récréatives ou professionnelles. Cette dernière activité – le travail à domicile ou le télétravail – signifie que le salon, la salle à manger, et même la chambre, sont susceptibles d'intégrer des fonctions supplémentaires. Le bureau à la maison se greffe donc à une pièce existante, à moins de pouvoir lui aménager un espace distinct. Selon la NAHB, il est assez probable que le bureau à domicile soit intégré dans la nouvelle maison en 2015 (Quint, 2010). De plus, cette multiplication des possibilités de divertissement encourage une révision de l'approche spatiale et fonctionnelle de l'habitation où le divertissement est tantôt commun (grande pièce, salon, salle familiale et cinéma-maison), tantôt privé (chambre à coucher ou bureau à la maison) (Cohen, 2009a). Dans cette optique, la NAHB souligne que les « *pièces deviendront polyvalentes, répondant simultanément à plusieurs fonctions c.-à-d. chambre d'amis/pièce de divertissement/salle d'exercice [traduction libre]* » (Quint, 2010, p. 20). Enfin, dans cette optique, le téléviseur est maintenant présent dans plusieurs pièces de la maison : la chambre des maîtres (52%), la chambre d'invités (35%), la chambre des enfants (35%) et la salle à manger (16%) (Houzz, 2014a).

4.1.4 Capacité de rangement

De façon générale, l'accumulation de biens de consommation a mené à une augmentation de la demande au niveau de la capacité de rangement des bâtiments résidentiels. Ce constat se valide au niveau de plusieurs pièces de la maison. Tel que mentionné précédemment, l'évolution des pratiques culinaires combinée à la multiplication des petits appareils électroménagers nécessite la prévision d'une plus grande quantité d'espaces de rangement au niveau de la cuisine (Hand et Shove, 2007). Cette pièce intègre une multitude d'articles et d'électroménagers spécialisés : lave-vaisselle, micro-onde, friteuse, mijoteuse, cafetière/cafetière expresso, robot culinaire, mélangeur, bouilloire et grille-pain. Malgré que certains de ces appareils fassent maintenant partie intégrante de plusieurs cuisines, « *la gamme d'appareils ménagers que les gens considèrent comme normaux et nécessaires a augmenté au cours des trente dernières années ou presque [traduction libre]* » (Hand et Shove, 2007, p. 673). Si on additionne les petits électroménagers, les articles de cuisine utilisés pour la préparation et le service des aliments, ainsi que ceux nécessaires pour le nettoyage, il est possible de retrouver un total d'environ 655 articles dans une cuisine de petite taille, 820 articles dans une cuisine de dimension moyenne et 1019 articles dans une grande cuisine (Ahn et al., 2008).

Cette problématique est également présente au niveau de la salle de bains où la multiplication des produits et accessoires nécessite plus d'espaces de rangement, une réalité qui prend encore plus d'importance avec l'accroissement du nombre de salles de bains par habitation. L'augmentation de la capacité de rangement s'étend également à la sphère des vêtements où la capacité des placards des chambres ne semble jamais suffisante, faisant du « walk-in » (*walk-in closet*) la solution idéalisée. Cette réalité est confirmée par le sondage de la NAHB qui indique qu'il est très probable que le « walk-in » soit intégré à la résidence unifamiliale moyenne en 2015 (Quint, 2010). Cette préoccupation touche presque toutes les pièces de la maison dont l'excès d'articles et d'appareils encombre les garages, les sous-sols et les pièces de rangement.

4.1.5 Superficie habitable

En 2007 aux États-Unis, la superficie habitable moyenne d'une maison américaine atteint son apogée avec 2 521 pi², une augmentation de près de 900 pi² par rapport à 1975 (1 645 pi²) (U.S. Census Bureau, 2012). Depuis ce sommet, la superficie moyenne des résidences unifamiliales connaît une période de décroissance pour atteindre 2 480 pi² en 2011 (dernière année de recension de l'étude) (U.S. Census Bureau, 2012). Cette réduction de la superficie habitable semble résulter de la crise immobilière américaine de 2008, mais aussi des problèmes économiques et des récessions des dernières années (Légaré, 2010; Palmeri, 2010). La tendance semble être toujours à la baisse selon la prospective de la NAHB qui prévoit une superficie résidentielle moyenne de 2 152 pieds carrés en 2015 (Quint, 2010). Au niveau du Canada, les données disponibles démontrent une progression moins marquée de la superficie moyenne, atteignant un sommet de 1 610 pi² pour la période de 2000-2007 (dernière période de recension de l'étude), soit une augmentation de près de 345 pi² par rapport à la période de 1970-1979 (1 267 pi²) (Ressources naturelles Canada, 2010). Vu la non-disponibilité des données statistiques, il est impossible de savoir si l'industrie de l'habitation canadienne a connu la même tendance de régression de la superficie habitable que les États-Unis. Néanmoins, certains considèrent qu'au rétablissement de la situation économique, la superficie habitable reprendra sa progression, une prédiction qui se valide à travers l'histoire (Palmeri, 2010).

En plus de suivre la situation économique générale, l'augmentation de la superficie habitable a été stimulée aussi bien par les mécanismes financiers mis en place pour pouvoir accéder à une résidence plus grande (déduction fiscale des intérêts appliqués aux prêts hypothécaires, bas taux d'intérêt et mise de fonds minimale) que pour accueillir un nombre

croissant de possessions matérielles (meublier, électroménagers, multiples écrans plats, équipements sportifs et saisonniers, jouets et vêtements) (Gauer et Tighe, 2004). En effet, le manque d'espace semble être un facteur récurrent dans l'habitation qui doit toujours intégrer de nouvelles fonctions et/ou de nouveaux équipements, tels qu'une pièce dédiée au vestiaire, un bureau à domicile, une salle de bains supplémentaire, une salle de lavage indépendante et de nouveaux électroménagers (Hand et Shove, 2007; Kintrea, 2007). Cette progression spatiale est aussi supportée par une pratique couramment employée par les constructeurs et les agents immobiliers : l'expression des coûts de construction ou de vente en pieds carrés avantage les maisons de grande taille (Kaufmann et Remick, 2009). Il existe également un lien évident entre la progression de la superficie habitable et le niveau d'impacts environnementaux. Les grandes résidences produisent une pression énorme sur l'environnement en utilisant beaucoup d'énergie, en consommant énormément de ressources, en occupant une grande étendue de terrain, et en générant beaucoup de déchets, et ce, tout au long de leur cycle de vie. Selon l'Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ), « *si une diminution annuelle de 1% à 2% de la taille moyenne des maisons nouvellement construites peut être atteinte, une amélioration de 5% à 10% peut être réalisée dans toutes les catégories d'impacts (...) [traduction libre]* » (Palmeri, 2010, p. 137). À la lumière de ce constat, la superficie habitable est un facteur important qui devrait être considéré au niveau des outils ou systèmes de certification (Palmeri, 2010).

En somme, les derniers paragraphes ont permis de démontrer que le ménage est un concept dynamique qui évolue dans le temps. Cet aspect évolutif est également associé aux usages de l'habitation, et ce, tant au niveau de la cuisine, de la salle de bains, des pièces de vie, qu'au niveau de concepts tels que la capacité de rangement et la superficie habitable. Ainsi, l'usage est un processus dynamique reposant sur un trinôme composé du ménage (occupant), de l'espace (habitation) et du temps. Dans un contexte où les pratiques actuelles de conception et de construction engendrent des bâtiments statiques, la prochaine section s'attarde au phénomène de la rénovation résidentielle.

4.2 Profil de la rénovation

Considérant sa longue durée de vie (variant entre 50 ans et 100 ans) et sa nature statique qui ne lui permet pas d'accommoder le changement, le bâtiment résidentiel risque de subir plusieurs cycles d'entretien, de réparation, et de rénovation. Par exemple, une cuisine est renouvelée à tous les sept ans en moyenne (Shove et Hand, 2003), tandis que la salle de bains est

renouvelée tous les dix ans (selon une étude d'Archicentre dans Maller et al., 2012). Suite à une discordance entre le ménage et l'habitation, le processus de rénovation est mis en œuvre pour pallier à un phénomène d'insatisfaction. Pour bien cerner la rénovation résidentielle, cette partie traite de l'ampleur du phénomène, des motivations qui mènent à entreprendre ces travaux, des interventions mises en œuvre, et finalement, des conséquences d'une telle pratique.

4.2.1 Ampleur du phénomène

Tel que mentionné au chapitre 2 (p. 5), l'activité économique associée à l'industrie de la construction résidentielle au Québec représentait un marché de 26 milliards de dollars en 2013 ; de ce montant, 45% sont associés à la rénovation, 14% aux tâches de réparation et d'entretien, tandis que 32% à la construction neuve (APCHQ, 2014). Surpassant la construction neuve depuis 2000 (à l'exception de 2004 où la construction neuve a surpassé la rénovation), la rénovation au Québec regroupait un total de 105 000 emplois à temps plein et des investissements de 11,6 milliards de dollars en 2013 (APCHQ, 2013, 2014). Tout indique que cette progression se poursuivra puisque « *rien n'inversera cette tendance, alimentée par un parc résidentiel vieillissant et une clientèle qui souhaite rester le plus longtemps possible dans leur maison* » (APCHQ, 2012c, p. 7). 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 (APCHQ, 2014; SCHL, 2003). Toutefois, malgré que la rénovation de pièces telles que la cuisine et la salle de bains sont plus susceptibles de se produire en période de croissance économique, d'augmentation des revenus et de montée de la valeur des propriétés, elle peut aussi être considérée comme un investissement (Quitau et Røpke, 2008). À cet effet, 29% des répondants ayant planifié la revente de leur habitation disent recourir à la rénovation pour en augmenter la valeur, tandis que, de façon paradoxale, dans 56% des cas, soit « *la majorité des propriétaires qui rénovent dans le but d'augmenter la valeur de revente de leur résidence ne planifient pas déménager dans un proche avenir [traduction libre]* » (Houzz and Edge Research, 2014, p. 8).

Une revue de littérature montre que dans les dix plus grands centres urbains du pays (Toronto, Montréal, Calgary, Ottawa, Edmonton, Winnipeg, Vancouver, Québec, Halifax et St. John's), 37% des occupants ont effectué des travaux de rénovation dans leur habitation au cours de l'année 2011 (SCHL, 2012). De plus, en 2012, 38% de ceux-ci avaient l'intention d'effectuer des rénovations, une proportion qui grimpe à 48% si la période d'intention était

prolongée jusqu'à la fin de l'année 2013 (SCHL, 2012). Selon Houzz and Edge Research (2014), 38% des occupants prévoient entreprendre des travaux de rénovation d'ici deux ans, tandis que 55% d'entre eux planifient la construction d'un agrandissement ou réaménagement de l'habitation dans les cinq prochaines années. Au niveau du Québec, 53% des occupants (1,8 million de ménages) ont réalisé des dépenses en lien avec des travaux de rénovation, de réparation ou d'entretien au cours de la période 2010-2012 (APCHQ, 2014). Enfin, malgré qu'une majorité de ménages canadiens rénove afin de pouvoir profiter de leur maison sur le long terme, 24% d'entre eux préféreraient tout de même déménager, mais la rénovation est une alternative qui a plus de sens dans la situation économique actuelle ; le prix des maisons est présentement trop élevé pour envisager de déménager (Houzz and Edge Research, 2014).

4.2.2 Motivations menant à la rénovation

L'habitation est le résultat d'une combinaison de caractéristiques « non malléables » qui ne peuvent être changées telles que la localisation, la topographie, ou des attributs d'ordre environnemental, comme la présence d'arbres matures, les vues et la proximité des parcs; par opposition, il est possible d'intervenir, par la rénovation, sur les caractéristiques « malléables » telles que la superficie habitable, le nombre de chambres, le nombre de salles de bains et les matériaux de finition (Culp, 2011). La décision d'entreprendre des activités de rénovation résidentielle, repose sur plusieurs variables telles que la taille du ménage (le nombre d'occupants multiplie les possibilités d'insatisfaction), le cycle de vie (évolution des besoins et des usages), la superficie de l'habitation, l'âge du bâtiment, la situation géographique, les revenus, la valeur de la propriété et la valeur de revente, ainsi que la durée de résidence du ménage dans le bâtiment (appartenance au lieu et à la communauté) (APCHQ, 2014; Baum et Hassan, 1999; Culp, 2011).

Lorsque le processus d'équilibre dynamique entre le ménage, l'espace et le temps est mis à l'épreuve, l'insatisfaction résidentielle peut être abordée de diverses façons : l'ajustement des désirs et des attentes du ménage à l'habitation existante (*stay but not improve*), la modification ou la rénovation du lieu de résidence (*stay and improve*), le déménagement dans un nouvel espace (*move but not improve*), ou différentes combinaisons de ces options (Baum et Hassan, 1999; Culp, 2011). Par exemple, il est possible de procéder à des rénovations tout en réajustant ses désirs pour respecter un budget, ou bien il est possible de déménager et rénover tout de même la nouvelle résidence pour qu'elle réponde mieux aux besoins des occupants. En effet, habituellement motivé par une discordance jugée trop importante entre l'habitation et les besoins et désirs des usagers, le déménagement implique

une adaptation et/ou un certain réajustement puisque les habitants doivent intégrer de « *nouvelles façons de vivre dans des logements construits autour d'images et d'idéaux différents et conçus avec d'autres technologies et appareils en tête [traduction libre]* » (Hand et Shove, 2007, p. 680).

Les motivations menant à la rénovation sont diverses. Au niveau de la cuisine, Shove & Hand (2003) présentent un modèle qui prend en compte un processus d'équilibre entre les concepts de possession et de performance, en déterminant trois scénarios :

1. **Possessions manquantes** : s'établit lorsque la configuration de l'espace empêche le ménage d'accomplir les tâches désirées ou de les faire de la façon souhaitée. Cette situation de compromis est majoritairement due à un manque d'espace ne permettant pas d'accommoder certains équipements ou appareils ;
2. **Équilibre entre les possessions et la performance** : se met en place lorsque les besoins et attentes des usagers sont comblés par les appareils, les équipements et la configuration de l'espace. Même si cette stabilité peut être précaire, elle peut être renforcée si l'espace permet d'accommoder une certaine évolution des usages ;
3. **Performance insuffisante** : se produit lorsque la configuration de l'espace, les équipements et les appareils sont adéquats pour la réalisation des tâches désirées, sans toutefois atteindre un niveau de performance satisfaisant par rapport aux idéaux ou aux attentes des occupants en termes de vie familiale ou domestique.

Cette classification des motivations amorce une certaine exploration, mais est toutefois peu exhaustive. Pour expliquer la notion de concordance/discordance entre l'occupant et l'habitation, et ainsi tenter de maximiser la compréhension des motivations à rénover, il est opportun d'envisager le concept d'obsolescence. De façon abrégée, le terme obsolescence, du latin « *obsolescere* » signifiant perdre de sa valeur, représente un état qui est périmé ou démodé (Douglas, 2006; Guilbert et al., 1986). En plus d'atteindre la valeur de l'objet, ce concept qui signifie « *atteindre un état de désuétude [traduction libre]* » (Cooper, 2010, p. 4), se réfère également à une perte au niveau de l'usage. L'auteur Keith Kintrea (2007), en définissant l'obsolescence comme « *la perte de valeur ou d'utilité d'un objet ou un produit dans le temps [traduction libre]* » (p. 322) ajoute une dimension temporelle importante qui englobe aussi bien l'âge que le processus de vieillissement (Thomsen et van der Flier, 2011).

De façon plus spécifique au bâtiment, l'obsolescence se « réfère au degré d'inutilité d'un bâtiment par rapport aux conditions prévalentes dans l'ensemble des bâtiments comparatifs du parc immobilier [traduction libre] » (Nutt et al., 1976, p. 5). En plus de cette dimension comparative, ce concept met en lumière une tension qui s'établit entre les éléments construits, qui sont généralement très statiques, et les usages qui sont en constante évolution; situation incontournable puisque ce sont les « rythmes d'évolution des pratiques sociales qui se heurte[nt] à plus ou moins long terme à l'inertie des formes matérielles » (Chesneau, 2005, p. 141). En ce sens, le comportement humain est maintenant considéré comme un facteur d'importance dans l'obsolescence du bâtiment (Thomsen et van der Flier, 2011); l'obsolescence est désormais envisagée comme une construction sociale (Kintrea, 2007) où l'utilisateur, par un jugement relatif et subjectif, détermine la pertinence en évaluant « la capacité et l'efficacité d'un bâtiment à répondre aux demandes de ses occupants [traduction libre] » (Nutt et al., 1976, p. 6). L'obsolescence est un état qui varie dans le temps et qui, dans l'absence d'actions pour la prévenir ou la contrer, précède la fin de vie du bâtiment qui peut se traduire par sa démolition (Thomsen et van der Flier, 2011). La rénovation résidentielle est un moyen qui permet de remettre un bâtiment à niveau et/ou de réaligner l'habitation aux pratiques des occupants.

Dans la perspective du bâtiment, l'obsolescence peut se décliner en trois catégories distinctes (Cooper, 2004, 2010; Douglas, 2006) :

1. **Obsolescence économique** : inclut les aspects financiers, la valeur par rapport au marché, la dépréciation, les coûts de réparation/rénovation/mise à jour en comparaison avec les coûts de déménagement, le rapport coût-performance et le rendement (Cooper, 2004; Douglas, 2006). Ce type d'obsolescence peut également inclure les coûts d'exploitation du bâtiment (efficacité énergétique, consommation d'énergie et d'eau) ;
2. **Obsolescence fonctionnelle** : concerne la capacité du bâtiment à répondre aux attentes et aux besoins des occupants. Si la performance de l'habitation est jugée insuffisante, un processus de rénovation peut être mis en œuvre pour améliorer l'aspect fonctionnel, plus spécifiquement la concordance entre l'évolution des usages et les occupants (Shove et Hand, 2003; van Nes et Cramer, 2006). L'obsolescence fonctionnelle se rapporte à plusieurs aspects du bâtiment :
 - a. La composante légale ou juridique : la conformité aux exigences réglementaires, à la sécurité, aux codes et aux politiques du bâtiment (Douglas, 2006) ;

- b. L'aspect physique et mécanique du bâtiment : la stabilité structurelle, l'étanchéité face aux intempéries, l'isolation et la performance globale (Douglas, 2006) ou la durabilité des matériaux face à l'usure, aux rayons UV, à l'humidité, aux écarts de température et aux facteurs biologiques (Aktas et Bilec, 2012) ;
 - c. L'aspect technologique : la qualité et l'efficacité des appareils et des systèmes, l'innovation technologique, les capacités d'information et de communication du bâtiment (Cooper, 2004). L'aspect technologique peut avoir des répercussions sur les caractéristiques fonctionnelles du bâtiment qui ont le potentiel d'être dépréciées suite aux avancées technologiques (Cooper, 2010) ;
 - d. La dimension environnementale : les nouveaux produits et appareils peuvent offrir un meilleur potentiel de réduction des impacts environnementaux et comporter des caractéristiques plus intéressantes du point de vue de l'efficacité énergétique, de la consommation d'énergie et d'eau, de la « recyclabilité » et de la toxicité des matériaux (Cooper, 2010).
3. **Obsolescence psychologique** : traite de la perte de valeur esthétique ou symbolique, mais également du niveau de satisfaction de l'utilisateur envers la réponse de l'habitation aux besoins identitaires et culturels (Cooper, 2004; Douglas, 2006). Ce type d'obsolescence s'implante suite à des changements au niveau de la concordance entre l'habitation et les besoins des usagers (statut familial ou professionnel), à l'évolution des considérations esthétiques (modes et des tendances architecturales) et/ou à la transformation des désirs liés au statut social (Cooper, 2004, 2010; Douglas, 2006). L'obsolescence psychologique peut nécessiter une amélioration de l'expression identitaire par la rénovation qui permet un réalignement entre l'espace de vie et les valeurs sociales et culturelles du ménage (Shove et Hand, 2003; van Nes et Cramer, 2006). L'obsolescence psychologique concerne également les nouveaux désirs ou l'attrait de la nouveauté. À cet effet, la transformation de l'espace ou le remplacement des appareils/équipements est mené dans le but de satisfaire de nouvelles envies, acquérir de nouvelles fonctions ou innovations, et/ou répondre à un besoin de nouveauté, et ce, malgré le fait que tout soit fonctionnel (Shove et Hand, 2003; van Nes et Cramer, 2006).

Cette classification par l'obsolescence permet une catégorisation des motivations menant à la rénovation. Dans une perspective statistique, une enquête de la SCHL montre qu'en 2011, les motivations pour entreprendre des travaux de rénovation sont multiples. Outre

les travaux de réparations (42%) et les travaux d'entretien (38%), 74% des ménages qui ont planifié avoir recours à la rénovation prévoyaient le faire dans le but de « *rajeunir leur logement, d'en augmenter la valeur ou de le vendre* », 29% désiraient « *rendre l'habitation plus écoénergétique* », tandis que 10% de ceux-ci avaient « *besoin de plus d'espace* » (SCHL, 2012, p. 3). Selon l'APCHQ (2014), la rénovation de l'habitation peut être mise en œuvre pour des raisons diverses : maintenir la valeur des actifs en préservant l'état et la qualité du bâtiment ; maximiser les profits en préparant l'habitation pour la revente (réparations et mises à jour esthétiques et/ou fonctionnelles) ; répondre à l'évolution des styles de vie ou préférences des occupants ; retrouver l'intégrité du bâtiment suite à un sinistre (vandalisme, feu et/ou inondation) ; adapter l'habitation pour une meilleure réponse aux besoins des occupants (vieillesse et changement de l'état de santé) ; intégrer des mises à jour technologiques et environnementales (isolation, efficacité énergétique). Enfin, un sondage en ligne effectué par Houzz and Edge Research (2014) auprès de presque 21 000 usagers canadiens, permet de préciser les motivations émises pour entreprendre des travaux de rénovation en fournissant un portrait assez détaillé : améliorer l'apparence et la sensation de l'espace (79%), pour que l'habitation réponde mieux aux besoins des occupants (65%), augmenter la valeur de la propriété (60%), rendre l'espace plus fonctionnel (59%), mettre à niveau les fonctionnalités/appareils (45%), améliorer l'organisation/rangement (40%), améliorer l'efficacité énergétique (33%), changer la fonction d'une pièce (19%), adapter en fonction du mode de vie (14%) et incorporer des matériaux recyclés/réutilisés (8%).

4.2.3 Interventions en rénovation

Suite à la présentation des motivations menant à la rénovation de l'habitation, il est maintenant justifié de s'attarder aux diverses interventions menées à travers ce processus. La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) divise les travaux de rénovation en deux catégories d'interventions, soit les modifications et les améliorations, ainsi que les tâches de réparation et d'entretien. Au cours de l'année 2011, 75% des ménages ont procédé à des modifications ou des améliorations dans leur habitation, 46% ont effectué des réparations ou des tâches d'entretien et 21% ont réalisé une combinaison des deux catégories de travaux (SCHL, 2012). Plus précisément, plusieurs interventions effectuées par les occupants concernent l'aménagement intérieur de l'habitation : le réaménagement d'une pièce (95% des cas), la peinture ou la pose de papier peint (54%), les interventions au niveau des murs et plafonds (35%), les revêtements de sol (36%), les composantes et les appareils de plomberie (38%), ainsi que les composantes et les appareils électriques (25%) (SCHL, 2012).

Pour effectuer les travaux de rénovation, les occupants peuvent choisir entre plusieurs options, une décision faite en fonction de leurs délais, de leur budget et de leurs compétences. Parmi les ménages ayant rénové leur logement en 2011, 35% d'entre eux ont opté pour les services d'un entrepreneur en construction (SCHL, 2012), tandis que 50% d'entre eux ont choisi cette option en 2014 (Houzz and Edge Research, 2014). Dans le cas où les travaux sont réalisés dans ce format, il est possible d'estimer la proportion des coûts de main-d'œuvre à 55% et celle des matériaux à 45% (APCHQ, 2004). Ensuite, les propriétaires peuvent choisir d'effectuer les travaux eux-mêmes, avec ou sans l'aide du réseau social et/ou familial, une option privilégiée par 29% des ménages en 2011; pour compléter cette proportion, environ 35% de ceux-ci ont privilégié une solution hybride qui divise les travaux entre le propriétaire et les professionnels de la construction (SCHL, 2012).

4.2.3.1 Cuisine

Le sondage en ligne de Houzz (2014b), effectué auprès de plus de 3 500 propriétaires résidentiels américains ayant effectué ou planifiant entreprendre des travaux de rénovation de cuisine, apporte des informations sur l'intensité du processus : 68% des répondants accomplissent une rénovation majeure, 5% des projets engendrent une addition, 18% d'entre eux exécutent une mise à jour esthétique (*facelift*), tandis que 9% des personnes sondées procèdent à l'installation d'une cuisine dans une habitation nouvellement construite. À cet effet, au cours des cinq dernières années, 77% d'entre eux ont apporté des changements au niveau des revêtements de sol de cette pièce (Houzz and Edge Research, 2014). De plus, la rénovation entraîne l'intégration de nouvelles fonctionnalités pour accommoder l'évolution des usages : l'ouverture sur d'autres pièces (52%), un îlot (50%), un mobilier intégré pour le garde-manger (44%), un comptoir-lunch avec tabourets (27%), un espace déjeuner (18%) et un garde-manger « walk-in » (17%) (Houzz, 2014b). D'un point de vue prospectif, 20% des ménages ont l'intention de procéder à la rénovation ou à l'ajout d'une cuisine dans les deux prochaines années; 90% d'entre eux prévoient l'installation de nouveaux comptoirs, 85% des ménages y planifient des travaux électriques et 83% des projets prévoient le remplacement des appareils électroménagers (Houzz and Edge Research, 2014).

Les rénovations de la cuisine « *ne sont pas seulement réalisées pour créer de l'espace aux biens de consommation, mais aussi pour accommoder des visions et des images particulières de la vie domestique [traduction libre]* » (Hand et Shove, 2007, p. 675). Les motivations recueillies pour expliquer la rénovation de cuisine sont variées : 37% des ménages interrogés désiraient le faire depuis longtemps, mais en ont maintenant les moyens,

29% d'entre eux disent ne plus être en mesure de se satisfaire de leur cuisine actuelle, 28% des répondants disent avoir acheté une habitation récemment et de vouloir la faire sienne, 25% le font parce que la cuisine actuelle est endommagée, 9% ont récemment été inspirés à faire des changements, 8% désirent l'adapter à de récents changements dans la famille ou le style de vie et 6% le font pour augmenter la valeur de revente (Houzz, 2014b). Enfin, selon Shove & Hand (2003), « *[s]i nous voulons comprendre pourquoi les cuisines sont en moyenne renouvelées tous les sept ans environ, nous avons besoin de comprendre les dynamiques qui se cachent derrière les modèles de consommation contemporains [traduction libre]* » (p. 14). Dans son étude sur les tendances en rénovation de cuisine, Houzz (2014b) fournit des informations supplémentaires quant à la récurrence de la rénovation de cette pièce en dévoilant que dans 34% des cas de rénovation, la dernière intervention a été effectuée dans les 15 dernières années (19% entre 11 et 15 ans, 11% entre 5 et 10 ans et 4% à une période inférieure à 5 ans), dans 41% des situations, l'intervention avait eu lieu entre 16 et 30 ans auparavant et pour 25% des projets, la dernière rénovation remontait à plus de 30 ans.

4.2.3.2 Salle de bains

Les motivations recueillies pour expliquer la rénovation des salles de bains sont variées : 39% des ménages interrogés désiraient le faire depuis longtemps, mais en ont maintenant les moyens, 34% d'entre eux le font parce que la salle de bains actuelle est endommagée, 31% des répondants disent avoir acheté une habitation récemment et vouloir la faire sienne, 12% ont récemment été inspirés à faire des changements, 10% désirent l'adapter à de récents changements dans la famille ou le style de vie, 9% planifient vendre leur habitation et désirent augmenter la valeur de revente et 8% disent que l'ancienne salle de bains n'est plus sécuritaire et/ou est insalubre (Houzz, 2015). De plus, au cours des cinq dernières années, 86% d'entre eux ont apporté des changements au niveau des revêtements de sol de cette pièce (Houzz and Edge Research, 2014). En raison de la multifonctionnalité et de la multiplication des entités, les salles de bains tendent à inclure plus d'articles, d'équipement et d'appareils de plomberie. Par conséquent, la superficie des salles de bains a tendance à augmenter durant la rénovation (Maller et al., 2012; Quitzau et Røpke, 2009), une action qui se produit environ tous les dix ans (selon une étude d'Archicentre dans Maller et al., 2012). D'un point de vue prospectif, 22% des ménages ont l'intention de procéder à la rénovation ou à l'ajout d'une salle de bains au cours des deux prochaines années (Houzz and Edge Research, 2014). Quitzau et Røpke (2009) notent que les usagers ont tendance à mettre en œuvre un processus de rénovation de la salle de bains pour « *personnaliser et adapter cette pièce en*

fonction d'un changement de phases de vie ou lorsque de nouvelles tendances émergent [traduction libre]» (p. 239).

Au niveau de la salle de toilette, l'étude sur les tendances en rénovation de salles de bains de Houzz (2014b) apporte des informations au niveau de la récurrence de la rénovation de cette pièce en dévoilant que dans 54% des cas, la dernière intervention s'est effectuée dans les 15 dernières années (29% entre 11 et 15 ans, 17% entre 5 et 10 ans et 8% à une période inférieure à 5 ans), dans 29% des situations, l'intervention avait eu lieu entre 16 et 30 ans auparavant et pour 17% des projets, la dernière rénovation remontait à plus de 30 ans.

Au niveau de la salle de bains secondaire ou d'invités, l'étude sur les tendances en rénovation de salles de bains de Houzz (2014b) fournit des informations au niveau de la récurrence de la rénovation de cette pièce en dévoilant que dans 32% des cas, la dernière intervention s'est effectuée dans les 15 dernières années (18% entre 11 et 15 ans, 10% entre 5 et 10 ans et 4% à une période inférieure à 5 ans), dans 39% des situations, l'intervention avait eu lieu entre 16 et 30 ans auparavant et pour 30% des projets, la dernière rénovation remontait à plus de 30 ans. De plus, la rénovation entraîne l'intégration de nouvelles fonctionnalités pour accommoder l'évolution des usages : inclusion de deux lavabos (18%), d'une tête de douche de type « pluie » (38%), d'un bain pour deux (14%), d'une baignoire avec jets thérapeutiques (14%), d'un plancher chauffant (14%), d'une douche pour deux (6%) et de jets de corps dans la douche (7%) (Houzz, 2015).

Au niveau de la salle de bains des maîtres, l'étude sur les tendances en rénovation de salles de bains de Houzz (2014b) apporte des informations au niveau de la récurrence de la rénovation de cette pièce en dévoilant que dans 35% des cas, la dernière intervention s'est effectuée dans les 15 dernières années (20% entre 11 et 15 ans, 12% entre 5 et 10 ans et 3% à une période inférieure à 5 ans), dans 46% des situations, l'intervention avait eu lieu entre 16 et 30 ans auparavant et pour 19% des projets, la dernière rénovation remontait à plus de 30 ans. De plus, la rénovation entraîne l'intégration de nouvelles fonctionnalités pour accommoder l'évolution des usages : inclusion de deux lavabos (65%), d'une tête de douche de type « pluie » (48%), d'un bain pour deux (36%), d'une baignoire avec jets thérapeutiques (35%), d'un plancher chauffant (26%), d'une douche pour deux (25%) et de jets de corps dans la douche (13%) (Houzz, 2015).

4.2.3.3 Pièces de vie

Le rapport d'étude de Houzz and Edge Research (2014) rapporte qu'au cours des cinq dernières années, 75% des ménages canadiens ont apporté des changements au niveau des revêtements de sol de la salle de télévision (*media room*), 73% d'entre-deux l'ont fait au niveau du salon et 72% des projets l'ont mené dans la salle à manger. De plus, 10% des ménages projettent l'ajout d'une chambre ou sa modification dans les deux prochaines années, une proportion identique en ce qui concerne le salon et la salle familiale (Houzz and Edge Research, 2014).

4.2.3.4 Capacité de rangement

Comme mentionné précédemment, l'évolution des usages et des habitudes de consommation au niveau de la cuisine, des salles de bains et des chambres nécessite une augmentation de la capacité de rangement pour la disposition d'une quantité grandissante d'articles, d'accessoires et de vêtements. De ce fait, 38% des ménages canadiens ont procédé à une augmentation de la superficie des garde-robes au cours des cinq dernières années (Houzz and Edge Research, 2014). D'un point de vue prospectif, 10% des ménages canadiens prévoient l'ajout ou la modification de garde-robes dans les intentions de rénovation des deux prochaines années (Houzz and Edge Research, 2014). Bien que cette situation soit abordée dans la littérature, très peu de recherches mettent l'accent sur les motivations à l'origine de l'augmentation de la capacité de rangement, ni sur l'intensité des interventions en ce domaine dans la rénovation des différentes pièces de l'habitation.

4.2.3.5 Superficie habitable

L'évolution des habitudes de consommation et des usages résidentiels engendrent également une progression de la superficie habitable afin, entre autres, d'accueillir l'accumulation d'articles, mais aussi un nombre grandissant d'appareils électroménagers, d'appareils sanitaires (par exemple, le nombre et les dimensions des éviers, des lavabos, des baignoires et des douches) et de mobiliers. Dans un premier temps, au cours des cinq dernières années, 29% des ménages canadiens ont procédé à une augmentation de la superficie de la cuisine (Houzz and Edge Research, 2014). De façon plus détaillée, le processus de rénovation de cuisine a mené à une superficie significativement plus grande dans 13% des cas, une superficie plus grande dans 24% des cas et une superficie semblable dans 61% des cas (Houzz, 2014b).

Dans un deuxième temps, toujours au cours des cinq dernières années, 27% des ménages canadiens ont accru la superficie de la salle de bains (34% au Québec) (Houzz and Edge Research, 2014). Au niveau de la salle de bains secondaire ou d'invités, ce sondage informe sur les variations au niveau de la superficie de la pièce en établissant que 82% des projets ont une superficie identique ou semblable et que 28% d'entre eux engendrent une augmentation : 8% avec une augmentation inférieure à 25%, 4% avec une augmentation se situant entre 25% et 50% et 4% avec une augmentation supérieure à 50% (Houzz, 2015). Cette enquête s'intéresse aussi au changement de superficie de la douche en révélant que 56% d'entre elles conservent une superficie identique ou semblable et que dans 40% des cas, la superficie de la douche augmente : 14% avec une augmentation inférieure à 25%, 12% avec une augmentation se situant entre 25% et 50% et 14% avec une augmentation supérieure à 50% (Houzz, 2015). Enfin, au niveau de la salle de bains des maîtres, ce sondage informe sur les variations au niveau de la superficie de la pièce en établissant que 71% des projets ont une superficie identique ou semblable et que 28% d'entre eux engendrent une augmentation : 9% avec une augmentation inférieure à 25%, 9% avec une augmentation se situant entre 25% et 50% et 10% avec une augmentation supérieure à 50% (Houzz, 2015). Cette enquête s'intéresse aussi au changement de superficie de la douche en révélant que 31% d'entre elles conservent une superficie identique ou semblable et que dans 66% des cas, la superficie de la douche augmente : 17% avec une augmentation inférieure à 25%, 19% avec une augmentation se situant entre 25% et 50% et 30% avec une augmentation supérieure à 50% (Houzz, 2015).

Cette section dresse le portrait de la rénovation en informant sur l'ampleur et l'importance de ce phénomène. De plus elle fait état des diverses motivations qui peuvent mener à la conduite de rénovations, en proposant une classification et en décrivant le concept d'obsolescence. Enfin, cet état des lieux permet également de répertorier les interventions conduites au niveau de la cuisine, de la salle de bains, des pièces de vie, mais aussi en termes de capacité de rangement et de superficie habitable. Ces statistiques sont très informatives, mais elles ne permettent pas d'établir un profil suffisamment précis des interventions en rénovation résidentielle. Pour informer la conception d'habitations, la rénovation résidentielle doit être mieux cernée, et ce, aussi bien au niveau de la typologie des interventions menées, qu'à leur niveau d'intensité. La prochaine section vise à démontrer l'importance de considérer la phase d'usage au niveau de la conception, en traitant des impacts qui lui sont associés.

4.3 Impacts reliés à la phase d'usage de l'habitation

Tel que démontré au chapitre 2 (p. 25), l'industrie de la construction, et plus particulièrement le bâtiment, regroupe plusieurs sources potentielles d'impacts environnementaux. Au niveau du bâtiment résidentiel, une revue de littérature montre que la phase d'usage, qui inclut les différents cycles de rénovation, est un aspect critique de la performance. En tenant compte du cycle de vie complet, la phase d'usage correspond à « *la période suivant la construction de l'habitation et précédant sa démolition ou sa déconstruction [traduction libre]* » (U.S. EPA, 2014, p. 5). Considérant que la durée de vie du bâtiment résidentiel varie entre 50 ans et 100 ans (Palmeri, 2009; Thomsen et van der Flier, 2011), la phase d'usage couvre presque la totalité de cette période. Par conséquent, la phase d'usage « *est nettement l'aspect le plus important du cycle de vie, contribuant à plus de 80% de l'impact total sur les changements climatiques. La production des matériaux (incluant les matériaux d'origine et de remplacement) contribue à une quantité importante de la balance, soit 12% au total, suivi par le transport avec 4%. La construction, l'entretien, et les phases de démolition contribuent seulement à une petite partie de l'impact sur les changements climatiques [...] [traduction libre]* » (Palmeri, 2009, p. 18).

La prochaine partie présente les impacts environnementaux du bâtiment résidentiel associés à la consommation d'énergie, à la consommation d'eau, à l'utilisation de matériaux et ressources, ainsi qu'à la génération de déchets. Les données colligées sont présentées en faisant la distinction entre les phases de pré-usage (extraction des matières premières, fabrication de matériaux, transport et construction initiale), d'usage et de post-usage (démolition, déconstruction et transport), ce qui permet de mettre en lumière le niveau d'impact associé à chacune d'elles (voir **Fig. 4**).

4.3.1 Énergie

La consommation d'énergie liée à la phase d'usage du bâtiment résidentiel représente la très grande majorité de ses impacts sur les changements climatiques, une proportion qui peut atteindre 92% (Ortiz et al., 2009; Sharma et al., 2011; UNEP, 2011). La balance des impacts est répartie entre les autres phases du cycle de vie : la phase de pré-usage représente 8% des répercussions, tandis que la phase de post-usage compte pour moins de 1% des effets (Palmeri, 2010; U.S. EPA, 2014). Tel que présenté en conclusion du chapitre 2 (p. 31), l'ampleur des impacts reliés à la consommation d'énergie est dépendante des sources de production (charbon, nucléaire, gaz naturel, produits pétroliers, hydroélectricité, etc.), puisque chacune d'elles a des répercussions distinctes en termes de changements climatiques. Le profil

énergétique des États-Unis ou même de l'État de l'Oregon est différent de celui du Canada ou du Québec. Toutefois, les résultats de ces études américaines demeurent pertinents pour comprendre l'importance des impacts associés à la consommation d'énergie dans la mesure où aucune étude connue du chercheur ne s'est attardée à établir le profil du Québec.

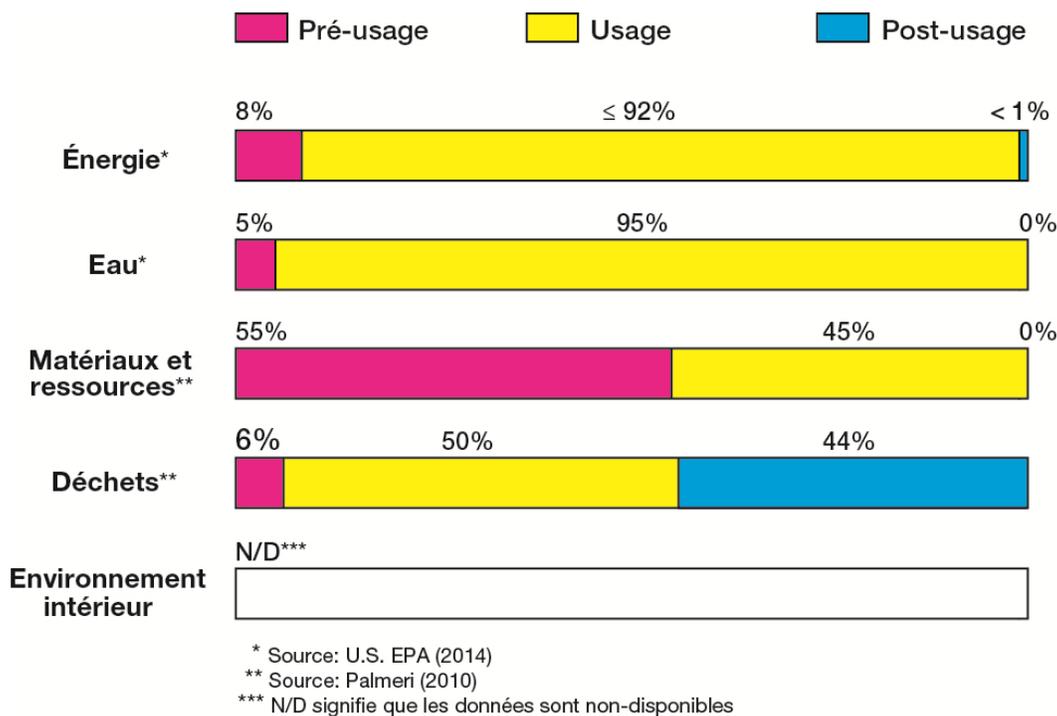


Figure 4. Sources potentielles d'impacts environnementaux associées aux bâtiments résidentiels (États-Unis)

De façon générale, la consommation d'énergie de la phase d'usage de l'habitation est distribuée entre le chauffage du bâtiment (60%), le chauffage de l'eau (18%), les appareils électroménagers servant à la préparation et à la conservation des aliments (6%), l'éclairage (3%) et les autres besoins (13%) (UNEP SBCI, 2007). L'intégration de nouvelles technologies et la multiplication des appareils électroniques au sein du bâtiment résidentiel, tels que les téléviseurs, les appareils périphériques (lecteurs DVD, lecteurs Blu-ray, décodeurs et enregistreurs numériques, etc.), les ordinateurs personnels contribuent à l'augmentation de la consommation d'énergie et à la progression du potentiel de génération de déchets électroniques (Quitau et Røpke, 2008). Cette prolifération d'appareils électroniques associés au divertissement s'explique par un phénomène d'individualisation suivant lequel chaque membre d'un ménage tend davantage vers la possession individuelle de ce type d'appareils plutôt qu'au partage (Cohen, 2009a; Quitau et Røpke, 2008). Ainsi, malgré l'amélioration de la

performance énergétique, l'augmentation du nombre d'appareils électroménagers pour la cuisson, la réfrigération, le lavage (lave-vaisselle, lave-linge et sèche-linge), les dispositifs pour l'entretien ménager, ainsi que les appareils dédiés au divertissement, mentionnés précédemment, contribuent à l'augmentation de la consommation d'énergie (UNEP, 2011). Ce regroupement représente désormais jusqu'à 27% de la consommation générale d'une résidence américaine (von Weizsäcker et al., 2009).

À priori, la rénovation pourrait être envisagée comme une opportunité d'amélioration de la performance environnementale des bâtiments (APCHQ, 2012a), mais la réalité est tout autre. Selon Quale (2012), seulement 15% du budget de rénovation résidentiel américain est associé à « *des améliorations éco énergétiques d'isolation, d'éclairage, de chauffage de l'eau, des systèmes mécaniques et des fenêtres [traduction libre]* » (p. 22).

4.3.2 Eau

Au niveau de la consommation d'eau potable, l' U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2014) évalue que sur le cycle de vie d'une habitation unifamiliale, environ 5% de l'eau est utilisée au niveau de la production des matériaux et pendant la phase de construction, tandis que 95% de celle-ci est consommée au cours de la phase d'usage du bâtiment. En 2009, la consommation d'eau résidentielle moyenne au Canada était évaluée à 274 litres par habitant par jour (Environnement Canada, 2011). Au niveau de l'habitation, la consommation d'eau potable se distribue entre les besoins extérieurs pour l'arrosage de l'aménagement paysager et du jardin, pouvant représenter de 50% à 75% de la consommation totale durant la saison estivale. La consommation d'eau intérieure, quant à elle, se décline de la façon suivante : 35% pour le bain et la douche, 30% pour la chasse d'eau des toilettes, 20% pour la lessive, 10% pour la cuisine (boire, cuisiner et laver la vaisselle) et 5% pour le nettoyage (Environnement Canada, 2006; UNEP SBCI, 2010).

Selon Quitzau & Røpke (2008), plusieurs changements d'usage menant à la rénovation de la salle de bains se transposent en sources potentielles d'impacts environnementaux. En effet, mis à part les avancées en termes de réduction de débit d'eau des robinetteries et sanitaires qui permettent la diminution de l'utilisation de l'eau potable, les salles de bains récréatives de type « spa » tendent à consommer une plus grande quantité d'eau, principalement chaude, avec tête de douche de type « pluie » (38%), d'un bain pour deux (14%), d'une baignoire avec jets thérapeutiques (14%), d'un plancher chauffant (14%), d'une douche pour deux (6%) et de jets de corps dans la douche.

4.3.3 Matériaux et ressources

En ce qui concerne l'utilisation des matériaux et ressources, l'ODEQ estime que 55% du poids total des matériaux sont utilisés pour la construction initiale du bâtiment résidentiel (représentant environ le tiers des impacts), tandis que 45% des matériaux sont utilisés durant la phase d'usage de l'habitation pour l'entretien, la réparation, la rénovation (comptant environ pour les deux tiers des impacts) (Palmeri, 2010).

L'augmentation de la superficie habitable et, par extension, la progression de la superficie des cuisines et des salles de bains, mais aussi la multiplication du nombre d'entités par habitation de cette dernière, nécessitent une plus grande quantité de matériaux lors de la construction initiale, de la réparation, de l'entretien et de la rénovation. De façon générale, autant au niveau de la salle de bains, de la cuisine et des autres pièces de vie, ce phénomène a tendance à s'accroître suivant la diminution de la durée de vie des aménagements et l'augmentation de la fréquence des rénovations (Quitau et Røpke, 2008).

4.3.4 Déchets

Les recherches de l'ODEQ nous informent que seulement 6% du volume total des déchets provenant de l'habitation est généré par la construction originale du bâtiment ; 50% est engendré durant la phase d'usage de l'habitation par le biais des activités d'entretien, de réparation et de rénovation ; tandis que 44% des déchets sont produits à la fin de vie du bâtiment par la démolition (basé sur une durée de vie estimée à 70 ans) (Palmeri, 2010). Les déchets engendrés par la construction résidentielle se composent principalement de gypse (38,5%), de bois (30,2%), d'agrégats à base d'asphalte et d'argile (10,7%), de papier et de carton (6,5%), de plastique (4,8%), de métal (2%) et d'autres résidus (emballages, fibres de verre, membranes et poussières) (7,2%) (Laquatra et Pierce, 2004).

À l'image de l'utilisation des matériaux et ressources, la réalité d'accroissement de la superficie habitable et, par extension, l'augmentation de la superficie des cuisines et des salles de bains, mais aussi la multiplication du nombre d'entités par habitation de cette dernière, participent à la génération d'une plus grande quantité de matières résiduelles lors de la construction initiale, de la réparation, de l'entretien et de la rénovation. De façon générale, ce phénomène a également tendance à s'accroître en considérant que la fréquence des rénovations semble s'accroître.

4.3.5 Environnement intérieur

Les facteurs qui influencent la qualité de l'environnement intérieur de l'habitation sont liés au confort thermique, au confort visuel, au confort acoustique et à la qualité de l'air intérieur. Durant la phase d'usage, si ces critères ne sont pas adéquatement pris en compte, ils représentent un potentiel d'impact sur les occupants puisque susceptibles d'engendrer des effets tels que les allergies, l'asthme et autres problèmes respiratoires, des maux de tête et les migraines, une mauvaise qualité de sommeil, des rhumes et des gripes, du stress et de l'anxiété, des dépressions et des troubles de l'humeur (McGraw Hill Construction, 2014a). Toutefois, malgré un intérêt grandissant auprès des intervenants, les impacts associés à l'environnement intérieur des bâtiments résidentiels ne sont pas suffisamment documentés. Cette situation peut s'expliquer en partie parce que les professionnels de la santé n'établissent toujours pas de liens clairs entre la santé des patients et l'environnement bâti dans lequel ils vivent, mais aussi parce que ces effets potentiels sont difficiles à isoler (McGraw Hill Construction, 2014a). De plus, pour mener à de meilleures pratiques de conception et de construction, cette prise de conscience doit nécessairement passer par une meilleure compréhension des effets de l'environnement intérieur; « *[a]fin de mieux sensibiliser le public, les liens [entre les causes et les effets] doivent être renforcés, et rien n'est plus puissant que des exemples de bénéfiques qui peuvent être atteints par leurs pratiques [traduction libre]* » (McGraw Hill Construction, 2014a, p. 64).

Cette problématique repose sur les pratiques de conception et de construction du bâtiment, mais une partie des effets est associée à la phase d'usage de l'habitation. Premièrement, les actions humaines, telles que la fumée de cigarette et les tâches ménagères (produits de nettoyage), entre autres, peuvent affecter la qualité de l'air intérieur. De plus, les activités d'entretien, de réparation et de rénovation du bâtiment sont susceptibles d'affecter la QAI par la sélection des matériaux et finis, l'utilisation de produits toxiques et l'accumulation de poussières. Enfin, le comportement des occupants peut également avoir un impact sur la qualité des environnements intérieurs à travers des actions liées à l'utilisation et à l'entretien des appareils de combustion (foyer et appareils de chauffage), des systèmes de CVC, des systèmes de ventilation localisée des cuisines et des salles de bains, ainsi que des dispositifs de contrôle de l'humidité. Cette prise en compte est importante puisque les bénéfiques d'une habitation saine, rapportés par les occupants, sont multiples : une meilleure qualité de sommeil, une meilleure humeur, globalement moins d'épisodes de maladie, moins d'épisodes de maladies respiratoires, une meilleure vigilance et une meilleure écoute, une

productivité accrue, une meilleure guérison, une réduction du recours aux journées de maladie et/ou plus d'interaction sociale positive (McGraw Hill Construction, 2014a).

4.3.6 Aspect économique

La phase d'usage est une source de dépenses continues pour les occupants : le remboursement des coûts d'investissement (emprunts et prêts hypothécaires pour la construction, l'achat ou la rénovation), les frais afférents (taxes de bienvenue, taxes scolaires, taxes municipales et assurances) et les coûts d'exploitation (consommation d'énergie, consommation d'eau, entretien, réparation et rénovation). De façon particulière, la rénovation est dépendante des capacités économiques des occupants puisque ce n'est pas une option accessible à tous. Lors des rénovations, les principaux défis identifiés sont le financement du projet et le respect du budget. Dans une proportion de 26%, les ménages déclarent que le financement est un des obstacles les plus importants de la rénovation : 73% des ménages ont utilisé leurs économies comme méthode de financement, 26% d'entre eux ont privilégié la carte de crédit, tandis 22% ont eu recours à un emprunt (Houzz and Edge Research, 2014). Enfin, dans une proportion de 18%, les ménages ont aussi identifié le respect du budget comme un défi important : 37% d'entre eux ont dépassé le budget prévu, 48% ont respecté le budget et entre 5% et 10% ont terminé en deçà du budget (Houzz and Edge Research, 2014; SCHL, 2012).

Le sondage sur les tendances de rénovation de la cuisine démontre que 40% des ménages consultés rapportent des dépenses inférieures ou égales à 25 000\$, 46% d'entre eux ont déboursé entre 25 001\$ et 75 000\$, tandis que 30% des répondants ont dépensé plus de 75 000\$ (Houzz, 2014b). Au niveau des budgets accordés à la rénovation des salles de bains, elles varient selon le type. Premièrement, au niveau de la salle de toilette, 84% des ménages canadiens rapportent des dépenses inférieures ou égales à 5 000\$, 13% d'entre eux ont déboursé entre 5 001\$ et 25 000\$, tandis que 3% des répondants ont dépensé plus de 25 000\$ (Houzz, 2015). Deuxièmement, pour la salle de bains secondaire ou d'invités, 47% des ménages rapportent des dépenses inférieures ou égales à 5 000\$, 48% d'entre eux ont déboursé entre 5 001\$ et 25 000\$, tandis que 5% des répondants ont dépensé plus de 25 000\$ (Houzz, 2015). Enfin, en ce qui concerne la salle de bains des maîtres, 26% des ménages rapportent des dépenses inférieures ou égales à 5 000\$, 54% d'entre eux ont déboursé entre 5 001\$ et 25 000\$, tandis que 19% des répondants ont dépensé plus de 25 000\$ (Houzz, 2015).

Ce quatrième chapitre établit le jalon de la problématique de recherche qui concerne la considération de l'évolution de l'usage dans le processus conceptuel de l'habitation. Pour

ce faire, cette revue de littérature permet de démontrer que la phase d'usage du bâtiment est un concept dynamique, un constat qui se valide au niveau des tendances et de l'évolution de l'utilisation de la cuisine, de la salle de bains, des pièces de vie, mais également auprès des concepts de capacité de changement et de superficie habitable. Ensuite, la pertinence de cette prise en compte s'établit par le traitement de la rénovation, et ce, en s'attardant à son ampleur, aux motivations qui y mènent, mais aussi aux interventions qui sont conduites. Enfin, ce chapitre renforce le besoin de révision des pratiques en faisant état des impacts associés à la phase d'usage et à la rénovation. Cette démarche consolide la problématique de recherche doctorale et fournit les éléments nécessaires à la conduite des collectes et des analyses de données. Dans ce contexte, le cinquième chapitre traite de la méthodologie utilisée, en présentant la stratégie et les méthodes privilégiées.

5 Méthodologie

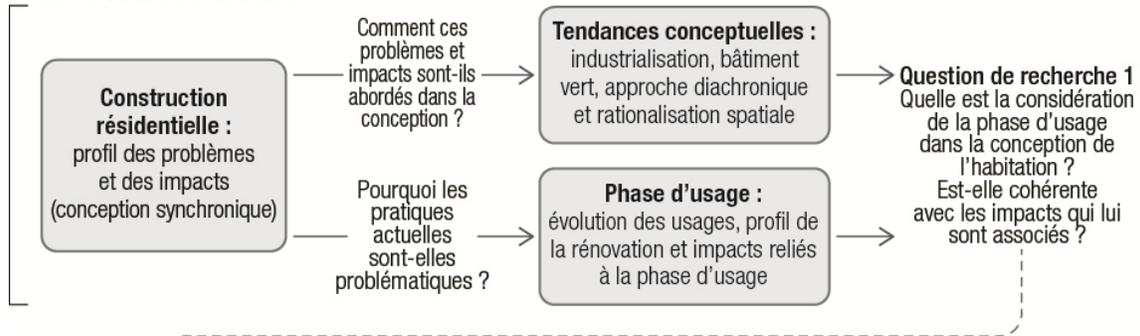
Ce chapitre a pour l'objectif de présenter, de façon détaillée, la stratégie de recherche mise en œuvre dans la cadre de la thèse. Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable, cette recherche vise l'amélioration des pratiques de conception de l'habitation, et ce, en discutant du potentiel (environnementale, social et économique) de passer d'une approche synchronique (conception selon des besoins du moment menant à la construction de bâtiments statiques) à une approche diachronique (conception permettant au bâtiment d'accommoder l'évolution des ménages et des usages) (Douglas, 2006; Duffy, 1993). Le passage d'une approche synchronique à une approche diachronique ne garantit pas une diminution des impacts environnementaux les plus importants du bâtiment (généralement reliés à la consommation d'énergie), mais représente une avenue pour supporter l'amélioration globale de l'empreinte du secteur. Cette stratégie de recherche se divise en trois étapes : les revues de littérature; les collectes, analyses et interprétations de données; ainsi que la discussion (voir **Fig. 5**).

La première étape comporte trois revues de la littérature articulées autour de trois grands axes : le profil des problèmes et des sources potentielles d'impacts de la construction résidentielle (conception synchronique) (voir chapitre 2, p. 5); les tendances conceptuelles émergentes dans l'habitation (industrialisation de la construction, bâtiment vert, approche diachronique et rationalisation spatiale) (voir chapitre 3, p. 33); ainsi que la phase d'usage du bâtiment résidentiel (évolution des usages, profil de la rénovation et impacts reliés à la phase d'usage) (voir chapitre 4, p. 103).

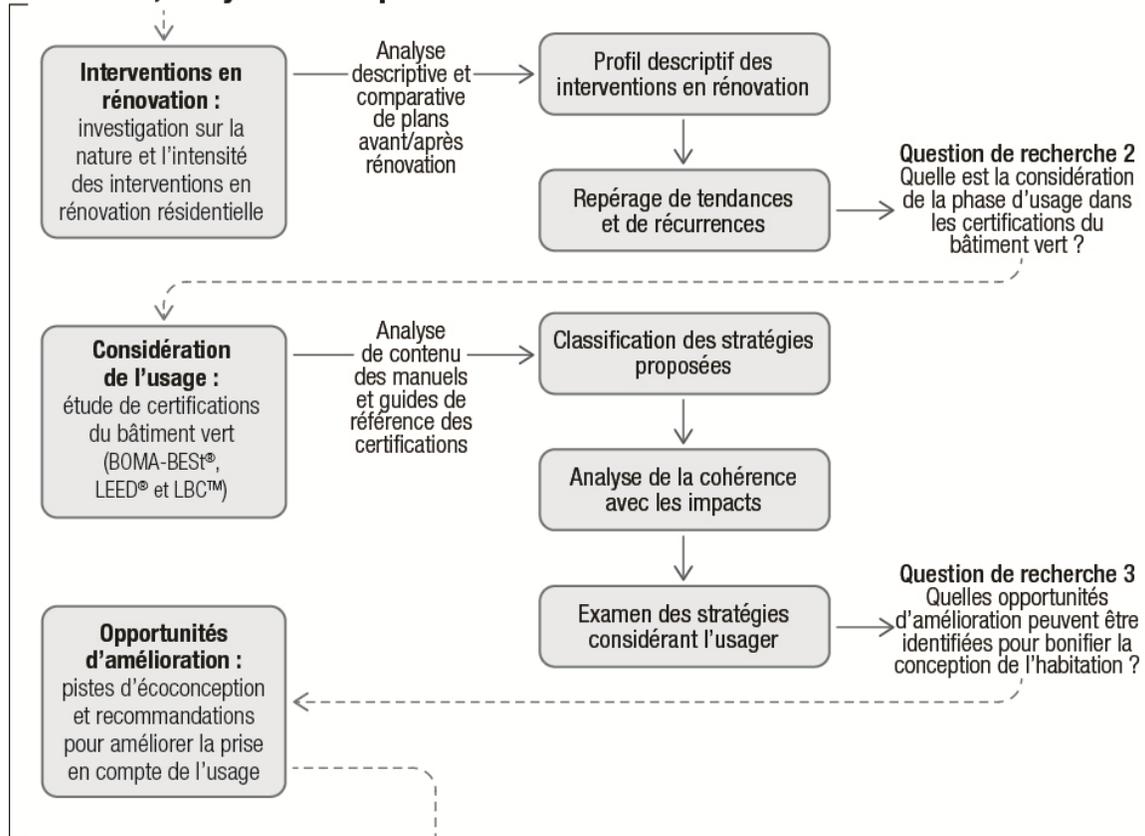
La deuxième étape de la stratégie de recherche regroupe deux processus de collectes, d'analyses et d'interprétations de données : l'un vise l'étude de la nature et de l'intensité des interventions en rénovation, par une analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation résidentielle, afin de dresser un profil descriptif des interventions, mais aussi de repérer des tendances et des récurrences (chapitre 6, p. 147); l'autre s'intéresse à examiner la considération de l'usage du bâtiment vert, par l'analyse du contenu des guides de référence de trois programmes de certification (BOMA-BEST®, LEED® et Living Building Challenge™), afin de classifier les stratégies proposées, mais aussi d'analyser les stratégies considérant plus spécifiquement l'usager (chapitre 6, p. 167). Ces processus mèneront à la mise en forme d'opportunités d'amélioration pour informer l'approche de conception diachronique.

Enfin, la dernière étape de cette démarche, la discussion, vise le recours au raisonnement autant inductif que déductif pour mettre en forme des recommandations et des pistes d'écoconception, à intégrer en amont, afin d'améliorer la conception de l'habitation (chapitre 7, p. 215).

1. Revues de littérature



2. Collectes, analyses et interprétations de données



3. Discussion

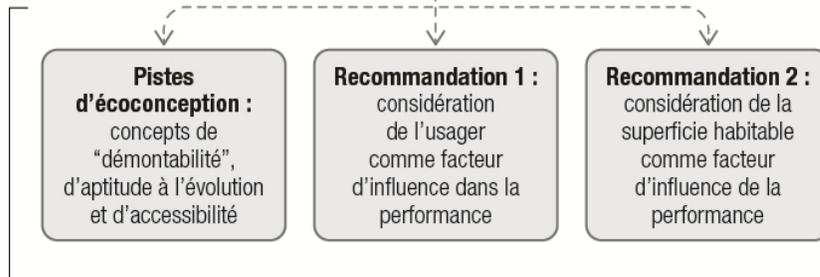


Figure 5. Plan de la stratégie de recherche

5.1 Stratégie de recherche et méthodes

L'approche méthodologique de cette recherche privilégie trois angles : la perspective du pragmatisme, la recherche appliquée et l'approche de recherche mixte. Dans un premier temps, la perspective du pragmatisme soutient que le développement de la connaissance se base sur la considération de la réalité, des faits, des actions et des comportements (Creswell, 2003; Fortin et Gagnon, 2010). Le pragmatisme s'appuie sur le principe de l'objectivité, mais considère également celui de la subjectivité puisque « *l'élaboration de la connaissance se base sur les normes, les intérêts et les valeurs du chercheur [traduction libre]* » (Greenwood et Levin, 2005, p. 53).

Dans un deuxième temps, cette stratégie poursuit les visées de la recherche appliquée qui est qualifiée ainsi lorsqu'elle « *consiste à trouver des solutions à des problèmes pratiques et que la connaissance peut être immédiatement axée sur l'action et la prise de décision* » (Fortin et Gagnon, 2010, p. 13). Cet angle permet de mettre à contribution les 19 années d'expérience professionnelle du chercheur, à titre de designer d'intérieur, de designer industriel et de chargé de projets dans plus de 75 projets de rénovation résidentielle, d'échelles, de complexités et de budgets variés. Le chercheur impliqué dans la recherche appliquée vise à ce que « *la recherche et ses résultats soient utilisés de façon à faire une différence dans la vie et les situations de ceux impliqués ou non dans l'étude [traduction libre]* » ou du moins, « *changer quelque chose en lien avec leur pratique [traduction libre]* » (Robson, 2002, p. 201).

Enfin, cette recherche repose sur une approche méthodologique de recherche mixte, encadrée par le pragmatisme, qui permet la combinaison de données qualitatives (collecte et analyse de données sur la considération de l'usage) et quantitatives (collecte et analyse de données sur les interventions en rénovation). Dans le cadre de cette recherche, ce format intègre un regard complémentaire et mène, ultimement, à une meilleure compréhension de sujets de recherche d'une plus grande complexité (Creswell, 2009; Fortin et Gagnon, 2010; Yin, 2009). Cette mixité des données permet de tirer avantage des forces et faiblesses des raisonnements autant inductifs que déductifs (Creswell, 1994; Fellows et Liu, 2008; Fortin et Gagnon, 2010).

5.1.1 Étape 1 – Revues de la littérature

La première étape de la stratégie de recherche consiste à mener trois revues de littérature pour documenter les problèmes et les sources potentielles d'impacts associés aux

pratiques actuelles de conception dans la construction résidentielle (conception synchronique); les tendances conceptuelles telles que l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale; ainsi que la phase d'usage de l'habitation, qui s'intéresse à l'évolution des usages, au profil de la rénovation et aux impacts reliés à la phase d'usage. Les prochains paragraphes s'attardent, de façon plus détaillée, à résumer les contenus de chacune de ces revues de littérature.

5.1.1.1 Revue 1 – Construction résidentielle : problèmes et impacts

Le but de cette revue de la littérature est de dresser un portrait exhaustif de la construction résidentielle en démontrant, premièrement, que les pratiques de conception et de construction actuelles regroupent plusieurs problèmes, tels qu'un rendement déficient, une qualité en décroissance, des lacunes dans le transfert des connaissances, une sous-utilisation des technologies, une résistance à l'innovation en construction, un manque d'investissement et d'engagement politique, des problèmes au niveau de la main-d'œuvre, ainsi qu'une production de bâtiments statiques due à une conception synchronique. Ensuite, cette revue de littérature vise aussi à détailler les sources potentielles d'impacts associées aux pratiques de conception et de construction en vigueur, et ce, en terme d'énergie, d'eau, de matériaux et ressources, de déchets, d'environnement intérieur, ainsi que l'aspect économique qui en découle. Suite à cette première revue de littérature, deux questions émergent et orientent les deux prochaines revues de littérature : **comment ces problèmes et impacts sont-ils abordés dans la conception ? Pourquoi les pratiques actuelles sont-elles problématiques ?**

5.1.1.2 Revue 2 – Tendances conceptuelles

Afin de saisir comment les problèmes et les impacts associés à la construction résidentielle sont abordés dans la conception, la deuxième revue de littérature répertorie et présente des tendances conceptuelles émergentes en habitation, développées afin d'améliorer la performance de l'industrie: l'industrialisation de la construction, le bâtiment vert, l'approche diachronique et la rationalisation spatiale (Ahn et al., 2008; Kieran et Timberlake, 2004; Schmidt III et al., 2010; van Egmond-De Wilde De Ligny, 2010b). Cette section introduit ces différentes pratiques en présentant leur origine et définition, leurs principes et caractéristiques, mais aussi leurs avantages et potentiels environnementaux, économiques et sociaux.

5.1.1.3 Revue 3 – Phase d'usage

Afin de discuter en quoi les pratiques actuelles sont problématiques, la troisième revue de littérature focalise sur la diversité et l'évolution des usages afin de démontrer la pertinence

de cette prise en compte dans la conception. Dans un premier temps, cette partie s'attarde à répertorier les tendances et l'évolution des usages de l'habitation, et ce, au niveau de la cuisine, de la salle de bains, des pièces de vie (salons ou salles de séjour, salles à manger ou salles à dîner, bureaux à domicile, pièces de divertissement et chambres), mais aussi en termes de capacité de rangement et de superficie habitable. Dans un deuxième temps, cette section établit le profil de la rénovation en traitant de l'ampleur du phénomène, des motivations menant à ce processus et de la caractérisation des interventions menées au niveau des cuisines, des salles de bains et des pièces de vie. Enfin, cette revue de littérature traite des sources potentielles d'impacts associées à la phase d'usage (incluant la rénovation), en termes de consommation d'énergie, de consommation d'eau, d'utilisation de matériaux et ressources, de génération de déchets, ainsi que des effets au niveau de l'environnement intérieur et de l'aspect économique (Houzz and Edge Research, 2014; McGraw Hill Construction, 2014a; Palmeri, 2010; U.S. EPA, 2014).

Ces revues de littérature ont permis de mettre en forme la problématique de recherche qui concerne la considération de l'évolution de l'usage dans le processus conceptuel de l'habitation. De ce contexte découle la **question de recherche 1 : quelle est la considération de la phase d'usage dans la conception de l'habitation ? Est-elle cohérente avec les impacts qui lui sont associés ?** L'objectif principal de cette recherche est d'explorer la phase d'usage afin d'identifier des opportunités pour améliorer les pratiques de conception du bâtiment résidentiel. Tel que mentionné au chapitre 4 (p. 103), la phase d'usage correspond à « *la période suivant la construction de l'habitation et précédant sa démolition ou sa déconstruction [traduction libre]* » (U.S. EPA, 2014, p. 5). La réponse à cette première question de recherche engendre la deuxième étape de l'approche méthodologique, soit les collectes et les analyses de données.

5.1.2 Étape 2 – Collectes, analyses et interprétations de données

Suite à la présentation des fondements théoriques de cette recherche (revues de littérature), cette section s'attarde à la présentation des deux phases de collectes, d'analyses et d'interprétations de données de cette stratégie de recherche. La première phase s'intéresse à la nature et à l'intensité des interventions en rénovation en menant une analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation de 55 projets résidentiels. La deuxième phase vise à étudier la considération de l'usage par l'analyse du contenu des stratégies proposées par les guides de référence de trois programmes de certification du bâtiment vert, soit BOMA-BEST[®], LEED[®], et Living Building Challenge[™].

5.1.2.1 Phase 1 – Interventions en rénovation résidentielle

Les pratiques de conception actuelles produisent des bâtiments statiques qui ne peuvent accommoder le changement (Kelly et al., 2011; Schmidt III et al., 2010). Dans ce paradigme de conception synchronique, l'habitation, conçue à un moment précis dans le temps, est susceptible de subir plusieurs cycles de rénovation afin de répondre à l'évolution des ménages et des usages. Cette façon de faire est à l'origine de plusieurs impacts associés à la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et ressources, ainsi que la génération de déchets (Palmeri, 2010; U.S. EPA, 2014). Par conséquent, il est pertinent d'investiguer en profondeur les interventions en rénovation résidentielle, afin de valider, de compléter et de préciser la nature des interventions, mais aussi d'en évaluer l'intensité. Cette démarche descriptive permet de tracer le portrait de ce phénomène et d'en approfondir la compréhension (Kopec et al., 2012). Pour répondre à la **question de recherche 1**, une analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation de 55 projets de rénovation résidentielle est menée. Cette dernière comporte deux étapes :

1. **Profil descriptif des interventions en rénovation** : à l'aide de deux grilles d'analyse (voir **Tab. 2**, p. 140 et **Tab. 3**, p. 141), développées à partir des données de la revue de la littérature sur la phase d'usage de l'habitation (chapitre 4, p. 118) et l'expérience professionnelle du chercheur, l'analyse de plans avant/après rénovation vise à étayer la caractérisation des interventions. En plus de qualifier plus précisément les actions, cette collecte et analyse de données vise également à en quantifier le niveau d'intensité. Ce processus se solde par la mise en forme d'un profil descriptif de la nature et de l'intensité des interventions de différentes pièces : les cuisines, les salles de bains, les pièces de vie; mais également les concepts de capacité de rangement et de superficie habitable. Les résultats de cette analyse sont présentés sous forme de tableaux (voir **Tab. 4** à **Tab. 9**, p. 149 à 157);
2. **Repérage de tendances et de récurrences** : une seconde analyse de ces données permet de porter une attention particulière aux diverses catégories d'interventions, telles que les revêtements, les mobiliers intégrés, les services et les cloisons, afin d'identifier des tendances et des récurrences. Cette démarche permet de questionner les pratiques de conception actuelles et d'identifier les points critiques sur lesquels orienter la réflexion. Les résultats de cette deuxième analyse sont également présentés sous forme de tableaux (voir **Tab. 10** à **Tab. 13**, p. 161 à 165);

La population d'étude est l'ensemble des projets de rénovation résidentielle au Québec. Pour des raisons d'accessibilité aux professionnels et aux documents des projets, les limites géographiques ont été restreintes à cette province. Étant donné la difficulté de dresser une liste exhaustive de tous les éléments de la population et assurer la disponibilité des documents d'archives (plans avant/après rénovation), le chercheur privilégie un échantillonnage non probabiliste. Ce choix est motivé par le fait que cette collecte de données ne cherche pas nécessairement à mener à des généralisations au niveau des résultats, mais plus à explorer et mieux comprendre le phénomène à l'étude. Pour effectuer l'analyse de plans avant/après rénovation, l'échantillonnage par réseaux, ou en boule de neige, est privilégiée pour identifier des architectes et des designers d'intérieur enclins à donner accès à des plans de projets de rénovation résidentielle entrepris dans la province de Québec entre 2005 et 2015. Ce type de recrutement est « *une technique qui consiste à ajouter à un noyau d'individus [...] tous ceux qui sont en relation (d'affaires, de travail, d'amitié, etc.) avec eux, et ainsi de suite* » (Beaud, 2009 : p.266).

Cet échantillon non probabiliste vise à recueillir une diversité de projets de rénovation en évitant toute forme de ségrégation en termes de forme, de type, d'ampleur et de localisation. Dans une recherche qualitative, la taille de l'échantillon s'établit en cours de recherche en fonction des données recueillies puisque « *la norme qui fixe la taille de l'échantillon est l'atteinte de la saturation des données, ce qui se produit lorsque le chercheur s'aperçoit que les réponses deviennent répétitives et qu'aucune nouvelle information ne s'ajoute* » (Fortin et Gagnon, 2010, p. 243). Cette démarche a permis de recueillir les documents d'archives de 55 projets de rénovation résidentielle : 37 maisons unifamiliales, 11 condominiums, 6 unités d'habitations se trouvant dans un plex (2 duplex, 3 triplex et 1 quadruplex) et une maison jumelée (voir annexe 1, p. 256). Au niveau de la répartition géographique, 38 projets de rénovation sont situés sur l'Île de Montréal, 4 en Montérégie, 3 sur la Rive-Sud de Montréal, 3 en Estrie, 2 dans les Laurentides, 2 dans la ville de Québec, 1 à Laval, 1 dans Lanaudière et 1 sur la Côte-Nord (voir annexe 2, p. 257). De plus, sur le total de 55 projets, 28 d'entre eux concernent une rénovation complète de l'habitation (toutes les pièces), tandis que la balance, soit 27 projets, révèle une intervention partielle se traduisant par la rénovation d'une ou plusieurs pièces (voir annexe 3, p. 258).

Cette collecte et analyse de données consiste à l'analyse des principales pièces de chacun des projets résidentiels : cuisines, salles de bains (incluant les salles de toilette et les salles de douche) et pièces de vie (salons ou salles de séjour, salles à manger ou salles à

dîner, bureaux à domicile, pièces de divertissement et chambres). La diversité et l'étendue de l'échantillon de cette collecte de données regroupent un total de 285 pièces, dont 41 cuisines, 75 salles de bains et 169 pièces de vie (43 salons ou salles de séjour, 26 salles à manger ou salles à dîner, 18 bureaux à domicile, 11 pièces de divertissement et 61 chambres). Cette analyse exclut toutefois les salles de lavage, les halls d'entrée, les vestibules, et les couloirs. Certains de ces projets ont engendré l'agrandissement de l'habitation, des données recueillies en termes d'augmentation de la superficie habitable. Bien que ce phénomène soit révélateur d'une réponse à l'évolution des besoins, ces nouvelles pièces n'ont pas été considérées dans cette analyse puisqu'elles ne représentent pas des rénovations, mais plutôt des nouvelles constructions.

Grâce à deux grilles d'analyse (voir **Tab. 2**, p. 140 et **Tab. 3**, p. 141), l'accent a été mis sur le type et l'intensité des interventions de rénovation. La détermination de la typologie des interventions s'inspire d'une revue de littérature menée au niveau des interventions en rénovation (chapitre 4, p. 118) et est complétée et enrichie par l'expérience en pratique professionnelle du chercheur à titre de designer d'intérieur et chargé de projet de nombreux projets de rénovation résidentielle. La notion d'intensité des interventions est abordée au niveau d'un rapport de sondage s'intéressant à quantifier le processus de rénovation de cuisine (Houzz, 2014b). Ce concept de mesure est maintenant appliqué à l'ensemble des interventions afin de quantifier et caractériser l'importance de ces dernières. Ces grilles d'analyse ont été testées et affinées auprès de quelques projets de l'échantillon afin d'en améliorer la validité. Les grilles d'analyse se divisent en trois parties :

1. **Catégories d'intervention** : la première partie concerne les changements apportés dans diverses catégories d'interventions, telles que les revêtements (sols, murs et plafonds), les mobiliers intégrés (comptoirs, cabinets et quincailleries), les services (électricité & éclairage, plomberie, électroménagers et appareils sanitaires), ainsi que les cloisons (ouverture ou division de l'espace). En comparant les plans avant/après rénovation, une évaluation du niveau d'intensité des interventions est faite selon les catégories présentées précédemment, en suivant l'échelle de mesure de proportion suivante : niveau d'intensité nul, faible, moyen ou élevé (voir la légende du **Tab. 2**). Par exemple, au niveau des revêtements de sols, une intervention de niveau d'intensité nul signifie que le revêtement n'a subi aucune intervention et qu'il est conservé tel quel; un niveau d'intensité faible désigne une intervention mineure (râgréage ou petite réparation); un niveau d'intensité moyen correspond à une intervention partielle ou une refinition du revêtement existant (teinture, huile ou vernis); tandis qu'un niveau

d'intensité élevé signifie une intervention majeure ou un changement complet de revêtement.

Tableau 2. Grille d'analyse de l'intensité des interventions en rénovation (revêtements, mobiliers intégrés, services et cloisons)

		Niveaux d'intensité			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
	Revêtements : sols, murs et plafonds	Aucune intervention, conservé tel quel	Intervention mineure (ragréage, petite réparation, retouche de peinture, etc.)	Intervention partielle ou refinition de l'existant	Intervention majeure ou complète
	Mobiliers intégrés : comptoirs, cabinets, façades et quincailleries	Aucune intervention, réutilisation de l'existant	Intervention mineure	Intervention partielle	Intervention majeure ou complète
	Services : électricité et éclairage	Aucune intervention	Intervention mineure	Intervention partielle	Intervention majeure
	Services : plomberie	Aucune intervention	Intervention mineure (nouveaux sanitaires au même endroit)	Intervention partielle (changement de position de certains sanitaires)	Intervention majeure (changement de position de tous les sanitaires)
	Services : électroménagers et appareils sanitaires ⁶	Réutilisation de l'existant	Intervention mineure	Intervention partielle	Intervention majeure ou complète
	Cloisons : ouverture ou division de l'espace	Aucune intervention	Ouverture ou division mineure en éliminant ou ajoutant des cloisons	Ouverture ou division partielle en éliminant ou ajoutant des cloisons	Ouverture ou division majeure en éliminant ou ajoutant des cloisons
Légende	<p>Nul: Aucune intervention; la surface ou l'objet est préservé tel quel Faible: 1% à 33% de la surface ou de l'objet est affecté Moyen: 34% à 66% de la surface ou de l'objet est affecté Élevé: 67% à 100% de la surface ou de l'objet est affecté</p>				

2. **Capacité de rangement et superficie habitable :** la deuxième partie s'intéresse aux variations au niveau de la capacité de rangement et de la superficie habitable. L'analyse comparative des plans avant/après rénovation est utilisée pour révéler le niveau d'intensité de l'augmentation ou de la diminution selon l'échelle de mesure de

⁵ Incluant les éviers, lavabos, robinetteries, pommes de douches, toilettes, baignoires et douches.

proportion suivante : niveau d'intensité nul, faible, moyen ou élevé (voir la légende du **Tab. 3**).

Tableau 3. Grille d'analyse de l'intensité des variations en rénovation (capacité de rangement et superficie habitable)

		Niveaux d'intensité			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Capacité de rangement : ↑ ou ↓		Aucune variation	Augmentation ou diminution mineure	Augmentation ou diminution partielle	Augmentation ou diminution majeure
		Aucune variation	Augmentation ou diminution mineure	Augmentation ou diminution partielle	Augmentation ou diminution majeure
Superficie habitable : ↑ ou ↓		Aucune variation	Augmentation ou diminution mineure	Augmentation ou diminution partielle	Augmentation ou diminution majeure

Légende

Nul: Aucune intervention; même capacité de rangement/superficie habitable
Faible: ↑ ou ↓ 1% à 33% de la capacité de rangement/superficie habitable
Moyen: ↑ ou ↓ 34% à 66% de la capacité de rangement/superficie habitable
Élevé: ↑ ou ↓ 67% à 100% de la capacité de rangement/superficie habitable

3. **Autre(s) intervention(s) :** indépendamment de la comptabilisation des données sur l'intensité des interventions (revêtements, mobiliers intégrés, services et cloisons) et des variations en rénovation (capacité de rangement et superficie habitable), cette troisième partie relève des interventions ou des aménagements particuliers recueillis durant l'analyse de plans avant/après rénovation et qui témoignent d'un changement distinctif au niveau de l'usage. Au niveau de la cuisine, il est possible de répertorier des interventions telles que l'ajout d'un îlot, d'un comptoir-lunch, d'un deuxième évier, par exemple; au niveau de la salle de bains, l'ajout d'un cabinet de pharmacie, d'une douche séparée, d'un plancher chauffant, d'une toilette séparée, sont des exemples d'interventions particulières menées durant la rénovation. Selon une échelle de mesure nominale, cette analyse vise à vérifier si la condition identifiée est présente ou non au niveau du projet.

La somme des données brutes (voir Annexe 4, p. 258) est recueillie, regroupée et organisée dans des fichiers Excel : 656 entrées au niveau des cuisines, 1125 entrées pour les salles de bains et 1113 entrées en ce qui concerne les pièces de vie (pour un total de 2894 données brutes). L'analyse de ces données est faite à partir de techniques statistiques descriptives en privilégiant la moyenne comme mesure de tendance centrale. Les données de l'analyse de plans sont présentées dans des tableaux (voir **Tab. 4** à **Tab. 9**, p. 149 à 157). Cette

synthèse graphique des données fournira un cadre qui facilitera la compréhension, l'interprétation, la comparaison et la discussion afin de tirer des conclusions en lien avec la problématique du projet de recherche.

La configuration de cette première phase de collecte et d'analyse de données permet d'établir un portrait exhaustif de l'intensité des interventions en habitation. Pour continuer l'investigation, cette recherche s'attarde aux programmes de certification du bâtiment vert. Ce processus amène à explorer la **question de recherche 2 : quelle est la considération de la phase d'usage dans les certifications du bâtiment vert ?** Ce questionnement est à l'origine de la deuxième phase de collecte et d'analyse de données.

5.1.2.2 Phase 2 – Considération de l'usage

Tel que démontré précédemment (chapitre 4, p. 124), la phase d'usage représente la majorité des impacts environnementaux des bâtiments résidentiels dus à la consommation d'énergie et d'eau, mais également une proportion significative des impacts liés à l'utilisation des matériaux et ressources, ainsi qu'à la génération de déchets. À partir de ce constat, il convient d'examiner si le bâtiment vert, à travers ses programmes de certification, est en mesure de répondre à ces enjeux environnementaux contemporains en considérant le potentiel d'impacts de la phase d'usage. Pour répondre à la **question de recherche 2**, cette collecte, analyse et interprétation de données a recours à l'évaluation sommative des trois principaux programmes de certifications utilisés en Amérique du Nord, soit BOMA-BES[®] – Immeubles résidentiels (IR), LEED[®] – Habitations (H), et Living Building Challenge[™] – Bâtiments (B).

Pour ce faire, une analyse documentaire est effectuée par l'entremise de la méthode d'analyse de contenu. Selon Bardin (2003), l'analyse de contenu poursuit deux visées distinctes, soit la découverte et l'analyse des contenus par une lecture attentive, mais également la validation ou l'invalidation d'hypothèses à partir des éléments de contenu relevés. L'analyse documentaire s'attarde aux stratégies proposées par les programmes de certifications BOMA-BES[®] – IR, LEED[®] – H, et LBC[™] – B provenant de sources de documentation primaires, soit les manuels et les guides de référence fournis par leur organisme mandataire respectif (BOMA Canada, 2012b; CBDCa, 2009; ILFI, 2012, 2013a, 2013b, 2013c, 2014). Pour évaluer la considération de l'usage de ces certifications, la présente recherche propose une analyse de contenu comportant trois étapes :

1. **Classification des stratégies proposées** : par une analyse thématique, la première étape de l'analyse de contenu consiste à classer les différentes stratégies proposées selon qu'elles concernent des aspects du *bâtiment*, des *systèmes* ou de l'*usager*. Cette classification tient compte que les stratégies peuvent considérer une combinaison d'aspects en proposant les binômes suivants : *bâtiment et systèmes*, *systèmes et usager*, ainsi que *bâtiment et usager* (voir **Fig. 6**, p. 167). Les résultats de cette analyse sont présentés sous forme de représentations graphiques (voir **Fig. 7**, p. 170; **Fig. 8**, p. 176; **Fig. 9**, p. 182) permettant d'illustrer la répartition des stratégies des programmes de certifications analysées;
2. **Analyse de la cohérence avec les impacts** : cette deuxième étape a pour but de valider si les stratégies proposées par les programmes de certification sont cohérentes avec les impacts de l'habitation. Cette démarche les divise selon différentes sources potentielles d'impacts (consommation d'énergie et d'eau, utilisation de matériaux, génération de déchets et environnement intérieur) et les distingue selon leur potentiel d'influence sur les impacts associés aux phases de pré-usage (extraction des matières premières, fabrication de matériaux, transport et construction initiale), d'usage et de post-usage (démolition, déconstruction et transport). Les résultats de cette analyse sont présentés sous forme de tableaux (voir **Tab. 14 à Tab. 18**, p. 188 à 195);
3. **Examen des stratégies considérant l'usager** : cette troisième étape s'attarde spécifiquement aux mesures considérant l'usager puisque « *on ne cherche pas seulement à déterminer si la propriété évaluée est présente ou non; on s'interroge également sur la forme qu'elle prend* » (Giroux et Tremblay, 2009, p. 207). Une analyse plus ciblée permettra de mieux évaluer la teneur des stratégies de considération de l'usager, en identifiant des catégories et des thèmes émergents. Les résultats de cette analyse sont regroupés dans des tableaux récapitulatifs (voir **Tab. 19**, p. 199 et **Tab. 20**, p. 207).

Cette deuxième phase de collecte, d'analyse et d'interprétation de données permet de cerner la considération de l'usage telle qu'envisagée par les systèmes de certification du bâtiment vert. Pour continuer l'investigation, cette recherche s'attarde à la mise en forme d'opportunités d'amélioration du processus de conception de l'habitation. Ce processus amène à explorer la question de recherche 3 : **quelles opportunités d'amélioration peuvent être identifiées pour bonifier la conception de l'habitation ?** Ce questionnement

est exploré plus en profondeur au niveau de la dernière étape de la stratégie de recherche : la discussion.

5.1.3 Étape 3 – Discussion

La troisième et dernière étape de la stratégie de recherche vise, par un raisonnement inductif et déductif, à identifier des pistes d'écoconception issues du repérage de tendances et de récurrences des interventions en rénovation et à émettre des recommandations issues de l'analyse des stratégies considérant l'usager des programmes de certification du bâtiment vert. Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable et selon une approche globale et systémique, ces opportunités d'amélioration potentielles rejoignent les préoccupations de la conception diachronique, en fournissant une meilleure prise en compte de l'usage et en permettant à l'habitation d'évoluer en fonction des besoins des occupants.

5.1.4 Conclusion

Ce chapitre présente les trois étapes de la stratégie de recherche qui représente le tracé emprunté pour mener à terme le projet doctoral. Ce cheminement établit premièrement les fondations de la recherche en présentant la mise en contexte : le profil des problèmes et des sources potentielles d'impacts de la construction résidentielle, les tendances conceptuelles émergentes visant l'amélioration de la performance de la construction, mais aussi la phase d'usage du bâtiment statique; ainsi que la problématique abordée concernant la prise en compte de la phase d'usage dans le processus conceptuel de l'habitation. Deuxièmement, les moyens mis en œuvre pour investiguer cette problématique se composent de deux collectes et analyses de données qui s'intéressent à la considération de la phase d'usage dans les programmes de certification du bâtiment vert, mais aussi à la nature et à l'intensité des interventions en rénovation mises en œuvre pour permettre à l'habitation d'accommoder le changement. Ce parcours se solde par l'interprétation des données qui, par des recommandations et des pistes d'écoconception, fournit des opportunités d'amélioration de l'approche conceptuelle de l'habitation.

5.1.5 Limites de la recherche

Les limites sont une caractéristique inhérente à la recherche. De ce fait, « *toute méthodologie scientifique tente de trouver des moyens de résoudre [...] les problèmes que lui pose la juste compréhension du monde* » (Laperrière, 1997, p. 365). Dans le développement de l'approche méthodologique, le chercheur doit donc identifier et prendre en considération les limites potentielles, et ce, autant au niveau de l'échantillonnage, des outils de collecte que

l'interprétation des données. Cette considération est nécessaire puisque « *la rigueur scientifique assure la valeur des résultats de recherche* » (Fortin et Gagnon, 2010, p. 283). Nous présentons ici les limites de chacune des collectes de données, soit l'analyse de contenu des stratégies des programmes de certification d'une part, et l'analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation d'autre part.

Premièrement, afin d'évaluer la considération de l'usage, l'analyse de contenu est privilégiée pour classifier et analyser les stratégies proposées par des programmes de certification du bâtiment vert. Cette approche recèle certaines limites en lien avec la taille et la nature de l'échantillon. À cet effet, le chercheur ne considère que les trois principales certifications en Amérique du Nord, en visant les déclinaisons se rapprochant le plus à l'habitation, soit BOMA-BES[®] – Immeubles résidentiels (IR), LEED[®] – Habitations (H) et Living Building Challenge[™] – Bâtiments (B). De plus, le fait de ne tenir compte que des guides de référence et que les versions les plus récentes qui sont en vigueur peuvent être considérés comme des facteurs limitants. Tous ces choix se justifient par le fait que le chercheur ne vise pas spécifiquement une comparaison des systèmes, mais une exploration de la considération de l'usage au niveau des stratégies proposées par les programmes de certification actuels.

Ensuite, les limites de la recherche concernent également l'outil de collecte de données, en l'occurrence l'analyse de contenu, puisque cette méthode s'intéresse à un matériau qui n'est pas structuré ou prévu pour ce type de traitement (Robson, 2002). En plus de prendre en compte l'objet ou l'intention des documents écrits, l'analyse de contenu est dépendante de la clarté, de la précision des informations présentes dans les guides de référence. Toutefois, cet instrument, qui permet la caractérisation du phénomène, est d'une grande validité puisqu'il mesure bien ce qu'il est censé mesurer (Fortin et Gagnon, 2010) et n'est pas susceptible d'engendrer une contamination des données (Durand et Blais, 2009).

Deuxièmement, pour déterminer la nature et l'intensité des interventions, l'analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation est mise de l'avant pour en dresser un profil descriptif et identifier des tendances et des récurrences. Cette façon de faire est aussi soumise à certaines limites en termes d'échantillonnage. Dans ce sens, l'échantillonnage par réseaux (ou boule de neige) peut mener au recensement de professionnels de la conception du bâtiment (architectes et designers) faisant partie du même groupe social et oeuvrant sur un territoire circonscrit, soit le Québec. Ce processus exclut également les projets n'ayant pas eu recours à des professionnels de la conception. La taille

de l'échantillon et le type d'échantillonnage peuvent également être perçus comme des facteurs limitants puisqu'ils mènent à une représentativité faible ou nulle et offrent peu de possibilités de généralisation. Par contre, ces décisions sont cohérentes avec les objectifs d'exploration du phénomène de la rénovation résidentielle et les finalités d'identification de tendances et de récurrences permettant d'informer les pratiques de conception de l'habitation.

Ensuite, l'outil de collecte de données est d'une grande validité puisque la comparaison des plans avant/après rénovation permet de qualifier et quantifier directement les interventions en rénovation et assure une investigation approfondie du problème dans son contexte. De plus, le développement des grilles d'analyse, basées sur des sources documentaires et les expériences professionnelles du chercheur et ajustées au cours d'une préanalyse, permet d'optimiser le niveau de fidélité. Toutefois, cet instrument est tributaire de la précision des documents analysés, soit les dessins et les annotations explicatives présentes sur les plans.

Finalement, le facteur de subjectivité ou le biais du chercheur est susceptible de remettre en cause la fiabilité des résultats (Deslauriers et Kérisit, 1997), et ce, autant au niveau de l'échantillonnage que de la collecte et l'interprétation des données. Dans une démarche de renforcement de la validité, de la fiabilité et de la crédibilité du projet doctoral, le chercheur doit être en mesure d'identifier ces menaces et faire preuve de rigueur pour en minimiser les effets.

6 Collectes, analyses et interprétations des données

L'intérêt envers la phase d'usage de l'habitation découle du fait que cette étape du cycle de vie représente jusqu'à 92% de la consommation d'énergie, 95% de la consommation d'eau, 45% de l'utilisation des matériaux et ressources et 50% des déchets (voir chapitre 4, p. 124). L'importance de ces sources d'impacts a permis de formuler la problématique et d'orienter la recherche sur la considération de la phase d'usage dans la conception du bâtiment résidentiel. La stratégie de recherche élaborée pour examiner ce sujet de questionnement a mené à deux collectes et analyses de données : la nature et l'intensité des interventions en rénovation résidentielle (collecte et analyse 1) et la considération de l'usage dans le bâtiment vert (collecte et analyse 2). Ce chapitre regroupe et présente les résultats de cette démarche.

6.1 Interventions en rénovation résidentielle

Dans un paradigme de conception synchronique, les pratiques actuelles produisent des habitations statiques qui ont recours à la rénovation comme moyen pour répondre à l'évolution des ménages et des usages. Ce processus représente un potentiel d'impacts important en termes de consommation d'énergie, de consommation d'eau, d'utilisation de matériaux et de ressources, ainsi que de génération de déchets. La première collecte et analyse de données s'intéresse à la problématique de la rénovation en investiguant les interventions menées au niveau des projets. Dans un premier temps, par l'analyse comparative de plans avant/après rénovation de 55 projets résidentiels, un profil descriptif de la nature et de l'intensité des actions posées pourra être dressé. Dans un deuxième

temps, la qualification et la quantification des catégories d'interventions mèneront à relever des tendances et des récurrences pour, à terme, informer une approche de conception diachronique.

6.1.1 Profil descriptif des interventions

L'analyse de la littérature a permis de recueillir une base d'informations sur le type d'interventions menées durant la rénovation résidentielle (voir chapitre 4, p. 118). En se basant sur ces renseignements pour le développement de la grille d'analyse, cette collecte et analyse de données mène à une caractérisation plus exhaustive en s'intéressant aux changements apportés dans différentes catégories d'interventions, telles que les revêtements (de sols, de murs et de plafonds), les mobiliers intégrés (les cabinets, les façades, les comptoirs et les quincailleries), les services (l'électricité, l'éclairage, la plomberie, les appareils sanitaires et les électroménagers) et les cloisons (ouverture ou division de l'espace). Cette analyse s'intéresse aussi aux variations au niveau de la capacité de rangement et de la superficie habitable, ainsi qu'au recensement de toutes autres interventions pertinentes qui ne concernent pas les catégories précédentes et qui témoignent d'un changement distinctif au niveau de l'usage (par exemple, l'ajout d'un îlot de cuisine, d'un deuxième évier ou d'un plancher chauffant). Les résultats présentés sont regroupés selon les ensembles de pièces évaluées, soit les cuisines, les salles de bains (incluant les salles de toilette et les salles de douche) et les pièces de vie (salons ou salles de séjour, salles à manger ou salles à dîner, bureaux à domicile, pièces de divertissement et chambres); ou selon les concepts abordés dans le cas de la capacité de rangement et de la superficie habitable.

6.1.1.1 Cuisines

Les données recueillies démontrent l'importance relative de cette pièce puisque parmi les 55 projets analysés, 41 d'entre eux comportent une rénovation de cuisine (75%). La collecte et l'analyse de données révèlent également que presque 54% des projets de réaménagement de cuisine ont intégré un comptoir-lunch, plus de 46% d'entre eux ont ajouté un îlot, 10% ont inclus un deuxième évier et plus de 7% y ont installé un lave-linge et un sèche-linge. L'analyse des données révèle un portrait plus précis des interventions effectuées lors des rénovations de cette pièce (voir **Tab. 4**).

Tableau 4. Rénovation de cuisines : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Revêtements					
Revêtement de sol		10%	2%	5%	83%
Revêtement mural		2%	49%	22%	27%
Revêtement de plafond		2%	54%	20%	24%
Mobiliers intégrés					
Comptoirs		5%	2%	5%	88%
Cabinets et façades		10%	10%	0%	80%
Quincailleries		7%	7%	3%	83%
Services					
Électricité/éclairage		7%	10%	20%	63%
Plomberie		10%	41%	20%	29%
> Appareils sanitaires ²⁶		15%	0%	0%	85%
Électroménagers		15%	7%	2%	76%
Cloisons					
Ouverture de l'espace		44%	17%	24%	15%
Division de l'espace		71%	14%	10%	5%

Premièrement, au niveau des revêtements, il est possible de constater que dans une très grande majorité des cas (90%), le revêtement de sol est affecté durant la rénovation. De cette proportion, 83% des projets de rénovation de cuisine ont procédé à une intervention d'intensité élevée, menant au remplacement de 67% à 100% de la surface de plancher (voir la légende du **Tab. 2**, p. 140). De plus, durant la rénovation, le revêtement des murs est affecté dans 98% des cas : 49% d'intensité faible, 22% d'intensité moyenne et 27% d'intensité élevée. Enfin, la situation est très similaire au niveau du revêtement de plafond où 98% des projets de rénovation de cuisine y ont effectué des changements : 54% d'intensité faible, 20% d'intensité moyenne et 24% d'intensité élevée.

Deuxièmement, en plus des interventions au niveau des revêtements, le remplacement des mobiliers intégrés (comptoirs, cabinets, façades, et quincailleries) représente également

⁶ Incluant les éviers et les robinets.

un poste de changement majeur. En détail, 95% des projets de rénovation de cuisine engendrent le remplacement du comptoir, dont 88% d'entre eux d'une intensité élevée. De plus, 90% des rénovations ont mené à une intervention au niveau des cabinets et façades, dont 80% des projets d'une intensité élevée. Enfin, 93% des projets procèdent à une intervention au niveau des quincailleries des mobiliers intégrés (poignées, charnières et coulisses), dont 83% d'entre eux d'une intensité élevée.

Troisièmement, les services, qui regroupent l'électricité et l'éclairage, la plomberie (incluant les appareils sanitaires : éviers et robinetteries) et les électroménagers, sont des catégories de changements importants. Parmi les projets analysés, 93% des rénovations de cuisine ont procédé à des changements au niveau de l'électricité et de l'éclairage. De cette proportion, 63% ont effectué des interventions d'une intensité élevée menant au remplacement de 67% à 100% du filage et des appareils. De plus, 90% des projets ont réalisé des changements au niveau de la plomberie : 41% d'intensité faible, 20% d'intensité moyenne et 29% d'intensité élevée. Dans ce même créneau, 85% des cuisines rénovées ont eu recours à la substitution de 67% à 100% appareils sanitaires (éviers et robinetteries), tandis que les 15% restants ont conservé l'existant. Enfin, 85% des projets ont procédé au remplacement des électroménagers, dont 76% des cas ont procédé à une intervention d'intensité élevée.

Enfin, les données recueillies sur les cloisons démontrent que 56% des rénovations de cuisines ont mené à une ouverture de l'espace par l'élimination de cloisons. En détail, 17% ont procédé à une intervention d'intensité faible, 24% d'intensité moyenne et 15% d'intensité élevée. L'analyse de données montre également, dans une moindre mesure, que 29% des cuisines rénovées ont mené à la modification de la division de l'espace par l'ajout de cloisons : 14% ont procédé à une intervention d'intensité faible, 10% d'intensité moyenne et 5% d'intensité élevée.

6.1.1.2 Salles de bains

À l'image de la cuisine, la salle de bains est un axe majeur de rénovation puisque parmi les 55 projets analysés, 40 d'entre eux comprennent le réaménagement d'une ou plusieurs salles de bains (73%). De ce nombre, 21 projets comptent une salle de bains (53%), sept en comprennent deux (18%), neuf en incluent trois (23%), deux projets en dénombrent quatre (5%), et un seul en recense cinq (3%). De ce total de 75 salles de bains, 22 d'entre-elles comprennent un bain et une douche indépendante (29%), 23 sont des salles de douche (toilette, lavabo et douche) (31%), 15 ont seulement un bain (qui peut être utilisé comme bain

et comme douche) (20%), et 15 sont des salles de toilette (toilette et lavabo seulement) (20%). La collecte et l'analyse de données sur le processus de rénovation de cette pièce révèlent que 44% des projets ont ajouté un cabinet de pharmacie (pour le rangement), plus de 33% d'entre eux ont intégré un plancher chauffant, près de 19% ont inclus l'aménagement d'une douche séparée et un peu plus de 5% ont séparé la toilette du reste de la salle de bains.

Tableau 5. Rénovation de salles de bains: intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Revêtements					
	Revêtement de sol	11%	4%	1%	84%
	Revêtement mural	6%	8%	13%	73%
	Revêtement de plafond	7%	49%	15%	29%
Mobiliers intégrés					
	Comptoirs	14%	0%	0%	86%
	Cabinets et façades	12%	0%	1%	87%
	Quincailleries	10%	0%	1%	89%
Services					
	Électricité/éclairage	7%	17%	27%	49%
	Plomberie	7%	25%	24%	44%
	> Appareils sanitaires ²⁷	10%	1%	0%	89%
Cloisons					
	Ouverture de l'espace	100%	0%	0%	0%
	Division de l'espace	44%	19%	7%	30%

L'analyse des données colligées permet de mettre en forme un profil détaillé des interventions effectuées durant les rénovations de salles de bains (voir **Tab. 5**). Premièrement, au niveau des revêtements, dans une très grande majorité des cas (89%), le revêtement de sols est altéré au cours de la rénovation. De ce total, 84% des projets de rénovation de salles de bains engendrent des interventions d'intensité élevée menant au remplacement de 67% à 100% de la surface de plancher. De plus, durant la rénovation, le revêtement mural est affecté dans 94% des cas, dont 73% d'entre eux d'une intensité élevée. Enfin, la situation est similaire

²⁷ Incluant les lavabos, robinetteries, toilettes, bains, douches et pommes de douche.

au niveau du revêtement de plafond, puisque 93% des projets de rénovation de salles de bains comprennent des changements à ce niveau : 49% d'intensité faible, 15% d'intensité moyenne, et 29% d'intensité élevée.

Deuxièmement, le remplacement des mobiliers intégrés (comptoirs, cabinets, façades, et quincailleries) représente également un poste important de changement. En détail, 86% des projets de rénovation de salles de bains impliquent un changement de comptoir, et ce, d'une intervention d'intensité élevée. De plus, 88% des rénovations mènent à une intervention sur les cabinets et façades, dont 87% d'entre eux à une intensité élevée. Enfin, 90% des rénovations de salles de bains incluent des changements au niveau des quincailleries des mobiliers intégrés (poignées, charnières et coulisses), dont 89% d'entre eux selon une intervention d'intensité élevée.

Troisièmement, les services (électricité, éclairage et plomberie) sont aussi une catégorie de changement majeure dans la rénovation de salles de bains. De tous les projets analysés, 93% des rénovations de salles de bains comportent des changements au niveau de l'électricité et de l'éclairage. De cette proportion, 17% d'entre eux sont des interventions d'intensité faible, 27% d'intensité moyenne et 49% d'intensité élevée. De plus, 93% des rénovations comportent des changements au niveau de la plomberie: 25% étant des interventions d'intensité faible, 24% d'intensité moyenne, et 44% d'intensité élevée. Enfin, 89% des salles de bains rénovées conduisent à la substitution de 67% à 100% des appareils sanitaires (lavabos, robinetteries, toilettes, bains, douches, pommes de douche), 1% procèdent à une intervention d'intensité faible, tandis que les 10% restant conservent les appareils sanitaires existants.

Enfin, les données colligées sur les cloisons démontrent qu'aucune rénovation de salle de bains ne mène à une ouverture de l'espace par l'élimination de cloisons. Toutefois, l'analyse de plans avant/après rénovation montre que 56% des rénovations de salles de bains impliquent des changements au niveau de la division de l'espace par la construction de nouvelles cloisons : 19% sont des interventions d'intensité faible, 7% d'intensité moyenne, et 30% d'intensité élevée.

6.1.1.3 Pièces de vie

Parmi les 55 projets analysés, 37 d'entre eux comportent la rénovation d'une ou plusieurs pièces de vie (67%) (salons ou salles de séjour, salles à manger ou salles à dîner,

bureaux à domicile, pièces de divertissement et chambres). Premièrement, 33 projets incluent la rénovation d'au moins un salon et/ou une salle de séjour (60%) : 23 projets en comportent un, tandis que 10 projets en ont deux (un total de 43 salons/salles de séjour). Deuxièmement, 21 projets de rénovation comportent au moins une salle à manger et/ou une dînette (38%) : 26 projets en ont une, tandis que 5 projets en ont deux (un total de 36 salles à manger/dînettes). Troisièmement, 17 projets impliquent la rénovation du bureau à domicile (31%) : 16 projets en ont un, tandis qu'un seul en a deux (un total de 18 bureaux à domicile). Quatrièmement, 8 des projets analysés incluent au moins une pièce de divertissement (15%) : 5 salles familiales, 2 salles de jeux, 2 cinémas-maison, 1 salle d'entraînement et 1 bar (un total de 11 pièces de divertissement). Cinquièmement, 30 projets comportent au moins le réaménagement d'une chambre (55%) : 25 chambres principales; 27 chambres secondaires : 12 projets en ont une, 4 projets en ont deux, 1 projet en a trois, tandis que 1 projet en a quatre; 9 chambres d'invités : 7 projets en ont une, tandis qu'un seul projet en a deux (un total de 61 chambres). La somme de toutes ces catégories représente l'analyse de 169 pièces de vie.

L'analyse des données permet de dresser un portrait plus précis des interventions au niveau de la rénovation des pièces de vie (voir **Tab. 6**). Premièrement, dans la grande majorité des cas (90%), le revêtement de sols est affecté durant la rénovation. De cette proportion, 62% des projets de rénovation des pièces de vie mènent à une intervention d'intensité élevée, menant au remplacement de 67% à 100% de la surface de plancher. De plus, dans 99% des cas, le revêtement mural est altéré durant la rénovation : 53% par une intervention d'intensité faible, 17% d'intensité moyenne, et 29% d'intensité élevée. Enfin, la situation est similaire au niveau du revêtement de plafond puisque 99% des projets de rénovation de pièces de vie y apportent des changements: 54% par une intervention d'intensité faible, 14% d'intensité moyenne, et 31% d'intensité élevée.

Deuxièmement, les services (électricité et éclairage) sont un poste de changement important dans la rénovation des pièces de vie. De tous les projets analysés, 94% d'entre eux incluent des modifications au niveau de l'électricité et de l'éclairage. De cette proportion, 30% par une intervention d'intensité faible, 30% d'intensité moyenne, et 34% d'intensité élevée. La catégorie des services inclut aussi la plomberie, mais cette catégorie est jugée peu pertinente, puisque sur un total de 169 pièces de vie, seulement cinq d'entre elles comportent des changements au niveau de la plomberie. Cette situation peut survenir lorsque la rénovation entraîne un changement de fonction de l'espace (par exemple, l'augmentation de la superficie d'une chambre peut nécessiter la relocalisation d'une salle de bains).

Tableau 6. Rénovation de pièces de vie : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Revêtements					
Revêtement de sol		10%	5%	23%	62%
Revêtement mural		1%	53%	17%	29%
Revêtement de plafond		1%	54%	14%	31%
Services					
Électricité/éclairage		6%	30%	30%	34%
Plomberie		97%	0%	2%	1%
Cloisons					
Ouverture de l'espace		76%	5%	12%	7%
Division de l'espace		48%	21%	21%	10%

Enfin, la collecte et l'analyse de données sur les cloisons démontrent que 24% des projets de rénovation des pièces de vie ont mené une ouverture de l'espace en éliminant des cloisons. En détail, 5% sont des interventions d'intensité faible, 12% d'intensité moyenne, et 7% d'intensité élevée. L'analyse de plans avant/après rénovation montre aussi que 52% des rénovations de ces pièces ont modifié la division de l'espace par l'ajout de cloisons : 21% sont des interventions d'intensité faible, 21% d'intensité moyenne, et 10% d'intensité élevée.

6.1.1.4 Capacité de rangement

La littérature révèle une tendance au niveau de l'augmentation des besoins et des exigences en matière de capacité de rangement de l'habitation, sans toutefois pouvoir la quantifier (chapitre 4, p. 110). À cet effet, l'analyse de plans avant/après rénovation visait également à établir un profil plus précis des variations de cette caractéristique (voir **Tab. 7**). Tel que mentionné précédemment, l'objectif est de comparer la capacité de rangement afin de déterminer une augmentation ou une diminution selon les niveaux d'intensité suivants (voir légende du **Tab. 3**, p. 141): variation d'intensité élevée, d'intensité moyenne, d'intensité faible, ou aucune variation.

Premièrement, l'analyse des données montre que 61% des cuisines rénovées ont engendré une augmentation de la capacité de rangement. En détail, 5% des projets atteignent une augmentation d'intensité élevée, 29% une augmentation d'intensité moyenne, 27% une

augmentation d'intensité faible, tandis que seulement 37% des rénovations de cuisine ont maintenu la même capacité de rangement.

Tableau 7. Capacité de rangement: intensité des variations

		Niveau d'intensité des variations						
		Augmentation			Nul	Diminution		
		Élevé	Moyen	Faible		Faible	Moyen	Élevé
Cuisines		5%	29%	27%	37%	2%	0%	0%
Salles de bains		8%	28%	18%	37%	8%	1%	0%
	Salles de toilette	14%	21%	7%	51%	7%	0%	0%
	Salles de bains/de douche	7%	30%	21%	31%	9%	2%	0%
Pièces de vie		20%	10%	7%	52%	4%	2%	5%
	Salons	26%	9%	5%	56%	2%	0%	2%
	Salles à manger	25%	0%	0%	72%	0%	0%	3%
	Bureaux	28%	11%	0%	44%	0%	0%	17%
	Pièces de divertissement	18%	18%	0%	55%	0%	9%	0%
	Chambres	13%	16%	15%	36%	10%	5%	5%

Deuxièmement, 54% des salles de bains analysées (incluant les salles de toilette et les salles de douche) démontrent une augmentation de la capacité de rangement : 8% des projets atteignent une augmentation d'intensité élevée, 28% une augmentation d'intensité moyenne, et 18% une augmentation d'intensité faible. Dans une proportion identique aux rénovations de cuisine, dans seulement 37% des cas, le rangement de la salle de bains demeure inchangé. En considérant seulement les salles de bains et les salles de douche, la proportion est encore plus significative, puisque 58% des projets augmentent leur capacité de rangement : 7% une augmentation d'intensité élevée, 30%, une augmentation d'intensité moyenne, et 21% une augmentation d'intensité faible. L'analyse démontre également que 44% des rénovations de salles de bains mènent à l'inclusion d'un rangement pharmacie pour augmenter la capacité de rangement de la pièce.

Enfin, dans une proportion moindre, 37% des pièces de vie analysées montrent une augmentation de la capacité de rangement (d'intensité élevée: 20%; d'intensité moyenne:

10%; d'intensité faible: 7%), 11% d'entre eux mènent à une diminution (d'intensité faible: 4%; d'intensité moyenne: 2%; d'intensité élevée: 5%), tandis que dans 52% des cas, la capacité de rangement est demeurée inchangée. Parmi les différentes pièces de vie, trois d'entre elles connaissent une augmentation de la capacité de rangement supérieure à la moyenne de la catégorie: le salon avec une augmentation de 40% (d'intensité élevée: 26%; d'intensité moyenne: 9%; d'intensité faible: 5%), le bureau à domicile avec une augmentation de 39% (d'intensité élevée: 28%; d'intensité moyenne: 11%; d'intensité faible: 0%) et la chambre avec une augmentation de 44% (d'intensité élevée: 13%; d'intensité moyenne: 16%; d'intensité faible: 15%). Au niveau des chambres, cette situation peut s'expliquer par le fait que 24% des projets analysés ont ajouté une garde-robe « walk-in » annexée à la chambre principale par la conversion d'une ancienne chambre; 60% des habitations analysées comportent une chambre principale munie d'une ou deux garde-robes « walk-in ».

6.1.1.5 Superficie habitable

L'analyse de plans avant/après rénovation montre que 13 des 55 projets résidentiels ont profité des travaux de rénovation pour augmenter la superficie habitable (24%), soit par l'agrandissement de l'habitation existante engendrant une nouvelle construction (7 projets), la finition du sous-sol pour le rendre habitable (4 projets), ou par l'annexion d'un espace connexe (2 projets). En comparaison avec la superficie originale (avant rénovation), l'augmentation de la superficie habitable varie entre 3% et 100% (signifiant le doublement de la superficie d'origine), avec une moyenne de 38% (voir **Tab. 8**). Ce phénomène est important puisqu'il représente un facteur d'influence important au niveau des impacts associés à la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et ressources, ainsi que la génération de déchets.

La littérature démontre que la superficie moyenne de l'habitation varie dans le temps (chapitre 4, p. 111). Malgré une déclinaison depuis 2008, l'histoire suggère que la superficie habitable devrait de nouveau augmenter en suivant le rétablissement d'une certaine stabilité économique. À cet égard, l'analyse de plans avant/après rénovation permet de discerner un profil plus détaillé de la variation de la superficie à travers les projets de rénovation (voir **Tab. 9**). Tel que mentionné précédemment, l'objectif est de comparer la superficie habitable afin de déterminer une augmentation ou une diminution selon les niveaux d'intensité suivants: variation d'intensité élevée, d'intensité moyenne, d'intensité faible, ou aucune variation (voir la légende du **Tab. 3**, p. 141).

Tableau 8. Augmentation de la superficie habitable lors des rénovations

Superficie habitable				
	Originale	Ajout	Description	%
Projet 01	2009 pi ²	56 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	3%
Projet 03	1810 pi ²	116 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	6%
Projet 09	2007 pi ²	735 pi ²	Finition du sous-sol pour l'habiter	37%
Projet 10	1606 pi ²	1151 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	72%
Projet 14	2525 pi ²	1418 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	56%
Projet 18	3420 pi ²	546 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	16%
Projet 34	1333 pi ²	208 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	16%
Projet 35	2150 pi ²	842 pi ²	Finition du sous-sol pour l'habiter	39%
Projet 36	2617 pi ²	700 pi ²	Agrandissement (construction neuve)	27%
Projet 44	1034 pi ²	468 pi ²	Jonction d'un espace connexe ²⁸	45%
Projet 51	N/D	957 pi ²	Finition du sous-sol pour l'habiter	N/D
Projet 53	N/D	369 pi ²	Finition du sous-sol pour l'habiter	N/D
Projet 54	946 pi ²	946 pi ²	Jonction d'un espace connexe ²⁹	100%

Moyenne d'augmentation de la superficie : 38%

Tableau 9. Superficie habitable: intensité des variations

		Niveau d'intensité des variations						
		Augmentation			Nul	Diminution		
		Élevé	Moyen	Faible		Faible	Moyen	Élevé
Cuisines		2%	5%	27%	64%	2%	0%	0%
Salles de bains		3%	18%	27%	50%	1%	1%	0%
	Salles de toilette	0%	7%	21%	72%	0%	0%	0%
	Salles de bains/de douche	4%	21%	28%	44%	2%	2%	0%
Pièces de vie		3%	9%	13%	55%	15%	5%	0%
	Salons	0%	2%	14%	63%	16%	5%	0%
	Salles à manger	6%	8%	14%	66%	0%	6%	0%
	Bureaux	6%	17%	6%	60%	11%	0%	0%
	Pièces de divertissement	0%	0%	9%	73%	18%	0%	0%
	Chambres	3%	13%	15%	39%	23%	7%	0%

⁸ Combinaison de 1.5 étages d'un bâtiment existant pour augmenter la superficie habitable.

⁹ Combinaison de 2 étages d'un bâtiment existant pour augmenter la superficie habitable.

Premièrement, les données traitées révèlent que 34% des rénovations de cuisine mènent à une augmentation de leur superficie. En détail, 2% des projets ont eu une augmentation d'intensité élevée, 5% d'intensité moyenne, 27% d'intensité faible, tandis que 64% des cuisines rénovées ne procèdent à aucun changement de superficie.

Deuxièmement, 48% des salles de bains rénovées (incluant les salles de toilette et les salles de douche) engendrent une augmentation de leur superficie : 3% des projets ont eu une augmentation d'intensité élevée, 18% d'intensité moyenne, et 27% d'intensité faible. Dans une moindre mesure que les cuisines, 50% des salles de bains ne subissent aucun changement de superficie. Par contre, en ne considérant que les salles de bains et salles de douche, 53% des projets mènent à une augmentation de la superficie: 4% d'intensité élevée, 21% d'intensité moyenne, 28% d'intensité faible, tandis que 44% n'engendrent aucun changement de superficie.

Enfin, au niveau des pièces de vie, seulement 25% des rénovations mènent à une augmentation de la superficie habitable (augmentation d'intensité élevée : 3%; d'intensité moyenne : 9%; d'intensité faible : 13%; d'intensité nulle : 55%). Parmi les pièces de vie, trois d'entre elles connaissent une augmentation de la superficie supérieure à la moyenne de la catégorie: la salle à manger avec une augmentation dans 28% des cas (d'intensité élevée : 6%; d'intensité moyenne : 8%; d'intensité faible : 14%), le bureau à domicile avec une augmentation dans une proportion de 29% (d'intensité élevée : 6%; d'intensité moyenne : 17%; d'intensité faible : 6%) et la chambre avec une augmentation dans 31% des cas (d'intensité élevée : 3%; d'intensité moyenne : 13%; d'intensité faible : 15%). Fait intéressant, cette dernière montre également la plus forte proportion de diminution de la superficie avec 30% (augmentation d'intensité faible : 23%; d'intensité moyenne : 7%; d'intensité élevée : 0%).

En conclusion, l'analyse comparative et descriptive des plans avant/après rénovation de 55 projets résidentiels a permis d'établir un portrait exhaustif de l'intensité des interventions menées au niveau des cuisines, des salles de bains, des pièces de vie, mais aussi de documenter les variations de caractéristiques telles que la capacité de rangement et la superficie habitable. Du point de vue environnemental, les interventions en rénovation contribuent aux impacts associés à la phase d'usage, mais avec des effets variables selon les sources potentielles d'impacts. Même si la consommation énergétique demeure un enjeu assurément prédominant au niveau du bâtiment, à moins d'augmenter

la superficie habitable, la rénovation a généralement peu d'influence directe sur les impacts associés à l'énergie. Des répercussions indirectes peuvent toutefois émerger de certains aménagements qui ont le potentiel d'engendrer une augmentation de l'utilisation d'eau chaude (par exemple : tête de douche de type « pluie »), mais aussi de la consommation d'énergie reliée aux activités d'entretien, de réparation et de rénovation (énergie associée à l'utilisation des outils et au transport). Au Québec, avec un profil énergétique basé majoritairement sur l'hydroélectricité, l'importance relative des impacts associés à la consommation d'énergie du bâtiment est remise en perspective. Cette réalité a le potentiel de procurer une plus grande importance aux impacts liés à l'utilisation des matériaux. Cet enjeu est prépondérant en rénovation puisque les interventions au niveau des revêtements, des mobiliers intégrés, des services et des cloisons sollicitent un besoin élevé en matériaux, dont les impacts intrinsèques (extraction des matières premières, production et transport) contribuent aux répercussions environnementales de la phase d'usage de l'habitation. Au niveau de la consommation d'eau, les interventions en rénovation ont des effets sur les impacts de cette catégorie d'une proportion qui dépend invariablement des installations privilégiées dans les cuisines et les salles de bains, mais aussi de l'utilisation qui en est faite (par exemple : grandes baignoires et jets de corps de la douche). Dans une approche de conception synchronique, l'habitation a le potentiel de subir plusieurs cycles de rénovation, un processus qui se solde généralement par une génération non négligeable de déchets. Malgré ce fait, cet aspect ne représente pas une part importante de l'ensemble des impacts. En résumé, dans un contexte québécois, la consommation d'énergie, la consommation d'eau et la production de déchets durant la rénovation ne sont pas considérées très significatives en termes d'impacts sur la phase d'usage. Ce constat semble suggérer de focaliser plus sur l'utilisation des matériaux, un enjeu qui devient porteur pour l'atteinte de pratiques plus durables en rénovation.

6.1.2 Repérage de tendances et de récurrences

L'analyse précédente fournit une masse critique de données qui permet de dresser un profil plus exhaustif des interventions en rénovation en mettant l'accent sur le type et l'intensité. Plus précisément, les données recueillies confirment l'importance relative des rénovations de cuisines et de salles de bains, des interventions qui se traduisent directement en utilisation de matériaux et en génération de déchets, mais aussi, indirectement, en consommation d'énergie et d'eau à travers l'extraction de matières premières, la fabrication de matériaux, la construction, l'entretien, la mise à jour et la rénovation de bâtiments résidentiels. Suite à ce constat général, il est maintenant nécessaire de porter une attention

plus rapprochée aux diverses catégories (revêtements, mobiliers intégrés, services, cloisons) afin d'identifier des tendances ou des récurrences au niveau des interventions en rénovation. Ce processus vise à mieux informer le paradigme de conception diachronique, permettant à l'habitation de mieux accommoder le changement.

6.1.2.1 Revêtements

L'analyse de plans avant/après rénovation a démontré que les revêtements étaient un facteur de changement récurrent (voir **Tab. 10**). Premièrement, les données montrent que dans une vaste majorité des cas, les projets encourent des interventions au niveau des revêtements de sols (cuisine : 90%, salle de bains : 89% et pièces de vie : 90%). De ces proportions, 83% des cuisines et 84% des salles de bain ont généré des interventions d'un niveau d'intensité élevé, signifiant la substitution de 67% à 100% de la surface de revêtement de sols. Dans le cas des pièces de vie, la majorité des rénovations (62%) a engendré des interventions d'un niveau d'intensité élevé et près du quart de celles-ci (23%) a mené à des interventions d'un niveau moyen (remplacement de 34% à 66% de la surface de plancher). Ces données démontrent une première tendance qui découle du fait que les revêtements de sols, que ce soit des médiums de dallage ou de carrelage (céramique, porcelaine, ardoise, pierre) ou de bois (bois franc et bois d'ingénierie), survivent difficilement à la rénovation.

Deuxièmement, une proportion encore plus grande des projets procède à des modifications au niveau des revêtements de murs (cuisine : 98%, salle de bains : 94% et pièces de vie : 99%), ainsi que pour les revêtements de plafond (cuisine : 98%, salle de bains : 93% et pièces de vie : 99%). À l'exception des revêtements muraux de la salle de bains, l'intensité des interventions au niveau des revêtements des murs et des plafonds est généralement plus répartie selon les catégories : entre 49% à 54% pour le niveau d'intensité faible, de 14% à 22% pour l'intensité moyenne et de 24% et 31% pour les interventions d'intensité élevée. Ceci signifie qu'environ la moitié des projets de rénovation concernés a procédé à des interventions mineures (d'intensité faible), telles que la peinture et/ou de petites réparations au niveau de revêtements existants (habituellement en gypse). Ces données illustrent une deuxième tendance qui découle du fait que même si environ la moitié des interventions est d'un niveau d'intensité faible, signifiant des réparations mineures et/ou de la peinture, entre 44% et 49% des projets de rénovation mènent des interventions d'intensité moyenne à élevée au niveau des revêtements de murs et de plafonds. Ces proportions laissent sous-entendre des interventions au niveau de l'électricité, de l'éclairage et de la plomberie, des tâches qui affectent le revêtement des murs et des plafonds.

Tableau 10. Revêtements : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Revêtements de sol					
	Cuisines	10%	2%	5%	83%
	Salles de bains	11%	4%	1%	84%
	Pièces de vie	10%	5%	23%	62%
Revêtements de mur					
	Cuisines	2%	49%	22%	27%
	Salles de bains	6%	8%	13%	73%
	Pièces de vie	1%	53%	17%	29%
Revêtements de plafond					
	Cuisines	2%	54%	20%	24%
	Salles de bains	7%	49%	15%	29%
	Pièces de vie	1%	54%	14%	31%

Finalement, la distribution des revêtements muraux de la salle de bains est la seule exception de cette catégorie, avec des rénovations d'un niveau d'intensité élevé dans la grande majorité des cas, soit 73%, tandis que les interventions d'intensité moyenne représentent seulement 13% et celles de faible intensité 8%. Ce constat rejoint la tendance des revêtements de sols puisqu'il est habituel d'installer des médiums de dallage ou de carrelage (céramique, porcelaine, ardoise, pierre) sur les murs des salles de bains. Ces derniers survivent difficilement à la rénovation et engendrent une intervention plus exhaustive.

6.1.2.2 Mobiliers intégrés

Cette analyse démontre aussi que les mobiliers intégrés sont un important moteur de changement pour les cuisines et des salles de bains (voir **Tab. 11**). Premièrement, l'analyse des projets de rénovation révèle que la grande majorité des cuisines (88%) et des salles de bains (86%) génère des interventions d'intensité élevée au niveau des comptoirs. Cette récurrence démontre clairement que le réaménagement de ces pièces n'est pas propice à la réutilisation ou la récupération des comptoirs.

Tableau 11. Mobiliers intégrés : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Comptoirs					
	Cuisines	5%	2%	5%	88%
	Salles de bains	14%	0%	0%	86%
Cabinets et façades					
	Cuisines	10%	10%	0%	80%
	Salles de bains	12%	0%	1%	87%
Quincailleries					
	Cuisines	7%	7%	3%	83%
	Salles de bains	10%	0%	1%	89%

Deuxièmement, le profil est similaire en ce qui concerne les cabinets et les façades où une très grande proportion des rénovations de cuisine (80%) et de salle de bains (87%) engendre des interventions d'intensité élevée. Ces données démontrent que les mobiliers intégrés existants sont rarement récupérés lors du processus de rénovation.

Enfin, cette analyse montre aussi que les interventions au niveau des quincailleries sont cohérentes avec les résultats des cabinets et façades puisque la grande majorité des projets de cuisine (83%) et de salle de bains (89%) procèdent au remplacement des poignées, des charnières et des coulisses.

6.1.2.3 Services

Au niveau des services, l'analyse de plans procure un profil qui diffère selon le type de services et la pièce concernée (voir **Tab. 12**). Premièrement, en termes d'électricité et d'éclairage, la grande majorité des projets a mené une intervention (entre 93% et 94%). En détail, la distribution de l'intensité est polarisée vers des interventions de niveau d'intensité élevé pour les cuisines : 10% d'intensité faible, 20% d'intensité moyenne et 63% d'intensité élevée; situation de polarisation similaire pour les salles de bains : 17 % d'intensité faible, 27% d'intensité moyenne et 49% d'intensité élevée. Par contre, pour les pièces de vie, l'intensité est répartie plus uniformément entre les différents niveaux : 30% d'intensité faible, 30% d'intensité moyenne et 34% d'intensité élevée.

Tableau 12. Services : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Électricité et éclairage					
	Cuisines	7%	10%	20%	63%
	Salles de bains	7%	17%	27%	49%
	Pièces de vie	6%	30%	30%	34%
Plomberie					
	Cuisines	10%	41%	20%	29%
	> Appareils sanitaires ³⁰	15%	0%	0%	85%
	Salles de bains	7%	25%	24%	44%
	> Appareils sanitaires ³¹	10%	1%	0%	89%
	Pièces de vie	97%	0%	2%	1%

Dans le cas des cuisines, cette tendance peut s'expliquer par le nombre élevé d'appareils électroménagers (micro-ondes, réfrigérateur, cuisinière, plaque chauffante, four encastré, hotte et lave-vaisselle), qui, dans un contexte de réaménagement, représente un potentiel de changements significatifs. De plus, puisque les cuisines et les salles de bains nécessitent une distribution électrique et d'éclairage spécifique aux fonctions (liées aux tâches effectuées), le positionnement des sorties électriques et des appareils d'éclairage est susceptible de changer pour correspondre au nouvel aménagement. Cette situation diffère pour les pièces de vie qui nécessitent généralement un éclairage plus général et où le positionnement des sorties électriques est moins restrictif.

Enfin, une très grande majorité des projets mène à des interventions au niveau de la plomberie (entre 90% et 93% d'entre eux), avec une distribution qui diffère entre les cuisines et les salles de bains. Lorsque la rénovation n'implique pas de déplacement, mais seulement le remplacement des appareils sanitaires, l'intensité des interventions est faible puisque ce processus implique des altérations minimales en lien avec la déconnexion et la reconnexion de la plomberie d'approvisionnement en eau et de drainage des eaux usées. En considérant les interventions d'intensité moyenne et élevée, 49% des cuisines et 68% des salles de bains ont mené des changements au niveau de la plomberie. Cette récurrence peut s'expliquer par le

¹⁰ Incluant les éviers et les robinets.

¹¹ Incluant les lavabos, robinetteries, toilettes, bains, douches et pommes de douche.

fait que les cuisines (évier, robinets, lave-vaisselle et certains réfrigérateurs) et les salles de bains (lavabos, robinetteries, toilettes, baignoires, douches, pommes de douche et lave-linge) regroupent un grand nombre d'appareils sanitaires, représentant un potentiel de changement supérieur en situation de réaménagement spatial. De plus, une très grande majorité des projets de cuisines (85%) et de salles de bains (89%) implique des interventions d'intensité élevée au niveau des appareils sanitaires, ce qui signifie que la majorité est remplacée par de nouveaux appareils. Le principal défi reste le repositionnement des appareils sanitaires qui, bien sûr, nécessite l'accès aux éléments de plomberie qui passent dans les murs, les planchers et les plafonds.

6.1.2.4 Cloisons

En ce qui concerne les partitions, même si les niveaux d'intervention ne sont pas aussi élevés que dans les catégories précédentes, l'interprétation des données donne des résultats intéressants (voir **Tab. 13**). Premièrement, les données concernant l'ouverture de l'espace révèlent que 56% des cuisines et 24% des pièces de vie rénovées engendrent une ouverture de l'espace et, par extension, la suppression de cloisons. Cette tendance démontre qu'au niveau de la cuisine, 17% des projets engendrent des interventions d'intensité faible, 24% d'intensité moyenne et 15% d'intensité élevée, tandis que 44% des projets ont conservé les cloisons existantes. Pour les pièces de vie, les proportions sont moindres avec 5% d'entre elles qui regroupent des interventions d'intensité faible, 12% d'intensité moyenne et 7% d'intensité élevée, indiquant que 76% des projets ont maintenu l'intégrité des cloisons.

Deuxièmement, les données de rénovation recueillies au niveau de la division de l'espace montrent que 29% des projets de cuisines mènent à l'ajout de cloisons lors du réaménagement ou de la reconfiguration de l'espace. Cette récurrence semble assez cohérente avec les données précédentes puisque l'ouverture de l'espace engendre une restructuration spatiale qui peut impliquer la construction de nouvelles cloisons. De plus, la collecte et l'analyse de données indiquent que la proportion des projets qui procèdent à une intervention de division de l'espace est plus importante au niveau des autres pièces où 56% des salles de bains et 52% des pièces de vie ont procédé à l'ajout de cloisons.

Tableau 13. Cloisons : intensité des interventions

		Niveau d'intensité des interventions			
		Nul	Faible	Moyen	Élevé
Ouverture de l'espace					
	Cuisines	44%	17%	24%	15%
	Salles de bains	100%	0%	0%	0%
	Pièces de vie	76%	5%	12%	7%
Division de l'espace					
	Cuisines	71%	14%	10%	5%
	Salles de bains	44%	19%	7%	30%
	Pièces de vie	48%	21%	21%	10%

En somme, les données sur les interventions au niveau des cloisons démontrent que, globalement, les rénovations ont surtout engendré une ouverture de l'espace en ce concerne les cuisines et donc une réduction de la quantité de cloisons, une tendance inverse pour les salles de bains et les pièces de vie qui ont encouru une redivision de l'espace par l'ajout de cloisons.

En conclusion, la collecte et l'analyse de données au niveau de la nature et l'intensité des interventions en rénovation résidentielle permettent d'identifier et de confirmer certaines tendances. Une première tendance manifeste révèle qu'une très grande proportion des interventions au niveau des revêtements de sols, aussi bien dans la cuisine que la salle de bains, est d'intensité élevée signifiant que 67% à 100% de la surface est remplacée. La situation est similaire au niveau des revêtements de murs de la salle de bains où une grande majorité des interventions sont d'intensité élevée. L'importance de ces changements peut être reliée directement aux médiums de revêtement de carrelage et de dallage.

Une deuxième récurrence évidente ressort au niveau des mobiliers intégrés puisqu'une très grande majorité des interventions qui concernent les cabinets, les façades, les comptoirs et les quincailleries des cuisines et des salles de bains est d'un niveau d'intensité élevé. L'importance de ces sources d'impacts confirme que la conception des mobiliers intégrés est problématique.

Une troisième tendance s'articule au niveau des services où une grande à très grande majorité des interventions au niveau de l'électricité et de l'éclairage est d'intensité moyenne et élevée. Le nombre d'électroménagers de la cuisine, ainsi que les aspects fonctionnels de l'électricité et de l'éclairage de la cuisine et de la salle de bains (reliés aux tâches accomplies nécessitant un éclairage adéquat et un approvisionnement électrique accessible) représentent un potentiel de changement majeur en situation de réaménagement de l'espace. De plus, près de la moitié des interventions au niveau de la plomberie sont d'intensité moyenne et élevée. Le nombre d'appareils sanitaires, ainsi que le fait que la très grande majorité de ceux-ci soient remplacés, représente également un potentiel de changement important lors de la rénovation. Les interventions au niveau des services peuvent impacter l'intégrité des revêtements de murs et de plafonds, mais aussi nécessiter des changements au niveau des cloisons.

Enfin, même si cette récurrence semble à première vue moins évidente, les interventions portées au niveau des cloisons sont d'une importance appréciable. Les changements d'intensité moyenne et élevée engendrés dans le processus d'ouverture et de division de l'espace révèlent l'importance des interventions au niveau des cloisons des cuisines (ouverture de l'espace : 39%; division de l'espace : 15%), des salles de bains (ouverture de l'espace : 0%; division de l'espace : 37%) et des pièces de vie (ouverture de l'espace : 19%; division de l'espace : 31%). Ces interventions au niveau des cloisons ne sont pas sans rappeler qu'elles ne sont pas que des vecteurs de division de l'espace, mais servent aussi à la distribution du filage électrique et de la tuyauterie de plomberie. Ainsi, celles-ci sont affectées par les interventions faites au niveau des revêtements et des services.

6.2 Considération de l'usage

La deuxième collecte et analyse de données examine si les considérations du bâtiment vert, par ses programmes de certification, sont cohérentes avec les impacts de l'habitation et, plus particulièrement, à ceux associés à la phase d'usage. Pour ce faire, cette recherche effectue une évaluation sommative des manuels de référence de BOMA-BES[®] – Immeubles résidentiels (IR), LEED[®] – Habitations (H), et Living Building Challenge[™] – Bâtiments (B). Dans un premier temps, la conduite d'une analyse documentaire, par la méthode d'analyse de contenu, permet d'extraire les stratégies pour ensuite les classer selon trois aspects interdépendants de la performance de l'habitation : la conception et la construction du *bâtiment*, la conception et la sélection des *systèmes*, ainsi que les préoccupations en lien avec l'*usager*. Cette classification des stratégies permet la représentation graphique des considérations de chaque certification pour en illustrer leur répartition. Dans un deuxième temps, cette investigation cherche à déterminer si les stratégies proposées sont cohérentes avec les impacts de l'habitation. À cet effet, une analyse distingue les stratégies selon différentes sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur), tout en déterminant si elles représentent un potentiel d'influence sur les impacts associés aux phases de pré-usage (extraction des matières premières, fabrication de matériaux, transport et construction initiale), d'usage ou de post-usage (démolition, déconstruction et transport). Dans un troisième temps, un examen porte l'intérêt sur les stratégies qui prennent en compte l'usager afin d'en évaluer la teneur et identifier des catégories et des thèmes émergents.

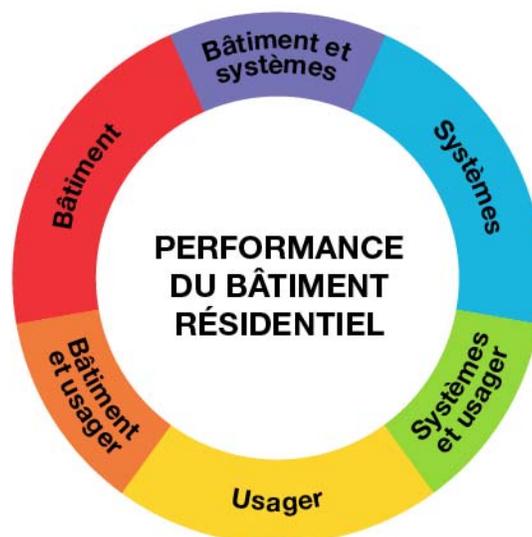


Figure 6. Éléments interdépendants de la performance de l'habitation

6.2.1 Classification des stratégies selon leurs considérations

La première étape de cette collecte et analyse de données consiste à classifier les stratégies des trois programmes de certification (BOMA-BES^t® – IR, LEED® – H et Living Building ChallengeTM – B) selon leurs considérations, i.e. si les stratégies proposées visent l'amélioration de la performance du *bâtiment* (structure, enveloppe, fenêtres, toiture, fondations, superficie), des *systèmes* (énergétiques, électriques, d'éclairage, de CVC, hydriques, de plomberie) ou concernent l'*usager* (sensibilisation, éducation, entretien, modélisation, mesurage). Étant donné que ces stratégies peuvent prendre en compte plus d'une considération à la fois, cette classification inclut également des catégories binômes, soit *bâtiment et systèmes*, *systèmes et usager*, ainsi que *bâtiment et usager* (voir **Fig. 6**). Cette analyse a ensuite permis l'élaboration de représentations graphiques afin d'illustrer la distribution des stratégies de chacune des certifications (voir **Fig. 7**, **Fig. 8** et **Fig. 9**).

6.2.1.1 BOMA-BES^t® – Immeubles résidentiels (IR)

Tel que présenté au chapitre 3 (page 56), le programme de pointage BOMA-BES^t® encadre la performance environnementale des bâtiments existants. La collecte de données est faite à partir du *Questionnaire BOMA-BES^t® – Immeubles résidentiels à logements multiples (version 2012)* (BOMA Canada, 2012b), duquel 68 stratégies sont extraites et classifiées selon leurs considérations. Ce nombre comprend 19 stratégies obligatoires, désignées comme les « exigences des meilleures pratiques » par cette certification, ainsi que 49 stratégies optionnelles laissées au choix de l'équipe de projet. Les stratégies qui ont des considérations externes au bâtiment, aux systèmes et à l'usager ne sont pas considérées dans cette analyse. Ces exclusions comprennent les préoccupations en lien avec les déplacements (marche, vélo, covoiturage, transports publics), l'aménagement paysager (à l'exception de l'irrigation qui est examinée vu la répercussion sur la consommation d'eau du projet), l'aménagement et l'entretien du site du projet, la gestion des eaux pluviales (à l'exception de la collecte qui est considérée dans l'analyse), la pollution lumineuse, la problématique des îlots de chaleur (à l'exception du revêtement de toiture qui est inclus dans la classification des considérations), ainsi que les plans d'urgence mis en place dans des situations d'incendie, de déversement de produits chimiques, de pannes électriques.

6.2.1.1.1 Bâtiment

BOMA-BES^t® – IR comporte 13 stratégies différentes qui visent spécifiquement la conception et la construction du bâtiment (5 stratégies obligatoires et 8 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification s'intéresse aux caractéristiques

de l'enveloppe qui impactent la performance énergétique du bâtiment par la *performance de l'isolation* (A1), la *performance de l'étanchéité* (A2) à l'air et à l'eau, mais aussi l'*efficacité énergétique des fenêtres* (A3) qui doivent minimalement avoir un double vitrage et une lame de gaz inerte.

Deuxièmement, le positionnement des fenêtres est également pris en compte en tant que vecteur permettant de maximiser l'*éclairage naturel* (A4) et la *ventilation naturelle* (A5) par des fenêtres ouvrantes.

Troisièmement, BOMA-BES[®] – IR s'attarde à la sélection du *revêtement de toiture* (A6) et/ou l'intégration d'une *toiture végétalisée*¹² (A7), partielle ou totale, afin d'éviter de participer aux effets des îlots de chaleur¹³, mais également pour permettre de profiter du potentiel de réduction des besoins de climatisation des espaces.

Enfin, ce programme encadre l'utilisation des ressources matérielles par un recensement de la *présence de matières dangereuses (obligatoire)* (A8) qui vise à informer des matériaux et produits nocifs présents dans le bâtiment existant, tels que l'asbestos (isolation, calfeutrage), le plomb (peinture, piles) et le mercure (thermostats, ampoules); une meilleure utilisation des matériaux de construction pour encourager la réutilisation et le recyclage par la *limitation des pertes de matériaux (obligatoire)* (A9), l'*optimisation des matériaux (obligatoire)* (A10), l'utilisation de *produits à contenu recyclé (obligatoire)* (A11), mais aussi une meilleure sélection des matériaux en privilégiant des *produits à faible énergie intrinsèque*¹⁴ (obligatoire) (A12) et des *produits à faibles émissions de COV*¹⁵ (A13), et ce, tant au niveau des adhésifs, des scellants, des peintures, des tapis, des sous-tapis, que des panneaux composites nécessaires à la construction des mobiliers intégrés.

¹² Aménagement partiel ou complet d'une toiture permettant la plantation de végétaux, une technique « servant à gérer le ruissellement des eaux et à offrir de l'isolation additionnelle en hiver et du refroidissement en été » (CBDCa, 2009, p. 156).

¹³ Phénomène de « hausse de la température de l'air et des surfaces causée par l'absorption de l'énergie solaire qui est retenue par les voies de circulation, les bâtiments et d'autres structures » (CBDCa, 2009, p. 153).

¹⁴ L'ensemble de l'énergie consommé durant le cycle de vie complet du matériau ou du produit, en incluant, l'extraction des matières premières, la fabrication, le transport, l'utilisation et la fin de vie.

¹⁵ Composés organiques volatils : substances se transformant en gaz à la température ambiante et qui contribuent à la pollution de l'air (CBDCa, 2009).



Figure 7. Classification des stratégies de BOMA-BEST® – Immeubles résidentiels

6.2.1.1.2 Bâtiment et systèmes

BOMA-BEST® – IR propose 12 stratégies qui considèrent autant le bâtiment que ses systèmes (4 stratégies obligatoires et 8 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme s’intéresse à la consommation d’énergie par le *bilan énergétique (obligatoire)* (A14) qui dresse le portrait de la consommation du bâtiment et permet d’identifier des opportunités d’amélioration; la *politique de gestion de l’énergie* (A15) qui surveille la consommation d’énergie du bâtiment et établit des objectifs de réduction; mais aussi le *plan de gestion de*

l'énergie (obligatoire) (A16) qui met en œuvre des stratégies d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction de la demande en énergie.

Deuxièmement, BOMA-BEST® – IR demande, dans le cas de la rénovation d'une habitation existante, un *rapport de l'état du bâtiment* (A17) qui mène à la planification des réparations à entreprendre au niveau de l'enveloppe (fondations, toitures, murs extérieurs et fenêtres), mais aussi des systèmes de plomberie, des systèmes électriques et des systèmes mécaniques.

Troisièmement, cette certification encadre la problématique des résidus par la *gestion des déchets de construction, de rénovation et de démolition (CRD) (obligatoire)* (A18) ayant pour objectif de réduire le volume et augmenter le taux de détournement des sites d'enfouissement, en privilégiant un tri à la source et des mesures de recyclage sur le site (réutilisation, revente, réacheminement); ainsi que la *gestion des produits chimiques (obligatoire)* (A19) qui encadre l'utilisation, le rangement et la mise au rebut des produits chimiques tels que les solvants, les insecticides, les pesticides et les herbicides.

Enfin, BOMA-BEST® – IR se penche sur la qualité des environnements intérieurs de l'habitation par des stratégies comme le *confort acoustique* (A20) traitant de la transmission du bruit et de l'isolation acoustique; le *bilan sur la qualité de l'air intérieur (QAI)* (A21) consistant à l'identification des facteurs pouvant influencer la QAI, mais aussi l'inspection, l'entretien, l'étalonnage, l'équilibrage des systèmes de CVC; le *contrôle d'humidité* (A22) pour assurer la performance des systèmes et éviter la contamination microbienne; la *QAI pendant les travaux* (A23) de réparation et de rénovation afin de prévenir la distribution d'émanations de produits chimiques et de poussières par le système et les conduits de CVC; la *protection contre le radon*¹⁶ (A24) qui assure une étanchéisation des fondations de l'habitation et une gestion appropriée de cette problématique; ainsi que la protection contre les *émissions du garage* (A25) qui prévoit l'installation d'une ventilation indépendante adéquate et d'un dispositif de détection du monoxyde de carbone¹⁷.

¹⁶ Gaz radioactif émanant naturellement du sol de certaines régions. Ce gaz est dommageable pour la santé puisqu'à « des niveaux élevés, le radon est cancérigène » (CBDCa, 2009, p. 154).

¹⁷ Gaz issu de la combustion émis, entre autres, par le tuyau d'échappement des voitures.

6.2.1.1.3 Systèmes

BOMA-BEST® – IR fournit 19 stratégies différentes qui visent la conception et l'installation des systèmes (4 stratégies obligatoires et 15 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification s'intéresse à la consommation d'énergie en traitant de l'*efficacité énergétique des appareils de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC)* (A26), de la *sélection d'appareils certifiés ENERGY STAR®* (A27), de l'*efficacité énergétique des éclairages* (appareils et ampoules intérieures et extérieures) (A28), de l'*efficacité énergétique du chauffe-eau* (A29) et de l'*efficacité des robinets d'eau chaude* (A30) (à faible consommation d'eau chaude). Cette certification s'intéresse également à la *production d'énergies renouvelables* (A31), telles que le solaire, l'éolien, la géothermie¹⁸ et la biomasse¹⁹.

Deuxièmement, BOMA-BEST® – IR cible la consommation d'eau par des stratégies comme le *bilan sur l'eau (obligatoire)* (A32) servant à dresser le portrait actuel de la demande en eau et à identifier les opportunités de réduction par la révision des procédures d'entretien et la mise à niveau de certains systèmes; la *politique de préservation de l'eau (obligatoire)* (A33) qui engage les gestionnaires du bâtiment envers des objectifs et des stratégies précises de conservation; l'*efficacité en eau des toilettes* (A34) et l'*efficacité en eau des robinets et des douches* (A35) qui encadre l'utilisation de toilettes, de robinetteries et de têtes de douche économes en eau; l'*efficacité en eau des électroménagers* (A36) qui veille à l'intégration de lave-linge économes en eau; la *collecte des eaux pluviales et des eaux grises* (A37) pour alimenter le système d'irrigation; la *vérification et résolution des fuites* (A38) par une surveillance périodique des systèmes de distribution; ainsi que l'*efficacité en eau de l'irrigation* (A39) en privilégiant des systèmes qui minimisent l'utilisation d'eau (irrigation goutte à goutte et/ou dispositif de contrôle de l'humidité des sols).

Enfin, BOMA-BEST® – IR se soucie de l'appauvrissement de la couche d'ozone par l'établissement d'un *plan de gestion des réfrigérants (obligatoire)* (A40) qui fournit des informations sur les substances utilisées, le processus d'entretien et les prérequis de formation des intervenants; ainsi qu'un *plan d'élimination des réfrigérants (obligatoire)* (A41) identifiés comme dommageables. Enfin, ce programme de certification se préoccupe de la qualité de l'air intérieur de l'habitation par des stratégies telles que la *performance des CVC* (A42) qui s'attarde à la sélection et à l'entretien des systèmes, mais aussi au positionnement des prises d'air; la *ventilation indépendante* (A43) requise pour évacuer les polluants et l'excès

¹⁸ Principe qui tire avantage de la température constante du sol pour réchauffer ou refroidir l'air par un circuit souterrain.

¹⁹ Principe qui utilise la combustion de matières organiques pour produire de l'énergie.

d'humidité des cuisines et des salles de bains; ainsi que l'*efficacité de filtration de l'air* (A44) pour encadrer la sélection et l'entretien des filtres.

6.2.1.1.4 Systèmes et usager

BOMA-BES^t® – IR comporte 4 stratégies qui s'attardent aussi bien aux systèmes de l'habitation qu'à l'utilisateur (1 stratégie obligatoire et 3 stratégies optionnelles). Premièrement, cette certification s'intéresse au maintien et à l'optimisation des systèmes par l'*entretien préventif des CVC (obligatoire)* (A45) et l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46) (CVC, humidification, température, systèmes de distribution, filtration de l'air).

Deuxièmement, BOMA-BES^t® – IR requiert que les *manuels d'instructions des systèmes* (et des sous-systèmes) (A47) soient disponibles et accessibles aux occupants ou aux intervenants en cas de besoin.

Enfin, ce programme de certification s'intéresse à l'*entretien et au remplacement des éclairages* (A48) afin de maintenir la performance et l'intégrité des ampoules et des appareils.

6.2.1.1.5 Usager

BOMA-BES^t® – IR propose 12 stratégies qui s'intéressent à l'utilisateur (4 stratégies obligatoires et 8 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme soutient une *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) pour informer et conscientiser les occupants.

Deuxièmement, BOMA-BES^t® – IR encadre une *formation sur l'énergie* (A50) afin de permettre aux intervenants et aux occupants de comprendre les systèmes énergétiques, leur entretien et les actions assurant le maintien de l'efficacité énergétique.

Troisièmement, cette certification propose des stratégies d'évaluation de la consommation s'effectuant avant que les occupants n'habitent le bâtiment, par la *modélisation pré-occupation de l'énergie (obligatoire)* (A51) et la *modélisation pré-occupation de l'eau (obligatoire)* (A52), ou après l'occupation par le *mesurage post-occupation de l'énergie* (A53) et le *mesurage post-occupation de l'eau* (A54).

Quatrièmement, BOMA-BES^t® – IR s'intéresse à la problématique de la génération de déchets de l'habitation par le *programme de réduction des déchets* (A55) qui inclut différentes mesures et suivis pour améliorer la performance du projet à cet égard.

Enfin, ce programme de certification recherche une conscientisation des occupants face à la qualité de l'air intérieur de l'habitation par la *sensibilisation à la QAI (obligatoire)* (A56); l'établissement de protocoles d'*entretien utilisant moins d'eau* (A57) et privilégiant des produits nettoyants pour un *entretien respectueux de l'environnement* (A58); le *contrôle des polluants à la source* (A59) (eau stagnante, odeurs et poussières); ainsi qu'en privilégiant un *environnement sans fumée* (A60).

6.2.1.1.6 Bâtiment et usager

BOMA-BES^t® – IR fournit 8 stratégies différentes qui visent autant la conception et la construction du bâtiment que l'utilisateur (1 stratégie obligatoire et 7 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification vise la préservation de l'efficacité énergétique du bâtiment par l'*inspection de l'enveloppe* (A61) et l'*inspection des portes extérieures et des fenêtres* (A62), effectuées sur une base périodique.

Deuxièmement, BOMA-BES^t® – IR s'intéresse à la réduction des déchets par des stratégies telles que le *programme de recyclage (obligatoire)* (A63) au niveau de l'habitation; le *programme de compostage* (A64) des matières organiques et alimentaires; ainsi que la *collecte et la gestion de certains résidus* (A65) spécifiques (piles, cartouches d'encre, lampes fluorescentes, équipements électroniques).

Troisièmement, cette certification suggère une *formation sur les produits dangereux* (A66) afin d'informer sur l'utilisation et la gestion de ces substances.

Enfin, BOMA-BES^t® – IR encadre la qualité de l'air intérieur par la *surveillance de la moisissure* (A67) se manifestant sous forme d'odeurs ou de taches sur les murs et les plafonds, mais aussi par le contrôle des *contaminants de l'air aux entrées* (A68) pour minimiser les contaminants provenant de l'extérieur.

En somme, l'analyse documentaire a permis de présenter et classer les stratégies du programme de certification BOMA-BES^t® – Immeubles résidentiels selon leurs considérations. La représentation graphique de cette classification (voir **Fig. 7**) montre que 44 stratégies sur un

total de 68 ciblent des préoccupations du *bâtiment* et des *systèmes* : 13 stratégies s'adressant au *bâtiment*, 12 aux *bâtiment et systèmes* et 19 aux *systèmes*. La balance des stratégies, soit 24 stratégies sur un total de 68, concerne des préoccupations en lien avec l'*usager* : 4 stratégies s'adressant aux *systèmes et usager*, 12 à l'*usager* et 8 au *bâtiment et usager*.

6.2.1.2 LEED® – Habitations (H)

Tel que présenté au chapitre 3 (page 58), le programme de pointage LEED® – H encourage le développement du bâtiment vert. La collecte de données utilise le guide de référence *LEED® v4 for Homes Design and Construction* (USGBC, 2013), duquel 53 stratégies sont extraites et classifiées selon leurs considérations. Ce nombre comprend 16 stratégies obligatoires, désignées comme les « préalables » par cette certification, ainsi que 37 stratégies optionnelles laissées au choix de l'équipe de projet. Les stratégies qui ont des considérations externes au bâtiment, aux systèmes et à l'utilisateur ne sont pas considérées dans cette analyse. Ces exclusions comprennent les préoccupations en lien avec la démarche d'innovation et de priorité régionale qui cherche à valoriser des stratégies non reconnues dans la certification, l'emplacement et les liaisons (particularités du site, densité d'aménagement, caractéristiques du quartier, présence des infrastructures et des ressources communautaires), ainsi que l'aménagement écologique des sites par la protection durant la construction, l'aménagement paysager (à l'exception de l'irrigation qui est prise en compte), les effets des îlots de chaleur et la gestion des eaux pluviales.

6.2.1.2.1 Bâtiment

LEED® – Habitations comporte 14 stratégies qui visent spécifiquement la conception et la construction du bâtiment (4 stratégies obligatoires et 10 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification s'intéresse à la consommation d'énergie en visant une *performance énergétique de base (obligatoire)* (B1) et une consommation d'énergie maximale (B2). Ces démarches couvrent également d'autres stratégies telles que la *performance de l'isolation* (B3) qui s'intéresse à la conception et à l'installation de l'isolation; la *performance de l'étanchéité* (B4) qui prévient les fuites d'air; ainsi que l'*efficacité énergétique des fenêtres* (B5) qui encadre l'installation de fenêtres homologuées ENERGY STAR® ou qui répondent à des normes plus sévères.

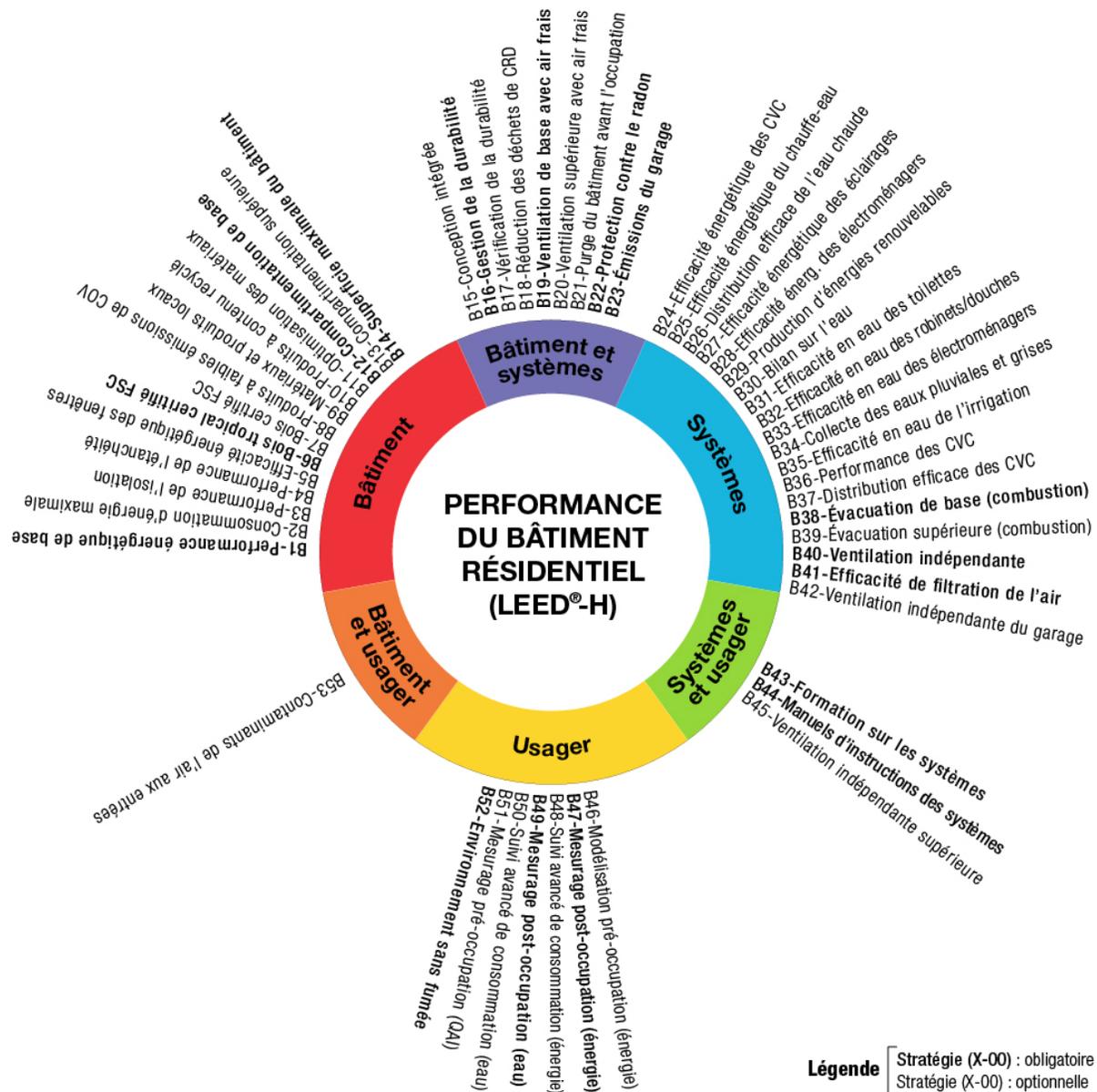


Figure 8. Classification des stratégies de LEED® – Habitations

Deuxièmement, LEED® – H suggère une meilleure sélection des matériaux du point de vue environnemental par des stratégies comme le *bois tropical certifié FSC*²⁰ (*obligatoire*) (B6) et le *bois certifié FSC* (B7) pour améliorer la gestion et maximiser le renouvellement de la ressource; les *produits à faibles émissions de COV* (B8) pour préserver la qualité de l'air

²⁰ La certification FSC (Forest Stewardship Council) vise la protection des forêts, de la faune, des droits des peuples autochtones et des droits des communautés et des travailleurs en encadrant les pratiques d'aménagement et de gestion des forêts, mais aussi la traçabilité des produits du bois.

intérieur de l'habitation; les *matériaux et produits locaux* (B9) pour minimiser les transports entre les lieux d'extraction, de transformation et de fabrication; ainsi que les *produits à contenu recyclé*²¹ (B10) pour réduire la demande de ressources vierges.

Troisièmement, cette certification cherche à optimiser l'utilisation des matériaux de charpente et minimiser la génération de déchets par l'*optimisation des matériaux* (B11) qui propose de meilleures pratiques de conception et de construction du bâtiment.

Quatrièmement, ce programme de certification s'intéresse à isoler chacune des habitations ou chacun des logements par la *compartimentation de base (obligatoire)* (B12) et la *compartimentation supérieure* (B13) pour éviter tout transfert d'émissions polluantes.

Enfin, LEED® – H encadre la dimension de l'habitation par la *superficie maximale du bâtiment (obligatoire)* (B14) qui établit des seuils en fonction d'un modèle de référence.

6.2.1.2.2 Bâtiment et systèmes

LEED® – Habitations propose 9 stratégies au niveau de ces considérations (4 stratégies obligatoires et 5 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme considère que la performance des composantes du bâtiment (enveloppe) et des systèmes est maximisée « *par la conception, la sélection de matériaux et les pratiques de construction appropriées* » (CBDCa, 2009, p. 28). À ce titre, la *conception intégrée* (B15) vise à bonifier le projet LEED® par l'intégration et la formation des principaux intervenants au niveau de la conception (architecte, designer, ingénieur électrique, ingénieur mécanique, ingénieur du bâtiment, etc.). De plus, la *gestion de la durabilité*²² (*obligatoire*) (B16), qui s'effectue avant et pendant la construction, mais aussi la *vérification de la durabilité* (B17) par une entité indépendante, encadrent, entre autres, le contrôle de l'humidité intérieure par l'installation de revêtements résistant à l'eau dans l'entrée, autour du bain et de la douche, l'installation d'un dispositif d'évacuation de l'eau pour le chauffe-eau et le lave-linge, mais aussi l'évacuation de l'air vers l'extérieur pour le sèche-linge.

²¹ Proportion de la masse d'un produit dont les matériaux proviennent d'une filière de recyclage post-industrielle et/ou post-consommation.

²² Représente « *la capacité d'un bâtiment ou d'une de ses composantes à accomplir la fonction pour laquelle ils sont conçus dans leur environnement de service au fil du temps, sans entraîner de coûts imprévus pour l'entretien ou la réparation* » (CBDCa, 2009, p. 151).

Deuxièmement, LEED® – H cible la réduction du volume de déchets par la *réduction des déchets de CRD* (B18) qui privilégie le recyclage, la réutilisation, mais encadre également les taux de détournement.

Enfin, ce programme de certification se préoccupe de la qualité de l'air intérieur par la *ventilation de base avec de l'air frais (obligatoire)* (B19) et la *ventilation supérieure avec de l'air frais* (B20) pour assurer un renouvellement continu de l'air intérieur; la *purge du bâtiment avant l'occupation* (B21) pour évacuer les polluants et les contaminants de la construction ou de la rénovation avant la phase d'usage; la *protection contre le radon (obligatoire)* (B22) qui requiert l'imperméabilisation des fondations et l'installation d'un mécanisme d'extraction afin de minimiser l'exposition des occupants; ainsi que la protection contre les *émissions du garage (obligatoire)* (B23) qui demande une division hermétique entre l'habitation et le garage.

6.2.1.2.3 Systèmes

LEED® – Habitations fournit 19 stratégies différentes qui visent la conception et l'installation des systèmes (3 stratégies obligatoires et 16 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification s'attarde aux systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation par des stratégies telles que *l'efficacité énergétique des CVC* (B24) qui encadre la conception des systèmes et le choix des appareils.

Deuxièmement, LEED® – H couvre d'autres aspects de la consommation d'énergie à travers *l'efficacité énergétique du chauffe-eau* (B25) qui traite du choix des appareils et la *distribution efficace de l'eau chaude* (B26) qui encadre le positionnement des appareils, la distribution et l'isolation de la tuyauterie; *l'efficacité énergétique des éclairages* (B27) qui soutient la sélection d'appareils et d'ampoules ENERGY STAR®, mais qui vise aussi à munir les éclairages extérieurs de détecteurs de mouvement ou des cellules photovoltaïques; *l'efficacité énergétique des électroménagers* (B28) qui demande de porter une attention particulière aux choix du réfrigérateur, du lave-vaisselle et du lave-linge; ainsi que l'implantation de systèmes de *production d'énergies renouvelables* (B29).

Troisièmement, cette certification aborde les pratiques d'utilisation d'eau intérieures et extérieures par le *bilan sur l'eau* (B30) qui établit le profil de consommation et de réduction à atteindre; *l'efficacité en eau des toilettes* (B31) en déterminant la consommation maximale de la chasse d'eau; *l'efficacité en eau des robinets et des douches* (B32) en établissant les débits

maximaux permis; l'*efficacité en eau des électroménagers* (B33) en réglementant la consommation d'eau des cycles de lavage du lave-vaisselle et du lave-linge; la *collecte des eaux pluviales et des eaux grises* (B34) (provenant du lave-linge, de la douche, du bain, du lavabo de salle de bains et de l'évier de cuisine) pouvant être réutilisées pour la chasse d'eau et l'irrigation extérieure; ainsi que l'*efficacité en eau de l'irrigation* (B35), une stratégie qui demande l'installation de dispositifs tels que les détecteurs d'humidité, les programmeurs et les compteurs, et/ou qui privilégie des systèmes tels que le goutte à goutte ou ceux qui n'utilisent pas d'eau potable.

Quatrièmement, LEED® – Habitations se soucie du confort thermique des occupants par la *performance des CVC* (B36) et la *distribution efficace des CVC* (B37) qui traitent de l'étanchéité des conduits, d'un ajustement des systèmes et d'une distribution adaptée aux besoins de chaque pièce de l'habitation.

Enfin, ce programme de certification encourage l'amélioration de la QAI en contrôlant les sources potentielles de pollution provenant des systèmes ou de l'environnement extérieur, avec des mesures telles que l'*évacuation de base des gaz de combustion (obligatoire)* (B38) et l'*évacuation supérieure des gaz de combustion* (B39) encadrant les foyers, les appareils de chauffage et les chauffe-eau; la *ventilation indépendante (obligatoire)* (B40) pour évacuer les polluants et l'humidité de la cuisine et de la salle de bains; l'*efficacité de filtration de l'air (obligatoire)* (B41) encadrant la sélection des filtres; ainsi que la *ventilation indépendante du garage* (B42) pour prévenir la pollution des espaces intérieurs.

6.2.1.2.4 Systèmes et usager

LEED® – Habitations propose 3 stratégies qui s'intéressent aussi bien aux systèmes qu'à l'utilisateur (2 stratégies obligatoires et 1 stratégie optionnelle). Premièrement, ce programme favorise une *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43) qui informe les occupants sur le fonctionnement et l'entretien des différents systèmes du bâtiment et sur les bonnes pratiques à adopter pour en maintenir la performance; ainsi que les *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) pour les rendre disponibles et accessibles aux occupants ou aux intervenants, lorsque nécessaires.

Enfin, LEED® – Habitations procure une dimension supplémentaire à l'extraction localisée de la salle de bains par la *ventilation indépendante supérieure* (B45) qui assure un fonctionnement automatique basé sur l'utilisation.

6.2.1.2.5 Usager

LEED® – Habitations propose 7 stratégies (3 stratégies obligatoires et 4 stratégies optionnelles) qui s'intéressent spécifiquement à l'usager. Premièrement, ce programme propose des stratégies d'évaluation de la consommation d'énergie : la *modélisation pré-occupation de l'énergie* (B46) s'effectuant avant que les occupants n'habitent le bâtiment; ainsi que le *mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire)* (B47) et le *suivi avancé de la consommation d'énergie* (B48) qui sont mis en œuvre durant la phase d'usage.

Deuxièmement, LEED® – H procure des stratégies d'évaluation de la consommation d'eau : le *mesurage post-occupation de l'eau (obligatoire)* (B49) et le *suivi avancé de la consommation d'eau* (B50) qui sont déployés durant la phase d'usage.

Enfin, ce programme de certification encadre la qualité de l'air dans l'habitation par le *mesurage pré-occupation de la QAI* (B51) s'effectuant à la fin des travaux de construction et en privilégiant un *environnement sans fumée (obligatoire)* (B52).

6.2.1.2.6 Bâtiment et usager

LEED® – Habitations fournit une stratégie optionnelle qui vise la conception du bâtiment et l'usager. Ce programme de certification vise le contrôle des *contaminants de l'air aux entrées* (B53) par des mesures qui captent et limitent la propagation des contaminants aéroportés provenant de l'extérieur.

En somme, l'analyse documentaire a permis de présenter et classer les stratégies du programme de certification LEED® – Habitations selon leurs considérations. La représentation graphique de cette classification (voir **Fig. 8**) montre que 42 stratégies sur un total de 53 ciblent des préoccupations du *bâtiment* et des *systèmes* : 14 stratégies s'adressant au *bâtiment*, 9 au *bâtiment et systèmes* et 19 aux *systèmes*. La balance des stratégies, soit 11 stratégies sur un total de 53, concerne des préoccupations en lien avec l'*usager* : 3 stratégies s'adressant aux *systèmes et usager*, 7 à l'*usager* et 1 au *bâtiment et usager*.

6.2.1.3 Living Building Challenge™ – Bâtiments (B)

Tel que présenté au chapitre 3 (page 60), le programme Living Building Challenge™ propose une approche différente des systèmes de pointage tels que BOMA-BESt® et LEED®. Ce programme de certification établit les objectifs de performance à

atteindre sans toutefois être aussi prescriptif dans les stratégies à mettre en œuvre. L'équipe de projet doit choisir le niveau de certification à viser parmi l'attestation *Autonomie complète en énergie*, qui demande de satisfaire à toutes les stratégies de consommation énergétique; le niveau *Reconnaissance* qui vise la réponse aux stratégies d'un minimum de trois catégories, en incluant minimalement celles de l'eau, de l'énergie et des matériaux; ainsi que la certification *Complète* qui requiert la considération de toutes les stratégies du programme.

La collecte de données utilise les guides de référence suivants : *Living Building Challenge™ 2.1 et 3.0 : A Visionary Path to a Restorative Future* (ILFI, 2012, 2014), *Living Building Challenge 2.0/2.1: Energy Petal Handbook* (ILFI, 2013a), *Living Building Challenge 2.0/2.1: Water Petal Handbook* (ILFI, 2013c) et *Living Building Challenge 2.0/2.1: Materials Petal Handbook* (ILFI, 2013b). De ces documents, 39 stratégies sont extraites et classifiées selon leurs considérations. Ce nombre comprend 6 stratégies obligatoires et 33 stratégies optionnelles. Au niveau des programmes précédents, les stratégies obligatoires correspondent aux conditions minimales nécessaires à la certification. Vu que LBC™ – B offre une structure différente, le nombre de stratégies obligatoires est basé sur le niveau minimal de certification : Autonomie complète en énergie. Les stratégies qui ont des considérations externes au bâtiment, aux systèmes et à l'utilisateur ne sont pas considérées dans cette analyse. Ces exclusions comprennent les préoccupations en lien avec l'étalement urbain, l'agriculture urbaine (seule la toiture végétalisée est considérée dans l'analyse), la biodiversité, le mode de vie sans voiture, la biophilie (représentation de la nature), l'aménagement du site, l'accès universel à la nature et au lieu, l'investissement équitable, les organisations justes, ainsi que les considérations esthétiques et culturelles.

6.2.1.3.1 Bâtiment

Living Building Challenge™ – B comporte 11 stratégies optionnelles qui visent spécifiquement la conception et la construction du bâtiment. Premièrement, dans une perspective d'autonomie complète en eau du projet, ce programme de certification s'intéresse à la sélection du *revêtement de toiture* (C1) comme potentiel d'influence pour le captage des eaux pluviales, ainsi que la *toiture végétalisée* (C2) pour son potentiel de réduction des effets des îlots de chaleur.



Figure 9. Classification des stratégies de Living Building Challenge™ – Bâtiments

Deuxièmement, LBC™ – B a pour objectif de maximiser le bien-être physique et psychologique des occupants en encadrant la qualité des environnements intérieurs, en émettant que toutes les pièces d'occupation du bâtiment résidentiel doivent posséder des fenêtres ouvrantes donnant accès à un *éclairage naturel* (C3) et permettant une *ventilation naturelle* (C4). De plus, cette certification oriente la conception de l'habitation et l'aménagement intérieur en régissant la *taille et le positionnement des fenêtres* (C5).

Troisièmement, ce programme de certification recherche une meilleure sélection et gestion des matériaux par des stratégies telles que l'*optimisation des matériaux* (C6) durant la construction pour minimiser les pertes et le gaspillage; le *bois certifié FSC* (C7) ayant pour but de privilégier les entreprises qui ont recours à des certifications, effectuées par une tierce partie, pour encadrer les pratiques durables au niveau de l'extraction des ressources et des conditions de travail; ainsi que les *matériaux et produits locaux* (C8) qui cherchent à stimuler et soutenir l'économie régionale, tout en permettant de minimiser les impacts environnementaux reliés au transport.

Quatrièmement, LBC™ – B veille à compenser les effets du bâtiment sur les changements climatiques par la conduite d'un *bilan carbone intrinsèque*²³ (C9) afin de neutraliser les impacts par une *compensation par l'achat de crédits carbone* (C10). Ce calcul intègre une notion de cycle de vie puisqu'il inclut la valeur de carbone intrinsèque de « *la construction et des composantes de remplacement projetées sur la durée de vie anticipée du bâtiment. La superstructure et les composantes intérieures des sols, des murs et des plafonds sont incluses dans le calcul des composantes de remplacement projetées en fonction de l'espérance de vie du bâtiment [traduction libre]* » (ILFI, 2013b, p. 13).

Enfin, cette certification contraint la dimension des maisons unifamiliales en établissant la *superficie maximale du bâtiment* (C11) à 425 m² (4 489 pi²).

6.2.1.3.2 Bâtiment et systèmes

Living Building Challenge™ – B propose 7 stratégies optionnelles qui s'intéressent autant au bâtiment qu'à ses systèmes. Premièrement, ce programme considère l'utilisation des matériaux et ressources par différentes stratégies telles que les *matériaux et produits à proscrire* (C12) qui identifient ceux qui représentent un potentiel de toxicité pour la santé humaine et les écosystèmes (exemples : amiante, formaldéhyde, PVC); les *expertises et services locaux* (C13) qui cherchent à stimuler et soutenir l'économie régionale par des alternatives locales pour les expertises professionnelles nécessaires au projet, tout en permettant de minimiser les impacts environnementaux reliés au transport.

²³ «Le Bilan Carbone® d'un bâtiment est la quantification ou comptabilisation des émissions en gaz à effet de serre (exprimées en équivalent carbone) intrinsèques à ce bâtiment, sur l'ensemble de son cycle de vie (conception, réalisation, exploitation et démolition)» (Jayr et al., 2011, p. 16).

Deuxièmement, Living Building Challenge™ – B vise l’optimisation de l’utilisation des ressources naturelles, aussi bien dans le bâtiment qu’au niveau des systèmes, par la réduction ou l’élimination de la production de déchets. Pour respecter cette mesure, l’équipe de projet doit mettre en place des mesures de *gestion de la durabilité* (C14) pour s’assurer que la durabilité des matériaux soit appropriée à leur usage; la *gestion des déchets de construction, de rénovation et de démolition (CRD)* (C15) et la *réduction des déchets de CRD* (C16) permettant d’établir des objectifs et des taux de détournement des sites d’enfouissement; ainsi que la planification de la *réutilisation et de la déconstruction* (C17) en fin de vie.

Enfin, LBC™ – B encadre le *contrôle de l’humidité* (C18) en demandant l’installation d’appareils munis de dispositifs capables de surveiller le taux d’humidité de l’air pour prévenir les problèmes liés à la moisissure dans le bâtiment.

6.2.1.3.3 Systèmes

Living Building Challenge™ – B fournit 11 stratégies qui visent la conception et l’installation des systèmes (4 stratégies obligatoires et 7 stratégies optionnelles). Premièrement, ce programme de certification s’intéresse à la problématique de consommation d’énergie en visant à ce que l’habitation ait une *autonomie complète en énergie (obligatoire)* (C19), atteigne une *indépendance face aux énergies fossiles (obligatoire)* (C20), n’ait recours à *aucune combustion (obligatoire)* (C21) et mette en place une *production d’énergies renouvelables (obligatoire)* (C22).

Deuxièmement, ce programme de certification aspire à une indépendance face aux infrastructures d’approvisionnement et de traitement de l’eau, en convoitant une *autonomie complète en eau* (C23), en exploitant la capacité de *collecte des eaux pluviales et des eaux grises* (C24) pour les réutiliser au niveau du projet, en requérant un *traitement des eaux sans produits chimiques* (C25) effectué sur le site, en exploitant la *capacité d’infiltration du projet* (C26) pour évacuer les surplus de la collecte, mais aussi en utilisant une *tuyauterie sans PVC* (C27) pour la distribution de l’eau.

Enfin, LBC™ – B recherche l’atteinte d’une qualité de l’air optimale par la *performance des CVC* (C28) qui assure des taux de ventilation conformes aux normes et en installant des mécanismes de surveillance du CO₂ et de la température; ainsi que la

prévision d'une *ventilation indépendante* (C29) dans la cuisine, les salles de bains et les pièces où des produits chimiques sont entreposés, et ce, en évacuant l'air vers l'extérieur.

6.2.1.3.4 Systèmes et usager

L'analyse de la documentation du programme de certification Living Building Challenge™ – B n'a pas permis d'identifier de mesures qui concernent conjointement les systèmes et l'utilisateur.

6.2.1.3.5 Usager

Living Building Challenge™ – B propose 7 stratégies qui s'intéressent spécifiquement à l'utilisateur (2 stratégies obligatoires et 5 stratégies optionnelles). Premièrement, puisque le projet doit être en mesure de démontrer son autonomie en énergie et en eau, ce programme impose un *mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire)* (C30) et un *mesurage post-occupation de l'eau* (C31) qui s'étalent sur une période de 12 mois consécutifs. L'installation de sous-compteurs permet de déterminer si la consommation des principaux systèmes d'énergie et d'eau du bâtiment est comblée par la capacité de production d'énergie ou la capacité de collecte des eaux (pluviales, grises ou noires) du site.

Deuxièmement, LBC™ – B assure la qualité de l'air intérieur en évaluant les niveaux de particules respirables en suspension dans l'air et des composés organiques volatils (COV) par un *mesurage pré-occupation (QAI)* (C32) et un *mesurage post-occupation (QAI)* (C33) effectué sur une période de 9 mois consécutifs, mais aussi en encadrant les pratiques et la sélection des produits nettoyants par l'*entretien respectueux de l'environnement* (C34).

Enfin, cette certification soutient une *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) qui permet d'informer et d'éduquer les gens sur les principes du programme de certification Living Building Challenge™ – B, ainsi que l'*environnement sans fumée* (C36) qui interdit de fumer dans les limites du projet.

6.2.1.3.6 Bâtiment et usager

Living Building Challenge™ – B propose 3 stratégies optionnelles qui visent autant la conception du bâtiment que l'utilisateur. Premièrement, ce programme favorise l'implantation d'un *programme de recyclage* (C37) au niveau du bâtiment; la mise en place

d'un *programme de compostage* (C38) des résidus alimentaires; ainsi que l'encadrement des pratiques bénéficiant à la qualité de l'air intérieur par le contrôle des *contaminants de l'air aux entrées* (C39) qui proviennent de l'extérieur.

En somme, l'analyse documentaire a permis de présenter et classifier les stratégies du programme de certification Living Building Challenge™ – Bâtiments selon leurs considérations. La représentation graphique de cette classification (voir **Fig. 9**) montre que 29 stratégies sur un total de 39 ciblent des préoccupations du *bâtiment* et des *systèmes* : 10 stratégies s'adressant au *bâtiment*, 8 au *bâtiment et systèmes* et 11 aux *systèmes*. La balance des stratégies, soit 10 stratégies sur un total de 39, concerne des préoccupations en lien avec l'*usager* : 0 stratégie s'adressant aux *systèmes et usager*, 7 à l'*usager* et 3 au *bâtiment et usager*.

En conclusion, la première étape de cette collecte et analyse de données a mené à une présentation et un examen sommatif des stratégies extraites des guides de référence de BOMA-BES[®] – IR, LEED[®] – H, et Living Building Challenge™ – B. Celles-ci ont ensuite été classifiées et organisées selon leurs considérations, que ce soit le *bâtiment*, le *bâtiment et systèmes*, les *systèmes*, les *systèmes et usager*, l'*usager* ou le *bâtiment et usager*. Cette catégorisation, ainsi que les représentations graphiques qui s'y rapportent, permet de montrer la répartition des stratégies des programmes de certification. La prochaine étape vise à déterminer si la distribution des stratégies proposées est cohérente avec les impacts associés à l'habitation.

6.2.2 Cohérence avec les sources potentielles d'impacts

La prochaine section présente les résultats d'un deuxième niveau d'analyse qui a pour but de valider si les stratégies proposées par les programmes de certification (BOMA-BEST® – IR, LEED® – H, et Living Building Challenge™ – B) sont cohérentes avec les sources potentielles d'impacts de l'habitation et, plus particulièrement si la considération de la phase d'usage est conséquente avec les impacts qui lui sont associés (voir point 4.3, p. 124). Cette démarche divise premièrement les stratégies selon différentes sources potentielles d'impacts, soit la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux, la génération de déchets, ainsi que les répercussions sur l'environnement intérieur. Ensuite, cette analyse distingue le potentiel d'influence des stratégies sur les impacts associés aux phases de pré-usage (extraction des matières premières, fabrication de matériaux, transport et construction initiale), d'usage et de post-usage (démolition, déconstruction et transport). La répartition des stratégies de cette analyse est présentée sous forme de tableaux (voir **Tab. 14** à **Tab. 18**), où certaines stratégies plus généralistes, jugées transversales, se retrouvent dans plus d'un tableau puisqu'elles sont applicables à plus d'une source potentielle d'impacts.

6.2.2.1 Énergie

La consommation d'énergie est identifiée comme un enjeu prédominant en termes d'impacts sur les changements climatiques, dont l'ampleur est dépendante des sources de production (charbon, nucléaire, gaz naturel, produits pétroliers, hydroélectricité, etc.). Tel que mentionné au chapitre 4 (p. 124), les impacts sur les changements climatiques associés à la consommation d'énergie se partagent entre la phase de pré-usage (8%), la phase d'usage ($\leq 92\%$) et la phase de post-usage ($< 1\%$) (Palmeri, 2010; U.S. EPA, 2014; UNEP, 2011). Dans un contexte québécois, la principale source énergétique est l'hydroélectricité considérée beaucoup moins impactante que les énergies fossiles. Tout en demeurant un aspect majeur de l'habitation, ce profil énergétique diminue l'importance relative des impacts reliés à la consommation d'énergie. De façon générale, la classification des stratégies en lien avec cet aspect montre une prise en compte extensive de cet enjeu critique en regroupant un total de 43 stratégies (voir **Tab. 14**). Seulement un petit nombre de ces stratégies est susceptible d'influencer les impacts associés à la phase pré-usage (5/43) avec des approches qui prennent en considération le *bâtiment* (4) : les *produits à faible énergie intrinsèque (obligatoire)* (A12), le *bilan carbone intrinsèque* (C9), la *compensation par crédits carbone* (C10) et les *matériaux et produits locaux* (B9 et C8); mais aussi les *systèmes* (1) avec les *expertises et services locaux* (C13).

Tableau 14. Stratégies en lien avec l'énergie

Considérations	Stratégies en lien avec l'énergie	Pré-usage			Usage			Post-usage		
		BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B
Bâtiment	Performance énergétique de base					B1				
	Consommation d'énergie maximale					B2				
	Performance de l'isolation				A1	B3				
	Performance de l'étanchéité				A2	B4				
	Revêtement de toiture (flots de chaleur)				A6					
	Toiture végétalisée				A7		C2			
	Efficacité énergétique des fenêtres				A3	B5				
	Produits à faible énergie intrinsèque	A12								
	Bilan carbone intrinsèque			C9						
	Compensation par crédits carbone			C10						
	Matériaux et produits locaux		B9	C8						
Superficie maximale du bâtiment					B14	C10				
Bâtiment et systèmes	Conception intégrée					B15				
	Bilan énergétique				A14					
	Politique de gestion de l'énergie				A15					
	Plan de gestion de l'énergie				A16					
	Rapport de l'état du bâtiment				A17					
	Expertises et services locaux			C13						
Systèmes	Autonomie complète en énergie						C19			
	Indépendance aux énergies fossiles						C20			
	Aucune combustion						C21			
	Efficacité énergétique des CVC				A26	B24				
	Sélection d'appareils ENERGY STAR®				A27					
	Efficacité énergétique des éclairages				A28	B27				
	Efficacité énerg. des électroménagers					B28				
	Efficacité énergétique du chauffe-eau				A29	B25				
	Efficacité des robinets d'eau chaude				A30					
	Distribution efficace de l'eau chaude					B26				
Production d'énergies renouvelables				A31	B29	C22				
Distribution efficace des CVC					B37					
Systèmes et usager	Entretien préventif des CVC				A45					
	Entretien des systèmes mécaniques				A46					
	Manuels d'instructions des systèmes				A47	B44				
	Entretien et remplacement: éclairages				A48					
	Formation sur les systèmes					B43				
Usager	Sensibilisation aux pratiques enviro.				A49					
	Sensibilisation du public						C35			
	Formation sur l'énergie				A50					
	Modélisation pré-occupation (énergie)				A51	B46				
	Mesurage post-occupation (énergie)				A53	B47	C30			
Suivi avancé de consommation (énergie)					B48					
Bâtiment et usager	Inspection de l'enveloppe				A61					
	Inspection des portes et fenêtres				A62					

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B

■ Stratégie obligatoire □ Stratégie optionnelle

La très grande majorité des stratégies s'attarde aux impacts de la phase d'usage (38/43) par des approches qui considèrent le *bâtiment* (8) : la performance *énergétique de base (obligatoire)* (B1), la *consommation d'énergie maximale* (B2), la *performance de*

*l'isolation (A1 et B3), la performance de l'étanchéité (A2 et B4), le revêtement de toiture (A6), la toiture végétalisée (A7 et C2), l'efficacité énergétique des fenêtres (A3 et B5), la superficie maximale du bâtiment (obligatoire) (B14) et la superficie maximale du bâtiment (C11); le binôme **bâtiment et systèmes** (5) : la conception intégrée (B15), le bilan énergétique (obligatoire) (A14), la politique de gestion de l'énergie (A15), le plan de gestion de l'énergie (obligatoire) (A16) et le rapport de l'état du bâtiment (A17); ainsi que les **systèmes** (12) : l'autonomie complète en énergie (obligatoire) (C19), l'indépendance aux énergies fossiles (obligatoire) (C20), aucune combustion (obligatoire) (C21), l'efficacité énergétique des CVC (A26 et B24), la sélection d'appareils ENERGY STAR® (A27), l'efficacité énergétique des éclairages (A28 et B27), l'efficacité énergétique des électroménagers (B28), l'efficacité énergétique du chauffe-eau (A29 et B25), l'efficacité des robinets d'eau chaude (A30), la distribution efficace de l'eau chaude (B26), la production d'énergies renouvelables (obligatoire) (C22) et la production d'énergies renouvelables (A31 et B29), ainsi que la distribution efficace des CVC (B37).*

D'autres stratégies ont un potentiel d'impact sur la phase d'usage en réunissant des préoccupations en lien avec le binôme **systèmes et usager** (5) : *l'entretien préventif des CVC (obligatoire) (A45), l'entretien des systèmes mécaniques (A46), les manuels d'instructions des systèmes (obligatoire) (B44) et les manuels d'instructions des systèmes (A47), l'entretien et le remplacement des éclairages (A48), ainsi que la formation sur les systèmes (obligatoire) (B43); l'usager* (6) : *la sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire) (A49), la sensibilisation du public (obligatoire) (C35), la formation sur l'énergie (A50), la modélisation pré-occupation de l'énergie (obligatoire) (A51) et la modélisation pré-occupation de l'énergie (B46), le mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire) (B47 et C30) et le mesurage post-occupation de l'énergie (A53), ainsi que le suivi avancé de la consommation (énergie) (B48); mais aussi le binôme **bâtiment et usager** (2) : l'inspection de l'enveloppe (A61) et l'inspection des portes et fenêtres (A62).*

Enfin, aucune stratégie en lien avec la consommation d'énergie ne concerne la phase post-usage de l'habitation.

6.2.2.2 Eau

Les impacts associés à la consommation d'énergie se partagent entre la phase de pré-usage (5%) et la phase d'usage (95%) (U.S. EPA, 2014) (voir chapitre 4, p. 126). La

classification des stratégies en lien avec cet aspect démontre une prise en compte importante de cet enjeu en regroupant un total de 25 stratégies (voir **Tab. 15**). Seulement 2 stratégies en lien avec l'eau sont susceptibles d'influencer les impacts associés à la phase pré-usage du *bâtiment* (2/25) : le *bilan carbone intrinsèque* (C9) et la *compensation par crédits carbone* (C10).

Tableau 15. Stratégies en lien avec l'eau

Considérations	Stratégies en lien avec l'eau	Pré-usage			Usage			Post-usage		
		BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B
Bâtiment	Revêtement de toiture (captage d'eau)						C1			
	Bilan carbone intrinsèque			C9						
	Compensation par crédits carbone			C10						
Bâtiment et systèmes	Conception intégrée					B15				
	Autonomie complète en eau							C23		
Systèmes	Bilan sur l'eau				A32	B30				
	Politique de préservation de l'eau				A33					
	Efficacité en eau des toilettes				A34	B31				
	Efficacité en eau des robinets/douches				A35	B32				
	Efficacité en eau des électroménagers				A36	B33				
	Collecte des eaux pluviales et grises				A37	B34	C24			
	Traitement sans produits chimiques							C25		
	Capacité d'infiltration du projet							C26		
	Tuyauterie sans PVC							C27		
	Vérification et résolution des fuites				A38					
	Efficacité en eau de l'irrigation				A39	B35				
	Systèmes et usager	Entretien des systèmes mécaniques				A46				
Manuels d'instructions des systèmes					A47	B44				
Formation sur les systèmes						B43				
Usager	Sensibilisation aux pratiques enviro.				A49					
	Sensibilisation du public							C35		
	Modélisation pré-occupation (eau)				A52					
	Mesurage post-occupation (eau)				A54	B49	C31			
	Suivi avancé de consommation (eau)					B50				
	Entretien utilisant moins d'eau				A57					

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B

Stratégie obligatoire Stratégie optionnelle

La très grande majorité des approches s'attarde aux impacts reliés à la phase d'usage (23/25) par des approches qui considèrent le *bâtiment* (1) : le *revêtement de toiture (captage d'eau)* (C1); le binôme *bâtiment et systèmes* (1) : la conception intégrée (B15); ainsi que les *systèmes* (12) : l'*autonomie complète en eau* (C23), le *bilan sur l'eau (obligatoire)* (A32) et le *bilan sur l'eau* (B30), la *politique de préservation de l'eau (obligatoire)* (A33), l'*efficacité en eau des toilettes* (A34 et B31), l'*efficacité en eau des robinets et douches* (A35 et B32), l'*efficacité en eau des électroménagers* (A36 et B33), la

*collecte des eaux pluviales (A37, B34 et C24), le traitement sans produits chimiques (C25), la capacité d'infiltration du site (C26), la tuyauterie sans PVC (A27), la vérification et résolution des fuites (A38), ainsi que l'efficacité en eau de l'irrigation (A39 et B35). D'autres stratégies ont un potentiel d'impact sur la phase d'usage en réunissant des considérations en lien avec les **systèmes et usager** (3) : l'entretien des systèmes mécaniques (A46), les manuels d'instructions des systèmes (obligatoire) (B44) et les manuels d'instructions des systèmes (A47), ainsi que la formation sur les systèmes (obligatoire) (B43); mais aussi l' **usager** (6) : la sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire) (A49), la sensibilisation du public (obligatoire) (C35), la modélisation pré-occupation de l'eau (obligatoire) (A52), le mesurage post-occupation de l'eau (obligatoire) (B49) et le mesurage post-occupation de l'eau (A54 et C31), le suivi avancé de consommation d'eau (B50), ainsi que l'entretien utilisant moins d'eau (A57).*

Enfin, aucune stratégie en lien avec la consommation d'eau ne concerne la phase post-usage de l'habitation.

6.2.2.3 Matériaux

Les impacts associés à l'utilisation des matériaux se partagent entre la phase de pré-usage (55%) et la phase d'usage (45%) (Palmeri, 2010) (voir chapitre 4, p. 127). En prenant en compte les impacts intrinsèques engendrés à l'extraction des matières premières, à la production et au transport, les matériaux représentent probablement, après celui de l'énergie, l'enjeu le plus prépondérant dans le contexte québécois du bâtiment (voir chapitre 2, p. 31). De façon générale, la classification des stratégies en lien avec les matériaux semble s'aligner avec la prise en compte de cet enjeu en regroupant un total de 15 stratégies (voir **Tab. 16**). En accord avec les impacts qui lui sont associés, plusieurs stratégies sont susceptibles d'influencer les répercussions de la phase de pré-usage (8/15) correspondant à la construction initiale du **bâtiment** : la limitation des pertes de matériaux (obligatoire) (A9), l'optimisation des matériaux (obligatoire) (A10) et l'optimisation des matériaux (B11 et C6), le bois tropical certifié (obligatoire) (B6) et le bois certifié (B7 et C7), les produits à faible énergie intrinsèque (obligatoire) (A12), le bilan carbone intrinsèque (C9), la compensation par crédits carbone (C10), les produits à contenu recyclé (obligatoire) (A11) et les produits à contenu recyclé (B10), ainsi que les matériaux et produits locaux (B9 et C8).

Les stratégies en lien avec les matériaux sont aussi susceptibles d’influencer l’impact de la phase d’usage (6/15), par des approches qui considèrent le *bâtiment* (1) : la *superficie maximale du bâtiment (obligatoire)* (B14) et la *superficie maximale du bâtiment* (C11); ainsi que le binôme *bâtiment et systèmes* (3) : la *conception intégrée* (B15), la *gestion de la durabilité (obligatoire)* (B16) et la *gestion de la durabilité* (C14), mais aussi la *vérification de la durabilité* (B17). D’autres stratégies ont un potentiel d’influence sur les impacts de la phase d’usage par des préoccupations en lien avec l’*usager* (2) : la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) et la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35).

Enfin, une seule stratégie en lien avec les matériaux s’attarde à la phase de post-usage du bâtiment (1/15) : la *réutilisation et déconstruction* (C17).

Tableau 16. Stratégies en lien avec les matériaux

Considérations	Stratégies en lien avec les matériaux	Pré-usage			Usage			Post-usage		
		BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B
Bâtiment	Limitation des pertes de matériaux	A9								
	Optimisation des matériaux	A10	B11	C6						
	Bois certifié FSC		B6	B7	C7					
	Produits à faible énergie intrinsèque	A12								
	Bilan carbone intrinsèque			C9						
	Compensation par crédits carbone			C10						
	Superficie maximale du bâtiment					B14	C11			
	Produits à contenu recyclé	A11	B10							
Bâtiment et systèmes	Matériaux et produits locaux		B9	C8						
	Conception intégrée					B15				
	Gestion de la durabilité					B16	C14			
	Vérification de la durabilité					B17				
Usager	Réutilisation et déconstruction								C17	
	Sensibilisation aux pratiques enviro.				A49					
	Sensibilisation du public						C35			

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B
 Stratégie obligatoire Stratégie optionnelle

6.2.2.4 Déchets

Les impacts associés à la génération de déchets se partagent entre la phase de pré-usage (6%), la phase d’usage (50%) et la phase de post-usage (44%) (Palmeri, 2010) (voir chapitre 4, p. 127). Même si l’industrie de la construction québécoise engendre beaucoup de déchets, les impacts associés à cet aspect ne sont généralement pas considérés de même importance que ceux de l’énergie, ni des matériaux. Au niveau de la génération de déchets, l’analyse regroupe un total de 19 stratégies (voir **Tab. 17**). Malgré

la faible proportion d'impacts reliée à cet aspect, plusieurs stratégies sont susceptibles d'influencer les répercussions de la phase de pré-usage (7/19) correspondant à la construction initiale du *bâtiment* (5) : la *limitation des pertes des matériaux (obligatoire)* (A9), l'*optimisation des matériaux (obligatoire)* (A10) et l'*optimisation des matériaux* (B11 et C6), le *bilan carbone intrinsèque* (C9), la *compensation par crédits carbone* (C10), les *produits à contenu recyclé (obligatoire)* (A11) et les *produits à contenu recyclé* (B10); ainsi que du binôme *bâtiment et systèmes* (2) : la *gestion des déchets de CRD (obligatoire)* (A18) et la *gestion des déchets de CRD* (C15), mais aussi la *réduction des déchets de CRD* (B18 et C16).

Tableau 17. Stratégies en lien avec les déchets

Considérations	Stratégies en lien avec les déchets	Pré-usage			Usage			Post-usage		
		BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B
Bâtiment	Limitation des pertes de matériaux	A9								
	Optimisation des matériaux	A10	B11	C6						
	Bilan carbone intrinsèque			C9						
	Compensation par crédits carbone			C10						
	Produits à contenu recyclé	A11	B10							
	Superficie maximale du bâtiment					B14	C11			
Bâtiment et systèmes	Conception intégrée					B15				
	Gestion de la durabilité					B16	C14			
	Vérification de la durabilité					B17				
	Gestion des déchets de CRD	A18		C15						
	Réduction des déchets de CRD		B18	C16						
	Réutilisation et déconstruction									C17
Usager	Sensibilisation aux pratiques enviro.				A49					
	Sensibilisation du public						C35			
	Programme de réduction des déchets				A55					
Bâtiment et usager	Programme de recyclage				A63		C37			
	Programme de compostage				A64		C38			
	Collecte et gestion de certains résidus				A65					
	Formation sur les produits dangereux				A66					

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B
 Stratégie obligatoire Stratégie optionnelle

Les stratégies en lien avec les déchets sont aussi susceptibles d'influencer l'impact de la phase d'usage (11/19), par des approches qui considèrent le *bâtiment* (1) : la *superficie maximale du bâtiment (obligatoire)* (B14) et la *superficie maximale du bâtiment* (C11); ainsi que le binôme *bâtiment et systèmes* (3) : la *conception intégrée* (B15), la *gestion de la durabilité (obligatoire)* (B16) et la *gestion de la durabilité* (C14), ainsi que la *vérification de la durabilité* (B17). D'autres stratégies ont un potentiel d'impact sur la phase d'usage en réunissant des considérations en lien avec l'*usager* (3) : la *sensibilisation aux*

pratiques environnementales (obligatoire) (A49), la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) et le *programme de réduction des déchets* (A55); mais aussi le binôme **bâtiment et usager** (4) : le *programme de recyclage (obligatoire)* (A63) et le *programme de recyclage* (C37), le *programme de compostage* (A64 et C38), la *collecte et gestion de certains résidus* (A65), ainsi que la *formation sur les produits dangereux* (A66).

Enfin, même si cette dernière est reconnue pour regrouper des dommages importants, une seule stratégie en lien avec les déchets s'attarde à la phase de post-usage du bâtiment (1/19) : la *réutilisation et déconstruction* (C17).

6.2.2.5 Environnement intérieur

Malgré que les impacts associés à l'environnement intérieur ne soient pas suffisamment documentés, l'intérêt de cet enjeu se traduit au niveau des certifications analysées qui réunissent un total de 45 stratégies (voir **Tab. 18**). Seulement un très petit nombre de stratégies en lien avec l'environnement intérieur est susceptible d'influencer les impacts associés à la phase de pré-usage (2/45) du **bâtiment** avec des approches telles que le *bilan carbone intrinsèque* (C9) et la *compensation par crédits carbone* (C10).

Presque la totalité des stratégies s'attarde aux impacts de la phase d'usage (43/45) par des approches qui considèrent le **bâtiment** (6) : la *taille et le positionnement des fenêtres* (C5), l'*éclairage naturel* (A4 et C3), la *ventilation naturelle* (A5 et C4), la *présence de matières dangereuses (obligatoire)* (A8), les *produits à faibles émissions de COV* (A13 et B8), la *compartimentation de base des habitations (obligatoire)* (B12) et la *compartimentation supérieure des habitations* (B13); le binôme **bâtiment et systèmes** (13) : la *conception intégrée* (B15), la *gestion de la durabilité (obligatoire)* (B16) et la *gestion de la durabilité* (C14), la *vérification de la durabilité* (B17), les *matériaux et produits à proscrire* (C12), la *gestion des produits chimiques (obligatoire)* (A19), le *confort acoustique* (A20), le *bilan sur la QAI* (A21), la *QAI pendant les travaux* (A23), le *contrôle de l'humidité* (A22 et C18), la *ventilation de base avec de l'air frais (obligatoire)* (B19) et la *ventilation supérieure avec de l'air frais* (B20), la *purge du bâtiment avant l'occupation* (B21), la *protection contre le radon (obligatoire)* (B22) et la *protection contre le radon* (A24), les *émissions du garage (obligatoire)* (B23) et les *émissions du garage* (A25); ainsi que les **systèmes** (8) : le *plan de gestion des réfrigérants (obligatoire)* (A40), le *plan d'élimination des réfrigérants (obligatoire)* (A41), la *performance des CVC* (A42, B36 et C28), la *distribution efficace des CVC* (B37), l'*évacuation de base des gaz de combustion (obligatoire)* (B38) et l'*évacuation*

supérieure des gaz de combustion (B39), la ventilation indépendante (obligatoire) (B40) et la ventilation indépendante (A43 et C29), l'efficacité de la filtration de l'air (obligatoire) (B41) et l'efficacité de la filtration de l'air (A44), mais aussi la ventilation indépendante du garage (B42).

Tableau 18. Stratégies en lien avec l'environnement intérieur

Considérations	Stratégies en lien avec l'environnement intérieur	Pré-usage			Usage			Post-usage		
		BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B	BOMA-BEST®-IR	LEED®-H	LBC™-B
Bâtiment	Taille et positionnement des fenêtres						C5			
	Éclairage naturel				A4		C3			
	Ventilation naturelle				A5		C4			
	Présence de matières dangereuses				A8					
	Bilan carbone intrinsèque			C9						
	Compensation par crédits carbone			C10						
	Produits à faibles émissions de COV				A13	B8				
Bâtiment et systèmes	Compartmentation des habitations					B12 B13				
	Conception intégrée					B15				
	Gestion de la durabilité					B16	C14			
	Vérification de la durabilité					B17				
	Matériaux et produits à proscrire						C12			
	Gestion des produits chimiques				A19					
	Confort acoustique				A20					
	Bilan sur la QAI				A21					
	QAI pendant les travaux				A23					
	Contrôle de l'humidité				A22		C18			
	Ventilation avec de l'air frais					B19 B20				
	Purge du bâtiment avant l'occupation					B21				
	Protection contre le radon				A24	B22				
Systèmes	Émissions du garage				A25	B23				
	Plan de gestion des réfrigérants				A40					
	Plan d'élimination des réfrigérants				A41					
	Performance des CVC				A42	B36	C28			
	Distribution efficace des CVC					B37				
	Évacuation des gaz de combustion					B38 B39				
	Ventilation indépendante				A43	B40	C29			
	Efficacité de filtration de l'air				A44	B41				
Systèmes et usager	Ventilation indépendante du garage					B42				
	Entretien préventif des CVC				A45					
	Entretien des systèmes mécaniques				A46					
	Manuels d'instructions des systèmes				A47	B44				
	Formation sur les systèmes					B43				
Usager	Ventilation indépendante supérieure					B45				
	Sensibilisation aux pratiques enviro.				A49					
	Sensibilisation à la QAI				A56					
	Sensibilisation du public						C35			
	Mesurage pré-occupation (QAI)					B51	C32			
	Mesurage post-occupation (QAI)						C33			
	Entretien respectueux de l'enviro.				A58		C34			
Bâtiment et usager	Contrôle des polluants à la source				A59					
	Environnement sans fumée				A60	B52	C36			
	Formation sur les produits dangereux				A66					
	Surveillance de la moisissure				A67					
	Contaminants de l'air aux entrées				A68	B53	C39			

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B

■ Stratégie obligatoire ■ Stratégie optionnelle

D'autres stratégies ont un potentiel d'impact sur la phase d'usage en regroupant des préoccupations en lien avec le binôme *systèmes et usager* (5) : l'*entretien préventif des CVC (obligatoire)* (A45), l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46), les *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) et les *manuels d'instructions des systèmes* (A47), la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43), la *ventilation indépendante supérieure* (B45); l'*usager* (8) : la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49), la *sensibilisation à la QAI (obligatoire)* (A56), la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35), le *mesurage pré-occupation (QAI)* (B51 et C32), le *mesurage post-occupation (QAI)* (C33), l'*entretien respectueux de l'environnement* (A58 et C34), le *contrôle des polluants à la source* (A59), l'*environnement sans fumée (obligatoire)* (B52) et l'*environnement sans fumée* (A60 et C36); mais aussi le binôme *bâtiment et usager* (3) : la *formation sur les produits dangereux* (A66), la *surveillance de la moisissure* (A67), ainsi que les *contaminants de l'air aux entrées* (A68, B53 et C39).

Enfin, aucune stratégie en lien avec l'environnement intérieur ne concerne la phase de post-usage de l'habitation.

En conclusion, la deuxième étape de cette collecte et analyse de données permet de mettre en relief que les considérations semblent, de façon générale, cohérentes avec les impacts associés aux différentes sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur). Au niveau de la consommation d'énergie, la classification des stratégies montre une prise en compte extensive de cet enjeu critique. De ceux-ci, une très grande majorité a un potentiel d'influence sur la phase d'usage, ce qui est cohérent avec la forte proportion des impacts associée à cette étape du cycle de vie. En termes de consommation d'eau, la répartition des stratégies démontre une prise en compte importante de cet aspect. À l'image de l'énergie, une très grande majorité des approches encadrant la consommation d'eau est susceptible d'influencer les répercussions associées à la phase d'usage, ce qui est conséquent avec le profil d'impacts de cette catégorie. La distribution des stratégies en lien avec les matériaux semble également s'aligner avec la considération de cet enjeu. En accord avec les impacts qui lui sont associés, l'agencement des stratégies semble compatible avec les proportions des impacts des matériaux puisque les stratégies proposées se divisent entre celles susceptibles d'influencer les répercussions de la phase de pré-usage et celles de la phase d'usage. Au niveau de génération de déchets, l'analyse permet de noter un certain

décalage entre les impacts associés aux différentes phases du cycle de vie de cette catégorie et les stratégies proposées : malgré le faible pourcentage d'impacts attribué à la phase de pré-usage, plusieurs approches sont susceptibles d'en influencer les répercussions; une majorité des stratégies en lien avec les déchets est susceptible d'influer sur l'impact de la phase d'usage identifiée comme responsable de la moitié des impacts; tandis qu'une seule stratégie s'attarde à la phase de post-usage reconnue pour regrouper une forte proportion des dommages. Enfin, même s'il n'est pas possible de quantifier l'importance relative de l'environnement intérieur en termes d'impacts, l'intérêt de cet aspect semble se confirmer par le nombre de stratégies dont la très grande majorité s'attarde à encadrer la phase d'usage.

6.2.3 Analyse des stratégies concernant l'usager

Tel que présenté précédemment, la deuxième phase d'analyse de contenu a permis de révéler que les stratégies proposées par les programmes de certification (BOMA-BEST® – IR, LEED® – H, et Living Building Challenge™ – B), semblent cohérentes avec l'importance relative des sources potentielles d'impacts, ainsi que la prédominance des impacts associés à la phase d'usage. L'étendue de la couverture démontre une maîtrise des aspects liés au *bâtiment* et aux *systèmes* (incluant le binôme *bâtiment et systèmes*), un encadrement qui n'est potentiellement pas aussi complet au niveau des 31 stratégies considérant l'*usager* (incluant les binômes *systèmes et usager* et *bâtiment et usager*). La prochaine section fait état des résultats d'un processus d'examen qui focalise sur la teneur et les objectifs de ces stratégies. En regard des impacts associés à la phase d'usage, ce processus exploite l'émergence de deux regroupements thématiques. Premièrement, l'analyse présente les stratégies de considération de l'usager de BOMA-BEST® – IR, LEED® – H et LBC™ – B en les distinguant selon cinq catégories de sources potentielles d'impacts : énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur. Enfin, selon leurs objectifs et leurs finalités, ces mêmes stratégies sont ensuite regroupées selon quatre thèmes qui permettent de clarifier leur couverture : entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage; ainsi que comportement et habitude.

6.2.3.1 Regroupement thématique 1 : 5 sources potentielles d'impacts

Dans un premier temps, l'analyse thématique des stratégies rejoignant des préoccupations en lien avec l'*usager* (incluant les binômes *systèmes et usager* et *bâtiment et*

usager) sont extraites des **Tab. 14** à **Tab. 18** et regroupées selon les sources potentielles d'impacts, soit l'*énergie*, l'*eau*, les *matériaux*, les *déchets*, et l'*environnement intérieur* (voir **Tab. 19**). Certaines stratégies généralistes sont considérées transversales puisqu'elles concernent plusieurs ou toutes ces catégories. Suivant cet énoncé, ces stratégies sont répétées dans chacune des catégories concernées :

- > **BOMA-BEST® – IR** compte cinq stratégies transversales : l'*entretien préventif des CVC (obligatoire)* (A45) concerne le maintien d'un optimum de performance des composantes et des sous-composantes des systèmes de CVC (concerne l'énergie et l'environnement intérieur); l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46) informe sur les tâches périodiques à effectuer pour assurer la performance des systèmes et met en place un suivi des tâches effectuées en ce sens (concerne l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur); les *manuels d'instructions des systèmes* (A47) regroupent des informations sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service (concerne l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur); la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) qui assure une communication régulière avec les occupants pour leur fournir des informations pertinentes et vulgarisées sur les bénéfices de telles pratiques, mais aussi sur la performance de l'habitation. Cette considération de l'usager utilise la sensibilisation comme moyen de conscientiser les occupants et influencer les pratiques de performance de l'habitation (concerne toutes les sources potentielles d'impacts); ainsi que la *formation sur les produits dangereux* (A66) qui fournit les informations au sujet de l'utilisation, de la manipulation, de l'entreposage et de l'élimination de ces substances (concerne les déchets et l'environnement intérieur);
- > **LEED® – H** comporte deux stratégies transversales : la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43) et les *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) qui fournissent aux occupants des informations sur le fonctionnement, les bonnes pratiques et l'entretien des systèmes (CVC, énergies renouvelables, éclairage, collecte et gestion des eaux pluviales, contrôle de l'humidité, protection contre le radon et électroménagers) (concerne l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur);
- > **Living Building Challenge™ – B** inclut une stratégie transversale : la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) qui requiert de fournir du matériel éducatif concernant la conception et l'utilisation du bâtiment, mais aussi de permettre la visite de l'habitation pour donner l'opportunité de démystifier les pratiques du LBC™ (concerne toutes les sources potentielles d'impacts).

Tableau 19. Stratégies considérant l'utilisateur : 5 sources potentielles d'impacts

ÉNERGIE	MATÉRIAUX
<p>Entretien préventif des CVC (A45) Entretien des systèmes mécaniques (A46) Entretien + remplacement : éclairages (A48) Inspection de l'enveloppe (A61) Inspection portes et fenêtres (A62) Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35) Manuels d'instructions des systèmes (B44) Manuels d'instructions des systèmes (A47) Formation sur les systèmes (B43) Formation sur l'énergie (A50) Modélisation pré-occupation (énergie) (A51) Modélisation pré-occupation (énergie) (B46) Mesurage post-occupation (énergie) (B47-C30) Mesurage post-occupation (énergie) (A53) Suivi avancé de la consommation (énergie) (B48)</p>	<p>Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35)</p>
	DÉCHETS
	<p>Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35) Formation sur les produits dangereux (A66) Programme de réduction des déchets (A55) Programme de recyclage (A63) Programme de recyclage (C37) Programme de compostage (A64-C38) Collecte et gestion de certains résidus (A65)</p>
	ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR
	<p>Entretien préventif des CVC (A45) Entretien des systèmes mécaniques (A46) Entretien respectueux de l'enviro. (A58-C34) Surveillance de la moisissure (A67) Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35) Sensibilisation à la QAI (A56) Manuels d'instructions des systèmes (B44) Manuels d'instructions des systèmes (A47) Formation sur les systèmes (B43) Formation sur les produits dangereux (A66) Mesurage pré-occupation (QAI) (B51-C32) Mesurage post-occupation (QAI) (C33) Ventilation indépendante supérieure (B45) Contrôle des polluants à la source (A59) Environnement sans fumée (B52) Environnement sans fumée (A60-C36) Contaminants de l'air (entrées) (A68-B53-C39)</p>
EAU	
<p>Entretien des systèmes mécaniques (A46) Entretien utilisant moins d'eau (A57) Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35) Manuels d'instructions des systèmes (B44) Manuels d'instructions des systèmes (A47) Formation sur les systèmes (B43) Modélisation pré-occupation (eau) (A52) Modélisation post-occupation (eau) (B49) Mesurage post-occupation (eau) (A54-C31) Suivi avancé de la consommation (eau) (B50)</p>	

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B
 Stratégie (X00) : obligatoire Stratégie (X00) : optionnelle

6.2.3.1.1 Énergie

La première source potentielle d'impacts de cet ensemble thématique, l'*énergie*, regroupe les stratégies concernant l'usager qui ont un lien avec la consommation énergétique du bâtiment. Cette catégorie réunit un total de 13 stratégies (7 stratégies obligatoires et 9 stratégies optionnelles²⁴) distribuées selon les programmes de certification :

- > **BOMA-BES^t**® – IR (10 stratégies : 3 stratégies obligatoires et 7 stratégies optionnelles) : l'*entretien préventif des CVC (obligatoire)* (A45) concerne la vérification, la correction ou le remplacement périodiques des sous-composantes non performantes des systèmes de CVC; l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46) fournit un calendrier détaillé des tâches à effectuer, dont la fréquence varie selon les normes en vigueur et les recommandations des fabricants, ainsi qu'un suivi des opérations faites; l'*entretien et le remplacement des éclairages* (A48) maintiennent l'efficacité des appareils et des ampoules, augmentent leur durée de vie et, par extension, minimisent la consommation d'énergie; l'*inspection de l'enveloppe* (A61) et l'*inspection des portes et fenêtres* (A62) demandent la vérification périodique de l'étanchéité et le calfeutrage et la réparation, si nécessaire; la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) informe et conscientise les occupants sur les pratiques de réduction des besoins en énergie; les *manuals d'instructions des systèmes* (A47) permettent aux intervenants et aux occupants de s'informer facilement sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service; la *formation sur l'énergie* (A50) sensibilise les intervenants du bâtiment à l'importance d'une surveillance de la consommation d'énergie, de la mise en place du processus d'entretien et d'une compréhension des stratégies d'efficacité énergétique mises en place; la *modélisation pré-occupation de l'énergie (obligatoire)* (A51) consiste à recueillir les données de facturation ou à évaluer la consommation d'énergie sur la base de scénarios de conception modélisés; ainsi que le *mesurage post-occupation de l'énergie* (A53) qui demande l'installation de sous-compteurs pour mesurer avec précision la consommation d'énergie de l'habitation et déterminer si les revendications correspondent à l'usage réel;

²⁴ La somme des stratégies (obligatoires et optionnelles) est supérieure au total des stratégies puisqu'une (ou plusieurs) d'entre elles est considérée comme obligatoire pour un programme de certification et optionnelle pour un autre.

- > LEED® – H (5 stratégies : 3 stratégies obligatoires et 2 stratégies optionnelles): la stratégie des *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) fournit aux intervenants et aux occupants de la documentation sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service des systèmes de CVC et d'énergies renouvelables; la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43) fournit aux occupants des explications supplémentaires et une visite pour assurer une meilleure compréhension du fonctionnement, des bonnes pratiques et de l'entretien de ces systèmes; la *modélisation pré-occupation de l'énergie* (B46) permet l'évaluation de la consommation d'énergie durant la phase de conception; le *mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire)* (B47) nécessite l'installation de compteurs et encourage les occupants à partager les données recueillies avec le *U.S. Green Building Council (USGBC)* (organisme qui chapeaute la certification LEED® sur le territoire américain); ainsi que le *suivi avancé de la consommation d'énergie* (B48) qui encadre l'installation d'un système de surveillance de la consommation énergétique du bâtiment qui fournit des données en temps réel qui doivent être accessibles à distance et peuvent être transmises au *USGBC*.

- > Living Building Challenge™ – B (2 stratégies obligatoires): la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) informe et démystifie la certification LBC™, une démarche qui intègre les préoccupations énergétiques de l'habitation; ainsi que le *mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire)* (C30) qui, dans une perspective d'autonomie complète en énergie, requiert l'installation de sous-compteurs pour démontrer que l'énergie produite sur le site du projet comble la totalité de la consommation annuelle du bâtiment. Les sous-compteurs informent de la consommation des systèmes énergivores du bâtiment (chauffage, climatisation, ventilation, éclairage, charges aux prises électriques, chauffage de l'eau) et, par extension, l'usage qui en est fait par les occupants.

6.2.3.1.2 Eau

La deuxième source potentielle d'impacts, l'*eau*, réunit les pratiques de performance environnementale reliées à l'usager et qui s'intéressent à la consommation d'eau (intérieure et extérieure) de l'habitation. Cette classe regroupe un total de 9 stratégies (6 stratégies obligatoires et 5 stratégies optionnelles²⁵) :

²⁵ Ibid.

- > **BOMA-BEST® – IR** (6 stratégies : 2 stratégies obligatoires et 4 stratégies optionnelles) : l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46) fournit un calendrier détaillé des tâches à effectuer et un suivi des opérations faites; l'*entretien utilisant moins d'eau* (A57) vise à améliorer les pratiques de nettoyage; la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) informe et conscientise les occupants aux mesures qui réduisent les besoins en eau du projet; les *manuels d'instructions des systèmes* (A47) informent facilement sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service; la *modélisation pré-occupation de l'eau (obligatoire)* (A52) consiste à recueillir les données de facturation, à relever les données des sous-compteurs (si applicable²⁶) ou à évaluer la consommation d'eau sur la base de scénarios de conception modélisés; ainsi que le *mesurage post-occupation de l'eau* (A54) qui demande l'installation de sous-compteurs pour mesurer plus précisément la consommation d'eau de l'habitation et assurer une meilleure correspondance entre les prévisions et l'usage réel;
- > **LEED® – H** (4 stratégies : 3 stratégies obligatoires et 1 stratégie optionnelle) : la stratégie des *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) fournit aux intervenants et aux occupants la documentation sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service des systèmes de collecte des eaux pluviales et grises, mais aussi ceux d'irrigation; la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43) fournit aux occupants des explications supplémentaires et une visite pour assurer une meilleure compréhension du fonctionnement, des bonnes pratiques et de l'entretien de ces systèmes; le *mesurage post-occupation de l'eau (obligatoire)* (B49) nécessite l'installation de compteurs et encourage les occupants à partager les données recueillies avec le *U.S. Green Building Council* (USGBC); ainsi que le *suivi avancé de la consommation d'eau* (B50) encadre l'installation d'un système de surveillance de la consommation d'eau des systèmes d'irrigation qui fournit des données en temps réel pouvant être transmises au *USGBC*;
- > **Living Building Challenge™ – B** (2 stratégies : 1 stratégie obligatoire et 1 stratégie optionnelle) : la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) permet de se familiariser avec les principes et caractéristiques de LBC™, ce qui inclut l'utilisation de l'eau dans le bâtiment; ainsi que le *mesurage post-occupation de l'eau* (C31) qui, dans

²⁶ Au niveau résidentiel, pour certaines provinces canadiennes telles que le Québec, l'installation de compteurs d'eau n'est pas une pratique obligatoire.

une perspective d'autonomie complète en eau, exige l'installation de sous-compteurs pour démontrer que la capacité de collecte du site (eaux de pluie, les eaux souterraines, les eaux de surface) et la réutilisation des eaux grises (provenant du lave-linge, de la douche, de la baignoire, des éviers et des lavabos) et des eaux noires (provenant des toilettes) du projet comblent les besoins intérieurs et extérieurs de l'habitation.

6.2.3.1.3 Matériaux

La troisième source potentielle d'impacts, les *matériaux*, s'intéresse à l'usager, et ce, par des stratégies qui abordent des problématiques en lien avec l'utilisation des matériaux. Ce groupe incorpore un total de 2 stratégies obligatoires :

- > **BOMA-BES^t** – IR (1 stratégie obligatoire) : la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) cherche à faire connaître les pratiques mises en place pour améliorer la performance du projet en termes de matériaux;
- > **LEED**[®] – H : aucune stratégie n'est proposée dans cette catégorie;
- > **Living Building ChallengeTM** – B (1 stratégie obligatoire) : la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) offre la possibilité aux gens de démystifier les principes de la certification LBCTM, dont les stratégies qui ciblent plus particulièrement les ressources matérielles.

6.2.3.1.4 Déchets

La quatrième source potentielle d'impacts, les *déchets*, s'intéresse à l'usager en traitant des préoccupations en lien avec la génération de matières résiduelles. Ce groupe comprend un total de 7 stratégies (3 stratégies obligatoires et 5 stratégies optionnelles²⁷) :

- > **BOMA-BES^t** – IR (6 stratégies : 2 stratégies obligatoires et 4 stratégies optionnelles) : la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) mène à faire connaître les pratiques mises en place pour améliorer la performance du projet en termes de déchets; la *formation sur les produits dangereux* (A66) fournit les informations pertinentes au sujet de l'élimination de ces substances; le *programme de réduction des déchets* (A55) inclut la conduite d'un bilan des déchets pour déterminer la composition et la quantité de résidus, le suivi

²⁷ La somme des stratégies (obligatoires et optionnelles) est supérieure au total des stratégies puisqu'une (ou plusieurs) d'entre elles est considérée comme obligatoire pour un programme de certification et optionnelle pour un autre.

régulier des déchets et la détermination d'opportunités de réduction et de détournement des sites d'enfouissement; le *programme de recyclage (obligatoire)* (A63) prévoit des installations au niveau du projet pour le tri et l'entreposage du papier, du carton, du verre, du plastique, de l'aluminium; le *programme de compostage* (A64) veille à la collecte des matières organiques et alimentaires produites sur le site; ainsi que la *collecte et la gestion de certains résidus* (A65) qui encadrent la collecte de certains articles comme les piles, les cartouches d'encre, les lampes fluorescentes, les équipements électroniques;

- > LEED® – H : aucune stratégie n'est proposée dans cette catégorie;
- > Living Building Challenge™ – B (1 stratégie obligatoire et 2 stratégies optionnelles) : la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) offre la possibilité aux gens de démystifier les principes de la certification LBC™, dont les stratégies qui ciblent plus particulièrement les déchets; le *programme de recyclage* (C37) demande de prévoir les infrastructures nécessaires à la collecte du papier, du carton, du verre, du plastique et de l'aluminium au niveau du projet; ainsi que le *programme de compostage* (C38) qui requiert des installations pour la collecte et la gestion des résidus alimentaires de l'habitation.

6.2.3.1.5 Environnement intérieur

Enfin, la cinquième source potentielle d'impacts, l'*environnement intérieur*, traite de la considération de l'utilisateur en réunissant les stratégies qui s'intéressent principalement à la QAI. Cette catégorie concentre un total de 16 stratégies (6 stratégies obligatoires et 12 stratégies optionnelles²⁸) :

- > BOMA-BEST® – IR (11 stratégies : 2 stratégies obligatoires et 9 stratégies optionnelles) : l'*entretien préventif des CVC (obligatoire)* (A45) vise la vérification, la correction ou le remplacement périodiques des sous-composantes non performantes des systèmes de CVC; l'*entretien des systèmes mécaniques* (A46) établit un calendrier détaillé des tâches à effectuer tout en faisant un suivi des opérations exécutées; l'*entretien respectueux de l'environnement* (A58) encadre les pratiques et la sélection des produits nettoyants; la *surveillance de la moisissure* (A67) fournit un registre de plaintes permettant aux occupants d'y inscrire le relevé d'odeurs ou l'identification de taches sur les murs et les plafonds; la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49) informe et conscientise sur les

²⁸ Ibid.

mesures mises en place pour améliorer la qualité de l'air intérieur; la *sensibilisation à la QAI (obligatoire)* (A56) propose la mise en place d'un processus de réponses aux préoccupations des occupants; les *manuels d'instructions des systèmes* (A47) regroupent des informations sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service; la *formation sur les produits dangereux* (A66) fournit les informations pertinentes au sujet de l'utilisation, de la manipulation et de l'entreposage de ces substances; le *contrôle des polluants à la source* (A59) fait état des mesures permettant d'éviter la présence d'eau stagnante, les odeurs provenant des ordures ou l'accumulation d'objets, de boîtes et de résidus dans les pièces de vie et de rangement (pour prévenir l'accumulation de poussière); *l'environnement sans fumée* (A60) régit l'emplacement des zones extérieures pour les fumeurs en assurant un dégagement suffisant des entrées et des prises d'air du bâtiment; ainsi que *les contaminants de l'air aux entrées* (A68) une stratégie qui implique l'installation, sur une base annuelle, de grilles gratte-pieds ou de paillasons pour capturer la poussière et les contaminants provenant de l'extérieur;

- > LEED® – H (6 stratégies : 3 stratégies obligatoires et 3 stratégies optionnelles) : la stratégie des *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44) fournit aux intervenants et aux occupants la documentation sur le fonctionnement, l'ajustement, la résolution de problèmes et la remise en service des systèmes de ventilation, de contrôle de l'humidité et de protection contre le radon; la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43) fournit aux occupants des explications supplémentaires et une visite pour assurer une meilleure compréhension du fonctionnement, des bonnes pratiques et de l'entretien de ces systèmes; le *mesurage pré-occupation de la QAI* (B51) évalue les niveaux de particules respirables en suspension dans l'air et des COV à la fin de la construction, mais avant l'occupation; la *ventilation indépendante supérieure* (B45) requiert l'installation de dispositifs de commande automatique, tels que le détecteur de présence, l'humidostat²⁹ ou la minuterie automatique, qui assurent un fonctionnement basé sur l'utilisation; *l'environnement sans fumée (obligatoire)* (B52) régit l'emplacement des zones extérieures pour les fumeurs en assurant un dégagement suffisant des entrées et des prises d'air du bâtiment; ainsi que *les contaminants de l'air aux entrées* (B53) une mesure qui demande l'installation de grilles gratte-pieds ou de paillasons servant à capturer la poussière et les contaminants extérieurs, mais aussi

²⁹ Dispositif de commande automatique régi selon le taux d'humidité de la pièce.

par la prévision, à l'entrée principale, d'un espace séparé pour enlever et remiser les chaussures;

- > **Living Building Challenge™ – B** (6 stratégies : 1 stratégie obligatoire et 5 stratégies optionnelles) : *l'entretien respectueux de l'environnement* (C34) encadre les pratiques et la sélection des produits nettoyants; la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35) participe à la diffusion des principes du programme LBC™, incluant les préoccupations reliées à l'environnement intérieur; des stratégies pour assurer l'évaluation et le maintien de la QAI en évaluant les niveaux de particules respirables en suspension dans l'air et des COV lorsque la construction est terminée, avec le *mesurage pré-occupation de la QAI* (C32), et après neuf mois consécutifs d'occupation par le *mesurage post-occupation de la QAI* (C33); l'environnement sans fumée (C36) qui interdit de fumer dans les limites du projet; ainsi que la stratégie sur *les contaminants de l'air aux entrées* (C39) qui vise le maintien de la QAI par l'aménagement d'un vestibule fermé aux entrées, ainsi que l'installation de dispositifs de capture de la saleté tels que des grilles gratte-pieds, et ce, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur.

En somme, le premier regroupement thématique selon 5 sources potentielles d'impacts montre que le nombre de stratégies considérant l'utilisateur est plus important au niveau des préoccupations de l'environnement intérieur (16 stratégies), suivi de celles de l'énergie (13 stratégies), de l'eau (9 stratégies), des déchets (7 stratégies) et des matériaux (2 stratégies); certaines stratégies généralistes, jugées transversales, se retrouvent dans plus d'une source potentielle d'impacts. Malgré que cette analyse ne permet pas d'évaluer la portée des stratégies en termes de baisse d'impacts environnementaux, un questionnement émerge tout de même quant à la capacité de ces stratégies à considérer de façon globale et systémique le potentiel d'influence de l'utilisateur sur la performance environnementale de l'habitation, et ce, en tenant compte de la mise en perspective des enjeux du Québec (voir chapitre 2, p.31).

6.2.3.2 Regroupement thématique 2 : 4 thèmes

Les programmes de certification de l'habitation tiennent compte de l'utilisateur par l'entremise de 31 stratégies différentes. Afin d'évaluer si la prise en compte de l'utilisateur est cohérente avec le potentiel d'impacts associé à la phase d'usage, ce deuxième ensemble thématique identifie quatre thèmes émergeant des objectifs et des finalités des stratégies

considérant l’usager qui informent de la couverture et de la diversité de celles-ci : *entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage*; ainsi que *comportement et habitude* (voir **Tab. 20**).

Tableau 20. Stratégies considérant l’usager : 4 thèmes

ENTRETIEN et SURVEILLANCE	SENSIBILISATION et FORMATION
<p>Entretien préventif des CVC (A45) Entretien des systèmes mécaniques (A46) Entretien + remplacement : éclairages (A48) Entretien utilisant moins d’eau (A57) Entretien respectueux de l’enviro. (A58-C34) Inspection de l’enveloppe (A61) Inspection portes et fenêtres (A62) Surveillance de la moisissure (A67)</p>	<p>Sensibilisation aux pratiques enviro. (A49) Sensibilisation du public (C35) Sensibilisation à la QAI (A56) Manuels d’instructions des systèmes (B44) Manuels d’instructions des systèmes (A47) Formation sur les systèmes (B43) Formation sur l’énergie (A50) Formation sur les produits dangereux (A66)</p>
MODÉLISATION et MESURAGE	COMPORTEMENT et HABITUDE
<p>Modélisation pré-occupation (énergie) (A51) Modélisation pré-occupation (énergie) (B46) Modélisation pré-occupation (eau) (A52) Mesurage pré-occupation (QAI) (B51-C32) Mesurage post-occupation (énergie) (B47-C30) Mesurage post-occupation (énergie) (A53) Mesurage post-occupation (eau) (B49) Mesurage post-occupation (eau) (A54-C31) Mesurage post-occupation (QAI) (C33) Suivi avancé de la consommation (énergie) (B48) Suivi avancé de la consommation (eau) (B50)</p>	<p>Programme de réduction des déchets (A55) Programme de recyclage (A63) Programme de recyclage (C37) Programme de compostage (A64-C38) Collecte et gestion de certains résidus (A65) Ventilation indépendante supérieure (B45) Contrôle des polluants à la source (A59) Environnement sans fumée (B52) Environnement sans fumée (A60-C36) Contaminants de l’air (entrées) (A68-B53-C39)</p>

Légende

(A00) : BOMA-BEST®-IR (B00) : LEED®-H (C00) : Living Building Challenge™-B
Stratégie (X00) : obligatoire **Stratégie (X00) : optionnelle**

6.2.3.2.1 Entretien et surveillance

Le premier thème vise la phase d’usage par une vérification ou une inspection périodique du bâtiment et des systèmes afin d’en maintenir l’intégrité et la performance. Cette thématique réunit 8 stratégies (1 stratégie obligatoire et 7 stratégies optionnelles) : *l’entretien préventif des CVC (obligatoire) (A45), l’entretien des systèmes mécaniques (A46), l’entretien et le remplacement des éclairages (A48), l’entretien utilisant moins d’eau (A57), l’entretien respectueux de l’environnement (A58-C34), l’inspection de l’enveloppe*

(A61), l'*inspection des portes et fenêtres* (A62), ainsi que la *surveillance de la moisissure* (A67). Ces stratégies consistent au développement et à la mise en place de protocoles d'entretien et de surveillance périodiques, effectués durant la phase d'usage, pour maintenir et maximiser la performance du bâtiment et des systèmes. Le thème *entretien et surveillance* regroupe des stratégies qui proviennent presque uniquement de BOMA-BES[®] et rejoint seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur.

6.2.3.2.2 Sensibilisation et formation

Le deuxième thème s'intéresse à démystifier la performance environnementale de l'habitation en conscientisant et en éduquant les occupants, les intervenants et le public aux pratiques mises de l'avant par les programmes de certification. Cette classe regroupe 7 stratégies (5 stratégies obligatoires et 3 stratégies optionnelles³⁰) : la *sensibilisation aux pratiques environnementales (obligatoire)* (A49), la *sensibilisation du public (obligatoire)* (C35), la *sensibilisation à la QAI (obligatoire)* (A56), les *manuels d'instructions des systèmes (obligatoire)* (B44), les *manuels d'instructions des systèmes* (A47), la *formation sur les systèmes (obligatoire)* (B43), la *formation sur l'énergie* (A50), ainsi que la *formation sur les produits dangereux* (A66). Ces stratégies se basent sur la connaissance et l'éducation comme vecteurs de vulgarisation et de conscientisation face aux approches de conception et de construction du bâtiment vert. Ce cadre informatif et éducatif fournit des moyens pour intéresser et outiller les occupants dans des actions de maintien et de détermination de la performance de l'habitation. Le thème *sensibilisation et formation* rejoint des préoccupations en lien avec les cinq sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur).

6.2.3.2.3 Modélisation et mesurage

Le troisième thème traite de la considération de l'utilisateur en intégrant ce facteur dans l'évaluation de la performance de l'habitation. Cette classification concentre 8 stratégies (4 stratégies obligatoires et 7 stratégies optionnelles³¹) : la *modélisation pré-occupation de l'énergie (obligatoire)* (A51), la *modélisation pré-occupation de l'énergie* (B46), la *modélisation pré-occupation de l'eau (obligatoire)* (A52), le *mesurage pré-occupation de la QAI* (B51-C32), le *mesurage post-occupation de l'énergie (obligatoire)*

³⁰ La somme des stratégies (obligatoires et optionnelles) est supérieure au total des stratégies puisqu'une (ou plusieurs) d'entre elles est considérée comme obligatoire pour un programme de certification et optionnelle pour un autre.

³¹ Ibid.

(B47-C30), le *mesurage post-occupation de l'énergie* (A53), le *mesurage post-occupation de l'eau (obligatoire)* (B49), le *mesurage post-occupation de l'eau* (A54 et C31), le *mesurage post-occupation de la QAI* (C33), ainsi que le *suivi avancé de la consommation d'énergie* (B48) et le *suivi avancé de la consommation d'eau* (B50). Ce thème réunit deux types de processus d'évaluation distincts. Les stratégies de modélisation permettent d'évaluer la performance à l'étape de la conception en ayant recours à des scénarios prédéterminés et normalisés (au niveau des caractéristiques du bâtiment, du nombre d'occupants et de la consommation d'électricité et d'eau, par exemple) pour établir des prévisions. Les stratégies de mesurage, quant à elles, établissent des protocoles pour quantifier la performance réelle du projet en utilisant des données de sous-compteurs relevées subséquemment à l'occupation (énergie, eau et qualité de l'air). Le thème *modélisation et mesurage* rejoint seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur.

6.2.3.2.4 Comportement et habitude

Enfin, le quatrième thème reconnaît à l'occupant un rôle plus actif dans la performance de l'habitation, en le soutenant par une meilleure gestion et un meilleur encadrement de certaines pratiques. Ce groupe incorpore 8 stratégies (2 stratégies obligatoires et 8 stratégies optionnelles³²) : le *programme de réduction des déchets* (A55), le *programme de recyclage (obligatoire)* (A63), le *programme de recyclage* (C37), le *programme de compostage* (A64 et C38), la *collecte et la gestion de certains résidus* (A65), la *ventilation indépendante supérieure* (B45), le *contrôle des polluants à la source* (A59), l'*environnement sans fumée (obligatoire)* (B52), l'*environnement sans fumée* (A60 et C36), ainsi que les *contaminants de l'air aux entrées* (A68, B53 et C39). Ces stratégies de considération de l'utilisateur, appelant généralement à des changements au niveau de l'aménagement et des façons de faire, réitèrent que les occupants ont une influence probante sur la performance de l'habitation. Ce thème encadre et mène à des pratiques susceptibles de bénéficier à la performance du bâtiment résidentiel en impliquant des contraintes et un engagement de la part des occupants. Le thème *comportement et habitude* rejoint seulement des préoccupations en lien avec les déchets et l'environnement intérieur.

³² Ibid.

En conclusion, l'importance des impacts de la phase d'usage de l'habitation a orienté la recherche vers cette étape du cycle de vie. Premièrement, une évaluation sommative des stratégies du bâtiment vert, issues des manuels et des guides de référence de BOMA-BES[®] – IR, LEED[®] – H et LBC[™] – B, permet une classification et une répartition selon leurs considérations : *bâtiment*, *bâtiment et systèmes*, *systèmes*, *systèmes et usager*, *usager* ou *bâtiment et usager*.

Deuxièmement, cette collecte et analyse de données permet de mettre en relief que les considérations semblent, de façon générale, cohérentes avec les impacts associés aux sources potentielles d'impacts. Au niveau de la consommation d'énergie, la prise en compte extensive de cet enjeu critique, avec une très grande majorité des stratégies ayant un potentiel d'influence sur la phase d'usage, est cohérente avec la forte proportion des impacts associée à cette étape du cycle de vie. En termes de consommation d'eau, la couverture importante de cet aspect, dont une très grande majorité des approches est susceptible d'influencer les répercussions associées à la phase d'usage, est conséquente avec le profil d'impact de cette sphère. La distribution des stratégies en lien avec les matériaux semble également compatible avec la proportion des impacts octroyée respectivement aux phases de pré-usage et d'usage. En termes de génération de déchets, l'analyse permet de noter un certain décalage: malgré le faible pourcentage d'impacts attribué à la phase de pré-usage, plusieurs approches sont susceptibles d'en influencer les répercussions; une majorité des stratégies en lien avec les déchets est susceptible d'influer sur l'impact de la phase d'usage identifiée comme responsable de la moitié des impacts; tandis qu'une seule stratégie s'attarde à la phase de post-usage reconnue pour regrouper une forte proportion des dommages. Enfin, même s'il n'est pas possible de quantifier l'importance relative de l'environnement intérieur en termes d'impacts, l'intérêt de cet aspect semble se confirmer par le nombre important de stratégies dont la très grande majorité s'attarde à la phase d'usage.

Troisièmement, pour évaluer si la considération de la phase d'usage est cohérente avec les impacts qui y sont associés, l'analyse se porte plus spécifiquement vers les 31 stratégies considérant l'*usager* (incluant les binômes *systèmes et usager* et *bâtiment et usager*) en focalisant sur la teneur et les objectifs de ces stratégies. Ce processus d'examen a mené à un premier ensemble thématique selon des sources potentielles d'impacts : *énergie*, *eau*, *matériaux*, *déchets*, *environnement intérieur*. Ce regroupement montre que le nombre de stratégies considérant l'usager est plus important au niveau des

préoccupations de l'environnement intérieur (16 stratégies), suivi de celles de l'énergie (13 stratégies), de l'eau (9 stratégies), des déchets (7 stratégies) et des matériaux (2 stratégies). Malgré que cette analyse ne permet pas d'évaluer l'influence des stratégies sur les impacts environnementaux, cette démarche questionne la capacité de celles-ci à encadrer l'influence de l'utilisateur sur la performance environnementale générale de l'habitation, et ce, dans le contexte du Québec.

Ensuite, cette analyse exploite un deuxième ensemble thématique qui identifie quatre thèmes émergeant des objectifs et des finalités et qui informent de la couverture de celles-ci: *entretien et surveillance*; *sensibilisation et formation*; *modélisation et mesurage*; ainsi que *comportement et habitude*. Cette façon de faire met en lumière la diversité et la complexité des éléments à considérer pour minimiser les impacts de l'habitation: les protocoles d'entretien et de surveillance visent à maintenir la performance et l'intégrité de l'habitation; les stratégies de sensibilisation et de formation visent à informer les occupants sur l'optimisation de la performance de l'habitation; la modélisation et le mesurage fournissent des mécanismes d'évaluation de la performance, en se basant sur des estimations et des prévisions à la phase de conception ou des mesures effectuées subséquemment à l'occupation; enfin, les stratégies visant les comportements et les habitudes encadrent et mènent à des pratiques susceptibles de bénéficier à la performance du bâtiment résidentiel.

De plus, ce processus analytique montre que les quatre thèmes ne regroupent pas toujours des stratégies provenant de chacun des programmes de certification. Ces thèmes ne rejoignent pas nécessairement non plus les préoccupations en lien avec toutes les sources potentielles d'impacts: le thème « entretien et surveillance » regroupe des stratégies qui proviennent seulement de BOMA-BESt® – IR et rejoint seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur; le thème « sensibilisation et formation » est représenté dans les cinq sources potentielles d'impacts; le thème « modélisation et mesurage » compte seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur; tandis que le thème « comportement et habitude » dénombre seulement des préoccupations en lien avec les déchets et l'environnement intérieur.

Enfin, le caractère facultatif de la très grande majorité des 31 stratégies de considération de l'utilisateur analysées (12 stratégies obligatoires et 25 stratégies

optionnelles³³) signifie que le choix de l'équipe varie en fonction des projets de construction, une façon de faire qui ne maximise pas les chances d'une considération optimale de l'usage de l'habitation. La portée de cette prise en compte est également remise en question puisque les programmes de certification s'inscrivent dans un paradigme de conception synchronique qui ne considère pas le changement comme une composante inhérente à l'habitation. À moins de se soumettre au processus de certification à chaque cycle de rénovation, ces programmes ne semblent pouvoir demeurer en adéquation avec la réalité du bâtiment qui doit s'adapter à l'évolution des besoins des occupants.

³³ Ibid.

7. Discussion

Ce chapitre a pour objectif de faire un retour sur les résultats présentés précédemment (chapitre 6), mais aussi de discuter des enjeux et des questionnements soulevés au cours de cette recherche. Cette section, qui se compose de trois parties, s'intéresse plus particulièrement à deux facteurs d'influence de la performance environnementale de l'habitation : l'usage de l'habitation par les occupants et la superficie habitable. La première partie revient sur les tendances et les récurrences provenant de l'analyse des données sur les interventions en rénovation en proposant des pistes d'écoconception pour informer une approche diachronique: les concepts de « démontabilité », d'aptitude à l'évolution et d'accessibilité. La deuxième partie émet des recommandations pour améliorer la prise en compte de deux facteurs d'influence de la performance. Une première recommandation, qui concerne la considération de l'utilisateur dans la conception, est abordée par l'entremise des quatre thèmes émergents : entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage; comportement et habitude. Enfin, ce chapitre présente une deuxième recommandation qui relate la pertinence et l'importance de considérer la superficie habitable dans une approche plus globale et systémique de l'habitation, mais aussi dans un contexte d'opérationnalisation du développement durable de ce secteur.

7.1. Pistes d'écoconception

L'analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation de projets résidentiels a permis de caractériser et quantifier l'intensité des interventions en rénovation des cuisines, des salles de bains et des pièces de vie, mais aussi des variations au niveau de la

capacité de rangement et de la superficie habitable (voir chapitre 6, p. 147). Dans le contexte québécois, le profil énergétique basé majoritairement sur l'hydroélectricité, remet en perspective l'importance relative globale de l'enjeu de la consommation d'énergie en habitation. De plus, la consommation d'énergie, la consommation d'eau et la génération de déchets associées aux activités de rénovation ne sont pas considérées très significatives en termes d'impacts sur la phase d'usage. Ces constats sont susceptibles de donner plus de prépondérance aux impacts intrinsèques reliés aux matériaux (extraction des matières premières, production et transport). Dans un paradigme de conception diachronique, cet aspect devient porteur puisque les nombreux cycles de rénovation engendrés par les pratiques de conception actuelles sollicitent un besoin élevé en matériaux et ressources (revêtements, mobiliers intégrés, services et cloisons) et contribuent aux répercussions environnementales de la phase d'usage de l'habitation.

Dans cette optique, l'analyse de plans avant/après rénovation mène à l'identification de tendances et de récurrences: une très grande proportion des revêtements de sols des cuisines et des salles de bains, ainsi que les revêtements de murs des salles de bains, ne survit pas à la rénovation; une très majorité des mobiliers intégrés des cuisines et des salles de bains (incluant les cabinets, les façades, les comptoirs et les quincailleries) est remplacée; une grande à très grande majorité des rénovations de cuisines et de salles de bains engendre des interventions d'importance moyenne à élevée au niveau des services (électricité, éclairage et plomberie) susceptibles d'impacter l'intégrité des revêtements de murs et de plafonds, mais aussi d'engendrer des changements au niveau des cloisons; les interventions au niveau des cloisons sont appréciables et rappellent qu'en plus de diviser l'espace, elles servent au support des revêtements de murs, à la distribution du filage électrique et de la tuyauterie de plomberie. Pour améliorer la prise en compte de la phase d'usage de l'habitation et informer une approche de conception diachronique, ces tendances et récurrences se transposent en pistes d'écoconception: les concepts de « démontabilité », d'aptitude à l'évolution et d'accessibilité. Ces avenues de conception ne sont toutefois pas nécessairement garantes d'une amélioration des impacts globaux associés à la phase d'usage. Celles-ci devront ultérieurement être validées par une analyse réelle, telle que l'analyse du cycle de vie, afin d'éviter toute forme d'externalisation ou de transferts d'impacts.

7.1.1. Concept de « démontabilité »

Les pratiques actuelles de conception et de construction de l'habitation produisent des bâtiments statiques. Lors des rénovations, cette réalité mène à une démolition

systématique ayant pour effet de compliquer grandement le triage des matières et de reléguer des débris hétérogènes directement aux rebuts. Dans ce contexte, bien que marginal, le processus permettant de minimiser les impacts est la déconstruction, un concept défini 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 nécessite de la préparation et du temps, vise la préservation et le réemploi des matériaux ou des composantes par un désassemblage minutieux. La déconstruction est toutefois compliquée par des méthodes d'assemblage usuelles, jugées permanentes, telles que le plâtrage des murs de gypse, les clous avec enduits, les isolants giclés et les revêtements collés et cimentés.

L'analyse des données identifie que la notion de permanence doit être remise en question à divers égards. Au niveau des revêtements de sols (cuisines, salles de bains et pièces de vie) et des revêtements de murs (salles de bains), l'intensité des interventions semble révéler que l'installation des médiums de dallage, de carrelage et, dans une moindre mesure, des planchers de bois, est problématique. Dans un contexte de rénovation, la grande majorité des procédés d'installation et de pose empêche un démontage aisé, signifiant que les matériaux de revêtement sont endommagés ou détruits. De plus, ces interventions ont le potentiel d'affecter plus que les revêtements de sol puisqu'ils peuvent également entraîner le remplacement des matériaux de support des revêtements de sol (principalement du contreplaqué), ainsi que ceux des revêtements de murs (principalement de gypse).

La révision de la notion de permanence s'applique également aux cloisons qui représentent un ensemble statique qui contraint sérieusement le démontage et la réutilisation des composantes lors du réaménagement des espaces intérieurs. Cette situation renforce le constat que les pratiques actuelles de construction de cloisons doivent être révisées. Le principal problème est que les cloisons ne sont pas conçues et construites pour évoluer : l'assemblage de la structure (à ossature de bois ou à ossature métallique) et les procédés d'installation des revêtements ne sont pas pensés pour accommoder le changement. Le réaménagement de l'espace durant la rénovation, soit par l'ouverture ou la division de l'espace, implique également des interventions au niveau des revêtements de murs et de plafonds.

La conception des mobiliers intégrés semble aborder une certaine forme de « démontabilité » où l'assemblage de modules préfabriqués permet de configurer la cuisine et la salle de bains. Malgré cette prise en compte, la conception des cabinets et des façades ne leur permet pas de survivre aux différents cycles de rénovation de l'habitation, signifiant que la seule considération de la permanence ne garantit pas nécessairement que des résultats positifs. En ce qui concerne les mobiliers intégrés, puisque les panneaux de finition sont souvent structurels aux cabinets, le remplacement et le démontage deviennent des processus complexes, voire impossibles. En somme, dans une approche de conception diachronique, il faut repenser les relations et les assemblages entre les systèmes, les constructions, les revêtements, en fonction du cycle de remplacement potentiel des éléments, mais aussi en fonction de permettre à l'habitation d'accommoder plus facilement le changement dans le temps.

7.1.2. Concept d'aptitude à l'évolution

Les tendances et les récurrences au niveau de l'intensité des interventions en rénovation révèlent aussi que l'aptitude à l'évolution est un concept porteur à considérer dans une approche de conception diachronique. Les interventions en rénovation sont motivées par une discordance entre les occupants et l'habitation, qui peut prendre la forme d'une obsolescence économique (en lien avec la valeur de l'habitation), fonctionnelle (en lien avec la réponse aux attentes et aux besoins des occupants) et psychologique (en lien avec la valeur identitaire et esthétique) (voir chapitre 4, p. 114). Selon l'analyse de données des interventions en rénovation, cette aptitude à l'évolution peut être d'ordre esthétique, technologique et/ou fonctionnel.

Du point de vue esthétique, l'aptitude à l'évolution concerne la sélection et la spécification des matériaux puisque les caractéristiques inhérentes de ces derniers, si elles sont immuables, peuvent compliquer ou empêcher la mise à jour ou le renouvellement. En effet, les caractéristiques telles que la couleur, la texture et le fini des matériaux utilisés pour les revêtements (dans le cas des dallages, des carrelages, et, dans une moindre mesure, des planchers de bois), les comptoirs, les quincailleries des mobiliers intégrés (poignées), les appareils sanitaires et les électroménagers sont habituellement invariables, ce qui explique, entre autres, l'intensité des interventions lors des rénovations. Cette difficulté de mettre à jour les couleurs, les finis et les textures peut aussi expliquer l'importance des interventions effectuées au niveau des mobiliers intégrés puisque les

panneaux de finition de ces derniers sont souvent structurels au bâti, complexifiant le démontage et le remplacement.

Le concept d'aptitude à l'évolution est également applicable à l'aspect technologique. Cette caractéristique sous-entend la capacité de mettre à jour les composantes électriques et d'éclairage (pour améliorer l'efficacité et la performance des appareils; ajouter un plancher chauffant), les composantes de plomberie, les appareils sanitaires (pour améliorer la consommation d'eau), les quincailleries des mobiliers intégrés (pour les remplacer par les dernières innovations en termes de charnières et de coulisses) et les électroménagers (pour améliorer la consommation d'énergie et d'eau). À ce jour, malgré la rapidité du développement technologique, ces éléments ne sont pas conçus pour intégrer cette évolution. Le recours à une démarche de « surperformance » (voir chapitre 3, p. 82), qui consiste à octroyer des capacités plus grandes que nécessaire à certains systèmes et composantes, représente une avenue qui pourrait permettre d'atteindre une aptitude à l'évolution (Keymer, 2000).

L'aptitude à l'évolution concerne également l'aspect fonctionnel de l'habitation puisque la rénovation vise, entre autres, à accommoder le changement dans les modes de vie. Cet aspect évolutif est révélé par une variété d'interventions qui impactent les mobiliers intégrés (ajout d'un îlot, d'un comptoir-lunch, d'une dînette, d'un deuxième évier ou d'une pharmacie), l'aménagement de l'espace (ajout d'une douche séparée ou d'une toilette séparée), les cloisons (l'ouverture ou la division de l'espace), mais aussi le niveau de variation de la capacité de rangement et de la superficie habitable. En somme, dans une approche de conception diachronique, l'aptitude à l'évolution signifie la mise en place d'un potentiel permettant de rendre l'habitation plus malléable, lui donnant la possibilité d'être réactive à l'évolution des besoins et attentes des occupants.

7.1.3. Concept d'accessibilité

En plus de la notion de « démontabilité » et du potentiel d'aptitude à l'évolution, cette recherche dirige le questionnement au niveau du concept d'accessibilité. Puisque l'aptitude à l'évolution implique un accès facile aux composantes d'électricité, d'éclairage et de plomberie, l'accessibilité est un élément critique à considérer dans l'amélioration des pratiques de conception diachronique. Dans une approche d'opérationnalisation du développement durable, l'accessibilité et la localisation facile des services (filage et plomberie), permettraient au bâtiment résidentiel d'évoluer plus facilement en fonction

des besoins des occupants. Le concept d'accessibilité rejoint la démarche de séparation (voir chapitre 3, p. 82) qui met l'accent sur la séparation physique des systèmes et des sous-systèmes du bâtiment de façon à pouvoir mener une intervention circonscrite (Keymer, 2000), en conservant un accès aux services tels que la distribution du filage et de la plomberie afin de faciliter l'entretien et la mise à jour. Puisque les pratiques de construction actuelles des murs et des plafonds empêchent l'accès aux composants de câblage et de plomberie, les interventions de rénovation ont nécessairement un impact sur les revêtements. Cet aspect nécessite la planification, l'identification du passage des services et la prévision de moyens permettant aisément d'accéder au filage et à la plomberie.

En somme, l'analyse des interventions en rénovation révèle l'intensité des changements qui ont lieu durant la phase d'usage de l'habitation. Pour une meilleure prise en compte de l'usage et pour permettre d'accommoder le changement, les pratiques de conception et de construction de l'approche diachronique peuvent intégrer des pistes d'écoconception telles que la « démontabilité » qui traite de la permanence des revêtements, des cloisons et des mobiliers intégrés; l'aptitude à l'évolution qui permet une mise à jour esthétique (matériaux et finis), technologique (appareils et composantes) et/ou fonctionnelle (modes de vie); et l'accessibilité des composantes qui facilite l'entretien et la mise à jour du filage et de la plomberie. L'inclusion de ces avenues de conception ne garantit pas forcément une amélioration des impacts associés à la phase d'usage de l'habitation. Celles-ci devront ultérieurement être validées par une analyse réelle conduite pour évaluer leur potentiel et éviter toute forme d'externalisation ou de transferts d'impacts. Mis à part cette validation environnementale, l'intégration de telles pistes d'écoconception nécessite la mobilisation de l'industrie de la construction dans une démarche de conception intégrée, réunissant les intervenants de la fabrication et de la conception, pour exploiter l'intelligence collective et générer de l'innovation dans les façons de faire. Ce processus requiert toutefois un engagement politique pour que ces critères de design soient incorporés au cursus des programmes de certification, mais également aux législations et aux réglementations en lien avec le bâtiment. Ultimement, la révision des pratiques de conception vise à contribuer à diminuer les impacts environnementaux liés à la phase d'usage de l'habitation, par la réduction de l'utilisation de matériaux et de la génération de déchets, mais aussi les impacts intrinsèques associés à l'extraction des matières premières, à la production, à la construction et au transport.

7.2. Considération de l'utilisateur

Telle que présentée précédemment (chapitre 6, p. 167), l'analyse de contenu des stratégies proposées par les guides de référence de trois programmes de certification du bâtiment vert, soit BOMA-BEST® – IR, LEED® – H, et Living Building Challenge™ – B, révèle la répartition générale des préoccupations en lien avec le *bâtiment* et les *systèmes* (incluant le binôme *bâtiment et systèmes*), mais aussi celles concernant l'*usager* (incluant les binômes *systèmes et usager* et *bâtiment et usager*). Ensuite, cette collecte et analyse de données permet de mettre en relief que les considérations semblent, de façon générale, cohérentes avec les répercussions associées aux sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur). En s'attardant de plus près à la teneur et aux objectifs des 31 stratégies considérant l'*usager* (incluant les binômes *systèmes et usager* et *bâtiment et usager*), une analyse mène à un premier ensemble thématique qui montre que le nombre de stratégies considérant l'*usager* est plus important au niveau des préoccupations de l'environnement intérieur (16 stratégies), suivi de celles de l'énergie (13 stratégies), de l'eau (9 stratégies), des déchets (7 stratégies) et des matériaux (2 stratégies). Malgré que cette analyse ne permet pas d'évaluer la portée des stratégies en termes de baisse d'impacts environnementaux, un questionnement émerge quant à la capacité de celles-ci à considérer de façon globale et systémique le potentiel d'influence de l'*usager* sur la performance environnementale de l'habitation, et ce, dans le contexte du Québec.

L'évaluation de la couverture des stratégies considérant l'*usager* mène à une deuxième classification selon quatre thèmes reliés aux objectifs et aux finalités des stratégies : entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage; comportement et habitude. Ce regroupement thématique révèle la diversité et l'étendue des éléments à prendre en compte pour minimiser les impacts environnementaux de l'habitation. Premièrement, les protocoles d'*entretien et surveillance* visent la phase d'usage en prévoyant des vérifications et des inspections périodiques afin de maintenir l'intégrité et maximiser la performance du bâtiment et des systèmes dans le temps : entretien des CVC, des systèmes mécaniques, des éclairages, mais aussi la surveillance de l'enveloppe, des fenêtres et de la moisissure. Ces dernières, ainsi que certaines stratégies d'entretien, telles que l'entretien utilisant moins d'eau et l'entretien respectueux de l'environnement reconnaissent l'action humaine comme un facteur d'influence de la performance du bâtiment, et ce, en termes de consommation d'énergie, d'eau et de QAI. Les initiatives d'entretien et de surveillance sont nécessaires et doivent, à terme, faire partie intégrante des stratégies, comme une condition *sine qua non* au maintien d'efforts et d'engagements pérennes envers des

démarches d'amélioration de la performance environnementale de l'habitation. Pour l'instant, les stratégies proposées ne semblent pas fournir de moyens pour valider si ces protocoles et ces façons de faire sont conservés et suivis subséquemment à la certification du bâtiment. L'implantation de mécanismes (rapports ou registres à compléter en ligne, inspections périodiques, etc.) pour valider que ces protocoles atteignent les objectifs escomptés durant la phase d'usage du bâtiment permettrait d'assurer l'acuité des résultats et de supporter un engagement orienté sur le long terme.

Deuxièmement, les stratégies de *sensibilisation et formation* visent à informer et conscientiser les occupants aux problématiques environnementales reliées à l'habitation, tout en cherchant à démystifier les pratiques mises de l'avant par le bâtiment vert. Les stratégies de ce thème couvrent un large spectre passant de la vulgarisation des approches générales de conception et de construction des programmes de certification (sensibilisation aux pratiques environnementales, sensibilisation du public et sensibilisation à la QAI) à la formation plus ciblée sur l'usage et les approches d'optimisation de la performance (manuels d'instructions sur les systèmes, formation sur les systèmes, formation sur l'énergie et formation sur les produits dangereux). La sensibilisation et la formation visant les occupants participent à la reconnaissance du rôle de ces derniers dans l'établissement de la performance générale de l'habitation. À l'image du thème précédent, les préoccupations de sensibilisation et de formation doivent faire partie intégrante des stratégies proposées par les programmes de certification; dans un souci de maximisation de la performance de l'habitation, la compréhension des enjeux, l'intégration des connaissances et la maîtrise des façons de faire sont capitales pour mener les occupants vers une plus grande implication. Dans cette optique, l'engagement des occupants doit être soutenu par des incitatifs et des protocoles de vérification (exemples : formation obligatoire pour les occupants, encadrement de formations continues par les organismes mandataires des programmes de certification) pour faire en sorte que ces nouvelles connaissances soient intégrées et transposées dans l'adoption de meilleures pratiques.

Troisièmement, les mécanismes de *modélisation et mesurage* fournissent deux processus distincts d'évaluation de la performance. La modélisation pré-occupation (de l'énergie, de l'eau et de la QAI) est un outil de travail utile pour évaluer des scénarios et aider à faire des choix éclairés à l'étape de la conception. Par contre, dans une perspective globale et systémique, la modélisation qui se base sur des données normalisées, ne peut être utilisée comme une finalité puisqu'elle ne peut pas fournir plus que des estimations ou des prévisions.

Cette approche peut conduire à des divergences entre les revendications et la performance réelle du bâtiment, car « *la performance réelle du bâtiment diffère significativement de celle anticipée lors de la conception [traduction libre]* » (Cole, 2010, p. 589). En basant la certification seulement sur des estimations, cette façon de faire fait abstraction de la phase d'usage réelle, ce qui décontextualise l'habitation et produit une évaluation incomplète de sa performance. Pour assurer une meilleure représentation, les modélisations doivent être validées par des mesures effectuées subséquemment à l'occupation. Le mesurage post-occupation (de l'énergie, de l'eau et de la QAI) agit dans ce sens par l'installation de compteurs ou la conduite de tests qui permettent de recueillir des données durant la phase d'usage. Ces données permettent de valider les prévisions et les attentes en dressant un portrait de la performance de l'habitation dans un contexte fidèle à la réalité. En plus de représenter un portrait plus réaliste, cette façon de faire procure plusieurs avantages puisqu'elle « *permet d'améliorer la performance des bâtiments dans le temps, de faire un diagnostic au niveau de charges d'énergie imprévues, et d'identifier des besoins de réparation/entretien [traduction libre]* » (ILFI, 2013a, p. 5). Le suivi avancé de la consommation de l'énergie et de l'eau poursuit également cet objectif en aspirant à fournir des données en temps réel. Malgré que ces mécanismes de mesurage semblent représenter la meilleure stratégie pour rendre compte de la performance de l'habitation durant l'usage, rien n'indique si ces procédés permettent d'informer et de conscientiser les occupants à l'influence qu'ils sont susceptibles d'avoir sur la performance de l'habitation. Par la concrétisation de la performance (exemple : tableaux des consommations – en temps réel, quotidiennes, mensuelles et annuelles – disponibles sur écran tactile ou sur ordinateur personnel), ces mécanismes de mesures représentent une opportunité d'engager davantage les occupants dans le processus de détermination de la performance en permettant de relier directement l'usage aux sources d'impacts qui lui sont associés.

Enfin, les stratégies du thème *comportement et habitude* reconnaissent le potentiel d'influence des occupants et leur participation active à la performance de l'habitation. Ces stratégies soutiennent une meilleure gestion des déchets (programme de réduction des déchets, de recyclage, de compostage et de gestion de certains résidus) et de la QAI (ventilation indépendante supérieure, contrôle des polluants à la source, environnement sans fumée et contaminants de l'air aux entrées), en encadrant certains aménagements et certaines pratiques susceptibles de bonifier la performance environnementale du bâtiment résidentiel, tout en suscitant un engagement plus important de la part des occupants. Ce thème représente probablement celui dont le potentiel est le plus probant en termes d'usage

puisque ses préoccupations sont directement reliées aux occupants et à leurs activités. Les comportements et les modes de vie de ceux-ci ont un potentiel d'impacts majeurs sur la performance des bâtiments résidentiels, une réalité qui touche toutes les sources potentielles d'impacts. Cette considération est importante pour les stratégies environnementales du bâtiment vert, puisque «*parvenir à des solutions soutenables et durables doit donner la primauté au comportement de l'utilisateur. Le comportement de l'utilisateur ne peut plus être utilisé comme excuse par les designers pour expliquer les déficits de performance ou les conséquences involontaires, mais doit être compris et influencé de manière appropriée [traduction libre]*» (Stevenson et Leaman, 2010, p. 438). De façon générale, les stratégies proposées ne sont pas très contraignantes et ne visent qu'un engagement volontaire, en ne prévoyant pas de suivi ou de vérification suite à l'obtention de la certification. En plus des préoccupations en lien avec les déchets et la QAI, ce thème doit impérativement inclure celles reliées à la consommation d'énergie et d'eau, mais aussi à l'utilisation des matériaux. À l'image du mesurage post-occupation et du suivi avancé, pour maximiser la responsabilisation et l'autonomisation des occupants, le thème *comportement et habitude* doit fournir des mécanismes pour concrétiser la performance en établissant des liens concrets de causes à effets entre les actions des occupants et les impacts susceptibles d'être générés.

Afin d'assurer une meilleure réponse aux problématiques environnementales contemporaines entourant l'habitation, les occupants doivent être placés au centre des préoccupations puisqu'ils jouent un rôle crucial en termes d'impacts. Cet aspect est décisif puisque, entre autres, «*c'est toujours l'occupant qui, ultimement, détermine l'efficacité énergétique d'une maison [traduction libre]*» (Stevenson et Leaman, 2010, p. 440). Cette situation devient d'autant plus importante lorsque l'on considère que les occupants ont tendance à sous-estimer l'impact environnemental des bâtiments résidentiels (Kats, 2010). Par exemple, ils tendent à estimer leur impact à moins de la moitié de leurs émissions totales de GES (WBCSD, 2007), tandis que la grande majorité d'entre eux soutient que l'habitation génère peu ou pas d'impacts, ou que ceux-ci sont acceptables (Kannan, 2008). Ces perceptions illustrent le fait que les impacts liés à la phase d'usage demeurent une notion abstraite pour les ménages. À cet effet, il serait souhaitable de ramener la problématique des impacts du bâtiment à une échelle plus humaine en impliquant le ménage dans la performance de son habitation. Une façon de concrétiser le concept de performance environnementale de l'habitation est de viser la responsabilisation et l'autonomisation de l'occupant en lui offrant, sur une base journalière, les moyens de la comprendre et de l'influencer à travers ses comportements. Cette approche doit mener les occupants à établir des liens de causes à

effets entre les tâches et les activités quotidiennes, constituant les usages, et les répercussions engendrées en termes de consommation d'énergie, de consommation d'eau ou de qualité de l'air intérieur, par exemple. Certains processus de contrôle et de rétroaction directe permettraient aux occupants d'accéder à des informations en temps réel sur la performance des bâtiments. Ces opportunités doivent être rendues possibles par des mécanismes simples et compréhensibles qui fournissent des informations tangibles et utilisables pouvant prendre la forme de propositions de scénarios d'amélioration (exemples : séchage des vêtements à l'extérieur au lieu du sèche-linge, la température des eaux de la douche et du lave-linge, le contrôle de la température ambiante selon l'occupation des pièces). Ces façons de faire visent à impliquer activement les occupants afin qu'ils deviennent des acteurs de la performance environnementale du bâtiment résidentiel. Cette démarche mènerait la performance à un autre niveau en apportant une dimension plus systémique à l'évaluation environnementale de l'habitation, et ce, en assurant une meilleure considération de la phase d'usage.

7.3. Superficie habitable

La superficie habitable représente un facteur d'influence important au niveau des impacts de l'habitation associés à la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation de matériaux et ressources, ainsi que la génération de déchets. Selon Palmeri (2010), une réduction de la superficie habitable entraîne une diminution substantielle des impacts environnementaux, tandis que pour Wilson et Boehland (2005), celle-ci permet une diminution importante de l'utilisation des matériaux et de l'énergie intrinsèque. Malgré sa pertinence dans le cadre des enjeux environnementaux contemporains de la construction et bien qu'elle soit graduellement intégrée dans les programmes de certification du bâtiment vert (LEED® – H et LBC® – B) (voir chapitre 6, p. 177 et p. 183), la littérature scientifique traitant spécifiquement des répercussions et des problématiques de la superficie habitable est encore, à ce jour, peu abondante. Dans un contexte de révision et d'amélioration des pratiques de conception, les préoccupations en lien avec la superficie sont à la base de deux tendances conceptuelles émergentes présentées dans cette thèse, soit l'approche diachronique et la rationalisation spatiale (voir chapitre 3, p. 75 et p. 90). Dans une approche de conception synchronique, la configuration statique du bâtiment peut mener à des besoins en superficie habitable plus importants pour pallier à l'évolution des ménages et des usages; concevoir dans une approche diachronique mène à une représentation plus dynamique de l'habitation, devenant un potentiel réel d'optimisation

de la taille de l'habitation et impactant directement l'empreinte environnementale. Toutefois, pour reconnaître et faire valoir la nécessité d'une adhésion plus globale de l'industrie à la réduction de la superficie habitable, une tendance qui va à l'encontre de la situation d'augmentation progressive des dimensions de l'habitation à travers l'histoire, ce thème gagnerait à être précisé davantage afin d'en justifier la valeur et la portée, et ce, en termes environnementaux, économiques et sociaux.

Le premier geste serait de réussir à déterminer les formats d'habitation adéquats et optimaux en fonction de la composition des ménages et de leurs besoins. De par sa connotation quantitative, la considération de la superficie habitable sous-entend une démarche comparative puisque pour déterminer si une habitation est plus performante (rapport entre la superficie et les impacts environnementaux, par exemple), il faut nécessairement la comparer à un standard quelconque. À ce titre, Palmeri (2010) suggère une classification des superficies habitables moyennes selon les dénominations suivantes : très petite avec 1149 pi² (107 m²), petite avec 1633 pi² (152 m²), moyenne avec 2262 pi² (210 m²) et grande avec 3424 pi² (318 m²) (p. x). Ensuite, le programme de certification LEED® – H, quant à lui, reconnaît la superficie résidentielle comme facteur influençant la consommation d'énergie et l'émission de GES en proposant un système de bonus-malus qui récompense les habitations dont la superficie est inférieure à la superficie du modèle de référence – 1000 pi² (93 m²) pour une habitation comportant une chambre, en ajoutant 600 pi² (56 m²) pour chaque chambre supplémentaire – et qui pénalise celles qui se situent au-dessus (CBDCa, 2009; USGBC, 2013). Enfin, LBC™ – B contraint la dimension des maisons unifamiliales en établissant la superficie maximale de la maison unifamiliale à 4 489 pi² (425 m²) (ILFI, 2014). Ces catégorisations semblent plutôt arbitraires et relatives puisqu'elles ne permettent pas de déterminer clairement si les dénominations (très petite, petite, moyenne et grande habitation), ou les quantifications (superficie totale) sont justes, ni sur quelles bases elles sont calculées.

Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable, le concept de superficie habitable pourrait s'adjoindre à des notions qui semblent inhérentes au concept, telles que la suffisance et l'efficacité. Les concepts de suffisance et d'efficacité ont le potentiel d'agir sur la dynamique entre l'occupant et l'habitation. D'un côté, la suffisance relève du verbe « *suffire à* » qui signifie « *représenter juste la quantité, la qualité, la force nécessaire à, pour quelque chose* » ou « *être capable de fournir ce qui est nécessaire à..., de satisfaire à quelque chose* » (Robert, 2014). Dans le contexte du bâtiment, la suffisance pourrait donc signifier la capacité de l'habitation à satisfaire aux besoins des occupants. Une démarche de

questionnement relié à la superficie habitable signifie aussi que l'occupant doit mener une réflexion approfondie sur ses besoins, ses perceptions et ses attentes en termes d'espace pour déterminer un minimum de superficie suffisant qui n'impacte pas son niveau de confort, de satisfaction et de bien-être. De l'autre côté, l'efficience signifie la "*capacité de rendement; performance*" (Larousse, 2014). Dans une approche diachronique, la démarche conceptuelle doit mener à la mise en forme d'habitations performantes, suffisantes et efficaces qui sauront répondre aux besoins et aux exigences des occupants et évoluer en fonction des besoins de ceux-ci.

En somme, pour démontrer le bien-fondé de cette préoccupation, il est nécessaire de consolider davantage les liens entre la superficie résidentielle et les impacts environnementaux. Ce type de recherches scientifiques, basées ou non sur l'analyse du cycle de vie, est impératif pour augmenter le capital de pertinence environnemental, social et économique. Ce renforcement théorique permettrait d'assurer une meilleure inclusion des critères reliés à la superficie dans les systèmes de certification. Cette démarche serait également profitable au niveau normatif puisqu'une législation à l'effet d'encourager la diminution de la superficie habitable permettrait à terme d'améliorer la performance environnementale de la construction résidentielle en imposant, par exemple, des standards de performance en fonction de la superficie habitable (Palmeri, 2010).

En conclusion, ce chapitre identifie des opportunités d'amélioration des pratiques de conception de l'habitation pouvant mener à une meilleure considération de la phase d'usage. Premièrement, en proposant des pistes d'écoconception qui découlent des tendances et récurrences des interventions en rénovation : la « *démontabilité* » qui nécessite de repenser les relations et les assemblages entre les systèmes, les constructions, les revêtements; l'*aptitude à l'évolution* qui permet la mise à jour esthétique, technologique et fonctionnelle; ainsi que l'*accessibilité* qui facilite la localisation et l'accès des composantes d'électricité, d'éclairage et de plomberie pour l'entretien et la mise à jour. Deuxièmement, en émettant des recommandations au niveau des 4 thèmes considérant l'usager : les initiatives d'*entretien et surveillance*, ainsi que celles de *sensibilisation et formation* doivent faire partie intégrante des stratégies en prévoyant des protocoles de validation et vérification pour soutenir l'implication et l'engagement des occupants; les stratégies de *modélisation et mesurage*, ainsi que celles de *comportement et habitude* nécessitent la concrétisation de la performance de l'habitation pour maximiser l'engagement des occupants, les responsabiliser et les mener vers une

autonomisation. Enfin, la discussion est dirigée sur un autre facteur d'influence de la performance, soit la superficie habitable. Cette démarche souligne l'importance d'une meilleure inclusion de critères, aussi bien au niveau des systèmes de certification que dans les législations, afin d'encourager et de soutenir la diminution de la superficie habitable de l'habitation. À ce titre, concevoir dans une approche diachronique peut représenter un potentiel réel d'optimisation de la taille de l'habitation, une situation qui peut avoir des répercussions directes sur l'empreinte environnementale. Cet ensemble vise à mener la performance environnementale du bâtiment résidentiel à un autre niveau, en dirigeant une approche plus globale et systémique de la conception qui considère adéquatement la phase d'usage.

8 Conclusion

Dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable de l'habitation, la problématique de recherche concerne la considération de l'évolution de l'usage dans le processus conceptuel de ce secteur. Par l'exploration de la phase d'usage, cette recherche a identifié des opportunités susceptibles d'améliorer les pratiques de conception du bâtiment résidentiel. Dans une approche de conception diachronique, cette recherche vise une meilleure considération de l'usage afin que l'habitation puisse accommoder le changement. Le passage d'un mode de conception synchronique à une approche diachronique ne garantit pas une diminution des impacts environnementaux les plus importants du bâtiment (généralement reliés à la consommation d'énergie), mais représente une avenue pour supporter l'amélioration globale de l'empreinte du secteur. De ce fait, cette prise en compte de l'évolution des besoins des occupants représente un potentiel de minimisation des impacts environnementaux associés à la phase d'usage. Pour investiguer cette problématique, cette recherche a été l'occasion de mener deux collectes et analyses de données.

Dans un premier temps, le chercheur s'intéresse au processus de rénovation dans le but d'améliorer la prise en compte de la phase d'usage, par une analyse descriptive et comparative de plans avant/après rénovation de 55 projets résidentiels. Dans le contexte québécois, le profil énergétique basé majoritairement sur l'hydroélectricité remet en perspective l'importance relative de cet enjeu en habitation. De plus, la consommation d'énergie, la consommation d'eau et la production de déchets associées aux activités de rénovation ne sont pas considérées très significatives en termes d'impacts sur la phase

d'usage. Ces constats sont susceptibles de donner plus de prépondérance aux impacts intrinsèques reliés aux matériaux, un argument porteur puisque les nombreux cycles de rénovation, découlant d'une approche synchronique, sollicitent un besoin élevé en matériaux et ressources et contribuent aux répercussions environnementales de la phase d'usage de l'habitation. Afin d'investiguer la nature et l'intensité des interventions et des variations, cette collecte et analyse de données comporte deux parties : un profil descriptif des interventions en rénovation des cuisines, des salles de bains et des pièces de vie, ainsi que des variations en termes de capacité de rangement et de superficie habitable; mais aussi un repérage de tendances et de récurrences pouvant informer une approche de conception diachronique. La première partie vise à étayer la caractérisation et quantifier le niveau d'intensité des interventions et des variations en rénovation résidentielle par l'examen de plans avant/après rénovation se basant sur deux grilles d'analyse (voir chapitre 5, p. 140-141), développées à partir des données de la revue de la littérature sur la phase d'usage de l'habitation (voir chapitre 4, p. 118) et l'expérience professionnelle du chercheur. Cette analyse permet la mise en forme d'un profil plus précis des interventions :

- > **Cuisines** : une très grande majorité des rénovations de cuisines engendre des interventions au niveau des *revêtements* : 90% des sols et 98% des murs et des plafonds; une très grande proportion des projets mène à des interventions au niveau des *meubles intégrés* : 95% des comptoirs, 90% des cabinets et façades, ainsi que 93% des quincailleries; un très grand pourcentage des rénovations occasionne des interventions au niveau des *services* : 93% de l'électricité et de l'éclairage, 90% de la plomberie (menant aussi au changement de 85% des éviers et robinetteries) et 85% des électroménagers; des interventions au niveau des *cloisons* dans des proportions variables : 56% génèrent une ouverture de l'espace, tandis que 29% mènent à des changements en terme de division de l'espace;
- > **Salles de bains** : une très grande majorité des rénovations de salles de bains engendre des interventions au niveau des *revêtements* : 89% des sols, 94% des murs et 93% des plafonds; une très grande proportion des projets mène à des interventions au niveau des *meubles intégrés* : 86% des comptoirs, 88% des cabinets et façades, ainsi que 90% des quincailleries; un très grand pourcentage des rénovations occasionne des interventions au niveau des *services* : 93% de l'électricité et de l'éclairage et 93% de la plomberie (menant aussi au changement de 89% des appareils sanitaires); des interventions au niveau des *cloisons* dans des proportions variables :

aucun projet n'a généré une ouverture de l'espace, tandis que 56% mènent à des changements en terme de division de l'espace;

- > **Pièces de vie** : une très grande majorité des rénovations de pièces de vie engendre des interventions au niveau des *revêtements*: 90% des sols, 99% des murs et des plafonds; des interventions au niveau des *services* dans des proportions variables : 94% de l'électricité et de l'éclairage tandis que seulement 3% de la plomberie; des interventions au niveau des *cloisons* également dans des proportions variables : 24% ont généré une ouverture de l'espace, tandis que 52% mènent à des changements en termes de division de l'espace;
- > **Capacité de rangement** : une augmentation de la capacité de rangement s'est produite dans 61% des *cuisines* rénovées, 54% des *salles de bains* analysées et 37% des *pièces de vie* prises en compte.
- > **Superficie habitable** : une augmentation de la superficie habitable s'est opérée dans 34% des *cuisines* rénovées, 48% des *salles de bains* analysées et 25% des *pièces de vie* prises en compte.

La deuxième partie réorganise ces données en portant une attention spécifique aux diverses catégories d'interventions afin d'identifier des tendances ou des récurrences visant à mieux introduire le paradigme de conception diachronique :

- > **Revêtements** : une très grande proportion des interventions au niveau des revêtements de sols, aussi bien dans la cuisine que dans la salle de bains, est d'intensité élevée signifiant que 67% à 100% de la surface est remplacée. La situation est similaire au niveau des revêtements de murs de la salle de bains où une grande majorité des interventions est d'intensité élevée. L'importance de ces changements peut être reliée directement aux médiums de revêtement de carrelage et de dallage;
- > **Mobiliers intégrés** : une très grande majorité des interventions qui concernent les cabinets, les façades, les comptoirs et des quincailleries des cuisines et des salles de bains est d'un niveau d'intensité élevée. L'importance de ces sources d'impacts confirme que la conception des mobiliers intégrés est problématique lors des rénovations;
- > **Services** : une grande à très grande majorité des interventions au niveau de l'électricité et de l'éclairage est d'intensité moyenne et élevée. Le nombre

d'électroménagers de la cuisine, ainsi que les aspects fonctionnels de l'électricité et de l'éclairage de la cuisine et de la salle de bains (reliés aux tâches accomplies nécessitant un éclairage adéquat et un approvisionnement électrique accessible) représentent un potentiel de changement majeur en situation de réaménagement de l'espace. Aussi, près de ou plus de la moitié des interventions au niveau de la plomberie sont d'intensité moyenne et élevée. Le nombre d'appareils sanitaires, ainsi que le fait que la très grande majorité de ceux-ci soient remplacés, représente également un potentiel de changement important lors de la rénovation. Les interventions au niveau des services peuvent impacter l'intégrité des revêtements de murs et de plafonds, mais peuvent aussi engendrer des changements au niveau des cloisons;

- > **Cloisons** : même si cette récurrence semble à première vue moins évidente, les interventions portées au niveau des cloisons sont d'une importance appréciable. Les changements d'intensité moyenne et élevée engendrés dans le processus d'ouverture et de division de l'espace révèlent l'importance des interventions au niveau des cloisons des cuisines (ouverture de l'espace : 39%; division de l'espace : 15%), des salles de bains (ouverture de l'espace : 0%; division de l'espace : 37%) et des pièces de vie (ouverture de l'espace : 19%; division de l'espace : 31%). Ces interventions ne sont pas sans rappeler que les cloisons ne sont pas que des vecteurs de division de l'espace, mais servent aussi à la distribution du filage électrique et de la tuyauterie de plomberie. Ainsi, elles ont le potentiel d'être affectées durant les interventions auprès des revêtements et des services.

Dans un deuxième temps, le chercheur mène une évaluation de la considération de la phase d'usage par l'analyse de contenu des stratégies proposées par les guides de référence de trois programmes de certification du bâtiment vert, soit BOMA-BEST® – Immeubles résidentiels, LEED® – Habitations, et Living Building Challenge™ – Bâtiments. Cette collecte et analyse de données comporte trois parties : une classification des stratégies proposées par les certifications selon leurs considérations, une analyse de la cohérence avec les sources potentielles d'impacts de l'habitation, ainsi qu'un examen ciblé sur les stratégies considérant l'usager, en s'attardant à leur teneur et leurs objectifs.

La première partie, qui concerne l'examen des stratégies des programmes de certification, permet de les classer selon leurs considérations, soit le *bâtiment*, le *bâtiment et les systèmes*, les *systèmes*, les *systèmes et l'usager*, l'*usager*, ainsi que le *bâtiment et*

l'usager. Cette classification des stratégies permet la représentation graphique des considérations de chaque certification pour en illustrer leur répartition.

La deuxième partie permet de mettre en relief que les considérations semblent, de façon générale, cohérentes avec les impacts associés aux sources potentielles d'impacts : la prise en compte extensive de la consommation d'énergie, avec une très grande majorité des stratégies ayant un potentiel d'influence sur la phase d'usage, est cohérente avec la forte proportion des impacts associée à cette étape du cycle de vie; la couverture importante de la consommation d'eau, dont une très grande majorité des approches est susceptible d'influencer les répercussions associées à la phase d'usage, est conséquente avec le profil d'impacts de cette sphère; la considération de l'enjeu des matériaux semble également compatible avec la proportion des impacts octroyée respectivement aux phases de pré-usage et d'usage; l'analyse note un certain décalage au sujet de la génération de déchets où la répartition des stratégies semble diverger de distribution des impacts associés à la phase de pré-usage et de post-usage; et même s'il n'est pas possible de quantifier l'importance relative de l'environnement intérieur en termes d'impacts, l'intérêt de cet aspect semble se confirmer par le nombre de stratégies dont la très grande majorité s'attarde à encadrer la phase d'usage.

La troisième partie procède à un examen des 31 stratégies considérant l'usager en s'intéressant spécifiquement à leur teneur et à leurs objectifs. L'analyse permet l'émergence de deux ensembles thématiques : les cinq sources potentielles d'impacts (énergie, eau, matériaux, déchets et environnement intérieur), ainsi que les quatre thèmes reliés aux objectifs et aux finalités des stratégies (entretien et surveillance; sensibilisation et formation; modélisation et mesurage; comportement et habitude) :

- > **5 sources potentielles d'impacts** : ce regroupement thématique montre que le nombre de stratégies considérant l'usager est plus important au niveau des préoccupations de l'environnement intérieur (16 stratégies), suivi de celles de l'énergie (13 stratégies), de l'eau (9 stratégies), des déchets (7 stratégies) et des matériaux (2 stratégies). Malgré que cette analyse ne permet pas d'évaluer l'influence des stratégies sur les impacts environnementaux, un questionnement émerge quant à la capacité de celles-ci à encadrer l'influence de l'usager sur la performance environnementale de l'habitation, et ce, dans un contexte québécois.

> **4 thèmes** : cette classification met en lumière la couverture des stratégies considérant l'usager, en révélant la diversité et l'étendue des éléments à prendre en compte pour minimiser les impacts de l'habitation:

- les protocoles d'*entretien et de surveillance* visent à maintenir et maximiser la performance de l'habitation par la mise en place de vérifications et d'inspections périodiques;
- les stratégies de *sensibilisation et de formation* visent à conscientiser et informer les occupants sur les approches de conception et de construction du bâtiment vert et les moyens d'optimiser la performance du bâtiment et des systèmes;
- les mécanismes de *modélisation et de mesurage* fournissent deux processus distincts d'évaluation de la performance de l'habitation : avant l'occupation afin d'obtenir des prévisions (en utilisant des scénarios normalisés) ou après l'occupation pour refléter la performance réelle (en ayant recours à des sous-compteurs);
- les stratégies visant le *comportement et l'habitude* ont pour objectif de mener à des pratiques susceptibles de bénéficier à la performance du bâtiment résidentiel en encadrant certains aménagements et en responsabilisant les occupants.

De plus, ce processus analytique montre que chacun des thèmes ne regroupe pas toujours des stratégies provenant de toutes les certifications et ne rejoint pas nécessairement les préoccupations en lien avec toutes les sources potentielles d'impacts : le thème *entretien et surveillance* regroupe des stratégies qui proviennent presque uniquement de BOMA-BES[®] – IR et rejoint seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur; le thème *sensibilisation et formation* représente les cinq sources potentielles d'impacts; le thème *modélisation et mesurage* compte seulement des préoccupations en lien avec l'énergie, l'eau et l'environnement intérieur; tandis que le thème *comportement et habitude* dénombre seulement des préoccupations en lien avec les déchets et l'environnement intérieur;

En somme, le caractère facultatif de la très grande majorité des stratégies analysées (12 stratégies obligatoires et 25 stratégies optionnelles³³) signifie que le choix de l'équipe varie en fonction des projets de construction, une façon de faire qui ne permet pas de maximiser les chances d'une considération optimale de l'usage de l'habitation. La portée de cette prise en compte est également questionnable puisque les programmes de certifications s'inscrivent dans un paradigme de conception synchronique qui ne considère pas, à travers les stratégies proposées, le changement comme une composante inhérente à l'habitation. À moins de se soumettre au processus de certification à chaque cycle de rénovation, ces programmes ne semblent pas être en mesure de demeurer en adéquation avec la réalité du bâtiment qui doit s'adapter à l'évolution des besoins des occupants.

Enfin, la discussion fait un retour sur les résultats en s'intéressant plus particulièrement à deux facteurs d'influence de la performance environnementale de l'habitation : l'usage de l'habitation par les occupants et la superficie habitable. Premièrement, en revenant sur les tendances et les récurrences provenant de l'analyse des données sur les interventions en rénovation, il est possible de proposer des pistes d'écoconception pour informer une approche de conception diachronique de l'habitation. Ces avenues de conception ne sont toutefois pas forcément garantes d'une amélioration des impacts globaux associés à la phase d'usage. Celles-ci devront être validées par une analyse réelle, telle que l'analyse du cycle de vie, afin d'éviter toute forme d'externalisation ou de transferts d'impacts :

- > Concept de « *démontabilité* » : ce principe est compliqué par les méthodes d'assemblage usuelles, jugées permanentes, qui empêchent la préservation et le réemploi des matériaux ou des composantes. Cette notion de permanence doit être remise en question à divers égards : la grande majorité des procédés d'installation et de pose des revêtements de sols et de murs empêche le démontage, signifiant que les matériaux de revêtement et les médiums de support sont endommagés ou détruits; les cloisons représentent un ensemble statique qui contraint sérieusement le démontage et la réutilisation des composantes lors du réaménagement des espaces intérieurs résidentiels; même si la conception des mobiliers intégrés semble aborder une certaine forme de « *démontabilité* », la seule considération de la permanence

³³ La somme des stratégies (obligatoires et optionnelles) est supérieure au total des stratégies puisqu'une (ou plusieurs) d'entre elles est considérée comme obligatoire pour un programme de certification et optionnelle pour un autre.

n'est pas suffisante puisqu'elle ne leur permet pas de survivre aux différents cycles de rénovation de l'habitation. En somme, pour une meilleure considération de l'usage, il faut repenser les relations et les assemblages entre les systèmes, les constructions, les revêtements, en fonction du cycle de remplacement potentiel des éléments, mais aussi pour permettre à l'habitation d'accommoder plus facilement le changement dans le temps.

- > Concept d'*aptitude à l'évolution* : ce principe se manifeste sous plusieurs aspects : du point de vue esthétique, elle concerne la sélection et la spécification des matériaux (revêtements, comptoirs, quincailleries, appareils sanitaires et électroménagers) puisque leurs caractéristiques inhérentes (couleurs, finis et textures), si elles sont immuables, peuvent compliquer ou empêcher la mise à jour ou le renouvellement; du point de vue technologique, cette piste d'écoconception concerne la mise à jour des composantes électriques et d'éclairage, de plomberie, des appareils sanitaires, des quincailleries et des électroménagers pour améliorer leurs performances et accommoder les dernières innovations; du point de vue fonctionnel, l'aptitude à l'évolution s'intéresse à accommoder le changement dans les modes de vie en impactant les mobiliers intégrés, l'aménagement de l'espace, les cloisons, mais aussi la capacité de rangement et de la superficie habitable. En somme, dans une approche de conception diachronique, l'aptitude à l'évolution signifie la mise en place d'un potentiel permettant de rendre l'habitation plus malléable, lui donnant la possibilité d'être réactive à l'évolution des besoins et attentes des occupants.
- > Concept d'*accessibilité* : ce principe, qui facilite l'accès et la localisation des composantes d'électricité, d'éclairage et de plomberie, est un élément critique à considérer dans l'amélioration des pratiques de conception de l'habitation. L'accessibilité, qui facilite l'entretien et la mise à jour, permettrait au bâtiment résidentiel d'évoluer plus aisément en fonction des besoins des occupants.

Deuxièmement, ce processus permet de faire des recommandations pour améliorer la prise en compte de l'usager dans la conception en discutant des 4 thèmes des considérations des programmes de certification du bâtiment vert :

- > les protocoles d'*entretien et de surveillance* reconnaissent l'action humaine comme un facteur d'influence de la performance du bâtiment. Ces initiatives sont nécessaires et doivent faire partie intégrante des stratégies, comme une condition *sine qua non* au maintien d'efforts et d'engagements pérennes envers des démarches d'amélioration

de la performance environnementale de l'habitation. Pour l'instant, les stratégies proposées ne semblent pas fournir de moyens pour valider si ces protocoles et ces façons de faire sont conservés et suivis subséquemment à la certification du bâtiment. L'implantation de mécanismes pour valider que ces protocoles atteignent les objectifs escomptés durant la phase d'usage du bâtiment permettrait d'assurer l'acuité des résultats et de supporter un engagement orienté sur le long terme;

- > les stratégies de *sensibilisation et de formation* participent à la reconnaissance du rôle des occupants dans l'établissement de la performance générale de l'habitation. Ces préoccupations doivent faire partie intégrante des stratégies proposées par les programmes de certification. Dans un souci de maximisation de la performance résidentielle, la compréhension des enjeux, l'intégration des connaissances et la maîtrise des façons de faire sont capitales pour aspirer à une plus grande implication des occupants. Dans cette optique, leur engagement doit être soutenu par des incitatifs et des protocoles de vérification pour faire en sorte que ces nouvelles connaissances soient intégrées et transposées dans l'adoption de meilleures pratiques;
- > les mécanismes de *modélisation et de mesurage* fournissent deux processus distincts d'évaluation de la performance. Dans une perspective globale et systémique, la modélisation, qui se base sur des données normalisées, ne peut être utilisée comme une finalité puisqu'elle ne peut fournir plus que des estimations ou des prévisions. Cette façon de faire, qui fait abstraction de la phase d'usage, décontextualise l'habitation et produit une évaluation incomplète de sa performance. Le mesurage, par l'installation de compteurs ou la conduite de tests, permet de recueillir des données durant la phase d'usage. Ces données valident la modélisation en dressant un portrait de la performance de l'habitation dans un contexte plus fidèle à la réalité. Toutefois, rien n'indique que ces procédés permettent d'informer et de conscientiser les occupants à l'influence qu'ils peuvent avoir sur la performance. Par la concrétisation de la performance, ces mécanismes de mesures représentent une opportunité d'engager davantage les occupants dans le processus de détermination de la performance en permettant de relier directement l'usage aux impacts qui lui sont associés;
- > les stratégies de *comportement et d'habitude* reconnaissent le potentiel d'influence des occupants et leur participation active à la performance de l'habitation. Ce thème représente probablement celui dont le potentiel est le plus probant en termes d'usage puisque ses intérêts sont directement reliés aux comportements et aux modes de vie

des occupants, lesquels ont un potentiel d'impacts majeurs sur la performance de l'habitation. De façon générale, les stratégies proposées ne sont pas très contraignantes et ne visent qu'un engagement volontaire, en ne prévoyant ni suivi, ni vérification après la certification. De plus, les stratégies de ce thème doivent élargir leur couverture en incluant impérativement des préoccupations reliées à la consommation d'énergie et d'eau, mais aussi à l'utilisation des matériaux. À l'image du mesurage, pour maximiser la responsabilisation et l'autonomisation des occupants, les stratégies de ce thème doivent réussir à concrétiser la performance en établissant des liens concrets de causes à effets entre les actions des occupants et les impacts susceptibles d'être générés. De telles mesures de responsabilisation mèneraient la performance à un autre niveau en apportant une dimension plus systémique à l'évaluation environnementale de l'habitation.

En somme, dans une approche plus globale de l'habitation, cette recherche se solde par une discussion sur la pertinence et l'importance des préoccupations liées à la superficie habitable. Cette dernière représente un facteur d'influence déterminant au niveau de l'impact de l'habitation. La configuration statique du bâtiment résultant de l'approche de conception synchronique peut mener à des besoins en superficie habitable plus importants, tandis que concevoir selon une approche diachronique peut représenter un potentiel réel d'optimisation de la taille de l'habitation, impactant directement l'empreinte environnementale. Pour reconnaître et faire valoir la nécessité d'une adhésion plus globale à la réduction de la superficie habitable, ce thème gagnerait à être précisé afin d'en justifier la valeur et la portée, et ce, en termes environnementaux, économiques et sociaux. Pour ce faire, il faut consolider davantage les liens entre la superficie résidentielle et les impacts environnementaux pour en augmenter le capital de pertinence. Cette démarche vise à assurer une meilleure inclusion des critères reliés à la superficie dans les systèmes de certification et à fournir les bases nécessaires au développement d'une législation à l'effet d'encourager la diminution de la superficie habitable.

En conclusion, dans une perspective d'opérationnalisation du développement durable, cette recherche vise l'amélioration des pratiques de conception de l'habitation en mettant de l'avant une approche diachronique. À cet effet, des recommandations sont émises pour améliorer la prise en compte de la phase d'usage et voir à ce qu'elle soit plus cohérente avec les impacts qui lui sont associés. Ces suggestions appellent à une concrétisation de la

performance en suscitant l'implication, l'engagement, la responsabilisation et l'autonomisation des occupants. Cet aspect représente une première avenue de recherches futures qui pourrait explorer aussi bien la résultante directe des stratégies proposées en termes d'amélioration des impacts dans une approche d'analyse du cycle de vie, que sur le développement d'interfaces et de mécanismes pour permettre aux occupants d'établir des liens concrets de causes à effets entre leurs actions et les impacts qu'ils génèrent. Ensuite, des pistes d'écoconception sont proposées pour permettre d'accommoder une condition inhérente à l'habitation: l'évolution des besoins des occupants. Ces critères de conception misent sur la « *démontabilité* », l'*aptitude à l'évolution* et l'*accessibilité* pour permettre à l'habitation de supporter le changement. L'intégration de ces pistes d'écoconception nécessite la mobilisation des intervenants de la fabrication et de la conception de l'industrie de la construction pour générer de l'innovation dans les façons de faire. Ce processus nécessite toutefois un engagement politique pour que ces critères de design soient intégrés au cursus des programmes de certification, mais également aux législations et aux réglementations en lien avec le bâtiment. Ce créneau constitue une deuxième avenue de futurs développements qui pourrait investiguer, entre autres, la relation potentielle ou réelle entre l'occupant et le bâtiment « dynamique » (conçu pour accommoder le changement) en créant des prototypes d'habitation ou en utilisant des bâtiments adaptables. Enfin, la superficie habitable est identifiée comme un facteur d'influence déterminant dans la performance environnementale du bâtiment résidentiel. Tel que mentionné précédemment, cette caractéristique nécessite des recherches plus étoffées pour valider la pertinence et mener une intégration systématique au niveau des programmes de certification et des législations encadrant la construction résidentielle. En somme, ces opportunités d'amélioration tendent à mener ce secteur vers une démarche plus globale et systémique de prise en compte de la problématique environnementale, économique et sociale de l'habitation.

Références

- Adaptable Futures. (2013). The adaptable futures toolkit. Repéré le 06-03-2013 à <http://adaptablefutures.com/our-work/toolkit/>
- Aedifica. (2007). Étude économique sur la profession d'architecte. Montréal: Association des Architectes en pratique privée du Québec (AAPPQ).
- Ahn, M., Parrott, K. R., Beamish, J. O., & Emmel, J. M. (2008). Kitchen Space Planning in Small-Scale Souses. *Housing and Society*, 35(2), 83-96.
- Aktas, C. B., & Bilec, M. M. (2012). Impact of Lifetime on US Residential Building LCA Results. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(3), 337-349.
- ALPHA. (2013). Certification LEED. Repéré le 15-03-2013 à <http://www.alphaassurances.com/promotions/certification-leed>
- Ambec, S., & Paul, L. (2008). Does it Pay to Be Green ? A Systematic Overview. *The Academy of Management Perspectives*, 22(4), 45-62.
- APCHQ. (2004). L'habitation au Québec: perspectives économiques et démographiques. Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2010). Étude exploratoire sur la trajectoire résidentielle des baby-boomers. Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2012a). Abordabilité et diversité: Objectifs et défis d'une politique d'habitation pour le Québec. Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2012b). Abordabilité et diversité: Objectifs et défis d'une politique d'habitation pour le Québec (Quelques constats). Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2012c). Prévisions économiques 2012-2013. Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2013). Prévisions économiques 2013-2014. Anjou: APCHQ.
- APCHQ. (2014). Portrait régional de la rénovation au Québec 2010-2013. Anjou: APCHQ.
- Asensio, O. (2007). La magie des petits espaces = The Magic of Small Spaces = La magia de los pequeños espacios. San Francisco: Fitway.
- Auffret, Y. (2010). Secteur CRD: le dopage d'un succès. *Form*, 6, 20-21.
- Bahamón, A., & Asensio Cerver, F. (2003). Mini House. New York: Harper Design International.
- Banque de Montréal. (2013). Hypothèque Énergie Plus BMO. Repéré le 15-03-2013 à <http://www.bmo.com/accueil/particuliers/services-bancaires/prets-et-prets-hypothecaires/prets-hypothecaire/offres-speciales/hypothecque-energie-plus>
- Banque de Montréal. (2015). Prêts hypothécaires: taux officiels des prêts hypothécaires à l'habitation. Repéré le 20-10-2015 à <http://www.bmo.com/accueil/particuliers/services-bancaires/taux/prets-hypothecaires>
- Bardin, L. (2003). L'analyse du contenu. Paris: Presses Universitaires de France.
- Baum, S., & Hassan, R. (1999). Home Owners, Home Renovation and Residential Mobility. *Journal of Sociology*, 35(1), 23-41.

- Beadle, K., Gibb, A., Austin, S., Madden, P., & Fuster, A. (2008). Adaptable Futures: Setting the Agenda. Article présenté à First International Conference on Industrialised, Integrated, Intelligent Construction (I3CON), Loughborough University (UK).
- Beer, A., Faulkner, D., Clower, T., & Paris, C. (2011). Housing Transitions through the Life Course: Aspirations, Needs and Policy. Bristol, U.K.: The Policy Press.
- Bergeron, M. (2013). Immobilier: l'effet boeuf des mesures Flaherty, La Presse. Repéré le 23-01-2013 à <http://affaires.lapresse.ca/economie/immobilier/201301/22/01-4613743-immobilier-leffet-boeuf-des-mesures-flaherty.php>
- Björk, B.-C. (1999). Information Technology in Construction: Domain Definition and Research Issues. *International Journal of Computer Integrated Design And Construction*, 1(1).
- BOMA Canada. (2009). BOMA-BES: guide des meilleures pratiques. Toronto: BOMA Canada.
- BOMA Canada. (2012a). Certification BOMA-BES: guide d'accompagnement. Toronto: BOMA Canada.
- BOMA Canada. (2012b). Questionnaire BOMA BES – Immeubles résidentiels à logements multiples. Toronto: BOMA Canada.
- BOMA Canada. (2013). Guide d'accompagnement du programme BOMA BES, version 2. Toronto: BOMA Canada.
- Brand, S. (1994). How Buildings Learn : What Happens After They're Built. New York, NY: Viking.
- Broto, C., & Guilloux, E. (2007). Petites maisons en pleine nature. Barcelona: Links.
- Broto, C., Ockrassa, A., & Alamo, M. R. d. (2005). Compact Interiors. Barcelona: Structure.
- Brown, D. J. (2002). Homing in on Excellence: A Commentary on the Use of Offsite Fabrication Methods for the UK Housebuilding Industry. London: The housing Forum.
- Bucher, W., & Madrid, C. (1996). Dictionary of Building Preservation. New York: Preservation Press, J. Wiley.
- Campos, C. (2008). Living in Small Spaces. Barcelona, Spain: Loft.
- Carvajal, P. (2006). Les jeunes redécouvrent la construction. Montréal: Commission de la construction du Québec (CCQ): direction recherche et organisation.
- CBD Ca. (2004). LEED – Green Building Rating System: Trousse de référence pour les nouvelles constructions & les rénovations majeures LEED Canada – NC, version 1.0. Ottawa: Conseil du bâtiment durable du Canada.
- CBD Ca. (2009). LEED – Système d'évaluation des bâtiments durables: LEED Canada pour les habitations 2009. Ottawa: Conseil du bâtiment durable du Canada.
- CBD Ca. (2014). Canada Green Building Trends: Benefits Driving the New and Retrofit Market. Ottawa: Conseil du bâtiment durable du Canada.
- CCQ. (2011-2012). Carrières construction. Montréal: Commission de la construction du Québec: direction des communications.
- CEC. (2008a). Greenbuilding in North America: Opportunities and Challenges. Montréal: Communications Department of the Commission for Environmental Cooperation Secretariat.
- CEC. (2008b). HERS – Home Energy Rating System: Technical Manual. Sacramento, CA: California Energy Commission.
- Chan, Y. (2007). Small Environments. Gloucester, Mass.: Rockport Publishers.

- Chesneau, I. (2005). Obsolescence et modernité architecturales. Dans Andrieux, J.-Y. & Chevalier, F. (éds.), *La réception de l'architecture du Mouvement moderne: image, usage, héritage* (pp. 139-143). St-Étienne: Publications de l'Université de St-Étienne.
- Cohen, L. (2009a). François Bellanger ou la maison 2.0. Dans Dougier, H., Dhoquois, A. & Baumann, P. (éds.), *Habiter autrement* (pp. 18-21). Paris: Autrement.
- Cohen, L. (2009b). Olga Piou: Vivre chez soi après la retraite. Dans Dougier, H., Dhoquois, A. & Baumann, P. (éds.), *Habiter autrement* (pp. 34-37). Paris: Autrement.
- Conran, T. (2002). *Petits espaces*. Paris: Gründ.
- Conran, T. (2006). *Organiser l'espace*. Paris: Grund.
- Conran, T. (2007). *Les petits espaces : design, ameublement, décoration, les petites surfaces en détail*. Paris: Gründ.
- Conseil international du bâtiment. (2010). *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*. Zurich: IBB & ETH.
- Construction Task Force. (1998). *Rethinking Construction: The Report of the Construction Task Force*. London: Dept. of the Environment, Transport and the Regions.
- Cooper, T. (2004). Inadequate life ? Evidence of consumer attitudes to product obsolescence. *Journal of Consumer Policy*, 27(4), 421-449.
- Cooper, T. (2010). The Significance of Product Longevity. Dans Cooper, T. (éd.), *Longer Lasting Products: Alternatives to the Throwaway Society* (pp. 3-36). Surrey, Eng.: Gower Publishing.
- Coumau, C. (2009). Habitat et santé: polluants et dangers à tous les étages. Dans Dougier, H., Dhoquois, A. & Baumann, P. (éds.), *Habiter autrement* (pp. 90-95). Paris: Autrement.
- Crafti, S. (2003). *Making More of Small Spaces*. Mulgrave, Vic.: Images.
- Creswell, J. W. (1994). *Research Design : Qualitative & Quantitative Approaches*. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications.
- Creswell, J. W. (2003). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (2e éd.). Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3e éd.). Thousand Oaks: SAGE Publications.
- CSA. (2006). *Guideline for Design for Disassembly and Adaptability in Buildings* (1re éd.). Mississauga, Ont.: Canadian Standards Association.
- CST. (2003). *Avis: Bâtir et innover – Tendances et défis dans le secteur du bâtiment*. Québec: Conseil de la science et de la technologie.
- Culp, R. (2011). Relocate then Renovate: An Empirical Analysis of the Role of Environmental Attributes in the Home Improvement Decision. *Journal of Housing Research*, 20(1), 53-66.
- Davey, J. (2006). "Ageing in Place": The Views of Older Homeowners on Maintenance, Renovation and Adaptation. *Social Policy Journal of New Zealand*, 27, 128-141.
- Davies, N., & Jokiniemi, E. (2008). *Dictionary of Architecture and Building Construction*. Amsterdam: Architectural Press.
- de Vigan, J. (2008). *DICOBAT 9: dictionnaire général du bâtiment* (7e éd.). Paris: Arcature.

- Delagrave, L. (2006). Impacts du vieillissement démographique sur l'offre et la demande de main-d'oeuvre dans la construction au Québec. Montréal: Commission de la construction du Québec (CCQ): direction recherche et organisation.
- del Valle, C. (2005). Compact Houses. New York: Universe.
- Desjardins. (2013a). HypothÉco. Repéré le 15-03-2013 à <http://www.caissesolidaire.coop/prets/particuliers/hypotheco/>
- Desjardins. (2013b). Rabais sur mesure pour votre assurance habitation. Repéré le 15-03-2013 à <http://www.desjardinsassurancesgenerales.com/d-qc/fr/produits-assurances/assurance-habitation/economies-avantages/pages/economies-avantages-habitation.aspx>
- Deslauriers, J., & Gagné, R. (2012). La performance économique de l'industrie de la construction au Québec. Montréal: HEC Montréal: Centre sur la productivité et la prospérité.
- Deslauriers, J., & Kérisit, M. (1997). Le devis de recherche qualitative. Dans Poupart, J. (éd.), *La recherche qualitative, enjeux épistémologiques et méthodologiques* (pp. 85-111). Québec: Gaëtan Morin.
- Domard, J.-M., & Lanoie, P. (2011). Rentabilité et développement durable: des billets verts pour des bâtiments verts ? Cahiers de Recherche (Vol. 2011-1). Montréal: HEC Montréal.
- Douglas, J. (2006). Building Adaptation (2e éd.). Amsterdam; Boston; London: Butterworth-Heinemann.
- Dubois, J., Giacomo, M., Guespin, L., Marcellesi, C., Marcellesi, J.-B., & Mével, J.-P. (2012). Le dictionnaire de linguistique et des sciences du langage. Paris: Larousse.
- Duffy, F. (1993). Measuring Building performance. *Facilities*, 8(5), 17-20.
- Dupuis, P., Delagrave, L., Pilon, J.-L., & Charest, J. (2008). Les abandons dans les métiers et occupations de la construction: ampleur et causalités. Montréal: Commission de la construction du Québec (CCQ): direction recherche et organisation.
- Durand, C., & Blais, A. (2009). La mesure. Dans Gauthier, B. & Beaud, J. P. (éds.), *Recherche sociale: de la problématique à la collecte des données* (pp. 227-250). Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Écohabitation. (2014). L'habitation écologique au Québec: étude de marché. Repéré le 30-10-2014 à http://www.ecohabitation.com/sites/www.ecohabitation.com/files/nouvelle/etude_de-marche-v19sept_72dpi.pdf.
- Eguchi, T., Schmidt III, R., Dainty, A., Austin, S., & Gibb, A. (2011). The Cultivation of Adaptability in Japan. *Open House International*, 26(1), 73-85.
- ENERGY STAR. (2013). Energy Efficient Mortgage. Repéré le 02-10-2013 à http://www.energystar.gov/index.cfm?c=mortgages.energy_efficient_mortgages
- Environnement Canada. (2006). Chapitre 6 : La conservation de l'eau – chaque goutte est précieuse. Ottawa: Environnement Canada.
- Environnement Canada. (2011). Rapport de 2011 sur l'utilisation de l'eau par les municipalités. Ottawa: Environnement Canada.
- Fellows, R., & Liu, A. (2008). Research methods for construction (3e éd.). Oxford, UK ; Malden, MA: Blackwell.
- Finn, D. W. (1992). Towards Industrialized Construction. *Construction Canada*, 34(3), 25-28.

- Fortin, M.-F., & Gagnon, J. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche: méthodes quantitatives et qualitatives (2e éd.)*. Montréal: Chenelière éducation
- Friedman, A. (2002). *The Adaptable House : Designing Homes for Change*. New York: McGraw-Hill.
- Gagné, S. (2009). Quand l'écologie influence nos finances. *La Maison du 21e siècle*, Supplément (Hiver 2009), 32-34.
- Gann, D. M. (1997). Should governments fund construction research ? *Building Research & Information*, 25(5), 257-267.
- Gauer, J., & Tighe, C. (2004). *The New American Dream: Living Well in Small Homes*. New York: Monacelli Press.
- Genworth. (2013). Energy-Efficient Housing Program. Repéré le 16-03-2013 à <http://genworth.ca/en/products/energy-efficient-housing.aspx>
- Gibb, A., Austin, S., Dainty, A., Davison, N., & Pasquire, C. (2007). Towards Adaptable Buildings: Pre-Configuration and Re-Configuration-Two Case Studies. Article présenté à ManuBuild 1st International Conference, Rotterdam.
- Girmscheid, G. (2010a). Context of Industrialisation – Introduction. Dans CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction" (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, (pp. 3-13). Zurich: IBB & ETH.
- Girmscheid, G. (2010b). Industrialisation Procedures in Construction Companies Rationalisation and Systematisation of Processes. Dans CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction" (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report*, (pp. 103-121). Zurich: IBB & ETH.
- Giroux, S., & Tremblay, G. (2009). *Méthodologie des sciences humaines: la recherche en action*. Saint-Laurent, Québec: Editions du Renouveau pédagogique.
- Glendinning, M., & Muthesius, S. (2004). Architecture versus Building in the 1960s housing boom. Dans Woudhuysen, J. & Abley, I. (éds.), *Why is construction so backward ?* (pp. 132-161). Hoboken, N.J.: Wiley Academy.
- Gouvernement du Québec. (2011). *Novoclimat: exigences techniques – habitations unifamiliales, bigénérationnelles et unifamiliales avec un logement*. Québec: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- Gouvernement du Québec. (2012). *Programme Rénoclimat – Cadre normatif*. Québec: Ministère des Ressources naturelles.
- Gouvernement du Québec. (2013a). *Loi sur les architectes*. Québec: Gouvernement du Québec. Repéré le 25-09-2013 à http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/A_21/A21.html.
- Gouvernement du Québec. (2013b). *Novoclimat: exigences techniques – Volets "maison" et "petit bâtiment multilogement"*. Québec: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- Gouvernement du Québec. (2013c). *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles: Loi sur la qualité environnementale*. Québec: Éditeur officiel du Québec. Repéré le 23-01-2013 à http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R35_1.HTM.
- Grammond, S. (2013). *ÉcoRénov et Rénoclimat: des réponses*. La Presse. Repéré le 22-10-2013 à <http://affaires.lapresse.ca/opinions/chroniques/stephanie-grammond/201310/16/01-4700173-ecorenov-et-renoclimat-des-reponses.php>

- Greenwood, D. J., & Levin, M. (2005). Reform of the Social Sciences and of Universities Through Action Research. Dans Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (éds.), *The Sage handbook of qualitative research* (Vol. 3, pp. 43-64). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Guilbert, L., Lagane, R., & Niobey, G. (1986) Grand Larousse de la langue française: en sept volumes. Paris: Larousse.
- Haack, L., & Höpfner, J. (2010). Microarchitecture: Experiments in Space Optimisation. Dans Schittich, C. (éd.), *Small structures : compact dwellings, temporary structures, room modules* (pp. 11-23). Basel: Birkhäuser.
- Häkkinen, T., & Belloni, K. (2011). Barriers and Drivers for Sustainable Building. *Building Research & Information*, 39(3), 239-255.
- Hand, M., & Shove, E. (2007). Home Extensions in the United Kingdom: Space, Time, and Practice. *Environment and Planning D*, 25(4), 668.
- Hershberger, R. G. (2000). Programming. Dans American Institute of Architects (éd.), *Architect's Handbook of Professional Practice (13e éd.)*. Repéré le 05-10-2012 à <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab089267.pdf>.
- Houzz. (2014a). Houzz Decorating Trends Study. Repéré le 02-02-2015 à <http://info.houzz.com/rs/houzz/images/HouzzDecoratingStudy.pdf>
- Houzz. (2014b). Houzz Kitchen Trends Study. Repéré le 02-02-2015 à <http://info.houzz.com/rs/houzz/images/HouzzKitchenStudy2014.pdf>
- Houzz. (2015). Houzz Bathroom Trends Study. Repéré le 02-02-2015 à <http://info.houzz.com/rs/houzz/images/HouzzBathroomStudy2015.pdf>
- Houzz and Edge Research. (2014). Transforming the Canadian Home: Findings from the 2014 Houzz & Home Survey. Repéré le 02-02-2015 à https://st.houzz.com/static/2014_Houzz_Home_CA.pdf
- ILFI. (2009). The Living Building Financial Study. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- ILFI. (2012). Living Building Challenge 2.1: A Visionary Path to a Restorative Future. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- ILFI. (2013a). Living Building Challenge 2.0/2.1: Energy Petal Handbook. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- ILFI. (2013b). Living Building Challenge 2.0/2.1: Materials Petal Handbook. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- ILFI. (2013c). Living Building Challenge 2.0/2.1: Water Petal Handbook. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- ILFI. (2014). Living Building Challenge 3.0: A Visionary Path to a Restorative Future. Seattle, WA: International Living Future Institute.
- Jayr, E., Laurent, J., Lebert, A., & Chevalier, J. (2011). Bilan carbone® appliqué au bâtiment: guide méthodologique. Angers: ADEME.
- Kalhöfer, G. (2010). Mobile architecture. Dans Schittich, C. (éd.), *Small Structures : Compact Dwellings, Temporary Structures, Room Modules* (pp. 38-49). Basel: Birkhäuser.
- Kannan, S. (2008). Measuring the Market Demand for Green Residential Development. Washington, D.C.: Robert Charles Lesser & Co.
- Kats, G. (2010). Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies. Washington, DC: Island Press.

- Kaufmann, M., & Remick, C. (2009). *Prefab Green*. Layton, Utah: Gibbs Smith.
- Kealey, T. (1996). *The Economic Laws of Scientific Research*. Hampshire: Macmillan Press
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. H., & Mador, M. L. (2008). *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
- Kelly, G., Schmidt III, R., Dainty, A., & Story, V. (2011). Improving the Design of Adaptable Buildings Through Effective Feedback in Use. Article présenté à Management and Innovation for a Sustainable Built Environment, Amsterdam.
- Keymer, M. A. (2000). *Design Strategies for New and Renovation Construction that Increase the Capacity of Buildings to Accommodate Change (Mémoire de maîtrise)*, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F. (2009). Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: a Review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- Kieran, S., & Timberlake, J. (2004). *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction*. Bedford, MA: McGraw-Hill Professional.
- Kintrea, K. (2007). Housing Aspirations and Obsolescence: Understanding the Relationship. *Journal of Housing and the Built Environment*, 22(4), 321-338.
- Knaack, U., Chung-Klatte, S., & Hasselbach, R. (2012). *Prefabricated Systems: Principles of Construction*. Basel: Birkhäuser
- Kopec, D., Sinclair, E., & Matthes, B. (2012). *Evidence Based Design: a Process for Research and Writing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Kronenburg, R. (2007). *Flexible : une architecture pour répondre au changement*. Paris: Norma.
- Landin, A. (2010). Demands on the Tolerances When Industrialising the Construction Sector. Dans CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction" (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report* (pp. 197-205). Zurich: IBB & ETH.
- Langrish, J., Gibbons, M., Evans, W. G., & Jevons, F. R. (1972). *Wealth from Knowledge: a Study of Innovation in Industry*. New York: Halstead Press Division, Wiley.
- Laperrière, A. (1997). Les critères de scientificité des méthodes qualitatives. Dans Poupart, J. (éd.), *La recherche qualitative: enjeux épistémologiques et méthodologiques* (pp. 365-387). Québec: Gaëtan Morin.
- laPersonnelle. (2013). Vos économies en assurance habitation. Repéré le 15-03-2013 à <http://www.lapersonnelle.com/p-qc/fr/produits-assurances/assurance-habitation/economies-avantages/pages/economies-avantages-habitation.aspx>
- Laquatra, J., & Pierce, M. (2004). Managing waste at the residential construction site. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 30(2), 67-74.
- Larson, K., Intille, S., McLeish, T. J., Beaudin, J., & Williams, R. E. (2004). Open Source Building — Reinventing Places of Living. *BT Technology Journal*, 22(4), 187-200.
- Leaman, A., & Bordass, B. (2004). Flexibility and Adaptability. Dans Macmillan, S. (éd.), *Designing Better Buildings: Quality and Value in the Built Environment* (pp. 145-156). London; New York: Spon Press.
- Légaré, O. (2010). Perspectives démographiques 2006-2056 et logement: un aperçu. *Habitation Québec*, 4(4), 1-16.
- Levéé, V. (2012). L'élimination du bois bientôt éliminée. *Formes*, 8(4), 26-35.

- Loftness, V., Hartkopf, V., & Gurtekin, B. (2003). Linking Energy to Health and Productivity in the Built Environment. Article présenté à Greenbuild International Conference 2003, Pittsburgh, Pennsylvania. Repéré le 01-05-2015 à <http://mail.seedengr.com/documents/LinkingEnergytoHealthandProductivity.pdf>
- Losantos, À. (2006). *Mini House Now* (1re éd.). New York: Collins Design.
- Lucuik, M., Trusty, W., Larsson, N., & Charette, R. (2005). *A Business Case for Green Buildings in Canada: Report*. Ottawa: CBDCa.
- Lyttle, B. (2007). Think Small. *The New York Times*. Repéré le 16-10-2013 à <http://www.nytimes.com/2007/02/16/realestate/greathomes/16tiny.html?pagewanted=all&r=0>
- Maller, C., Horne, R., & Dalton, T. (2012). Green Renovations: Intersections of Daily Routines, Housing Aspirations and Narratives of Environmental Sustainability. *Housing, Theory and Society*, 29(3), 255-275.
- Manewa, A., Pasquire, C. L., Gibb, A., & Schmidt III, R. (2009). A Paradigm Shift Towards Whole Life Analysis in Adaptable Buildings. Article présenté à Changing Roles – New Roles; New Challenges, Rotterdam.
- Maugard, A., & Héros, M. (2007). *Regards sur le bâtiment: le futur en construction*. Paris: Éd. du Moniteur.
- McGraw Hill Construction. (2010). *Green Outlook 2011: Green Trends Driving Growth*. Bedford, MA: McGraw Hill Construction.
- McGraw Hill Construction. (2011). *Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry*. Bedford, MA: McGraw Hill Construction.
- McGraw Hill Construction. (2013). *World Green Building Trends: Business Benefits Driving New and Retrofit Market Opportunities in Over 60 Countries Smart Market Report*. Bedford, MA: McGraw Hill Construction.
- McGraw Hill Construction. (2014a). *The Drive Toward Healthier Buildings: The Market Drivers and Impact of Building Design and Construction on Occupant Health, Well-Being and Productivity Smart Market Report*. Bedford, MA: McGraw Hill Construction.
- McGraw Hill Construction. (2014b). *Green Multifamily and Single Family Homes: Growth in a Recovering Market Smart Market Report*. Bedford, MA: McGraw Hill Construction.
- McWilliams, R. (2004). When Teams Model Buildings in 3D. Dans Woudhuysen, J. & Abley, I. (éds.), *Why is construction so backward ?* (pp. 237-261). Hoboken, N.J.: Wiley Academy.
- MDDEP. (2011). *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles: Plan d'action 2011-2015*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Repéré le 23-01-2013 à <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf>
- Michaud, R., Belley, C., & Hydro-Québec. (2008). *Analyse du cycle de vie comparative d'ampoules électriques: incandescentes et fluorescentes compactes*. Montréal: Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG).
- Morris, C. (2004). What IT Can Do for Building Specification and Project Information. Dans Woudhuysen, J. & Abley, I. (éds.), *Why is construction so backward ?* (pp. 228-236). Hoboken, N.J.: Wiley Academy.
- Nadim, W. (2012). Modern Methods of Construction. Dans Akintoye, A., Goulding, J. & Zawdie, G. (éds.), *Construction Innovation and Process Improvement* (pp. 209-233). Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.

- Niemeijer, R. A., De Vries, B., & Beetz, J. (2010). Designing with Constraints. Article présenté à Design and Decision Support Systems – Conference 2010, The Netherlands.
- Nutt, B., Walker, B., Holliday, S., & Sears, D. (1976). *Obsolescence in Housing: Theory and Applications*. Westmead, Ang.: Saxon House
- Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the Construction Industry: A Review of Recent Developments Based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28-39.
- Palmeri, J. (2009). A Life Cycle Assessment Based Approach to Prioritizing Methods of Preventing Waste from Residential Building Construction, Remodeling, and Demolition in the State of Oregon: Phase 1 Report, Version 1.2. Oregon: State of Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ).
- Palmeri, J. (2010). A Life Cycle Assessment to Prioritizing Methods of Preventing Waste from Residential Construction Sector in the State of Oregon: Phase 2 Report, Version 1.4. Oregon: State of Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ).
- Picon, A. (2012). L'industrialisation du bâtiment: un projet technique et politique. Dans Graf, F. & Delemontey, Y. (éds.), *Architecture industrialisée et préfabriquée: connaissance et sauvegarde = Understanding and Conserving Industrialised and Prefabricated Architecture* (pp. 49-62). Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Piironen, E. (2007). *Small Houses in Finland* (2e éd.). Helsinki: Rakennustieto.
- Pople, N. (2003). *Petites maisons*. Paris: Seuil.
- Quale, J. D. (2012). *Sustainable, Affordable, Prefab: The EcoMOD Project*. Charlottesville: University of Virginia Press.
- Quint, R. (2010). *The New Home in 2015 Special Study for Housing Economics*. Washington D.C.: National Association of Home Builders: Economics and Housing Policy Group.
- Quitau, M.-B., & Røpke, I. (2008). The Construction of Normal Expectations. *Journal of Industrial Ecology*, 12(2), 186-206.
- Quitau, M.-B., & Røpke, I. (2009). Bathroom Transformation: From Hygiene to Well-Being ? *Home Cultures*, 6(3), 219-242.
- RBC Banque Royale. (2013a). Hypothèque Énergie RBC. Repéré le 02-10-2013 à <http://www.rbcbanqueroyale.com/hypotheques/hypotheque-ecoenergie.html>
- RBC Banque Royale. (2013b). Prêt Énergie RBC. Repéré le 02-10-2013 à <http://www.rbcbanqueroyale.com/prets-personnels/pret-energie.html>
- RECYC-QUÉBEC. (2008). Fiche d'information: Les résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD). Québec: Recyc-Québec.
- RECYC-QUÉBEC. (2009a). Bilan 2008 de la gestion des matières résiduelles au Québec. Québec: Recyc-Québec.
- RECYC-QUÉBEC. (2009b). Fiche d'information: Les résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD). Québec: Recyc-Québec.
- RECYC-QUÉBEC. (2012a). Bilan 2010-2011 de la gestion des matières résiduelles au Québec. Québec: Recyc-Québec. Repéré le 15-01-2013 à <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Bilan%202010-2011%20GMR%20Final.pdf>.
- RECYC-QUÉBEC. (2012b). Plan stratégique 2012/2017. Québec: Recyc-Québec. Repéré le 15-01-2013 à http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/RQ-35_Plan_Strategique_2012-2017_v5_2012-06-08.pdf.

- Ressources naturelles Canada. (2010). Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages en 2007: rapport sommaire. Ottawa: Publications Éconergie – Office de l'efficacité énergétique. Repéré le 23-01-2013 à <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/euem-sommaire07/pdf/euem-sommaire07.pdf>.
- Ressources naturelles Canada. (2011a). En quoi consiste l'initiative ENERGY STAR® pour les maisons neuves ? Repéré le 06-03-2013 à <http://oee.nrcan.gc.ca/node/9387>
- Ressources naturelles Canada. (2011b). ENERGY STAR pour les maisons neuves: spécifications techniques – Ontario. Canada: Gouvernement du Canada.
- Revenu Québec. (2013). Crédit d'impôt ÉcoRénov. Repéré le 22-10-2013 à <http://www.revenuquebec.ca/fr/salle-de-presse/nouvelles-fiscales/2013/2013-10-17.aspx>
- Richard, R.-B. (2004). La saga d'un rêve plus logique que la réalité: industrialiser la production du logement pour le plus grand nombre. *Trames*, 15, 67-94.
- Richard, R.-B. (2006). Industrialised, Flexible and Demountable Building Systems: Quality, Economy and Sustainability. Article présenté à The CRIOCM International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate". Repéré le 25-05-2010 à http://www.bot.yildiz.edu.tr/ids09/_data/_readings/INDUST%20DEMOUNTABLE%20BUILD%20SYSTEMS.pdf
- Richard, R.-B. (2007). A Generic Classification of Industrialised Building Systems. Dans Samad Kazi, A. (éd.), *Open Building Manufacturing: Core Concepts and Industrial Requirements* (pp. 33-48). Finlande: ManuBuild.
- Richard, R.-B. (2010a). Five degrees of Industrialised Building Production. Dans CIB Task Group 57: Industrialisation in Construction (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report* (pp. 15-27). Zurich: IBB & ETH.
- Richard, R.-B. (2010b). Generic Classification of Industrialised Building Systems. Dans CIB Task Group 57: Industrialisation in Construction (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report* (pp. 303-316). Zurich: IBB & ETH.
- Robson, C. (2002). *Real World Research : a Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers* (2e éd.). Oxford, UK: Blackwell Publishers.
- Rodrigue, G., & Corriveau, O. (2004). L'innovation dans l'industrie du bâtiment au Québec en 2004. Montréal: CERACQ.
- Rundquist, J., Emmitt, S., Halila, F., Hjort, B., & Larsson, B. (2013). Construction Innovation: Addressing the Project – Product Gap in the Swedish Construction Sector. *International Journal of Innovation Science*, 5(1), 1-10.
- Ryan, N. (2013). Energy Efficient Mortgage: Another Option to Consider When Buying a Home. Repéré le 02-10-2013 à <http://www.condo.ca/energy-efficient-mortgage-another-option-to-consider-when-buying-a-home/>
- Sabbah, C. (2009). Maison pour la famille fluctuante. Dans Dougier, H., Dhoquois, A. & Baumann, P. (éds.), *Habiter autrement* (pp. 28-33). Paris: Autrement.
- Saxon, R. (2003). Design rules. *Building Design*, 1573, 9.
- SCHL. (2003). Analyse documentaire des tendances socioéconomiques influant sur les marchés de l'habitation et de la consommation. Ottawa: Société canadienne d'hypothèques et de logement.
- SCHL. (2011). Projections à long terme relatives aux ménages – Mise à jour 2011. Ottawa: Société canadienne d'hypothèques et de logement.

- SCHL. (2012). Tableaux détaillés sur la rénovation et l'achat de logements. Ottawa: Société canadienne d'hypothèques et de logement.
- SCHL. (2013). Maison écolo – Des habitations écoénergétiques à un prix plus abordable. Ottawa: Société canadienne d'hypothèques et de logement.
- Schleifer, S. (2005). Small Apartments = Petits appartements = Kleine appartements. Köln: Taschen.
- Schleifer, S. (2006a). Small City Houses = Petites maisons de ville = Kleine Stadthäuser. Köln ; London: Taschen.
- Schleifer, S. (2006b). Small Interiors = Petits intérieurs = Kleine Räume. Köln: Evergreen.
- Schleifer, S., & Seidel, F. (2008a). Nouveaux petits appartements = New Small Apartments = Neue kleine apartments. Köln: Evergreen.
- Schleifer, S., & Seidel, F. (2008b). Nouvelles petites maisons = New Small Houses = Neue Kleine Häuser. Köln: Evergreen.
- Schmidt III, R., Eguchi, T., Austin, S., & Gibb, A. (2009). Adaptable Futures: a 21st Century Challenge. Article présenté à Changing Roles – New Roles; New Challenges, Rotterdam. Repéré le 25-10-2013 à <http://adaptablefutures.com/wp-content/uploads/2011/11/Schmidt-et-al.-2009b.pdf>
- Schmidt III, R., Eguchi, T., Austin, S., & Gibb, A. (2010). What is the Meaning of Adaptability in the Building Industry ? Article présenté à O&SB2010, the 16th International Conference On "Open and Sustainable Building", Bilbao. Repéré le 25-10-2013 à <http://adaptablefutures.com/wp-content/uploads/2011/11/Schmidt-et-al.-2010b.pdf>
- Schmidt III, R., Mohyuddin, S., Austin, S., & Gibb, A. (2008). Using DSM to Redefine Buildings for Adaptability. Article présenté à 10th International Design Structure Matrix Conference, DSM'08, Stockholm. Repéré le 25-10-2013 à <http://adaptablefutures.com/wp-content/uploads/2011/11/Schmidt-et-al.-2008.pdf>
- Schneiderman, D. (2010). The Prefabricated Kitchen: Substance and Surface. *Home Cultures*, 7(3), 243-262.
- Schneiderman, D. (2011). The Prefabricated Interior: Defining the Topic. *Interiors*, 2(2), 189-212.
- Schneiderman, D., & Freihoefer, K. (2013). The Prefabricated Interior Design Studio: An Exploration into the History and Sustainability of Interior Prefabrication. *International Journal of Art & Design Education*, 32(2), 226-242.
- Sebestyén, G. (1998). Construction: Craft to Industry. London: E & FN Spon.
- Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., & Shree, V. (2011). Life Cycle Assessment of Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 871-875.
- Shove, E., & Hand, M. (2003). The Restless Kitchen: Possession, Performance and Renewal. Repéré le 13-12-2012 à <http://www.lancs.ac.uk/staff/shove/choreography/restlesskitchens.pdf>
- Smith, R. E. (2010). Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
- Soane, J. (2003). New Home. London: Conran Octopus.
- Statistiques Canada. (2010). Dictionnaire du recensement 2006. Ottawa: Statistiques Canada.
- Susanka, S. (1998). The Not so Big House: A Blueprint for the Way We Really Live. Newtown, CT: Taunton Press.

- Tanqueray, R., & Everard, C. (2003). *Smallspaces : Making the Most of the Space You Have*. London ; New York: Ryland Peters & Small.
- Thomsen, A., & van der Flier, K. (2011). Understanding Obsolescence: a Conceptual Model for Buildings. *Building Research & Information*, 39(4), 352-362.
- U.S. Census Bureau. (2012). Median and Average Square Feet of Floor Area in New Single-Family Houses Completed by Location. Washington: U.S. Census Bureau. Repéré le 23-01-2013 à <http://www.census.gov/construction/chars/pdf/medavgsqft.pdf>.
- U.S. EPA. (2014). Analysis of the Life Cycle Impacts and Potential for Avoided Impacts Associated with Single-Family Homes. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- UNEP. (2011). Buildings: Investing in Energy and Resource Efficiency. Dans United Nations Environment Programme (éd.), *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. Saint-Martin-Bellevue, Fr: UNEP. Repéré le 18-01-2013 à http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/9.0_Buildings.pdf
- UNEP SBCI. (2007). Buildings and Climate Change: Status, Challenges, and Opportunities. Paris: UNEP.
- UNEP SBCI. (2009). Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers. Paris: UNEP.
- UNEP SBCI. (2010). Sustainable Buildings & Climate Initiative – Draft Briefing on the Sustainable Building Index. Paris: UNEP.
- USGBC. (2010). LEED® Initiatives in Governments and Schools. Washington, DC: U.S. Green Building Council.
- USGBC. (2013). LEED® v4 for Homes Design and Construction. Washington, DC: U.S. Green Building Council.
- Vachon, J.-F. L. (2010). Profils régionaux de la gestion des débris de construction, de rénovation et de démolition au Québec. Québec: Recyc-Québec.
- Vachon, J.-F. L., Beaulne-Bélisle, C., Rosset, J., Gariépy, B., & McGrath, K. (2009). Profil de la gestion des débris de construction, rénovation et démolition (CRD) au Québec. Montréal: Recyc-Québec.
- van Egmond-De Wilde De Ligny, E. (2010a). Conditions for Industrialisation and Innovation in Construction. Dans CIB Task Group 57: Industrialisation in Construction (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report* (pp. 67-75). Zurich: IBB & ETH.
- van Egmond-De Wilde De Ligny, E. (2010b). Industrialisation for Sustainable Construction ? Dans CIB Task Group 57: Industrialisation in Construction (éd.), *New Perspective in Industrialisation in Construction: A State-of-the-Art Report* (pp. 33-51). Zurich: IBB & ETH.
- van Egmond, E. (2012). Innovation, Technology and Knowledge Transfer for Sustainable Construction. Dans Akintoye, A., Goulding, J. & Zawdie, G. (éds.), *Construction innovation and process improvement* (pp. 95-123). Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.
- van Ham, M. (2012). Housing Behaviour. Dans Clapham, D. F., Clark, W. A. V. & Gibb, K. (éds.), *The SAGE Handbook of Housing Studies* (pp. 47-65). London: Sage Publications.
- van Nes, N., & Cramer, J. (2006). Product Lifetime Optimization: A Challenging Strategy Towards More Sustainable Consumption Patterns. *Journal of Cleaner Production*, 14(15), 1307-1318.

- van Zwol, J. (2005). The Combination of Living and Working. Dans Leupen, B., Heijne, R. & van Zwol, J. (éds.), *Time-based architecture* (pp. 30-40). Rotterdam: 010 Publishers.
- von Weizsäcker, E., Hargroves, K. C., Smith, M. H., Desha, C., & Stasinopoulos, P. (2009). Factor Five : Transforming the Global Economy Through 80% Improvements in Resource Productivity : a Report to the Club of Rome. London: Earthscan/James & James.
- Warszawski, A. (1999). *Industrialized and Automated Building Systems*. London; New York: E & FN Spon.
- WBCSD. (2007). *Energy Efficiency in Buildings: Business Realities and Opportunities*. Genève: World Business Council for Sustainable Development.
- Wilford, B. H., Harner, T., Zhu, J., Shoeib, M., & Jones, K. C. (2004). Passive Sampling Survey of Polybrominated Diphenyl Ether Flame Retardants in Indoor and Outdoor Air in Ottawa, Canada: Implications for Sources and Exposure. *Environmental science & technology*, 38(20), 5312-5318.
- Wilson, A., & Boehland, J. (2005). Small is Beautiful – U.S. House Size, Resource Use, and the Environment. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 277-287.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon and Schuster.
- Woudhuysen, J., & Abley, I. (2004). *Why Is Construction So Backward ?* Hoboken, N.J.: Wiley Academy.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research : Design and Methods* (4e éd.). Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications.
- Yudelson, J., & Meyer, U. (2013). *The World's Greenest Buildings: Promise Versus Performance in Sustainable Design*. New York: Routledge.
- Zeiger, M. (2009). *Tiny Houses*. New York: Rizzoli.

Annexes

Annexe 1 :	Typologies des 55 projets de rénovation résidentielle analysés	256
Annexe 2 :	Répartition géographique des 55 projets de rénovation analysés	257
Annexe 3 :	Description des 55 projets de rénovation résidentielle analysés	258
Annexe 4 :	Exemple de collecte de données brutes (grille d'analyse)	259

	Unifamilial	Condo	Duplex	Triplex	Quadruplex	Jumelée
01	●					
02	●					
03	●					
04			●			
05	●					
06	●					
07		●				
08						●
09	●					
10	●					
11	●					
12		●				
13		●				
14	●					
15			●			
16	●					
17	●					
18	●					
19	●					
20	●					
21	●					
22				●		
23				●		
24				●		
25	●					
26		●				
27	●					
28	●					
29		●				
30	●					
31	●					
32		●				
33	●					
34	●					
35	●					
36	●					
37	●					
38		●				
39	●					
40		●				
41		●				
42	●					
43	●					
44	●					
45		●				
46	●					
47	●					
48	●					
49	●					
50		●				
51	●					
52					●	
53	●					
54	●					
55	●					
TOTAL	20	11	02	03	01	01

Annexe 1. Typologies des 55 projets de rénovation résidentielle analysés

# PROJET	Montréal	Rive-Sud	Montérégie	Estrie	Laval	Laurentides	Lanaudière	Québec	Côte-Nord
01						●			
02	●								
03				●					
04	●								
05	●								
06	●								
07	●								
08	●								
09					●				
10	●								
11							●		
12	●								
13	●								
14	●								
15	●								
16		●							
17				●					
18	●								
19						●			
20			●						
21		●							
22	●								
23	●								
24	●								
25	●								
26	●								
27	●								
28	●								
29	●								
30	●								
31								●	
32	●								
33	●								
34			●						
35									
36				●					
37		●							
38	●								
39	●								
40	●								
41	●								
42							●		
43	●								
44	●								
45	●								
46	●								
47	●								
48			●						
49			●						
50	●								
51								●	
52	●								
53	●								
54	●								
55	●								
TOTAL	38	03	04	03	01	02	01	02	01

Annexe 2. Répartition géographique des 55 projets de rénovation résidentielle analysés

# PROJET	Complète	Partielle	Description	# PROJET	Complète	Partielle	Description
01	●		Sous-sol, RDC, étage et mezzanine	29	●		Appartement complet
02	●		RDC et étage	30		●	Cuisine, salle à manger et salon
03	●		RDC et étage	31		●	Cuisine, salle à manger et salon
04		●	Salle de bains	32	●		Appartement complet
05	●		RDC et étage	33	●		RDC et étage
06		●	Cuisine	34	●		RDC et étage
07		●	Salle de bains	35	●		Sous-sol et RDC
08	●		Sous-sol, RDC et étage	36	●		RDC et étage
09		●	Sous-sol	37	●		Sous-sol, RDC et étage
10	●		Sous-sol, RDC et étage	38	●		Appartement complet
11		●	Cuisine	39		●	Salle de bains
12		●	Cuisine et salle de bains	40		●	S.bains, cuisine, salon et bureau
13		●	Cuisine	41		●	Cuisine
14	●		Sous-sol, RDC et étage	42		●	Cuisine
15	●		Sous-sol et RDC	43		●	Étage
16	●		RDC et étage	44	●		RDC et étage
17		●	Salle de bains	45	●		Appartement complet
18	●		Sous-sol, RDC et étage	46	●		Appartement complet
19	●		Sous-sol et RDC	47		●	S.-sol, s. manger, salon et chambre
20		●	Cuisine	48		●	RDC
21	●		RDC	49		●	Salle de bains
22	●		Appartement complet	50	●		Appartement complet
23	●		Appartement complet	51		●	Sous-sol
24	●		Appartement complet	52		●	Cuisine
25		●	RDC	53		●	Sous-sol
26		●	Entrée, salon et chambre	54	●		RDC et étage
27		●	Cuisine	55		●	Cuisine et salle de bains
28		●	Salle de bains	TOTAL	28	27	

Annexe 3. Description des 55 projets de rénovation résidentielle analysés

CUISINE		<i>Intensité</i>			
		Forté	Moyen.	Faible	Nullé
<i>Types de changements</i>					
Revêtements de sol		X			
Revêtements de murs			X		
Revêtements de plafond			X		
Comptoirs		X			
Cabinets		X			
Façades de cabinets		X			
Poignées & quincaillerie		X			
Électroménagers		X			
Éviers		X			
Robinetteries		X			
Éclairage/électricité			X		
Plomberie			X		
Ouverture de l'espace				X	
Redivision de l'espace			X		
↑ ou ↓ Superficie				↑	
↑ ou ↓ Rangement				↑	
+ îlot					
+ Dinette					
+ Lunch + tabourets					
Notes : ouverture sur la salle à manger.					

SALLE DE TOILETTE (RDC)		<i>Intensité</i>			
		Forté	Moyen.	Faible	Nullé
<i>Types de changements</i>					
Revêtements de sol		X			
Revêtements de murs		X			
Revêtements de plafond			X		
Comptoirs					
Cabinets		X			
Façades de cabinets		X			
Poignées & quincaillerie		X			
Sanitaires		X			
Lavabos		X			
Robinetteries		X			
Éclairage/électricité			X		
Plomberie		X			
Ouverture de l'espace					X
Redivision de l'espace		X			
↑ ou ↓ Superficie				↑	
↑ ou ↓ Rangement					X
+ Pharmacie					
+ Douche-séparée					
+ Plancher chauffant					X
Notes : relocalisation; nouvelle pharmacie encastrée.					

SALLE DE TOILETTE (RDC)		<i>Intensité</i>			
		Forté	Moyen.	Faible	Nullé
<i>Types de changements</i>					
Revêtements de sol		X			
Revêtements de murs		X			
Revêtements de plafond			X		
Comptoirs					
Cabinets		X			
Façades de cabinets		X			
Poignées & quincaillerie		X			
Sanitaires		X			
Lavabos		X			
Robinetteries		X			
Éclairage/électricité			X		
Plomberie		X			
Ouverture de l'espace					X
Redivision de l'espace		X			
↑ ou ↓ Superficie				↑	
↑ ou ↓ Rangement					X
+ Pharmacie					
+ Douche-séparée					
+ Plancher chauffant					X
Notes : relocalisation; toilette séparée.					

Projet : 01

Annexe 4. Exemple de collecte de données brutes (grille d'analyse)

Projet : 01

ENTRÉE	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs		X		
	Revêtements de plafond		X		
	Éclairage/électricité		X		
	Plomberie		X		
	Ouverture de l'espace			X	
	Redivision de l'espace	X			
	↑ ou ↓ Superficie	↑			
	↑ ou ↓ Rangement	↑			
Notes : plancher chauffant; ancienne salle de toilette à condamner.					

SALON	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs		X		
	Revêtements de plafond			X	
	Éclairage/électricité		X		
	Plomberie				
	Ouverture de l'espace			X	
	Redivision de l'espace			X	
	↑ ou ↓ Superficie				X
	↑ ou ↓ Rangement	↑			
Notes : enlever la tablette du foyer.					

SALLE À MANGER	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs			X	
	Revêtements de plafond			X	
	Éclairage/électricité		X		
	Plomberie				
	Ouverture de l'espace			X	
	Redivision de l'espace				X
	↑ ou ↓ Superficie				X
	↑ ou ↓ Rangement				X
Notes : ouverture sur la cuisine.					

HALL (ÉTAGE)	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs		X		
	Revêtements de plafond			X	
	Éclairage/électricité			X	
	Plomberie				
	Ouverture de l'espace				X
	Redivision de l'espace		X		
	↑ ou ↓ Superficie		↓		
	↑ ou ↓ Rangement				X
Notes :					

CHAMBRE 1	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs			X	
	Revêtements de plafond			X	
	Éclairage/électricité			X	
	Plomberie				
	Ouverture de l'espace				X
	Redivision de l'espace				X
	↑ ou ↓ Superficie				X
	↑ ou ↓ Rangement			↓	
Notes : démolition du garde-robe.					

CHAMBRE 2	<i>Types de changements</i>	<i>Intensité</i>			
		Forte	Moyen.	Faible	Nullie
	Revêtements de sol	X			
	Revêtements de murs			X	
	Revêtements de plafond			X	
	Éclairage/électricité			X	
	Plomberie				
	Ouverture de l'espace				X
	Redivision de l'espace				X
	↑ ou ↓ Superficie				X
	↑ ou ↓ Rangement			↓	
Notes : démolition du garde-robe.					

Annexe 4. Exemple de collecte de données brutes (grille d'analyse) (suite)

