

Stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire  
volumétrique en ossature légère en bois pour les bâtiments  
multi-résidentiels dans le contexte québécois

par

Chloé ESSLINGER

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE  
LA MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION, M. SC. A.

MONTRÉAL, LE 27 AOÛT 2025

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Chloé Esslinger, 2025



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

**PRÉSENTATION DU JURY**  
**CE RAPPORT DE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ**  
**PAR UN JURY COMPOSÉ DE :**

Madame Ivanka IORDANOVA, directrice de mémoire  
Département de génie de la construction à l'École de Technologie Supérieure

Monsieur Carlo CARBONE, codirecteur de mémoire  
École de design à l'Université du Québec À Montréal

Madame Rim LARBI, présidente du jury  
Département de génie des systèmes à l'École de Technologie Supérieure

Monsieur Erik POIRIER, membre du jury  
Département de génie de la construction à l'École de Technologie Supérieure

**IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC**

**LE 14 JUILLET 2025**

**À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE**



## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes directeurs de recherche, Ivanka et Carlo, qui m'ont ouvert les portes du passionnant univers de la recherche, de la construction et de l'architecture. Ils m'ont permis de rencontrer de nombreux acteurs tout aussi passionnants et de renom dans ce domaine. Merci.

Un grand merci également à Clément Blanquet Du Chayla pour sa passion communicative, pour sa connaissance de la construction bois et pour les bases solides qu'il m'a transmises. Je n'aurai sûrement pas voulu continuer dans cette voie sans lui.

Je remercie également très chaleureusement tous les participants aux entretiens pour le temps qu'ils m'ont accordé et pour leurs précieux partages de ressentis, d'idées et de questionnements sur ma recherche.

Ma reconnaissance va aussi à Leïla, Thomas, Louise, Sarah et Camille pour leur soutien psychologique indispensable durant cette expatriation et surtout cette phase d'écriture exigeante. Sans vous, l'expérience montréalaise n'aurait clairement pas été la même, merci.

Enfin, un immense merci à ma famille et Crousti pour leur soutien et leur encouragement constants, même à 6 086 km de distance.



# **Stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour les bâtiments multi-résidentiels dans le contexte québécois**

Chloé ESSLINGER

## **RÉSUMÉ**

Dans un contexte mondial marqué par l'urgence climatique, la pénurie de logements abordables et de problèmes de productivité en construction, il devient essentiel de remettre en question nos modes de construction actuels : sont-ils réellement adaptés pour répondre à ces défis majeurs de manière durable, résiliente et équitable. De nombreuses études montrent que l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique permet de gagner en temps, en argent, en productivité et en qualité par rapport à la construction traditionnelle. De son côté, l'utilisation du bois permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les coûts de construction étant donné la légèreté du matériau. Cependant, la revue de la littérature expose le manque de standardisation qu'il existe dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois. Il en découle notre problématique de recherche sur les stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique à mettre en place. Dans d'autres industries, comme la logistique, l'informatique ou l'automobile, une standardisation viable et efficace a su être mise en place depuis de nombreuses années. De même dans d'autres secteurs de la construction, comme l'acier structural ou l'acier léger, ou bien dans d'autres pays comme la Suède ou le Japon. En s'appuyant sur l'exemplarité de nos homologues étrangers dans le domaine de la préfabrication modulaire volumétrique en bois ainsi que des meilleures pratiques dans d'autres industries, nous avons recueilli l'opinion et les avis de parties prenantes québécoises afin de mettre en lumière des stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en bois.

Pour cela, nous avons réalisé des entrevues semi-dirigées avec des acteurs de l'industrie locale québécoise. Lors de 9 entrevues avec des parties prenantes de 5 professions différentes, nous avons pu collecter leur avis et opinions au sujet d'une certaine standardisation. Ce sont les expertises et visions de manufacturiers, d'architectes, d'entrepreneurs généraux, de représentants d'association et de chercheur qui nous permet d'identifier des stratégies de standardisation pérennes. L'analyse de ces entrevues montre une certaine contradiction. Certains des participants s'accordent à dire qu'il y a un manque de maturité de l'industrie, un manque de collaboration qui empêche la préfabrication modulaire volumétrique de se développer suffisamment pour pouvoir instaurer une standardisation viable. D'autres affirment que l'instauration de module sanitaire standardisé pourrait permettre d'engager le début d'une standardisation dans ce domaine.

Cette recherche de maîtrise a pu conclure qu'actuellement le marché de la construction au Québec est encore inexpérimenté face à la préfabrication modulaire volumétrique pour les bâtiments multi-résidentiels. Puisque les façons, dont les projets sont initiés et gérés, sont encore traditionnelles, les projets modulaires volumétriques ne peuvent pas se faire une place conséquente sur le marché. Néanmoins, implémenter des modules sanitaires standardisés

## VIII

seraient l'une des standardisations qui pourraient émerger dans les années à venir selon certains participants.

**Mots-clés** : standardisation, préfabrication, modulaire volumétrique, ossature légère en bois, bâtiments multi-résidentiels, MEP.



# **Standardization strategies for volumetric modular prefabrication using lightweight wood framing in multi-residential buildings in the Quebec context**

Chloé ESSLINGER

## **ABSTRACT**

In a global context marked by the climate emergency, the shortage of affordable housing, and productivity challenges in the construction sector, it has become essential to question current building practices: are they truly suited to address these major challenges in a sustainable, resilient, and equitable manner? Numerous studies show that volumetric modular prefabrication offers significant advantages over traditional construction in terms of time, cost, productivity, and quality. Meanwhile, the use of wood contributes to reducing greenhouse gas emissions and construction costs, due to the material's lightness. However, the literature review reveals a lack of standardization in light-frame wood volumetric modular prefabrication. This leads to our research question, which focuses on identifying standardization strategies for volumetric modular prefabrication. Other industries—such as logistics, information technology, and automotive—have successfully implemented viable and efficient standardization processes for many years. Similarly, sectors within construction, such as structural steel or light-gauge steel, and countries like Sweden or Japan, have also achieved this. Drawing on exemplary international practices in volumetric modular wood prefabrication and best practices from other industries, we gathered the perspectives of Quebec-based stakeholders to identify potential standardization strategies for this construction method.

To do so, we conducted semi-structured interviews with actors from the Quebec construction industry. Through nine interviews involving stakeholders from five different professions, we collected insights and opinions on the potential for standardization. The expertise and perspectives of manufacturers, architects, general contractors, association representatives, and researchers have helped identify sustainable standardization strategies. The analysis of these interviews reveals some contradictions. Several participants agree that the industry lacks maturity and suffers from insufficient collaboration, which hinders the development of volumetric modular prefabrication and makes it difficult to implement viable standardization. Others suggest that introducing standardized bathroom modules could serve as a starting point for standardization in this field.

This master's research concludes that, at present, the Quebec construction market remains relatively inexperienced with volumetric modular prefabrication for multi-residential buildings. Since project initiation and management processes are still rooted in traditional methods, volumetric modular construction struggles to gain significant traction in the market. Nevertheless, some participants believe that the implementation of standardized bathroom modules could represent one of the first standardization strategies to emerge in the coming years.

**Keywords:** standardization, prefabrication, volumetric modular, lightweight wood framing, multi-residential buildings, MEP.



## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1    REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	5
1.1    Méthodologie .....	5
1.2    Contextualisation du cadre d'étude.....	6
1.2.1    La préfabrication et ses impacts.....	6
1.2.2    L'ossature légère en bois et ses répercussions .....	15
1.2.3    La place de la standardisation dans le secteur de la préfabrication .....	21
1.3    La revue des meilleures pratiques de standardisation dans d'autres industries et d'autres pays .....	22
1.3.1    État actuel de la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique au Canada .....	22
1.3.2    Comparaison avec d'autres industries .....	24
1.3.3    Comparaison avec d'autres secteurs de la construction.....	26
1.3.4    Comparaison avec d'autres pays.....	28
1.4    Récapitulatif.....	30
CHAPITRE 2    OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE .....	35
2.1    Objectifs spécifiques .....	35
2.2    Méthodologie .....	36
2.2.1    Choix de l'entretien semi-directif comme collecteur de données.....	36
2.2.2    Identification des participants .....	37
2.2.3    Détermination de la matrice d'analyse .....	38
2.2.4    Explicitation des questions posées.....	39
CHAPITRE 3    DONNÉES.....	41
3.1    Contexte .....	41
3.2    Participants.....	42
3.2.1    Architectes .....	43
3.2.2    Manufacturiers .....	44
3.2.3    Entrepreneurs généraux .....	44
3.2.4    Associations .....	45
3.2.5    Chercheur .....	45
3.3    Matrice d'analyse des données .....	46
CHAPITRE 4    ANALYSE DES DONNÉES.....	47
4.1    Spécificité des participants .....	47
4.1.1    Ancienneté et positionnement économique .....	47
4.1.2    Contrats, modèles d'affaire et interaction client .....	49
4.1.3    Innovations actuelles, différences architecturales et techniques.....	50
4.2    Proposition idéaliste d'une standardisation .....	52
4.2.1    Enjeux sur la productivité et les processus .....	52
4.2.2    Gestion de l'implication sur le marché .....	54
4.2.3    Enjeux sur le code du bâtiment et les contrats de construction .....	55

4.2.4	Points d'intérêt sur le design des modules et les connexions .....	56
4.3	Proposition réaliste de l'implémentation d'une standardisation .....	57
4.4	Type de gouvernance, initiateur amenant et gérant cette standardisation .....	59
4.5	Discussion sur les entrevues .....	60
CHAPITRE 5 DISCUSSION .....		63
5.1	Similarités par rapport à la littérature et les meilleures pratiques .....	63
5.2	Différences par rapport à la littérature et les meilleures pratiques .....	64
CONCLUSION .....		67
ANNEXE I MATRICE D'ANALYSE DES ENTREVUES .....		69
ANNEXE II ARTICLE POUR LA CONFÉRENCE CRC-CSCE 2025 .....		77
BIBLIOGRAPHIE .....		93

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Récapitulatif des stratégies de standardisation .....33
Tableau 5.1	Tableau récapitulatif de la discussion entre littérature et entrevues .....65



## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Systèmes préfabriqués d'enveloppes en bois .....7
Figure 1.2	Valeur ajoutée brute réelle par heure travaillée (mondiale).....11
Figure 1.3	Système de construction à plateforme, .....16
Figure 3.1	Schéma simplifié des liens dans un mode de réalisation 'traditionnel' .....43
Figure 3.2	Schéma simplifié des liens dans un mode de conception-construction .....43





## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACV	Analyse de cycle de vie
AISC	American Institute of Steel Construction
BIM	Building Information Modeling
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association
DfD	Conception pour le désassemblage ( <i>Design for Disassembly</i> )
DfMA	Conception pour la fabrication et l'assemblage ( <i>Design for Manufacture and Assembly</i> )
GES	Gaz à effet de serre
ICC	International Code Council
IIC	Institut de l'industrie de la Construction ( <i>CII Construction Industry Institute</i> )
MEP	Mécanique, électricité et plomberie



## INTRODUCTION

De nombreuses crises touchent notre société actuellement. L'explicitation de ces crises permet de comprendre comment l'industrie de la construction cherche à améliorer sa performance. Le besoin de répondre à ces crises montre comment l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pourrait être bénéfique. Quand bien même cette méthode de fabrication est assez répandue au Québec, l'unicité, le caractère singulier et novateur de chaque entreprise n'incitent pas assez les clients à privilégier cette manière de bâtir. Trois crises en particulier nous importent puisqu'elles sont la raison pour laquelle nous allons essayer de trouver des *Stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour les bâtiments multi-résidentiels dans le contexte québécois*.

Premièrement, l'une des crises concerne l'industrie de la construction : la stagnation de la productivité couplée avec la pénurie de main d'œuvre. Un article de 2024 (Mischke et al., 2024), se basant sur un rapport de McKinsey de 2017 faisait état que « le secteur [de la construction] manque de travailleurs qualifiés, et la productivité économique du travail (la valeur ajoutée économique par heure travaillée) stagne depuis des décennies à l'échelle mondiale, malgré les progrès technologiques et les améliorations apportées par les entreprises individuelles » [traduction libre] (Mischke et al., 2024). Ce constat met en avant le besoin de changer les méthodes de construction étant donné que celles utilisées depuis des années ne sont plus viables dans l'économie dans laquelle nous vivons actuellement. Ce besoin pousse donc à s'interroger sur la place de la préfabrication modulaire volumétrique dans le secteur de la construction.

Deuxièmement, l'urgence sociétale face au manque accru de logements abordables. Que ce soit dans des zones à forte densité urbaine ou bien simplement dans les villes, l'accessibilité à de logement abordable est de plus en plus compliquée. « Selon l'APCHQ[, il] manquerait environ 100 000 logements abordables » (Formes, 2023), constat réalisé en 2023 et qui s'aggrave d'années en années. Il est donc question de construire de manière plus rapide,

réfléchi et économique des habitations pour essayer d'enrayer cette crise. C'est dans cette optique que notre recherche s'inscrit puisque nous nous intéresserons à l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique dans le cadre de la construction de bâtiments multi-résidentiels.

Finalement, le dérèglement climatique que nous traversons a une importance pour notre recherche. En effet, l'un des rapports du GIEC datant de 2023 relevait que l'industrie de la construction est responsable de 37% des émissions de gaz à effet de serre mondiales (Formes, 2023). En particulier au Québec, « le secteur du bâtiment se classe en troisième place des secteurs les plus polluants » (Formes, 2023). Ainsi, l'objectif du Québec dans le secteur de la construction est de réduire drastiquement ses émissions de gaz à effet de serre. Il est donc primordial de repenser les modes de construction et les matériaux utilisés lors de la construction de futurs bâtiments. D'où le questionnement sur l'utilisation du bois dans la construction de bâtiments multi-résidentiels.

Afin d'accroître la rapidité d'exécution tout en améliorant la qualité des ouvrages, plusieurs auteurs préconisent une intensification du recours à l'industrialisation dans le secteur de la construction. Cette recherche porte sur les potentiels de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour la construction de bâtiments multi-résidentiels pour compléter la construction traditionnelle afin d'accroître l'offre en logement avec une meilleure capacité de production.

La construction modulaire volumétrique consiste à fabriquer en usine des modules tridimensionnels complets, incluant structure, murs intérieurs, finitions et équipements comme la tuyauterie. Ces modules sont ensuite transportés et assemblés sur le site final, permettant un gain de temps significatif et une meilleure maîtrise de la qualité.

La préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois est partiellement répandue (6% des logements de 5 à 6 étages (Giorgio et al., 2024)) au Québec et au Canada avec un grand nombre de manufacturiers qui l'utilise pour réaliser des habitations unifamiliales.

Chaque manufacturier possède ses propres méthodes de fabrication, ses propres habitudes en termes de conception, assemblage et production. Cette absence d'unité entre les fabricants est l'un des facteurs qui empêche la préfabrication modulaire volumétrique de réellement se développer sur le marché de la construction. Des projets d'envergure comme ceux de multi-logements demandent une coordination dimensionnelle entre les modules volumétriques, ce qui n'est toujours pas le cas actuellement chez les manufacturiers. D'où notre sujet de recherche : *stratégies de standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour les bâtiments multi-résidentiels dans le contexte québécois*.

La question de recherche est donc d'identifier quelle(s) stratégie(s) de standardisation pourrai(en)t être implémentées dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois afin d'augmenter les capacités de production. Pour répondre à cette question de recherche, nous allons nous appuyer sur des sous-objectifs de recherche. Tout d'abord, (1) quelles sont les méthodes utilisées dans d'autres industries pour mettre en place une standardisation viable. (2) Nous allons nous interroger sur les avancées d'autres secteurs de l'industrie de la construction en termes de standardisation. Puis, finalement, (3) quelles sont les standardisations qui existent dans le monde de la préfabrication modulaire volumétrique actuellement. La réponse à ces trois sous-questions nous permettra de nous rendre compte des pistes de solutions envisageables dans la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois qui existe au Canada et au Québec face à d'autres pays et industries. Avant de pouvoir proposer une solution technique viable pour l'industrie, l'objectif est de déterminer quelles sont être les propositions de standardisation faites par les principaux acteurs de ce milieu. Pour cela, nous allons interroger un échantillon de neuf participants afin de les questionner sur leurs attentes concernant cette possible future standardisation. À savoir, (a) quelles sont les innovations actuelles du secteur de la préfabrication modulaire volumétrique, (b) quelles sont les standardisations les plus pertinentes à implémenter idéalement sur ce marché. Puis, (c) quelles sont réellement les standardisations qui pourraient être mise en place à l'avenir dans ce secteur. Et finalement, (d) qui devraient être les initiateurs d'une telle redynamisation de la préfabrication modulaire volumétrique qu'a pour but la standardisation.

Le mémoire se structurera de la manière suivante. Après avoir mené une revue de la littérature d'abord générale, puis ciblée sur la place de la standardisation dans divers secteurs et contextes nationaux, l'analyse des entrevues réalisées auprès d'acteurs du milieu permettra d'identifier les modalités de standardisation les plus pertinentes à mettre en œuvre dans notre contexte.

## **CHAPITRE 1**

### **REVUE DE LA LITTÉRATURE**

#### **1.1 Méthodologie**

La revue de la littérature est structurée en deux parties. Puisque le sujet porte sur l'utilisation du bois dans la préfabrication, nous avons jugé important de s'intéresser en premier aux impacts de la préfabrication et de l'utilisation du bois dans l'industrie de la construction. Puis dans un deuxième temps, nous nous sommes concentrés sur le cœur de notre recherche, à savoir la place de la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique dans la construction en ossature légère en bois.

Pour cela, nous avons cherché des articles, sur les sites de Scopus, GoogleScholar, ScienceDirect, répondant à l'équation de recherche : « ((PREFAB\* OR OFF-SITE) AND (WOOD OR LIGHT-FRAME)) OR (STANDARD\* AND (PREFAB\* OR OFF-SITE)) OR (STANDARD\* AND (WOOD OR LIGHT- FRAME)) ». Ainsi, cette recherche préliminaire permet de conceptualiser et définir les principaux termes et concepts clés qui structurent notre sujet de recherche. Nous verrons de manière concise mais précise les différents impacts de l'utilisation de la préfabrication et du bois dans la construction par rapport à la construction traditionnelle.

La partie centrale de la revue de la littérature s'intéresse plus spécifiquement à la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature bois. Nous avons donc cherché de nouveaux articles avec l'équation de recherche : « (STANDARDISATION OR STANDARDIZATION) AND (LIGHT-WOOD FRAME OR TIMBER) AND (MODULAR OR VOLUMETRIC OR MODULAR VOLUMETRIC) ». Le nombre limité d'articles traitant directement de notre sujet amène à envisager une théorisation de cette standardisation en mobilisant des exemples issus d'autres industries et de contextes internationaux.

## 1.2 Contextualisation du cadre d'étude

Les crises, exposées de manière plus complète dans le chapitre *Introduction*, illustrent l'importance de ce sujet de recherche. L'accroissement de la pénurie de main d'œuvre, le manque de productivité dans le secteur de la construction, à l'échelle internationale le manque de logements multifamiliaux abordables ainsi que la crise environnementale nous poussent à inscrire notre recherche dans une démarche visant à initier des changements au niveau des pratiques et des paradigmes industriels dans le secteur de la construction.

### 1.2.1 La préfabrication et ses impacts

La préfabrication, terme communément accepté par l'industrie et la société québécoise, fait référence étroitement à la construction hors-site (« *offsite* »). R.E. Smith (Smith, 2016) définit la construction hors-site comme une méthode de construction qui « comprend les processus de planification, design, fabrication, transport et assemblage d'éléments de bâtiment pour une disposition sur site plus rapide et avec un meilleur degré de finitions que la construction traditionnelle sur site » [traduction libre] (« *Off-site construction involves the process of planning, designing, fabricating, transporting and assembling building elements for rapid site assembly to a greater degree of finish than in traditional piecemeal on-site construction* ») (Smith, 2016). En plus de cette définition, il existe différentes terminologies pour définir cette méthode de construction. Par exemple, elle est définie comme méthode moderne de construction (*Modern Methods of Construction* - MMC) au Royaume-Uni, préfabrication ou système de construction industrialisée (*industrialized prefabrication/ industrialized building system (IBS)*) en Asie ou méthode de construction hors-site (*off-site construction*) aux États-Unis et Australie [traduction libre] (Švajlenka et al., 2017). De plus, la préfabrication peut se diviser en plusieurs manières de faire qui sont recensés sur la Figure 1.



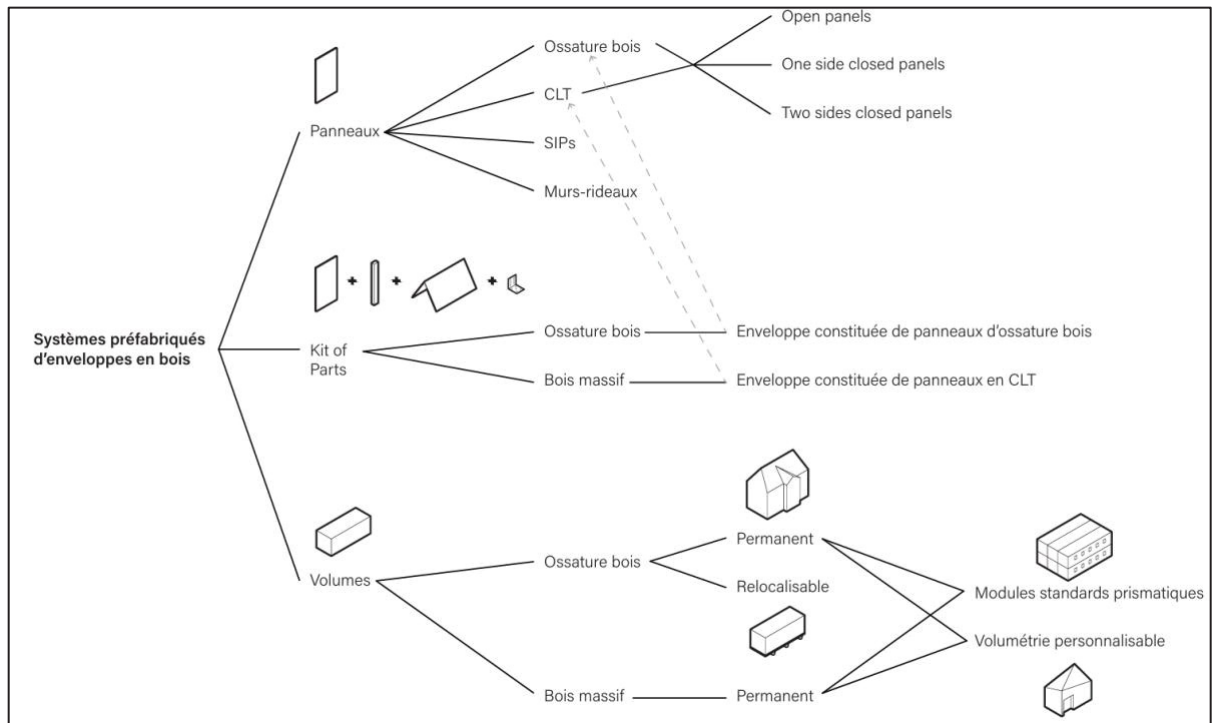


Figure 1.1 Systèmes préfabriqués d'enveloppes en bois

Tirée de Binet (2024)

Le classement de la Figure 1, quand bien même il se réfère aux enveloppes en bois, propose une décomposition intéressante des systèmes de préfabrication. Ces systèmes s'organisent en fonction de différentes échelles : que ce soit linéaire, en panneaux, en kit ou volumétrique. Ainsi, l'assemblage d'éléments linéaires, comme des poutres ou colonnes, permet de former ou bien des '*kit of part*' ou bien directement des modules volumétriques. Les systèmes préfabriqués plus complexes, que sont les modules 3D volumétriques, peuvent être construits et assemblés en module directement en usine. Les modules volumétriques qui nous intéressent sont ceux donc le taux de finition est assez élevé, c'est-à-dire qu'en plus de la structure en ossature légère en bois, il y a également les finitions intérieures et les systèmes comme la tuyauterie, le passage des câbles, voire l'installation de rangements.

Il est également possible d'utiliser une certaine hybridation de ces systèmes préfabriqués, par exemple, en combinant des modules volumétriques pour l'installation des noyaux sanitaires, et des panneaux 2D pour le reste de l'ouvrage (Binet, 2024; Smith et al., 2022).

De manière générale, la préfabrication a plusieurs impacts sur l'industrie de la construction par rapport à la construction traditionnelle sur site qu'elle soit faite de béton, d'acier ou de bois.

La préfabrication a un impact non négligeable sur la rapidité d'un projet, bénéfice qui a été documenté depuis longtemps. Dès les années 1820, lors de la colonisation de l'Australie par le Royaume-Uni, des maisons entièrement préfabriquées étaient expédiées depuis l'Angleterre pour répondre à des besoins de rapidité et d'efficacité (Gibb, 2001; Smith & Timberlake, 2011). Le manque de main-d'œuvre et l'urgence de rebâtir durant les périodes post-conflits ont favorisé l'adoption de méthodes répétitives et standardisées, comme en témoignent les habitations de Levittown (Gibb, 2001). La préfabrication représente avant tout une optimisation de la gestion, de la conception et de la logistique, permettant une réduction significative des délais d'un projet (Wood, 2021).

Dans le domaine de la construction, les facteurs de coût, temps, envergure et qualité sont intrinsèquement liés, comme l'illustre l'équation (1.1) (Kieran & Timberlake, 2004) :

$$\text{Qualité} * \text{Envergure} = \text{Coût} * \text{Temps} \quad (1.1)$$

Cette relation montre qu'une augmentation de la qualité nécessite soit un temps de réalisation accru, soit un budget plus important. Pour R. E. Smith & Timberlake (2011), cette dynamique se traduit par une relation trifonctionnelle entre coût, temps et envergure, où une diminution de l'un entraîne une augmentation des autres, garantissant ainsi une meilleure gestion de la qualité et des risques. Dans cette perspective, la préfabrication constitue une approche stratégique permettant de mieux équilibrer cette équation, en optimisant notamment le rapport entre temps, coût et qualité grâce à une industrialisation partielle du processus de construction.

Des études montrent que l'adoption de la préfabrication permet de gagner de 15 à 50 % de temps sur le projet en général. (Gharbia et al., 2023; Smith, 2016). Par exemple, l'installation des systèmes mécaniques, électriques et de plomberies (MEP), habituellement chronophage et coûteuse, est optimisée en usine grâce à la préfabrication modulaire volumétrique, réduisant ainsi les délais sur site (Gorgolewski et al., 2009). Cette méthode de construction permet une

meilleure gestion des imprévus, tels que les intempéries ou les retards de livraison, puisque la production est centralisée en usine et les erreurs sur site minimisées (Smith, 2016; Smith & Timberlake, 2011).

Pour tirer pleinement parti des avantages offerts par la préfabrication, il est essentiel de repenser les méthodes traditionnelles de conception en y intégrant des approches adaptées aux exigences de la production industrielle. L'utilisation de la préfabrication nécessite un développement de compétences sur de la Conception pour la Fabrication et l'Assemblage (*Design for Manufacture and Assembly* - DfMA). En intégrant la préfabrication avec la DfMA, la conception est optimisée dès les phases initiales du projet, permettant une rationalisation et une facilitation des processus pouvant aller jusqu'à l'optimisation des tâches pouvant être réalisées simultanément comme le coulage des fondations en parallèle de la production en usine. Cette synergie réduit considérablement la durée globale du projet tout en améliorant la gestion des coûts (Smith, 2016; Smith & Timberlake, 2011; Wood, 2021).

La construction traditionnelle est fréquemment perçue, dans l'opinion publique, comme une succession de choix non optimaux, entraînant des retards et compromettant le respect du budget initial. Une possible optimisation des coûts grâce à la préfabrication repose sur plusieurs facteurs clés : une planification efficace, une gestion optimisée de la main-d'œuvre, une répétabilité et jusqu'à une réutilisation des conceptions. Une étude montre que la préfabrication peut réduire les coûts globaux d'un projet de près de 6 % grâce à une meilleure gestion budgétaire (Page & Norman, 2014). En centralisant la production en usine, la planification est optimisée, les risques d'accidents sont réduits (moins de travail en hauteur ou sous intempéries), et le besoin en ouvriers hautement qualifiée diminue, ce qui contribue à réduire les coûts de main-d'œuvre (Wood, 2021).

La préfabrication incite les fabricants et entrepreneurs généraux à optimiser les processus de travail. Les chaînes de production et logiciels de gestion mis en place rendent le travail plus didactique, ergonomique et répétitif, ce qui accélère la fabrication, réduit les défauts et permet de générer des économies supplémentaires (Page & Norman, 2014; Smith et al., 2022). Cette

gestion optimisée des déchets, combinée à une production plus efficace, ouvre également la voie à une réflexion sur la durabilité des produits, leur cycle de vie prolongé, voire leur potentiel de réutilisation au-delà de la durée de vie du bâtiment. La répétabilité des systèmes et la réutilisation des designs préexistants dans l'industrie ou l'entreprise pourraient être étendues à des pratiques de déconstruction plutôt que de démolition, en s'appuyant sur des principes comme la Conception pour le Démontage (*Design for Disassembly* – DfD) (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Anastasiades et al., 2021, 2023). Ces approches s'inscrivent dans une logique d'économie circulaire, visant à réutiliser des éléments de construction pour réduire les déchets et donc les coûts à long terme.

Cependant, le besoin d'investissement initiaux significatifs dans les usines pour développer davantage cette méthode de construction et de visions à long terme limitent l'adoption généralisée de la préfabrication. Une étude réalisée en 2014 a montré que jusqu'à 45% du coût total d'une maison individuelle pourrait être couvert par des procédés de préfabrication, à condition que les investissements nécessaires soient effectués (Page & Norman, 2014). L'adoption de concepts comme le DfMA, le DfD et l'optimisation des postes de travail en usine situé sur les chaînes de travail répétitives est essentielle pour permettre aux futures générations de réaliser des économies (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Anastasiades et al., 2021, 2023; Smith et al., 2022; Wood, 2018).

Selon certains rapports, la construction a vu sa productivité diminuer de 8 % entre 2020 et 2022, creusant un écart important avec d'autres secteurs comme celui de la fabrication (Mischke et al., 2024). Le caractère conflictuel entre la conception et la construction, ainsi que la pénurie de main-d'œuvre qualifiée et les difficultés d'approvisionnement en matières

premières, sont des facteurs clés de cette faible productivité (Lupien et al., 2020; Wood, 2021). L'écart est encore plus visible grâce au graphique de la Figure 2.

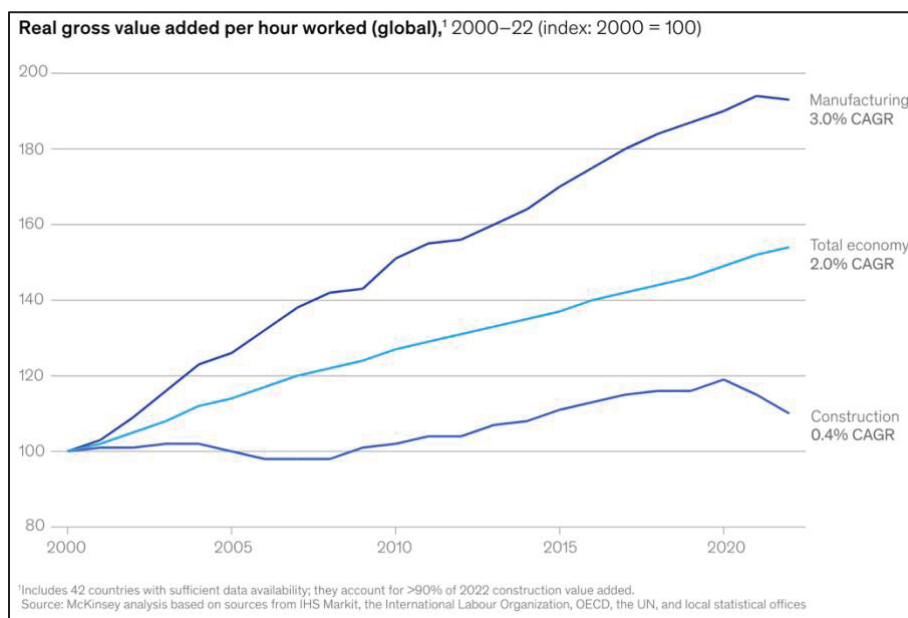


Figure 1.2 Valeur ajoutée brute réelle par heure travaillée (mondiale)  
Tirée de Mischke et al. (2024)

Au Québec, la productivité horaire dans la construction était de 46,90\$ en 2018 contre 56,10\$ dans la fabrication et 52,00\$ en moyenne dans les autres industries (Lupien et al., 2020).

Selon Wood (2021), la préfabrication offre une solution à ce problème puisque la productivité en usine est 4 fois plus élevée que sur les chantiers puisque la gestion organisationnelle du projet est différente. Ce gain s'explique par un environnement contrôlé, exempt de facteurs externes perturbateurs, permettant de réduire le temps de production et gagner en productivité (Wood, 2021). Une étude menée par Kullman Building Corporation en 2017 a démontré que la standardisation des processus de fabrication modulaire a permis d'augmenter la production de 1,1 à 1,73 modules par jour, réduisant ainsi le temps de production de 8 à 5 heures par module (McFarlane et al., 2017). Ces résultats confirment les théories d'Albert Farwell Bemis, qui, dès le début du XXe siècle, préconisait la préfabrication hors-site modulaire pour améliorer la productivité et réduire les coûts en transférant les ouvriers d'un environnement de chantier désorganisé à un cadre usinier efficace (Russell, 2012).

Des initiatives gouvernementales dans des pays comme la Grande-Bretagne et la Nouvelle-Zélande ont également contribué à stimuler la productivité dans le secteur de la construction. Par exemple, le gouvernement britannique a collaboré avec le groupe d'architectes Bryden Wood pour promouvoir l'innovation, en implémentant des plateformes de sous-assemblage, restructurant ainsi le travail des ouvriers (Wood, 2018). Ce concept de plateforme de sous-assemblage, inspiré des logiques industrielles, repose sur l'utilisation de composants standardisés et interchangeables, conçus pour être assemblés de manière modulaire. Il vise à rationaliser la production, améliorer la répétabilité des processus, et faciliter l'intégration de la préfabrication à grande échelle, tout en conservant une certaine flexibilité architecturale. En Nouvelle-Zélande, un code pratique gouvernemental vise à améliorer la productivité, l'efficacité et la sécurité des ouvriers (McFarlane et al., 2017). Ces initiatives montrent que l'implication des pouvoirs publics peut jouer un rôle clé dans l'adoption de méthodes innovantes comme la préfabrication. Leur implication a poussé l'adoption d'un code de la construction avec des réglementations précises concernant la préfabrication et les certifications nécessaires.

Toutefois, pour maximiser les bénéfices de la préfabrication, son intégration dans les projets doit être soigneusement optimisée : une utilisation insuffisante en limite les avantages, tandis qu'un recours excessif peut générer des inefficacités (Lupien et al., 2020; McFarlane et al., 2017; Wood, 2018, 2021).

Le déplacement des activités de construction du site d'implantation vers l'usine permet un meilleur contrôle de la qualité du produit fini, grâce à un environnement clos et maîtrisé (Koppelhuber et al., 2017; Wood, 2021). Ce contrôle qualité, idéalement effectué à plusieurs étapes clés de la production, est renforcé par l'utilisation de plateformes de sous-assemblage sur la chaîne de production, qui optimisent les processus et améliorent la précision et la cohérence des travaux réalisés par les ouvriers (Jalava, 2024; Wood, 2018). L'intégration du DfMA joue un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité des projets. En optimisant en amont et systématiquement les phases de fabrication et d'assemblage, les défauts et erreurs sont

réduits (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Sandberg et al., 2008; Wood, 2021). Les pièces non conformes sont éliminées en amont, ce qui réduit les erreurs sur site et améliore la fiabilité globale du projet. Cependant, cette qualité dépend fortement de la contribution des ouvriers, nécessitant la mise en place de protocoles visuels, interactifs et pédagogiques pour maintenir des standards élevés tout au long du processus de production et d'assemblage (Wood, 2021). Bien que la singularité de chaque projet rende complexe la création d'une base de données universelle pour les concepteurs, les principes de DfMA et de DfD favorisent une réflexion approfondie sur les besoins du client et les défis potentiels, conduisant à des designs plus innovants et de meilleure qualité (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Anastasiades et al., 2023; Wood, 2021). Le DfD, en particulier, pousse à anticiper la déconstruction future du bâtiment, intégrant des considérations écologiques et économiques pour une approche plus durable (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Anastasiades et al., 2023).

Cependant, ces principes, bien que novateurs, sont encore en développement, et ce sont des outils comme la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) qui jouent un rôle important dans l'amélioration du design des projets. Lorsque la CAO est utilisée en collaboration entre architectes, concepteurs et manufacturiers, elle permet d'optimiser significativement la coordination de la conception (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Sandberg et al., 2008). L'intégration de l'ingénierie basée sur la connaissance (*knowledge-based engineering*) peut renforcer cette collaboration en transformant les savoirs techniques en outils informatiques, facilitant ainsi la conception (Sandberg et al., 2008). Par ailleurs, l'utilisation du Building Information Modeling (BIM) accélère la création de bibliothèques de données, mais pour que ces solutions se développent durablement, il est essentiel de constituer des équipes de spécialistes chargées de mettre en place et de faire évoluer ces ressources (Abrishami & Martín-Durán, 2021; Anastasiades et al., 2023; Sandberg et al., 2008; Wood, 2021).

Cependant, pour évaluer objectivement la qualité des produits préfabriqués, il est essentiel de se référer à des normalisations reconnues. À cet égard, l'International Code Council (ICC) et le *Modular Building Institute* (MBI) ont collaboré pour établir des normes, telles que les ICC/MBI 1200 et 1205, qui définissent les exigences pour la planification, la conception, la

fabrication, le transport, l'assemblage et l'inspection des constructions hors site (MEEA & NEEP, 2022). Ces normes visent à harmoniser les pratiques, à faciliter la certification des entreprises et à garantir une qualité uniforme, tout en favorisant une concurrence équitable et l'accès aux appels d'offres (Wood, 2021). L'existence de telle normes demande de mettre en place des méthodes pour vérifier que les produits suivent bien cette exigence. En 2023, (Gharbia et al., 2023) établissent un bilan des connaissances de 5 différents types de vérification qualité qui existe en Suède, Suisse, Royaume-Uni, Australie, Singapour et Chine. Il en ressort d'études de cas et de questionnaire que la majorité utilise l'auto-certification qui fait appel à des audits internes réalisant le contrôle qualité à plusieurs étapes de fabrication. Cette façon de certifier étant la plus facile à instaurer même si la certification par un tiers est également assez répandue.

La préfabrication facilite également les échanges répétitifs entre les acteurs du projet, notamment les concepteurs et les clients, dont les décisions influencent fortement les avancées (Anastasiades et al., 2023). Pour maximiser la réutilisation pour des travaux futurs, une standardisation morphologique des espaces a été proposée, permettant aux concepteurs de maintenir l'unicité de leurs projets tout en évitant aux fabricants de retravailler constamment les plans (Anastasiades et al., 2023; Wood, 2018). Cette standardisation dimensionnelle a pour but de permettre aux entreprises de répondre à plus de projet puisque des modules d'une même classe de taille, hauteur, répétabilité et complexité peuvent être réalisés à travers une même plateforme (Wood, 2018). Cependant, cette initiative est actuellement limitée par les codes de construction prescriptifs, qui freinent l'innovation et l'adoption de normes de performance par les manufacturiers (Smith et al., 2022). Ainsi, bien que la préfabrication et les méthodologies associées offrent des perspectives prometteuses, leur pleine réalisation nécessite une évolution des cadres réglementaires et une collaboration approfondie entre tous les acteurs impliqués.

Nous pouvons donc constater, que selon la littérature, la construction préfabriquée permet d'engager une meilleure réussite globale du projet face à la construction conventionnelle. Que ce soit le gain de temps de conception, la réduction du coût de revient à long terme pour le



manufacturier, l'amélioration de la productivité des ouvriers, ou encore l'apport significatif d'une qualité et d'une conception supérieures, les avantages sont nombreux.

Multiplier les bénéfices environnementaux et économiques d'un projet passe inévitablement par une analyse du matériau utilisé. Dès lors, il est essentiel d'étudier la position de l'ossature légère en bois dans la construction multi-résidentielle comparativement au béton armé, à la maçonnerie traditionnelle et à l'ossature légère en acier.

### **1.2.2 L'ossature légère en bois et ses répercussions**

L'ossature légère en bois est composée d'assemblages de montants de bois qui sont illustrés sur la Figure 3. Leurs associations forment des fermes de toits, des planchers, des poutrelles, des murs aussi appelé 'plate-forme' sur la Figure 3. Ces montants de bois font généralement entre 64 et 235cm de longueur. Afin de déterminer la résistance de ces éléments, le fournisseur doit rendre compte de la qualité de l'élément ainsi que de sa résistance mécanique (Cecobois, 2019).

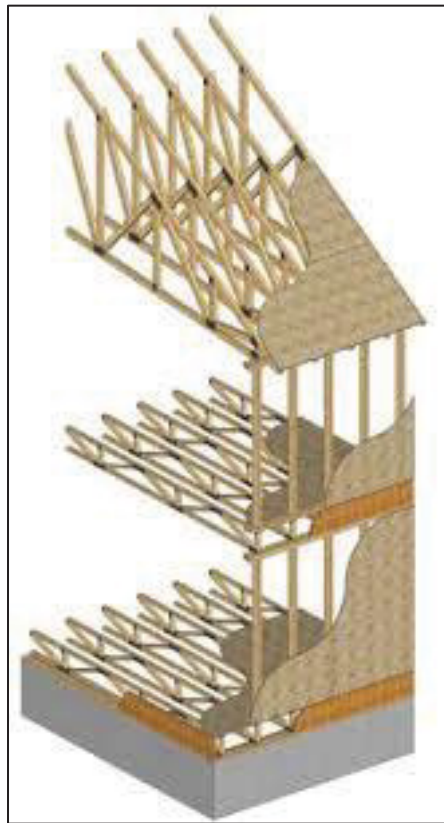


Figure 1.3 Système de construction à plateforme,  
Tirée de Cecobois (2019)

Le centre d'expertise sur la construction commerciale de Cecobois en bois a développé un « Guide technique de la conception de bâtiments à ossature légère en bois » (Cecobois, 2019) qui expose les différents avantages de la construction en ossature légère en bois. Des avantages économiques grâce à la grande disponibilité du bois, une aisance et rapidité d'installation, une réduction des coûts de transport par la légèreté de certains systèmes. Ce sont pour ces raisons que notre sujet de recherche se concentre sur l'utilisation de l'ossature légère en bois dans l'industrie de la construction.

Le bois est un matériau dont les sources canadiennes et québécoises sont omniprésentes. Une gestion durable des forêts est essentielle pour favoriser une intégration accrue du bois dans le secteur de la construction. Plus d'un tiers de la superficie terrestre canadienne se trouve être de la forêt (Canada, 2023a, 2022). Sur ces 367 millions d'hectares de forêts, seul 7% sont des

forêts privés et 45% utilisés à des fins de foresterie (Canada, 2023a, 2022). L'exploitation et l'aménagement des forêts correspondent donc à 165 millions d'hectares de bois, ce qui a amené à une récolte de 700 000 hectares, de manière durable, en 2021 (Canada, 2023a, 2022). La gestion durable des forêts canadiennes depuis les années 1990 fait que cette ressource est grandement disponible pour être utilisée dans les projets de construction à travers le Québec.

Afin de promouvoir l'utilisation du bois dans l'industrie de la construction, le gouvernement fédéral a mis en place des programmes de subventions pour encourager les promoteurs et les industriels à utiliser cette matière première. Des initiatives de financement sont mises en place comme le programme de Construction Verte en Bois qui visent à promouvoir l'utilisation du bois dans les projets de construction (Canada, 2023b). Grâce à ce programme de financement, plus de 16 projets de différentes envergures ont vu le jour depuis 2017. De plus en plus de personnes soumettent leurs projets pour avoir accès à ce programme de financement qui subventionne jusqu'à 50% des frais admissibles, ce qui montre le souhait des constructeurs d'utiliser davantage le bois (Canada, 2023b). Ainsi, le bois apparaît clairement comme une ressource locale majeure et bien valorisée au Canada.

En tant que l'un des plus grands exportateurs de bois au monde, le Canada se place, depuis des années, sur la scène américaine. En 2020, 67% de la production annuelle a été exporté dont plus de 80% exporté vers les États-Unis (Canada, 2023a). Cette forte exportation est également appuyée par des initiatives comme l'association du QWEB (Bureau de promotion des produits du bois du Québec) qui a pour objectif de mettre en relation les projets et les exportateurs de produits du bois afin de les rendre plus visibles sur ce marché international et de leur faciliter les procédures administratives. Le succès de ces initiatives apparaît nettement dans la province de Québec qui comptent près de 300 entreprises de scierie de bois et plusieurs milliers de fabricants de produit du bois.

La grande disponibilité du bois dans les forêts du Québec ainsi que l'accès à des programmes de financement qui promeuvent son utilisation montre l'essor du bois dans le monde de la

construction ainsi qu'un intérêt plus important sur les politiques mises en place sur la construction en bois.

L'utilisation du bois comme matière première dans les constructions multi-étages est de plus en plus courante (Koppelhuber & Bok, 2020; Pelletier et al., 2022). De nombreuses études ont montré les attraits financiers de ce matériau face aux matières premières traditionnelles (Dzhurko et al., 2024; Gharbia et al., 2023; Höök, 2005; Koppelhuber et al., 2017; Koppelhuber & Bok, 2020; Švajlenka et al., 2017).

Pour une même habitation en Slovaquie, une étude théorique montre qu'utiliser du bois plutôt que de la maçonnerie classique permettrait de faire des économies de près de 15% (Švajlenka et al., 2017). Cette étude a mis en lumière que l'utilisation du bois permet, par sa légèreté, de réduire la demande en fondation et donc réduit les coûts. Ce calcul de coûts n'a été réalisé que de manière théorique pour une seule habitation. Or, dans un futur où il serait souhaitable de promouvoir encore plus le bois, la mise en place d'outils de calcul de coût serait bénéfique (Koppelhuber & Bok, 2020). L'implémentation de ces outils et de réglementations en matières de calculs de coûts permettrait de réaliser plus d'études empiriques prouvant les bénéfices financiers de l'utilisation du bois (Dzhurko et al., 2024; Koppelhuber & Bok, 2020; Švajlenka et al., 2017). De plus, il faut noter que les études que l'on peut trouver dans la littérature actuelle correspondent à des contextes différents de ceux du Québec où la grande disponibilité de la matière première joue un rôle non négligeable sur le coût de revient d'un projet. Afin de mieux gérer les coûts de construction, le bois répond également à ce besoin par sa facilité de manipulation. Les manufacturiers d'ossature légère en bois s'occupent eux-mêmes de la découpe des éléments qui constitueront les structures. Ainsi, ils peuvent optimiser cette découpe pour réduire leur déchet, ou bien revaloriser leur rebut de coupe (Formes, 2023). Cette revalorisation est peu présente dans la construction conventionnelle utilisant la maçonnerie ou le béton où les principes de DfD ou de réutilisation sont plus compliqués à instaurer, ce qui fait du bois une matière première à considérer davantage.

Lorsqu'un fabricant utilise l'ossature légère dans son projet, il a la capacité de s'occuper de tout le processus de construction. Que ce soit de la commande de matière première à la livraison sur site, c'est lui qui se charge de toute la découpe de ce bois ainsi que de son assemblage dans son usine. Il dispose des outils nécessaires pour réduire encore plus les coûts du projet (Höök, 2005). Cette pluridisciplinarité couplée à une intégration dans les décisions de toutes les parties prenantes dès le départ permet d'avoir une vision encore plus générale du projet et donc de réduire considérablement les coûts de production (Höök, 2005). Ce constat a été réalisé surtout par les fabricants d'éléments de bois européens dont l'accès au bois est plus compliqué qu'ici au Québec. Ainsi, ce n'est pas forcément le coût de la matière première qui permet de faire des économies mais surtout la légèreté du système et donc des fondations nécessaires ainsi que les avantages organisationnels liés à cela puisque le travail est réalisé en parallèle (Dzhurko et al., 2024; Koppelhuber & Bok, 2020; Švajlenka et al., 2017).

L'impact environnemental d'une construction, que ce soit pour des projets de bâtiments ou d'ouvrage d'art, fait référence directement au carbone intrinsèque et opérationnel et donc à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). L'ACV calcule les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'un produit de sa production, construction, exploitation et fin de vie. Ce taux de GES a pour but de responsabiliser les constructeurs et exploitants face à l'impact environnemental qu'a leur projet (Durocher, 2024). Dans un bâtiment, on parle du carbone intrinsèque pendant les phases de production et construction d'un projet : c'est le CO<sub>2</sub>eq émis pendant ces phases et qui n'est pas forcément visible après construction (« Le CO<sub>2</sub>eq est une unité créée par le GIEC pour comparer les impacts de ces différents GES en matière de réchauffement climatique et pouvoir cumuler leurs émissions (Connaissance des énergies, 2024) »). Le carbone opérationnel, comme son nom l'indique, correspond lui au CO<sub>2</sub>eq émis lorsque le bâtiment est en opération, avec par exemple les différents systèmes de MEP.

Plusieurs études comparatives ont permis de démontrer que l'utilisation du bois plutôt qu'un autre matériau permet de réduire l'empreinte carbone d'un bâtiment (Anastasiades et al., 2021; Cao et al., 2022; Carre, 2011; Evison et al., 2018; Švajlenka et al., 2017; Ximenes & Grant,

2013). Švajlenka et al. (2017) ont constaté que la consommation énergétique pour la production d'une unité de bois, était 3 fois moins énergivore que celle pour la brique, 4 fois moins que le ciment, 6 fois moins que le béton, 24 fois moins que l'acier et 126 fois moins que l'aluminium (Švajlenka et al., 2017). Une étude comparative entre la construction d'une habitation réalisée en bois et une construction avec plus de matériaux traditionnels (brique, ciment, acier) a soulevé qu'il y avait une réduction de 54% d'émissions de carbone intrinsèque pour la maison en bois, ainsi qu'une réduction importante du potentiel de réchauffement climatique étant donné que lors de sa croissance, le bois absorbe du CO<sub>2</sub> (Canada, 2023a; Švajlenka et al., 2017). Une autre étude expérimentale compare l'impact du pourcentage de bois utilisé sur 2 maisons typiques australiennes (Ximenes & Grant, 2013), elle relève, à la manière de Švajlenka et al. (2017), que plus le bois est utilisé dans l'ensemble des parties de ces maisons, plus le carbone intrinsèque y est réduit. L'importance de la gestion de fin de vie du bâtiment a aussi fait partie des éléments à considérer. Les émissions de CO<sub>2</sub>eq varient de manière significative si les éléments sont enfouis, recyclés ou réutilisés (Carre, 2011; Ximenes & Grant, 2013). Cependant, ce calcul de fin de vie est compliqué à réaliser puisque les données sont encore peu présentes.

Le calcul du carbone opérationnel est plus simple. Les données concernant la consommation de CO<sub>2</sub>eq sur les systèmes de MEP sont globalement plus présentes. Ces études, bien que pertinentes, ne font pas partie des objectifs spécifiques de notre recherche.

Finalement, la préfabrication en ossature légère en bois consiste à fabriquer en usine des éléments structuraux, comme les murs et planchers, avant leur assemblage sur chantier. Ce procédé reprend les principes de la construction artisanale traditionnelle, mais les transpose dans un cadre industrialisé. Le savoir-faire manuel est ainsi rationalisé, permettant une meilleure précision, une réduction des délais sur site et une réponse plus efficace aux exigences contemporaines de qualité, de coûts et de durabilité.

La préfabrication en ossature légère en bois offre une réponse partielle mais concrète aux crises actuelles du logement, économique et de l'environnement. En permettant une production plus

rapide et mieux contrôlée, elle contribue à réduire les coûts de construction et les délais de livraison, deux enjeux majeurs dans un contexte de pénurie de logements. Par ailleurs, l'utilisation du bois, matériau renouvelable et stockeur de carbone, associée à une optimisation des ressources en usine, en fait une option plus durable face aux impératifs environnementaux.

### **1.2.3 La place de la standardisation dans le secteur de la préfabrication**

La standardisation peut être définie dans le contexte de la préfabrication et du pré-assemblage comme étant « l'utilisation extensive de composants, de méthodes ou de processus qui présentent une certaine régularité, une certaine répétition, une pratique réussie et une certaine prévisibilité » [traduction libre] (« *Standardization is the extensive use of components, methods or processes in which there is regularity, repetition and a background of successful practice and predictability.* ») (Gibb, 2001). Les avantages en implémentant une standardisation relative à certaines parties de la construction sont d'aider à simplifier, adapter et réutiliser des éléments préfabriqués [traduction libre] (« *standardised parts [...] can support aspects of simplicity, adaptability and further re-use* ») (Anastasiades et al., 2021).

Actuellement, la préfabrication de manière générale est confrontée à un manque de standardisation qui restreint son utilisation dans plus de projets (Zhang et al., 2022). L'absence de standards introduit des lacunes dans la réglementation et les codes qui ne peuvent y référer, ce qui ne permet pas de s'adapter rapidement aux avancées technologiques et industrielles. (Zhang et al., 2022). De plus, de nombreuses études ont montré que le degré de standardisation à mettre en place était également un enjeu. En effet, de nombreux préjugés compromettent la mise en place de cette standardisation comme par exemple l'esthétique du bâtiment qui en serait impacté (Zhang et al., 2022). L'article sur lequel nous nous appuyons fait lui-même référence à une dizaine d'articles soulignant le manque de standardisation dans la préfabrication.

Ce constat, fait en Australie, quant au manque de standardisation dans la préfabrication, renforce la pertinence de notre recherche sur la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois (Anastasiades et al., 2021; Gibb, 2001; Zhang et al., 2022).

L'absence de standardisation étant établie dans la préfabrication, il est envisageable de s'intéresser à ce que d'autres domaines et secteurs de la construction ont pu proposer afin de trouver des sources d'inspiration pour une standardisation. Puis nous verrons comment d'autres pays sont déjà en avance, face au Canada, dans la mise en place de cette standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique.

### **1.3 La revue des meilleures pratiques de standardisation dans d'autres industries et d'autres pays**

Les prémices de nos recherches ont démontré que l'utilisation de la préfabrication et du bois dans la construction de bâtiment est bénéfique pour répondre aux crises de la construction et environnementales. Toutefois, l'ensemble de ces recherches et études met également en évidence un faible niveau de standardisation, ce qui pourrait pourtant constituer un levier important pour favoriser l'adoption de la préfabrication en bois. Ainsi, après s'être intéressé à l'état actuel de la standardisation dans cette partie de la construction au Canada, nous verrons comment dans d'autres industries une certaine standardisation a pu être implémentée, comme cela a pu être le cas dans d'autres secteurs de la construction et finalement comment d'autres pays ont su répondre à cette demande de standardisation.

#### **1.3.1 État actuel de la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique au Canada**

Il est nécessaire de faire un état des pratiques de ce qui se fait au Canada afin de se rendre compte du décalage qui peut exister avant de s'intéresser aux démarches de standardisation existantes dans d'autres industries, dans la construction et l'avancement de la préfabrication bois dans d'autres pays.



Entre les différentes provinces du Canada, on observe des disparités notables quant au degré d'adoption de la préfabrication en ossature légère en bois dans le secteur de la construction. La Colombie-Britannique se distingue par une utilisation plus avancée de cette méthode comparativement au Québec. À ce titre, l'initiative de logements rapides menée par la BC Housing et la Vancouver Affordable Housing Agency (*Rapid Housing Initiative*) a permis de démontrer les avantages de l'implémentation d'une plateforme de production uniformisée pour les modules de logements collectifs, notamment en répondant efficacement à des besoins urgents en matière d'habitation (Smith et al., 2022). Les résultats probants de cette approche ont conduit d'autres juridictions, comme la ville de Toronto en Ontario, à adopter ce modèle de construction fondé sur des plateformes modulaires standardisées (Smith et al., 2022). À Toronto, le programme Modular Housing Initiative a permis la fabrication en usine de modules standardisés — tels que ceux utilisés aux 321 Dovercourt Road et 540 Cedarvale Avenue — qui sont ensuite transportés sur site pour être assemblés rapidement selon un schéma prédéfini.

Le Groupe CSA joue un rôle central dans l'harmonisation et l'efficacité des pratiques de construction modulaire au Canada, en développant des normes et des guides qui cadrent l'ensemble du cycle de livraison des modules. Parmi ces normes, la CSA A277-F16 établit une démarche structurée pour la certification en usine des bâtiments, modules et panneaux préfabriqués, couvrant les programmes de qualité, les audits en usine et l'alignement réglementaire aux codes du bâtiment locaux. De plus, le CSA Z252:23 — Guide de la construction modulaire volumétrique — Processus de mise en conformité et d'approbation — offre des pratiques exemplaires pour l'examen des plans, la facilitation des inspections, la définition des responsabilités des autorités compétentes et des organismes tiers, ainsi que la coordination entre les acteurs à chaque étape du projet. Ensemble, ces instruments normatifs contribuent à rendre les projets de construction modulaire plus efficaces, efficaces et résilients, en accélérant les processus d'approbation et en réduisant les redondances administratives—un objectif fondamental souligné par le Groupe CSA dans sa communication institutionnelle.

Bien que le Québec et la Colombie-Britannique s'appuient tous deux sur le Code national du bâtiment, les adaptations provinciales ainsi que le degré de mise en œuvre de mesures

favorisant la préfabrication différent. La Colombie-Britannique se distingue notamment par des initiatives portées par BC Housing, qui soutient activement le développement de la construction modulaire et la standardisation des pratiques, révélant ainsi un écart dans la maturité des approches entre les deux provinces. La Colombie Britannique est souvent pionnière dans l'adoption de normes locales visant à instaurer des normes énergétiques avancées ou bien d'adopter plus rapidement la construction à plus haut étage en bois. De nombreuses initiatives existent afin de contrer ce retard qu'a le Québec. Les associations comme Cecobois ou le QWEB ont pour but de promouvoir davantage l'utilisation de la préfabrication, modulaire volumétrique ou non, en bois dans des projets de plus grandes envergures. Cecobois donne libre accès à de nombreux guides techniques confectionnés dans le but d'aider les manufacturiers ainsi que les promoteurs dans la conception de leur projet. Le QWEB a pour but de faire le lien entre les projets internationaux (surtout américains) et les exportateurs québécois de produits du bois afin qu'ils puissent répondre à ces appels d'offres en respectant les nombreuses démarches administratives qui peuvent en découler. Des projets québécois utilisant la préfabrication modulaire volumétrique se concrétisent mais l'absence d'uniformité des pratiques, d'accessibilité à des données, d'investissements importants font que ces projets ne sont encore que des projets vitrines, à la marge et rares.

### **1.3.2 Comparaison avec d'autres industries**

La raison première qui a conduit les industriels à mettre en place une standardisation résidait dans les bénéfices économiques engendrés. La mise sur le marché dans les années 1960 de l'ordinateur IBM System 360, a permis à IBM de créer et de se faire une place importante sur le marché de l'informatique (Russell, 2012). En réduisant la variété des composants qu'ils produisaient et en favorisant encore plus l'interchangeabilité de ces éléments, en standardisant, IBM a su répondre aux différentes demandes des consommateurs tout en creusant l'écart avec ses concurrents (Russell, 2012). Dans une autre partie du domaine de l'informatique, Apple a su instaurer une standardisation qui leur a permis d'être l'un des leaders sur le marché de l'informatique. La popularité de l'iPhone n'aurait pas été aussi importante si la plateforme App Store n'avait pas été ouverte à des tiers, ces derniers devant suivre un standard pour pouvoir

proposer leurs applications. Cette plateforme permet à quiconque de diffuser leur application, ouvrant la porte à la concurrence et augmentant considérablement le gain financier de chacun de ces acteurs (Wood, 2018). Dans l'industrie de la logistique, ce gain financier est également visible avec l'innovation de Malcolm McLean en 1963. Cet entrepreneur a su anticiper le potentiel de développement de ses conteneurs en diffusant leurs plans à l'échelle mondiale (Wood, 2018). Cette vision a permis à de nombreux investisseurs de reconnaître le potentiel de ces conteneurs, qui sont désormais devenus la norme.

L'instauration d'une certaine standardisation permet également d'inciter une collaboration entre différents concurrents. Par exemple, avec l'industrie de l'automobile et les Big Three formés des géants Ford, General Motors et Chrysler. Par peur d'être détrôné sur le marché de l'automobile américain par le magnat japonais Toyota, ces trois immenses entreprises se sont associées. Cette collaboration avait pour but d'implémenter une standardisation de la chaîne de production afin d'être plus rapide, d'offrir une meilleure qualité et de réduire les coûts (Wood, 2021).

Afin de déployer ces chaînes de production standardisée et d'apporter une meilleure qualité aux voitures produites, il a été nécessaire d'analyser le processus de fabrication des voitures. Daimler et Chrysler ont été parmi les premières entreprises à proposer une approche de conception automobile basée sur une décomposition complète en modules ou morceaux. Ainsi, chaque élément du véhicule est maintenant préassemblé et contrôlé qualitativement avant d'être envoyé sur la chaîne de production et installé définitivement et cela de manière optimisée (Kieran & Timberlake, 2004). Cette mise en place d'un contrôle qualité prématuré a été initialement importé par Toyota favorisant dès le départ la gestion globale de la qualité (Wood, 2021). De même pour l'aérospatial, il existe des standards comme la planification avancée de la qualité des produits et le processus d'approbation des pièces de production sur leur chaîne de production, assurant une haute qualité de leur produit (Wood, 2021).

L'analyse des exemples de l'industrie de l'informatique, de la logistique, de l'automobile révèle que la standardisation peut être implémentée de manière fiable et durable, avec une adhésion large des acteurs du secteur.

### 1.3.3 Comparaison avec d'autres secteurs de la construction

Il existe au sein de l'industrie de la construction deux secteurs qui ont su mettre en place une standardisation et dont le processus d'acceptation est pour chacun des cas différent et pertinent pour s'en inspirer.

Comme pour l'industrie de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois, l'industrie de l'acier de construction a pendant longtemps été influencé par de petites ou moyennes entreprises. Le problème qui est apparu est que, étant donné que chacune de ces entreprises avaient ses propres types de calculs de structure, d'alliages proposés, de schémas de montage et autres, il n'existait pas de continuité dans les inspections des bâtiments réalisés en acier structural. Au lendemain de la Première Guerre Mondiale, ce manque d'uniformité et de normalisation des pratiques a poussé les sociétés de la Bridge Building Society et de la Structural Steel Society à se réunir afin de créer une association mettant en commun leur expertise afin de développer un certain standard : l'*American Institute of Steel Construction (AISC)* (Galambos, 2016). Le but était « [d'] établir [...] un code unique qui serait reconnu par les autorités du code du bâtiment et les concepteurs afin d'éliminer la confusion qui régnait alors dans l'industrie de la construction, causée par les nombreux et différents manuels contenant chacun des informations exclusives » ([traduction libre]) (Galambos, 2016). L'établissement de la première spécification de l'AISC en 1923 peut être attribué aux efforts de collaboration de deux professeurs, deux ingénieurs en structure et d'un architecte. Ces personnes avaient comme objectif de développer une spécification basée sur la performance qui servirait de norme unificatrice au sein de l'industrie. L'introduction de cette spécification est considérée comme une étape cruciale pour l'industrie de l'acier de construction (Galambos, 2016; Nyman et al., 1973). L'évolution continuelle des technologies et des pratiques pousse aux dialogues constants entre les différentes parties prenantes. L'importance de ce

développement a été reconnue par le secrétaire au commerce de l'époque, Herbert Hoover, ingénieur et plus tard président des États-Unis, qui a félicité l'AISC dans une lettre officielle (Galambos, 2016). Cela démontre que la convergence de diverses parties prenantes, y compris des représentants du gouvernement, a été cruciale pour promouvoir la mise en œuvre de la spécification afin de répondre au besoin pressant de constructions en acier au cours de cette période. Cet effort de collaboration a abouti à l'établissement d'une norme qui est actuellement adoptée par la majeure partie de l'industrie.

Un autre exemple de standardisation mise en place concerne la préfabrication en ossature légère en acier (*Light steel frame*). Dans cette industrie, contrairement à l'acier de structure, ce n'est pas un contexte de crise et de collaboration inter-entreprises qui a poussé à la standardisation mais bien un besoin intrinsèque des fabricants. En effet, ces derniers préconisent l'utilisation de « tailles standards » dans la conception et l'élaboration des projets. Cette approche leur permet de conserver « des matériaux en stock et d'utiliser des gabarits et des réglages de machines standards dans la production, ce qui raccourcit les délais d'approvisionnement » ([traduction libre]) (Gorgolewski et al., 2009). Le besoin d'établir des éléments normés, des systèmes uniformisés dans l'industrie de l'acier léger émane des fabricants et des transformateurs, qui reconnaissent les avantages potentiels de cette normalisation. La production répétitive facilite l'établissement de normes pour les unités, ce qui permet de réaliser des économies. Cette notion est étayée dans un rapport publié par la Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) en 1999, intitulé «*Adding value to construction projects through standardization and pre-assembly*» (Gorgolewski et al., 2009).

Ces deux exemples mettent en lumière que la mise en place d'une standardisation à travers de larges industries comme celle de l'acier est réalisable. Que ce soit par la collaboration inter-entreprises ou bien par le besoin des fabricants à une certaine uniformité, la standardisation s'avère viable et pérenne.

### 1.3.4 Comparaison avec d'autres pays

La standardisation dans l'industrie de la préfabrication en bois est, dans le monde, à des états d'avancement différents. Trois pays se distinguent nettement des autres : la Suède, le Royaume-Uni et le Japon (Mitchell, 2021). En Europe, la standardisation est davantage intégrée dans les pratiques industrielles et réglementaires. Au Canada, bien que des efforts significatifs soient déployés, l'adoption de normes communes semble représenter des défis. Anastasiades et al. (2021) soulignent les atouts de l'uniformisation pour cette industrie et pour l'environnement puisque cela favoriserait une économie circulaire liée à l'utilisation du bois et de la modularité. Cependant, il est essentiel que les entrepreneurs et les concepteurs perçoivent ce type de normalisation non pas comme une menace pour leur travail, mais comme une opportunité de progrès. La standardisation des dimensions et des connexions des éléments de construction favorisera à la fois une croissance de la demande et une réutilisation plus aisée (Anastasiades et al., 2021). De plus, les projets sont actuellement orientés sur la fonction et non sur le processus de fabrication utilisé, ralentissant considérablement l'efficacité et l'efficience de l'utilisation de la préfabrication. L'application d'un code prescriptif, au lieu d'un code de performance, limite la liberté des fabricants dans la réalisation de leurs projets. Ils sont forcés de suivre une certaine démarche, ce qui ne pousse ni à l'utilisation de la préfabrication ni à l'innovation (Sandberg et al., 2008; Smith et al., 2022). Ces différents points montrent l'importance de cette uniformisation afin d'initier plus d'acteurs.

En Suède, la préfabrication de panneaux en ossature légère en bois ne suit pas la même approche qu'au Québec. Les efforts de conceptualisation se font sur des sous-ensembles de système afin d'allier les avantages d'une standardisation tout en permettant un certain degré de liberté (Smith et al., 2022; Wood, 2018). De plus, la Suède conserve un avantage concurrentiel par rapport à d'autres pays grâce à l'exploitation de ses vastes chaînes de production automatisées. L'intégration de la robotique dans la chaîne de montage a transformé le secteur de la construction, s'inspirant fortement de l'industrie de l'automobile. Cette automatisation, influencée par les méthodes de production de Toyota, donne la priorité à la réduction des déchets et à l'amélioration de la qualité. Cela a permis à Lindbäcks, l'un des

principaux fabricants scandinaves de maisons modulaires, d'améliorer l'efficacité de sa production et de surpasser ses concurrents (Morley, 2017; Smith et al., 2022). En parallèle de la forte automatisation de leur chaîne de production, il a également été question de standardiser certaines parties de leur module afin d'accélérer leur processus. C'est grâce à la mise en place de module sanitaire qu'ils ont pu se faire une place significative dans l'industrie de la construction dans sa globalité. De plus, dans une démarche de pousser les clients à utiliser la préfabrication modulaire volumétrique, ce même industriel a développé un guide de l'architecte qui compile les préconisations à prendre lorsque le projet a pour but d'être en préfabrication modulaire volumétrique. Cette implication met alors en évidence le positionnement avancé de ce leader européen sur le marché et l'engagement pris pour faire avancer cette méthode de construction. Cela leur permet également de se placer comme concurrent direct face à la construction en béton et acier.

Au Japon, les systèmes préfabriqués à ossature légère en bois sont également très répandus. Le coût élevé des terrains nécessite un retour sur investissement rapide pour les promoteurs, ce qui conduit à privilégier les méthodes de construction modulaire en raison de leur rapidité d'exécution (Gorgolewski et al., 2009). L'expertise du Japon dans cette méthode de construction moderne peut être attribuée à sa longue expérience. Après la Seconde Guerre mondiale, des investissements publics ont été initiés en faveur de la construction hors site. Des mesures ont ensuite été prises pour en renforcer la normalisation, principalement à l'initiative de l'industrie, avec une forte automatisation, une intégration verticale du marché, mais aussi par l'élaboration de standards techniques. En particulier, des normes telles que les Japanese Industrial Standards (JIS) encadrent la coordination modulaire, les dimensions des composants, ainsi que les exigences de qualité et de performance pour les structures bois préfabriquées (Mitchell, 2021). L'absence de préjugés négatifs de la part des différents acteurs à l'égard de la préfabrication a également favorisé son développement. Les investisseurs japonais reconnaissent la qualité élevée associée à la préfabrication modulaire, ce qui explique qu'elle soit souvent privilégiée dans les projets résidentiels et commerciaux (Smith et al., 2022). Un exemple notable est Sekisui Heim, un leader de la construction modulaire au Japon,

qui conçoit des habitations à ossature légère en bois ou en acier, entièrement fabriquées en usine selon des standards stricts de qualité, de durabilité et d'efficacité énergétique.

Au Royaume-Uni, le gouvernement joue un rôle central dans la promotion de la préfabrication par la standardisation. À travers le Construction Playbook, il propose un cadre structurant pour l'intégration des méthodes modernes de construction, y compris les systèmes à ossature légère en bois. L'accent est mis sur l'harmonisation des exigences, la standardisation des composants et l'utilisation de plateformes de production modulaires dans le but d'augmenter la productivité et la qualité tout en réduisant l'empreinte environnementale (Chisholm, 2022). Le Royaume-Uni cherche ainsi à structurer la demande publique autour de standards communs, facilitant la mise en œuvre d'une production plus industrialisée. Cette stratégie, directement inspirée de l'industrie manufacturière, s'appuie notamment sur le développement de « kits of parts » standardisés, produits en usine, puis assemblés sur site selon des interfaces compatibles. Le gouvernement encourage également l'engagement précoce des acteurs de la chaîne d'approvisionnement afin de co-développer les solutions, un aspect essentiel à la réussite de la standardisation dans un cadre aussi complexe que celui de la construction publique. Ce modèle met en lumière l'importance d'un alignement fort entre les politiques publiques, les pratiques industrielles et les objectifs environnementaux afin de faire émerger une construction plus durable, plus rapide et plus fiable.

Comme le démontrent les exemples de l'Europe et du Japon, le potentiel d'amélioration de l'industrie dans la préfabrication est considérable. Pour maintenir sa compétitivité et une part de marché importante au cours des prochaines années, le Québec doit aligner ses efforts sur ceux de ses homologues.

#### **1.4 Récapitulatif**

Dans la revue de littérature, il a été constaté qu'il existe de nombreux bénéfices à la préfabrication ainsi qu'à l'utilisation du bois dans la construction face à la construction traditionnelle actuelle en acier, en béton. Nous avons également pu découvrir le manque de



standardisation dans la préfabrication qui subsiste depuis des années. Dans le corps de cet état de l'art, l'objectif était de rendre compte du retard que possède le Québec. Ce décalage est lié à l'absence d'uniformisation des pratiques dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature en bois. Cependant, en s'inspirant d'autres industries et d'autres pays, la revue de la littérature démontre qu'une telle pratique est faisable. De plus, le Québec compte de nombreux manufacturiers dans le secteur de la préfabrication modulaire volumétrique (15 grands manufacturiers actifs membres de l'Association des Manufacturiers de Bâtiments Modulaires du Québec) dont l'engagement pour mettre en place une standardisation pourrait être significatif. Cependant, ces derniers possèdent leur propre processus de fabrication, d'assemblage.

Les gouvernements québécois et canadien tentent de redynamiser ce secteur en proposant de nombreuses initiatives pour favoriser l'utilisation de la préfabrication. Toutefois, l'absence de standardisation et la difficulté à modifier les habitudes des clients et des constructeurs constituent des obstacles à la promotion de cette méthode de fabrication. Nous nous sommes donc intéressés aux processus qu'ont suivi d'autres industries dans le but de standardiser leur domaine. Ces processus de standardisation comprenaient: la réponse à un besoin du client pour IBM; le partage de la plateforme de diffusion pour l'AppStore; le partage des plans pour les conteneurs; la mise en commun pour faire face à la concurrence pour les géants de l'automobile. Ces différentes industries ont donc su, avec les années, implémenter une standardisation pérenne. Il existe également certaines standardisations dans l'industrie de la construction. Il a été constaté que l'industrie de l'acier structural et l'industrie de l'ossature légère en acier sont assez pionnières dans ce domaine. Ces deux secteurs ont dû implémenter une standardisation dans le but de répondre respectivement à l'urgence d'après-guerre et faciliter les inspections et certifications des produits; et répondre aux exigences des fabricants et de produits à des mesures standardisées. Ces exemples nous ont donc montré que la mise en place d'une standardisation peut se concrétiser de différentes façons.

Nos recherches ont finalement démontré que d'autres pays ont déjà adopté une forme de standardisation dans la préfabrication modulaire volumétrique. En Suède, l'accent est mis sur

la grande automatisation des chaînes de production. L'implémentation de ces nouvelles technologies demande ainsi un besoin au niveau de la standardisation des produits. L'intérêt principal pour les industriels suédois réside dans la standardisation des modules sanitaires, qui permet d'accélérer significativement la chaîne de production. Ce développement stratégique, soutenu par des investissements, vise à leur permettre de concurrencer directement la construction en acier ou en béton. Au Japon, c'est une initiative d'investissements publics, motivée par la nécessité de répondre en urgence aux crises du logement dans des zones à très forte densité, qui a incité 27 constructeurs à élaborer des normes pour la préfabrication en ossature légère en bois. Un tableau récapitulatif (Tableau 1) recense ce que nous avons pu conclure de l'étude de la littérature et des meilleures pratiques.

Tableau 1.1 Récapitulatif des stratégies de standardisation

Source	Exemples	Stratégies
Informatique	<u>System 360 IBM</u> (Création de composants interchangeables)	Répondre à la concurrence et aux demandes du client en proposant des produits non hétéroclites mais interchangeables
Informatique et logistique	<u>AppStore</u> (Possibilité à tout le monde de créer des applications pour Apple) <u>Conteneur McLean</u> (Résolution du problème de logistique de la gestion des conteneurs maritimes)	Partager (moyennant rémunération) l'information pour développer l'utilisation
Automobile	<u>Chrysler, Ford, General Motors</u> (Modularité des éléments de l'automobile)	Répondre à la concurrence, s'associer pour développer ses compétences
Construction	<u>Acier structural</u> (Création d'un ouvrage normalisant la partie)	Mise en association pour répondre à une crise et à un besoin de construire rapidement
Construction	<u>Ossature en acier léger</u> (Réponse plus rapide à la demande)	Répondre à la demande du fabricant pour qu'il puisse rapidement fournir les produits
Construction en bois	<u>Suède</u> (Automatisation et normalisation dimensionnelle de la partie sanitaire)	Automatiser hautement la chaîne de production pour devenir un concurrent direct aux autres méthodes de construction
Construction en bois	<u>Japon</u> (Retour sur investissement rapide et qualitatif avec coordination modulaire)	Investissement public pour répondre à un besoin de logements en zone à forte densité, à forte problématique climatique.
Construction en bois	<u>Angleterre</u> (Travail poussé sur la standardisation dimensionnelle)	Mise en relation avec le gouvernement pour développer les concepts de plateformes et de standardisation dimensionnelle

Il ressort de ces exemples que l'instauration d'une standardisation a été grandement favorisée par l'engagement d'associations, l'intervention des gouvernements, d'investissements et de partage des connaissances. Or, au Québec, la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois ne bénéficie toujours pas d'une telle standardisation. C'est pourquoi nous chercherons à identifier les stratégies de standardisation susceptibles d'être viables et acceptées par le secteur.

## CHAPITRE 2

### OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

#### 2.1 Objectifs spécifiques

La revue de la littérature et des meilleures pratiques met en évidence les nombreux avantages de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour les constructions multi-résidentielles. Ces avantages incluent une augmentation significative de la productivité, une amélioration de la qualité des constructions, une réduction des délais de réalisation et un impact écologique positif (Smith et al., 2022; Švajlenka et al., 2017; Wood, 2021). Les exemples de standardisation dans d'autres industries, tels que l'acier structural et l'acier léger, ainsi que dans l'industrie du bois dans certains pays pionniers comme la Suède, démontrent que la mise en place d'une certaine standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique est réalisable sous réserve d'une adaptation aux spécificités du secteur de la construction.

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence des stratégies de standardisation dans d'autres secteurs qui pourrait être appliqué pour l'uniformisation des pratiques dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois au Québec. Avant de mettre en place une quelconque solution technique viable, il est important de se questionner sur les appréhensions et les attentes des acteurs de ce secteur concernant la mise en place de cette standardisation. Pour cela, nous avons réalisé des entrevues avec différents acteurs du milieu.

Les objectifs de la recherche via ces entrevues sont: (1) comprendre les implications actuelles des manufacturiers, professionnels, entrepreneurs généraux dans la préfabrication modulaire volumétrique en bois, (2) identifier et compiler des axes de standardisation potentiels à implémenter (3) déterminer les acteurs qui ont le potentiel d'initier et gérer un processus d'uniformisation des pratiques.

La méthodologie appliquée pour répondre à ces différents objectifs est expliquée dans la section suivante.

## **2.2 Méthodologie**

La méthodologie retenue pour répondre aux trois objectifs est basée sur la collecte et l'analyse de données de plusieurs entretiens semi-dirigés. Avant de pouvoir proposer des solutions techniques standardisées à mettre en place pour la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois, il est nécessaire de se questionner sur le besoin concret des utilisateurs. La revue de la littérature démontre, à travers les exemples d'autres industries et d'autres pays, que cette réflexion sur la standardisation est indispensable et primordiale. Ainsi, le cœur de ce projet de maîtrise repose sur une recherche qualitative permettant de collecter les réticences, axes potentiels de standardisation, et attentes des parties prenantes dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois.

Dans le cadre de cette méthodologie, nous justifierons le choix de l'entretien semi-directif comme méthode de collecte de données. Cette approche, à forte dimension sociale, reste encore peu explorée dans les recherches actuelles sur la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois. Ensuite, nous expliquerons notre méthode de sélection des participants aux entretiens et justifierons en quoi leurs profils spécifiques sont pertinents pour répondre à notre question de recherche. Enfin, nous présenterons la matrice d'analyse utilisée, sa construction et son application, puis, nous expliciterons le contenu des questions abordées lors de ces différentes entrevues.

### **2.2.1 Choix de l'entretien semi-directif comme collecteur de données**

Notre travail s'inscrit dans une démarche de sciences sociales, visant à étudier les interactions, les comportements et les évolutions des participants face à la question de la standardisation lors de nos consultations. Ainsi, il est nécessaire de collecter aujourd'hui les connaissances actuelles des principaux acteurs de ce secteur. Blanchet & Gotman (1992, p.42) établissent dans *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*, que « [l]es entretiens exploratoires ont pour

fonction de compléter les pistes de travail suggérées par les lectures préalables et de mettre en lumière les aspects du phénomène auxquels le chercheur ne peut penser spontanément. ».

La semi-direction des entretiens permet de « saisir le sens d'un phénomène [...] tel qu'il est perçu par les participants et le chercheur dans une dynamique de co-construction [...], au cours de laquelle le chercheur et le répondant sont en interaction » (Imbert, 2010). Ainsi le but est de guider les participants via nos questions, tout en leur laissant la liberté d'argumenter leurs propos. La succession des questions ouvertes posées permet de collecter un grand nombre d'informations tout en dirigeant la réflexion vers une réponse à notre question de recherche sans pour autant influencer les répondants.

Le but de ces entretiens est de faire ressortir les avis des participants concernant la mise en place d'une certaine standardisation de la préfabrication modulaire en ossature légère en bois tout en amenant à réfléchir les participants au type de standardisation envisageable ou déjà existantes.

### **2.2.2 Identification des participants**

Après avoir sélectionné des entrevues semi-dirigées, il a fallu former le groupe sur lequel baser notre étude. Il existe différentes phases lors d'un projet de construction, ce qui fait intervenir un grand nombre de personnes. Dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois, nous souhaitons mettre en avant les parties prenantes qui pouvaient avoir un impact sur la mise en place d'une standardisation. Ainsi, c'est dans les phases de planification et de réalisations que ces acteurs influents interviennent.

Parmi les parties prenantes de ces phases, nous allons interroger des manufacturiers, des architectes et des entrepreneurs généraux, ayant l'habitude de travailler dans ce milieu qu'est la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois. Nous allons également interroger un chercheur et des représentants d'association travaillant très régulièrement avec la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère. Leur contribution est cruciale pour

intégrer les aspects administratifs et procéduraux de cette innovation, et le chercheur apportera une analyse critique approfondie. Ce processus permettra de recueillir des avis relativement larges sur notre question de recherche. Afin d'avoir des données fiables, nous faisons le choix de sélectionner des entités différentes pour chaque domaine d'expertises. Nous désignerons ces participants ultérieurement dans le chapitre 3 – *Données*.

### **2.2.3 Détermination de la matrice d'analyse**

Comme mentionné précédemment, le panel des personnes interviewées présente une diversité tout en partageant des caractéristiques communes. Afin de pouvoir réaliser convenablement une interprétation des données, il est fondamental d'établir une matrice d'analyse. Cette matrice d'analyse, qui se situe en Annexe I, peut être considérée comme un outil permettant de répertorier, dans un même document, l'ensemble des réponses obtenues lors des différentes entrevues. Étant donné que les entretiens se basent sur une technique de semi-direction, les questions posées au cours des entrevues s'adaptent tout au long de la conversation. Il est donc important de pouvoir se référer à une unique base pour pouvoir réaliser des corrélations et des comparaisons appropriées.

Dans cette optique, nous mettons en place une matrice d'analyse divisée en 4 grandes parties. L'objectif de cette division est de partir des informations générales des participants pour ensuite se concentrer sur la question de la stratégie pour standardiser. Ainsi, les 4 grandes catégories sont: la contextualisation de l'entité interviewée et sa distinction face à leur concurrents, la vision idéaliste de l'approche de la standardisation, la vision réaliste de la standardisation et finalement le type de gouvernance qui pourrait mener et gérer la standardisation. Ces différentes catégories forment la première ligne de notre matrice d'analyse. Chaque ligne de la matrice correspond aux réponses des acteurs interviewés.

Dans chacune des catégories énumérées précédemment, des sous-catégories sont explicitées afin de montrer l'investigation mise en place. Les sous-catégories peuvent être retrouvées comme de la manière suivante (Annexe I).



« Contexte et Distinction » : ancienneté de l'entité interviewée, ampleur et revenu de l'entité, type de contrat utilisé, modèle d'affaire suivi, processus d'accompagnement client, innovations actuelles mises en place, investissements réalisés.

« Approches Idéalistes » qui concernent plutôt la vision à long terme des stratégies de standardisation avec les attentes, les besoins, les exigences (les sous-catégories se façonnent en fonction de ce que les interviewés nous font part): productivité, amélioration du processus de fabrication, implication sur le marché, remaniement du code du bâtiment, processus de design, réflexion sur des connexions interchangeables.

« Approches Réalistes » qui concernent la vision à court terme des stratégies de standardisation avec les solutions à mettre en place : matériel, façon.

« Facilitateurs de la standardisation » : type de facilitateur, conditions à respecter et instaurer.

Ainsi, grâce à la construction de cette matrice d'analyse, nous avons pu relever l'ensemble des réflexions des personnes interviewées de manière rigoureuse.

#### **2.2.4 Explicitation des questions posées**

Comme dit précédemment, les questions posées au cours des différentes entrevues sont légèrement différentes à chaque fois, se basant surtout sur le discours du participant. Une liste non exhaustive des questions posées est présentée dans ce qui suit :

*Cela fait combien de temps que vous êtes sur le marché de la préfabrication modulaire volumétrique ?*

*Combien de projets avez-vous pu réaliser grâce à cette méthode de construction ?*

*Quel est le type de contrat qui est favorisé avec ce type de méthode de construction ?*

*Quelles sont actuellement, selon vous, les innovations qui existent dans la préfabrication modulaire volumétrique ?*

*Qu'est-ce que vous voyiez comme standardisation idéaliste à mettre en place pour faciliter l'accès à la préfabrication modulaire volumétrique ?*

*Quelle standardisation peut être implémentée dès à présent et déjà être bénéfique pour l'industrie ?*

*Qui devrait amener et gérer l'instauration d'une telle standardisation ?*

Ainsi, en se basant sur cette liste non exhaustive de questions, nous avons pu recueillir les avis et les propositions des participants interviewés.

## **CHAPITRE 3**

### **DONNÉES**

Ce chapitre sera consacré à l'explication du contexte de nos entretiens, à la présentation des participants et à la description de notre méthode de collecte des données.

#### **3.1 Contexte**

Le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) assure la cohérence des pratiques locales avec les normes canadiennes et internationales tout en intégrant les réalités réglementaires québécoises. Bien que les principaux référentiels techniques, comme la CSA A277-F16 et la CSA Z252:23, relèvent du Groupe CSA, le BNQ agit comme interface provinciale pour leur application et développe des standards complémentaires adaptés au contexte local. Toutefois, son rôle dans la construction modulaire volumétrique reste limité, ce qui contribue à l'absence de standardisation, liée également à la jeunesse du marché, à la diversité des systèmes constructifs, au manque de consensus et à la fragmentation réglementaire.

Une norme est un document officiel élaboré par un organisme reconnu, comme le BNQ, la CSA ou l'ISO, qui fixe des exigences techniques afin d'assurer la qualité, la sécurité et l'interopérabilité. Elle peut être volontaire, mais devient souvent obligatoire lorsqu'elle est intégrée dans la réglementation. Un standard, en revanche, est une pratique commune ou un référentiel technique adopté par l'industrie pour uniformiser les méthodes, sans nécessairement avoir de valeur juridique. Ainsi, la norme est plus officielle et contraignante, tandis que le standard repose sur le consensus du marché.

Comme mentionné précédemment, afin de collecter certaines pistes de standardisation pour la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois, il a été choisi de réaliser des entrevues semi-dirigées. Pour recueillir le plus d'avis possibles sur les possibilités, nous avons choisi d'interroger 5 types d'acteurs dans le milieu de la préfabrication en ossature légère en bois au Québec. Nous avons interviewé des entrepreneurs généraux, des architectes, des

manufacturiers, des membres d'association ainsi qu'un chercheur. Cet échantillon d'experts a permis de réaliser 9 entrevues au total. Le choix des personnes interviewées a été influencé par des recommandations du milieu professionnel et des relations professionnelles préexistantes.

Ces entrevues ont été effectuées de décembre 2024 à mars 2025. Elles ont été réalisées en majorité en français par visioconférence et ont duré en moyenne 45 minutes. La plupart des rencontres ont été enregistrées numériquement pour faciliter la retranscription sachant que nous prenions note de ce qui se disait au cours de l'entrevue. Le but des retranscriptions est de faciliter l'analyse des réponses des participants. Les données de ces entrevues ont été rassemblées dans une matrice d'analyse (Annexe I), afin de permettre une meilleure interprétation des données et de leur évaluation.

### **3.2 Participants**

Durant les phases d'un projet, différents acteurs interviennent. Dépendamment du mode de construction, ces intervenants interagissent à différentes temporalités.

Dans un mode 'traditionnel' de contrat en Conception Appel d'Offre Construction (*Design-Bid-Built* en anglais), pendant la phase de conception, seuls les professionnels (architectes, ingénieurs) sont interrogés afin d'établir les dessins de conception du projet. Puis, ce sont les entrepreneurs généraux qui devront répondre à l'appel d'offre et qui, s'ils sont acceptés par le client, devront établir d'autres appels d'offres auxquels, les manufacturiers entre autres, devront soumissionner.

Cet ordre d'intervention est modifié lorsque le projet n'est pas mené de manière 'traditionnelle'. Par exemple, dans un mode Conception-Construction, ces trois types d'acteurs (professionnels, entrepreneurs généraux, manufacturiers) sont rassemblés dès le départ pour travailler ensemble. Les disparités entre les collaborations sont explicitement représentées sur les figures 4 et 5.

Le premier schéma explicite que les entrepreneurs généraux, professionnels et manufacturiers interviennent à des temporalités différentes lors d'un projet. Le second schéma met en évidence l'intégration et la collaboration de ces mêmes acteurs dès le commencement du projet. Cette dualité dans la temporalité des interventions souligne l'intérêt d'interroger ces parties prenantes dans le cadre de notre sujet de recherche.

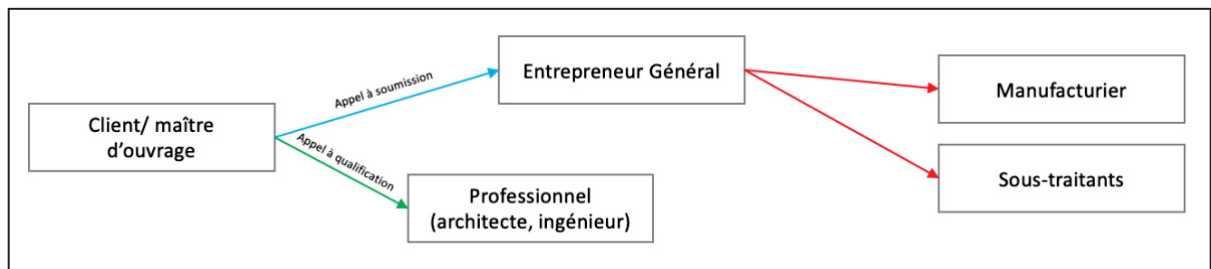


Figure 3.1 Schéma simplifié des liens dans un mode de réalisation 'traditionnel'

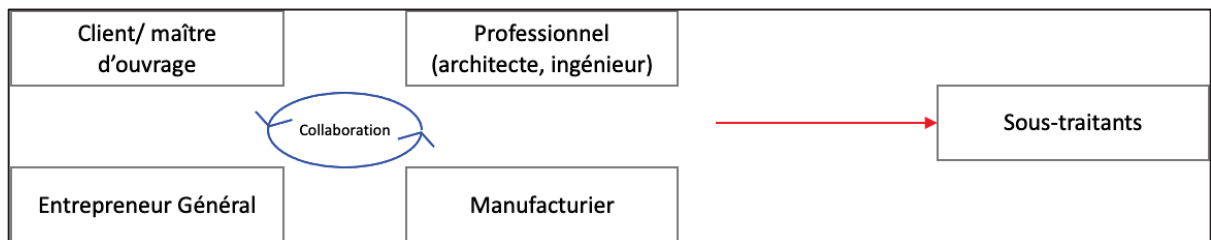


Figure 3.2 Schéma simplifié des liens dans un mode de conception-construction

### 3.2.1 Architectes

Les architectes font partie intégrante d'un projet puisque ce sont les principaux concepteurs. Si un projet prévoit initialement d'employer la préfabrication modulaire volumétrique, c'est le rôle de l'architecte de concevoir les plans adéquates répondant aux attentes du client. Puisque les architectes sont au centre de la conception et du bon déroulement du projet, il est intéressant de les interroger sur la question de la possibilité de la mise en place d'une certaine standardisation.

Pour cela, nous avons interrogés deux architectes fondateurs de leur propre cabinet d'architecture, chacun dans le secteur de Montréal et son agglomération. Bénéficiant de plus de 15 ans d'expérience en préfabrication, l'un d'eux apporte une perspective résolument avant-gardiste en ce qui concerne la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique. L'autre firme, plus jeune, place la modularité et la standardisation au cœur de sa vision de conception pour l'ensemble de ses projets.

### **3.2.2 Manufacturiers**

Les manufacturiers sont pertinents à interroger car ce sont des acteurs clés qui fournissent les modules et dont la production sera impactée si une certaine standardisation est implémentée. Puisque ce sont eux qui fournissent le module volumétrique dont le taux de finition peut être conséquemment élevé, leur avis et propositions sur l'implémentation d'une quelconque standardisation sont fondamentaux.

Pour se faire, nous avons interrogé deux personnes travaillant au sein de deux grandes entreprises de préfabrication familiales québécoises ayant des postes à hautes responsabilités : le premier – le directeur des opérations et stratégie d'une entreprise familiale aux activités diversifiées et principalement située dans la région de Matane; la seconde - la directrice exécutive de produit et innovation d'une importante entreprise familiale opérant principalement dans la région de Québec, avec une portée de projets plus large.

### **3.2.3 Entrepreneurs généraux**

L'entrepreneur général en construction est le maître d'œuvre chargé de la réalisation complète d'un projet, garantissant sa conformité technique, financière et contractuelle. Il coordonne les sous-traitants, supervise les délais et les coûts, et assume une obligation de résultat devant le maître d'ouvrage, le client.

Pour rendre compte de leurs expériences et expertises, nous avons interrogé : un vice-président du secteur privé d'une entreprise de construction, et un gérant de l'innovation, recherche &

développement et projets spéciaux de la même compagnie. Ainsi, chacun d'eux intervient différemment au sein de l'entreprise, le premier a plus d'impact sur les projets par son positionnement hiérarchique, alors que le second occupe une place plus importante dans le secteur de la recherche et développement.

Leur activité se concentre principalement sur Montréal et son agglomération, bien qu'ils aient occasionnellement soumissionné pour des projets ailleurs dans la province et au Canada.

#### **3.2.4 Associations**

Le rôle des associations n'est pas d'intervenir directement dans les phases de conception de projets de préfabrication modulaire volumétrique en bois. Leur participation est proactive et généralement liée aux possibilités de soumissions ou à des aides pour la conception.

Par exemple, l'association que nous avons contacté pour réaliser des entrevues est une association dont le but est de promouvoir les produits du bois du Québec à travers leur exportation. Ainsi, leur travail ne se concentre pas sur un certain secteur géographique mais bien sur les possibilités d'exportation. L'association a pour but d'agrandir les possibilités des fabricants de pourvoir à des projets en bois en élargissant leur portée à travers le monde.

Pour cela, nous avons interrogés deux intervenants de cette association dont l'un est consultant pour l'exportation aux États-Unis et l'autre est directeur dans la division construction bois.

#### **3.2.5 Chercheur**

Finalement, le dernier participant est un chercheur, détenteur d'un doctorat. L'implication, dans cette étude, d'un chercheur peut paraître atypique. Cependant, son travail de recherche réalisé sur de nombreuses années s'apparentent sur de nombreux points à ce que nous voulions démontrer.

En effet, l'intitulé de sa thèse est « Représentations sociales associées à la construction en bois massif et à la construction préfabriquée en ossature légère au Québec ». Dans sa thèse, il a pu réaliser de multiples entrevues avec le même type de participants que nous. Ainsi, son expérience nous a permis d'obtenir une vision globale de la faisabilité et de l'acceptation d'une standardisation par les différents acteurs du secteur.

### **3.3 Matrice d'analyse des données**

Comme dit précédemment, les réponses des participants ont été regroupées dans une matrice d'analyse (Annexe I). La lecture de cette matrice permet de consulter les résumés des réponses fournies par les participants. Les questions auxquelles ils ont répondu sont en lien avec les différentes catégories et sous-catégories de la matrice et se trouvent en Annexe I. Afin de faciliter l'interprétation du tableau, un code couleur a été utilisé pour mettre en évidence les divergences et convergences dans le discours des participants. Pour préserver l'anonymat des participants, nous ne les nommerons pas explicitement, nous leur avons attribué des codes comme MA1, EG1, ARC1, DOC, REP1 pour désigner respectivement : les manufacturier, entrepreneur général, architecte, chercheur et représentant de l'association interrogés.



## **CHAPITRE 4**

### **ANALYSE DES DONNÉES**

Comme noté précédemment, les 9 entrevues que nous avons réalisées ont été résumées et répertoriées dans la matrice d'analyse en Annexe I. Pour rappel, ces participants se divisent en 5 catégories : des entrepreneurs généraux, des architectes, des manufacturiers, des représentants d'association et un chercheur. Cette collecte de données permet de rendre compte des similarités et différences des réflexions des participants, tout en mettant en lumière leurs propositions pour l'implémentation d'une certaine standardisation dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois.

#### **4.1 Spécificité des participants**

Cette partie des entrevues se retrouve sous la partie bleue de la matrice d'analyse et permet de contextualiser chacun des participants par rapport à leur niveau d'implication dans l'industrie.

##### **4.1.1 Ancienneté et positionnement économique**

Chaque participant appartient à des catégories socioprofessionnelles différentes. Il est donc nécessaire de faire un état des lieux de leur ancienneté et de leur positionnement économique sur le marché.

En majorité, les participants s'intéressent à la préfabrication modulaire volumétrique depuis 5 ans environ. L'un des manufacturiers est lui sur le marché depuis près de 60 ans et les représentants de l'association depuis une vingtaine d'années. Même avec un échantillon restreint, nous pouvons observer que l'intérêt pour la préfabrication modulaire volumétrique est généralement assez récent. Ainsi, à notre avis, la recherche sur l'implémentation d'une certaine standardisation dans ce milieu est assez pertinente en ce moment, car elle permettrait d'établir dès maintenant de bonnes bases pour faire progresser de façon soutenue ce domaine de la construction.

Les participants proviennent d'entreprises de tailles variées, ce qui influence la portée de leurs propos. L'impact de leurs actions et de leurs perspectives sur les décisions futures sera proportionnel à l'envergure et à l'influence de leurs organisations respectives. Actuellement, l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique dans le but de fabriquer des bâtiments multi-résidentiels est assez récent. Ainsi, à part un manufacturier et un architecte dont la présence sur ce marché spécifique date d'il y a plus de 10 ans, la plupart peuvent être considérés représentant des petites ou moyennes entreprises. Cette affiliation permet de souligner le fait qu'ils sont émergents sur ce marché.

Les différents intervenants ont eu une première approche différente concernant la préfabrication modulaire volumétrique multi résidentielle. Pour l'un des manufacturiers, leur présence depuis des décennies sur le marché de l'unifamilial les a poussés à, aujourd'hui, s'intéresser au multi-résidentiel. Pour le second, cela a été initié par le souhait de se développer davantage, tout en sachant qu'il avait pour habitude de réaliser des bâtiments hôteliers ou institutionnels en modulaire. Pour l'entrepreneur général, l'accès à des projets nécessitant l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique en bois l'a incité à concevoir et à utiliser cette méthode de construction dans d'autres projets. Pour l'un des architectes, c'est également l'accès à un certain projet qui l'a mené à élaborer en modules. Ce projet l'a également contraint à concevoir des modules spécifiques à chaque fabricant, en raison de leurs capacités et possibilités distinctes.

Cette mise en contexte permet de prendre conscience que les participants proviennent d'entreprises plus ou moins expérimentées et dont le positionnement économique est différent dans le cadre de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois pour les bâtiments multi-résidentiels. Cette différence nous offre des perspectives variées sur la question de la standardisation.

#### 4.1.2 Contrats, modèles d'affaire et interaction client

Dans la mesure où l'ensemble des participants justifiait d'une expérience pratique de projets en préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois, il était légitime de les solliciter sur les aspects administratifs et contractuels inhérents à ces réalisations.

L'ensemble des participants nous ont rapporté que la majorité de ces projets utilisaient des contrats Conception-Construction (*Design-Build* en anglais). Ce type de contrat permet de rassembler en une seule entité les personnes gérants la conception ainsi que la construction. Cette entité peut être menée par un entrepreneur général ou bien un consortium, méthode privilégiée par les manufacturiers interviewés. Toutefois, selon les interviewés, les contrats de Conception-Construction sont relativement nouveaux et leur mise en œuvre reste difficile. Ces contrats exigent un investissement de temps considérable en amont pour la conception, ainsi qu'une maturité importante de l'industrie, encore trop attachée aux contrats 'traditionnels'. En effet, les contrats 'traditionnels' représentent encore la plus grande partie des appels d'offres auxquels répondent les architectes et entrepreneurs généraux que nous avons pu interroger. L'utilisation de ce type de contrat ne permet pas d'instaurer une collaboration entre les acteurs clés d'un projet. En parallèle des contrats Conception-Construction, l'utilisation de contrats Conception-Construction Progressive (*Progressive Design-Build* en anglais) nous a été rapporté comme étant une meilleure alternative. Ce type de contrat repose sur le même modèle de collaboration que le contrat Conception-Construction. Toutefois, ce contrat offre l'avantage d'implémenter un partage des risques entre les acteurs clés, ce qui est considéré comme essentiel par l'entrepreneur général que nous avons interrogé. Ce qu'il faut retenir de cette partie des entrevues, c'est l'accord unanime des participants sur le caractère non viable du maintien des contrats 'traditionnels' dans les projets de préfabrication modulaire volumétrique, et leur recommandation d'adopter davantage les contrats de Conception-Construction.

De plus, l'un des éléments évoqués par les manufacturiers, entrepreneur général et architecte est que l'utilisation trop fréquente de contrats 'traditionnels' les relègue au rôle de sous-traitants. Leur modèle d'affaire se limite donc à ce rapport hiérarchique qui les exclut des

décisions en amont. Ces relations de sous-traitance ne favorisent pas l'engagement d'une collaboration solide, nécessaire pour ce type de méthode de construction. Afin de pallier ce manque de collaboration, certains partenariats de confiance ont émergé entre entrepreneur général et manufacturier, ainsi qu'entre architecte et manufacturier. Les entrepreneurs généraux et architectes qui ont partagé ce processus expliquent que ce rapport de confiance leur permet de répondre plus rapidement aux appels d'offres avec des conceptions réalisables par leurs manufacturiers partenaires. Cette entente leur permet également, dans le cas du manufacturier, de s'entendre sur le partage des risques et des prises de décisions tout au long de la fabrication.

Le dernier point essentiel à considérer dans ces relations contractuelles est l'interaction avec le client. Pour les manufacturiers, leur positionnement concernant l'installation sur site est un facteur de différenciation majeur qui peut influencer le choix du client. Les représentants de l'association sont également en première ligne dans la relation client. Ils accompagnent les clients dans l'identification des manufacturiers capables de répondre à leurs attentes. De plus, dans le cas des représentants que nous avons interviewés, leur association assure la liaison entre les professionnels, manufacturiers et centre de recherches afin de développer des guides techniques pour faciliter les clients à concevoir des projets optimaux.

En conclusion, ces entrevues mettent en évidence un accord global sur la nécessité de faire évoluer les types de contrats de construction employés dans le cadre de projets de préfabrication modulaire volumétrique. De plus, les participants s'entendent à dire que les relations de sous-traitance entre entrepreneurs généraux et professionnels ne sont plus viables dans la construction en générale.

#### **4.1.3 Innovations actuelles, différences architecturales et techniques**

Avant de déterminer quel type de standardisation mettre en place, nous nous intéressons aux innovations actuelles dans cette industrie, ainsi qu'aux différences architecturales et techniques entre les différents modules qui peuvent exister.

Les manufacturiers interviewés s'accordent sur le fait qu'actuellement, des efforts sont faits pour améliorer et rendre plus performante la machinerie de leurs usines. Pour l'un d'eux, il a même été question d'investir dans la création d'une nouvelle usine afin que qu'elle soit spécialement optimisée pour la production de modules volumétriques. Pour l'autre, l'accent est mis sur la gestion complète de la fabrication: la fabrication en usine, le transport sur site et l'installation des modules par des équipes du manufacturier. Nous avons également abordé avec eux la question de l'automatisation de la chaîne de production dans le contexte des futures innovations. De l'avis des manufacturiers, la robotisation est un investissement majeur que le secteur ne semble pas prêt à assumer dans un avenir proche.

En ce qui concerne les innovations adoptées par les entrepreneurs généraux, ce sont surtout les partenariats à long terme qui sont jugées bénéfiques pour ces derniers. Cette collaboration associée à la mobilisation d'équipes techniques spécifiques est une innovation qu'ils développent actuellement pour répondre aux attentes du marché. L'un des architectes interviewés a confirmé que ce partenariat avec un manufacturier spécifique facilite et accélère sa réponse aux appels d'offres, grâce à sa connaissance des possibilités techniques de ce fabricant. Enfin, le dernier point d'accord entre cet architecte et un des représentants de l'association, concerne la mise en place d'une certaine hybridation de cette méthode de construction. En effet, de nombreux projets modulaires volumétriques sont entrepris par défaut, dans le but d'améliorer l'image qu'à le client. Toutefois, l'utilisation exclusive de la préfabrication modulaire volumétrique n'est pas toujours optimale. Ces participants suggèrent de combiner panneaux 2D et modules 3D pour profiter des avantages de chaque méthode.

Compte tenu de la grande variété d'options disponibles pour la préfabrication modulaire volumétrique, nous avons interrogé les participants sur les différences architecturales et techniques qui peuvent en résulter. Les deux manufacturiers interviewés ont exprimé des points de vue divergents : le premier, qui ne s'estime pas actuellement en mesure de répondre seul à des projets de multi-logements d'envergure, y voit un intérêt à la collaboration avec d'autres, contrairement au second, une entreprise plus ancienne et de plus grande taille, qui se considère capable de gérer de tels projets et doute de la pertinence d'une collaboration entre

manufacturiers. Pour les architectes interviewés, il serait particulièrement bénéfique d'améliorer la conception des produits, la répétition de ces conceptions et la mise en place d'une standardisation du design. L'un d'eux a également souligné que l'utilisation du modulaire est parfois insuffisamment réfléchi en amont, ce qui conduit à la réalisation inutile de certains projets en modulaire volumétrique. De plus, concevoir des modules réutilisables dans d'autres projets serait idéal pour la mise en place d'une standardisation. Et inversement, instaurer une standardisation permettra de pouvoir réutiliser des conceptions modulaires. Cependant, cette répétitivité est délicate à implémenter puisque chaque projet est unique, vu les contextes et terrains d'implantation différents.

En conclusion, il ressort de ces entrevues que de certaines innovations comme une plus grande machinerie ou l'instauration de partenariat émergent sur le marché de la préfabrication modulaire volumétrique. Ces innovations ne sont certes pas à la même échelle que celles sur le continent européen mais elles ne sont pas, pour autant à négliger. Les différences techniques et architecturales avec ce qui se fait couramment actuellement, dont les participants nous ont fait part, ne sont pas à sous-estimer car elles pourraient expliquer les raisons pour lesquelles un projet échoue et pourquoi une standardisation est difficile à mettre en place.

## **4.2 Proposition idéaliste d'une standardisation à long terme**

Afin d'encourager les participants à fournir des exemples de ce qui pourrait être standardisé, nous avons opté pour une approche ouverte dans nos discussions. Nous leur avons donc demandé ce qu'idéalement ils aimeraient voir de standardisé dans la préfabrication modulaire volumétrique. À la suite de cette question, 4 points ont émergé des discussions.

### **4.2.1 Enjeux sur la productivité et les processus**

Un point crucial, souligné par la majorité des participants, concerne la productivité et les processus de fabrication. Tout d'abord, il nous a été souligné, à plusieurs reprises que les enjeux de la standardisation varient selon les acteurs du secteur. Lorsque sur un même projet des manufacturiers souhaitent obtenir rapidement des profits et des rendements, alors que, les

concepteurs, préfèrent prendre plus de temps pour établir une standardisation viable afin de réaliser un profit tout aussi important mais dans de futurs projets. Le chercheur nous a également fait part de ce sentiment, actuellement les enjeux sont différents pour chacune des parties prenantes tant sur ce que l'on veut standardiser que sur la préfabrication modulaire volumétrique.

Comme dit précédemment, l'un des manufacturiers aspire à réaliser davantage de collaboration avec ses pairs. Son but étant d'accroître sa productivité sur de plus grands projets afin d'augmenter le nombre de modules, d'investissement, et finalement, instaurer une certaine standardisation. L'autre manufacturier (représentant d'une entreprise plus grande et expérimentée) a évoqué la nécessité d'optimiser la production afin de centraliser les efforts pour la fabrication des modules. L'objectif étant d'optimiser au maximum les étapes de sa chaîne de production où la standardisation pourrait optimiser les délais comme, par exemple, le montage de murs des modules. Finalement, pour les entrepreneurs généraux et représentants de l'association, le principal obstacle à la productivité réside dans les préjugés sur la préfabrication modulaire volumétrique et le manque de maturité de l'industrie en matière de gestion financière et de délais. Actuellement, le marché n'envisage pas les investissements d'aujourd'hui en fonction des bénéfices de demain. Les clients ne saisissent pas que les avantages de la préfabrication modulaire volumétrique, tels qu'un gain de temps considérable et des économies importantes, ne sont pas toujours immédiats. Ces avantages n'apparaîtront que plus tard lorsque cette méthode de fabrication sera plus ancrée dans les pratiques.

Dans un scénario utopique, une standardisation des processus permettrait d'améliorer et d'optimiser la productivité, qu'il s'agisse d'un aménagement des finances, des échéanciers, d'une meilleure collaboration ou d'une optimisation accrue de la production au sein d'une usine.

#### **4.2.2 Gestion de l'implication sur le marché**

Le deuxième point qui a été relevé par l'ensemble des participants est le manque d'implication sur le marché dans cette méthode de construction. Ainsi, l'implémentation d'une standardisation viable, serait difficile. En effet à plusieurs reprises, le manque de maturité de l'industrie de la construction face à cette méthode de construction était à déplorer. Selon l'entrepreneur général, l'un des architectes et le chercheur, le secteur manque de maturité. Les bénéfices recherchés, la gestion des risques sont encore inadéquates, et par conséquent les attentes liées à l'implémentation de la préfabrication modulaire volumétrique diffèrent en fonction des acteurs. Toutes les questions concernant l'acceptation, le temps et l'engagement alloués à la préfabrication modulaire volumétrique ne sont pas assez considérées présentement. De plus, comme relevait un manufacturier, les opportunités et les demandes sont différentes. La plupart du temps, cette demande s'avère inappropriée puisqu'elle représente des projets qui utilisent le modulaire volumétrique uniquement pour la renommée et non pour les bénéfices. Il n'existe pas réellement d'opportunités viables actuellement selon ce participant. Par conséquent, la demande du marché est inadéquate car elle ne permet pas d'assurer un carnet de commandes réel pour les manufacturiers. En effet, le second manufacturier a souligné que la mise en place d'une standardisation efficace nécessite d'assurer un volume de commandes conséquent, permettant ainsi de constater les bénéfices économiques qui en découlent. Ce même constat a été démontré par l'un des représentants de l'association. Assurer les commandes pour un manufacturier, c'est assurer un certain volume de modules et donc de répétitions qui permettront d'optimiser les coûts et les délais.

En conclusion, les participants s'accordent sur le fait que l'implication actuelle du marché de la construction dans la préfabrication modulaire volumétrique en ossature bois est insuffisante et marginale, ce qui constitue un frein à la standardisation.



### 4.2.3 Enjeux sur le code du bâtiment et les contrats de construction

Comme mentionné précédemment, les participants ont souligné le rôle important du code du bâtiment et des contrats de construction pour faire évoluer les mentalités de l'industrie face à cette méthode de préfabrication.

Les entrepreneurs généraux, architecte et représentant de l'association s'entendent à dire qu'il faudrait utiliser davantage les modes de réalisation adéquats pour permettre de faire intervenir plus tôt les personnes compétentes lors d'un projet. Dans cette perspective, il est nécessaire de promouvoir les contrats Conception-Construction plutôt que les contrats 'traditionnels'. D'autres ajustements au code de la construction concerneraient également la valorisation du modulaire volumétrique, afin que cette méthode de fabrication soit plus répandue et moins marginale. Ainsi, selon ces participants, il faudrait, par exemple, adopter un code du bâtiment axé sur la performance plutôt que sur la prescription. Cela permettrait aux constructeurs de ne plus devoir suivre des étapes précises afin de répondre aux exigences, mais plutôt que le produit final vérifie une certaine exigence.

Ce changement de mentalité est crucial si on souhaite voir se développer une standardisation viable dans ce secteur de l'industrie. Finalement, et de manière plus technique, l'un des manufacturiers nous a fait part que l'homologation et la certification des systèmes construits sont des processus longs, coûteux et répétitifs compte tenu qu'ils doivent les réaliser pour chaque nouveau projet même si l'un des systèmes est réutilisé. Ainsi, en standardisant ce processus d'homologation et de certification, en laissant la liberté aux manufacturiers, cela permettrait à la préfabrication modulaire volumétrique de se faire une plus grande place sur le marché selon le participant interviewé.

Dans cette partie des entrevues nous pouvons donc voir qu'une majeure partie des participants s'entendent à dire qu'actuellement, le code du bâtiment ne permet pas de faire évoluer les mentalités afin d'accélérer l'acceptation de la préfabrication modulaire volumétrique. Cependant, il est intéressant de savoir qu'un des architectes et le chercheur n'étaient pas du

même avis concernant le code du bâtiment. Selon eux, puisque le code permet déjà de construire de 4 à 6 étages en bois léger, il n'est pas nécessaire de le modifier davantage, pour que les constructeurs arrivent à travailler avec. De plus, à l'heure actuelle, ce code s'adapte en fonction des utilisateurs, des guides techniques sont mis à disposition afin de résoudre les problèmes que pourraient rencontrer certains professionnels. Donc finalement, les avis sont mitigés puisque les visions sont différentes concernant les possibilités que permet le code du bâtiment actuellement.

#### 4.2.4 Points d'intérêt sur le design des modules et les connexions

Le dernier point important pour certains participants en matière de standardisation concerne le design des modules comme les dimensions et les connexions. L'un des manufacturiers évoque qu'il est nécessaire d'optimiser les typologies afin d'être plus réactif, à l'avenir, lors des appels d'offres. L'un des entrepreneurs généraux nous rapportait que, l'idéal serait de mettre en place des modules dont les dimensions sont standardisées. Cette standardisation permettrait de mieux gérer les installations MEP qui présentent actuellement les zones où il y a le plus d'enjeux et de travail à réaliser. Ainsi, en standardisant la dimension des modules, le manufacturier devra s'adapter au plan de conception fourni et non l'inverse. Cette meilleure gestion des installations MEP est également ressortie lors d'une entrevue avec un architecte. Celui-ci nous faisait part qu'en allouant plus de temps à la conception d'un projet en modulaire volumétrique cela permettrait de gagner en qualité architecturale. L'architecte peut concevoir l'agencement des espaces et du mobilier fixe en amont afin d'éviter les appartements avec couloirs centraux (considérés comme une caractéristique architecturale non-désirable). Les représentants de l'association, eux s'accordent à dire que l'une des stratégies de diffusion serait le développement d'un logiciel (i.e. un *plug-in* dans Revit ou CADWork) permettrait plus facilement de faire le lien entre les possibilités des manufacturiers et le développement conceptuel des architectes. En effet, le manufacturier fournirait les éléments et systèmes produits par son usine et l'équipe de conception pourrait travailler directement avec ces éléments là sur ces logiciels de conception. De plus, cette interconnexion permettrait également

de réutiliser des designs préétablis afin de répondre plus rapidement aux projets de multi-logements.

Pour finir, il existe des opinions partagées concernant les connexions entre les modules. Selon l'entrepreneur général et le chercheur, il serait très avantageux de standardiser les connexions entre modules, car cela permettrait de développer un système universel facilitant l'obtention des certifications d'étanchéité à l'eau et au feu. Cependant, l'un des manufacturiers et architectes s'entendent sur le fait que développer un tel système ne serait pas pérenne puisque chaque manufacturier possède déjà sa propre méthode de fabrication et donc, ne peut pas tout changer pour mettre en place une connexion standardisée des modules.

Ainsi, cette partie des entrevues nous permet de voir que les avis sont quelques peu partagés. Selon les personnes interviewées, il faudrait mettre en place une certaine standardisation des designs des modules tout en ayant conscience du caractère unique de chaque méthode de fabrication des manufacturiers.

#### **4.3 Proposition réaliste de l'implémentation d'une standardisation à court terme**

L'objectif de cette recherche étant de proposer une première étape vers la standardisation, nous voulions connaître quels en seraient, selon les participants, les centres d'attentions sur lesquels nous devions nous attarder.

Il est important de souligner que les entrepreneurs généraux étaient assez sceptiques quant à la mise en place d'une standardisation viable. Pour eux, l'industrie est encore trop immature et les discussions entre manufacturiers, entrepreneurs généraux, concepteurs et clients encore trop peu présentes. L'un des architectes s'interroge également sur la décision de réaliser un projet en préfabrication modulaire volumétrique, sur le partage des risques et sur la prise en compte des intérêts de toutes les parties prenantes. En effet, actuellement, ce sont surtout les clients qui décident de choisir cette méthode de construction, ce qui aboutit à des projets parfois peu exemplaires par rapport à ce que peut fournir la préfabrication modulaire volumétrique. Si

l'architecte choisit de réaliser le projet en préfabrication modulaire volumétrique, est-ce à lui de prendre en charge tous les risques qui en découlent ? Ainsi, les problèmes liés aux risques et à l'absence de maturité de l'industrie retiennent ces participants à réfléchir à une possible standardisation. En effet, la question de qui devrait être le premier à standardiser est problématique pour ces participants puisque cela peut être coûteux et comporter des risques. L'exemple de Katerra (2015-2021) illustre parfaitement ce dilemme : son ambitieuse tentative de standardisation industrielle et d'intégration verticale dans la construction, bien que technologiquement innovante, s'est heurtée à des coûts prohibitifs et à des risques opérationnels mal maîtrisés, menant finalement à son échec.

Néanmoins, pour l'autre architecte et le chercheur, implémenter des modules sanitaires standardisés serait une standardisation qui pourrait être mis en œuvre dès maintenant dans l'industrie. En effet, ces éléments sanitaires comportent le plus d'éléments critiques à installer (MEP et étanchéité) et donc leur standardisation et fabrication en usine permettrait d'anticiper les éventuels problèmes. De plus, dans la construction multi-résidentielle, l'unicité des modules sanitaires n'est pas nécessaire et n'est pas toujours exigée par les clients et les futurs résidents. La standardisation de ces modules sanitaires existe déjà en Europe et plus précisément chez Lindbäcks en Suède. Ces derniers proposent des emménagements sanitaires préconçus qu'ils installent rapidement dans leur module puisque les placements des MEP et la gestion de l'étanchéité sont déjà traités. Ainsi, il serait clairement possible de s'inspirer de la démarche qu'a suivie cette entreprise européenne pour développer des modules standardisés sanitaires afin d'implémenter une standardisation similaire dans l'industrie québécoise.

Un autre point de standardisation où les représentants de l'association et l'un des manufacturiers sont en accord est la mise en place d'un configurateur dans les logiciels de conception. Pour les premiers, l'implémentation d'un plug-in sur les logiciels de conception permettrait de faire plus rapidement le lien entre manufacturier et architecte. Ainsi, les problèmes de réédition des plans de conception par le manufacturier n'existeraient plus puisque les concepteurs travailleraient initialement avec les possibilités du fabricant. Le bénéfice, pour le manufacturier interviewé, serait la mise en place d'un configurateur, qui

faciliterait la programmation des méthodes de construction et d'assemblage en fonction de la typologie du produit demandé. Grâce à ce configurateur, la chaîne de production serait nettement plus optimisée et le manufacturier gagnerait en temps.

Ainsi, ce segment des entrevues révèle que l'implémentation d'une standardisation pour la préfabrication modulaire volumétrique est contraignante et exige des concessions. Un paradoxe émerge des entretiens avec les différentes parties prenantes : si l'industrie est considérée comme trop immature pour une standardisation généralisée de la préfabrication modulaire volumétrique, l'introduction de modules sanitaires standardisés est vue comme un moyen d'amorcer cette standardisation.

#### **4.4 Type de gouvernance, initiateur amenant et gérant cette standardisation**

Par les divergences que les propositions de standardisation ont permises de soulever, il a été légitime de se demander quel type de gouvernance ou d'initiateur pourrait amener et gérer ce type de standardisation. Sur ce point, l'ensemble des participants converge vers l'idée qu'il y a 2 entités qui doivent prendre des mesures : le gouvernement et les industriels eux-mêmes.

Le gouvernement doit être engagé pour implémenter davantage de projets faisant appel à de la préfabrication modulaire volumétrique pour les bâtiments multi-résidentiels. Cependant, l'un des manufacturiers a relevé que ces projets doivent toutefois être retravaillés pour éviter qu'ils ne soient perçus comme négatifs pour la préfabrication modulaire volumétrique. L'autre manufacturier nous rapporte que selon lui, sans cette gouvernance, ou sans un donneur d'ouvrage public, peu de projets en préfabrication modulaire volumétrique pourraient exister. Ainsi, pour mettre en place une certaine standardisation, il faudrait, avant tout, que le donneur d'ouvrage public mette en place un Programme Fonctionnel et Technique (PFT). Ce programme, focalisé sur la préfabrication modulaire volumétrique, permettrait d'intégrer des préqualifications nécessaires pour pouvoir avoir accès à des futurs projets utilisant cette méthode de construction.

Selon les architectes, les entrepreneurs généraux et le chercheur, la standardisation ne doit pas être uniquement l'affaire du gouvernement ; une collaboration accrue entre les parties prenantes est également nécessaire. Cela implique des discussions entre manufacturiers et professionnels, ainsi qu'une harmonisation des pratiques facilitée par l'implication d'associations. Pour rappel, sans association, il n'existerait pas de guides techniques ou tout autre aide permettant de répandre et de promouvoir la préfabrication modulaire volumétrique. Ainsi, cette écoute permet de travailler sur des guides de conception viables, de démocratiser les pratiques, de changer au fur et à mesure le code du bâtiment et les contrats de construction. Ainsi, les avis sont moins mixtes que dans les questions précédentes. Certes le gouvernement joue un rôle primordial dans cette redynamisation du secteur de la préfabrication modulaire volumétrique, mais pour s'apercevoir de réels changements, il est nécessaire que les principaux intervenants communiquent plus précisément et fréquemment.

#### **4.5 Discussion sur les entrevues**

L'ensemble des entrevues que nous avons mené ont été très enrichissantes pour notre recherche. Les avis mitigés sur les questions posées révèlent des attentes divergentes quant à la préfabrication modulaire volumétrique, et la nécessité de définir un terrain d'entente.

Les entrepreneurs généraux, architectes et le chercheur attribuent le manque de standardisation et les barrières mises à cet effet aux manufacturiers. Selon les architectes, puisque les manufacturiers sont surtout sur ce marché dans le but de faire le plus de profit possible, ils n'ont pas d'intérêt à s'intéresser aux multi-logements. En effet, les habitations unifamiliales sont les constructions qu'ils ont l'habitude de réaliser et qui leur permettent de faire le plus de profits. De plus, selon les architectes, entrepreneurs généraux, le fait que les manufacturiers vendent actuellement un service et non un produit empêche l'industrie de créer une standardisation viable et de répandre cette méthode de construction sur le marché. Il faut noter que cette critique touche surtout les plus gros manufacturiers de la région, il ne faudrait pas généraliser. Il est intéressant de noter que les représentants de l'association n'ont pas émis cette

critique, étant donné qu'ils travaillent la plupart du temps uniquement avec les manufacturiers et ne perçoivent donc pas les inconvénients de la même manière que les autres participants.

Il est également ressorti des entrevues avec les entrepreneurs généraux un fort désir d'innover, d'adopter de nouveaux types de contrats, d'accroître la collaboration et d'intensifier l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique. Pour autant, le manque de maturité de l'industrie et des clients est un frein considérable pour mettre en place ces changements. Les entrepreneurs généraux sont assujettis à réaliser toujours le même type de projets en acier ou béton, qu'ils réalisent via des contrats 'traditionnels' puisqu'ils ne participent pas aux phases préliminaires du projet. Ainsi, il est déroutant de voir que leurs paroles ne suivent pas leurs actions.

Cependant, il ne faut surtout pas négliger l'importance qu'ont les clients dans ce choix de méthode de construction. Bon nombre de participants nous ont fait part que ce sont surtout ces clients, qu'ils soient publics ou privés, qui font que l'instauration de la préfabrication modulaire volumétrique est plus ou moins aisée.





## **CHAPITRE 5**

### **DISCUSSION**

L'objectif de cette partie de notre recherche est d'établir un lien entre les conclusions de la littérature et des meilleures pratiques, et les données issues des entrevues.

#### **5.1 Similarités par rapport à la littérature et les meilleures pratiques**

La plus grande similarité que nous pouvons observer entre ce que nous ont fait part les participants et la littérature est surtout cette proposition de réaliser des modules sanitaires standardisés, compte tenu que c'est au niveau de ces éléments sanitaires que les installations MEP sont les plus critiques à réaliser. Pour autant, standardiser les emplacements, les dimensions de l'installation des MEP serait avantageux pour la production. De plus, les homologues manufacturiers suédois en ont prouvé l'efficacité. La standardisation de cette partie de la production devient donc une proposition concrètement réalisable. Ce qui est intéressant est de voir que cette stratégie de standardisation a été énoncée aussi bien par un des architectes que par le chercheur interviewé. De plus, les entrepreneurs généraux, l'un des manufacturiers et les représentants de l'association s'accordaient à dire que l'objectif dans la standardisation était de mettre en place une stratégie de répétitivité. Ainsi, avec ces modules sanitaires, les possibilités de répétition sont grandes puisque dans la conception de ces éléments, il n'y a pas nécessairement un besoin de concevoir un système complètement différent à chaque fois. Mettre en place un certain 'catalogue' de modules sanitaires permettrait de répondre à ce besoin de standardisation.

L'autre similarité assez importante que nous avons pu analyser est l'importance de l'implication du gouvernement dans l'instauration et la gestion de la mise en place d'une certaine standardisation. La majorité des participants s'accordait à dire qu'il fallait que le gouvernement soit impliqué dans cette démarche. Étant donné que le gouvernement et les donneurs d'ouvrage public sont les principaux donneurs d'ouvrage pour les projets de

construction multi-résidentielle et de grande envergure, ce sont avec eux que les discussions doivent être prioritairement engagées, comme nous avons pu le constater avec les initiatives des gouvernements britannique et japonais. Lorsque ces derniers sont impliqués, les mesures mises en place sont fortement suivies par les industriels. De plus, en Australie, le souhait d'instaurer une standardisation dans le secteur de la construction provient en partie d'initiatives gouvernementales, avec des mesures visant à accélérer ce processus.

## **5.2 Différences par rapport à la littérature et les meilleures pratiques**

Même s'il existe certaines similarités entre ce qui ressort de la littérature et ce que nous avons pu analyser dans nos entrevues, des différences notables sont à prendre en compte.

Ce qui ressortait clairement, c'est que la question de la standardisation avait déjà été abordée par certains participants. Par exemple, les architectes interviewés nous rapportaient qu'ils leur arrivaient assez fréquemment de se faire eux même la réflexion quant à l'implémentation d'une standardisation dans leurs conceptions. Cependant, pour les manufacturiers, l'adoption de cette démarche n'a pas toujours été une initiative interne ou une démarche qu'ils sont naturellement enclins à répéter. Le besoin de standardiser pour certains répondait au besoin de rapidité et d'efficacité de livraison pour le client. De la même manière pour les entrepreneurs généraux ne peuvent pas se prononcer quant au besoin de standardiser des éléments puisque cela dépend du niveau de collaboration du projet. La littérature met en évidence une demande de standardisation largement partagée par toutes les parties prenantes. Ainsi, il y a un certain décalage entre ce que nous avons pu analyser de nos entrevues et ce que d'autres études ont pu montrer. Il convient toutefois d'interpréter nos résultats avec prudence, étant donné qu'ils reposent sur un corpus de seulement neuf entretiens.

Ce qui ressort comme un point fondamental de nos échanges est le besoin significativement accru de collaboration entre les acteurs, ce qui n'a pas été mis tant en avant dans notre corpus de notre revue de la littérature. Cette collaboration à travers des contrats tels que Conception-Construction affecte positivement l'instauration d'une standardisation puisque l'ensemble des

parties prenantes peuvent s'exprimer dès le début d'un projet. De plus, une collaboration est également nécessaire lors de l'implémentation d'une standardisation viable en parallèle de discussion avec les gouvernements décisionnaires. Effectivement, plusieurs participants ont souligné la pertinence de mettre en place des tables rondes de discussion afin de favoriser un consensus sur les décisions à prendre. La collaboration s'est avérée un élément central et fréquemment évoqué lors de nos entretiens, soulignant son caractère essentiel aux yeux des acteurs. Il est surprenant de constater que les publications scientifiques consultées n'accordent pas une importance aussi significative à cet aspect.

Tableau 5.1 Tableau récapitulatif de la discussion entre littérature et entretiens

Catégorie	Éléments clés	Entretiens	Littérature / Pratiques internationales
Standardisation des modules sanitaires	Importance des éléments MEP à standardiser	Recommandée par plusieurs acteurs (architecte, chercheur, manufacturier)	Mise en œuvre efficace, notamment en Suède (Lindbäcks) (Smith et al., 2022)
Objectif de répétitivité	Mise en place de modules reproductibles via un « catalogue »	Jugée utile pour simplifier la production	Pratique courante dans l'industrie manufacturière (logique plateforme) (Wood, 2018)
Rôle du gouvernement	Implication dans la standardisation	Jugé essentiel par la majorité des participants	Observé au Royaume-Uni, au Japon, en Australie (Gharbia et al., 2023)
Initiative de standardisation	Origine de la démarche	Portée principalement par les architectes, moins par les manufacturiers	Généralement partagée entre les parties prenantes dès le départ
Niveau de collaboration	Importance de la coordination entre les acteurs	Jugé fondamental pour une standardisation réussie	Peu traité dans notre revue de la littérature sur la standardisation
Méthodes contractuelles	Influence des modes de réalisation	Les contrats collaboratifs (ex. Conception-Construction) favorisent la standardisation	Peu abordés dans notre revue de la littérature sur la standardisation
Référence à l'étranger	Inspiration de modèles internationaux	Modules sanitaires (Suède), collaboration (industrie de l'acier structural)	Fortement documenté dans les bonnes pratiques internationales

L'analyse des pratiques de standardisation dans diverses industries et à l'international met en lumière de nombreuses convergences avec les données recueillies lors des entretiens. L'exemple du module sanitaire standardisé de Lindbäcks illustre clairement comment les participants s'inspirent de modèles éprouvés à l'étranger. Par ailleurs, l'accent mis sur le renforcement de la collaboration fait écho aux stratégies adoptées dans l'industrie de l'acier structural.

En somme, l'analyse croisée entre nos entretiens et la littérature met en évidence un décalage significatif (comme le synthétise le Tableau 2). Toutefois, il est essentiel de contextualiser cette divergence, comme nous, au regard du nombre restreint d'entretiens (neuf) menés dans le cadre de cette recherche de maîtrise.

## CONCLUSION

Cette recherche sur la standardisation de la préfabrication modulaire volumétrique en ossature légère en bois a permis de mettre en évidence que la normalisation de cette pratique est plus complexe qu'il n'y paraît.

La revue de la littérature nous permet de répondre au premier objectif de notre recherche à savoir, comment implémenter une standardisation viable en s'inspirant de ce qui s'est déjà fait dans d'autres secteurs. Il ressort de cette revue de la littérature que l'industrie québécoise accuse un retard par rapport aux leaders européens. En effet, peu de standardisation existe dans le secteur de la préfabrication modulaire volumétrique ici au Canada. Alors qu'en Suède, cette pratique est normalisée depuis de nombreuses années grâce à l'automatisation avancée des chaînes de production et à l'utilisation de modules sanitaires standardisés. Ces leaders qui ont réussi à standardiser leur pratique en sont arrivés à un stade où ils deviennent les compétiteurs directs de la construction en béton et acier. Dans d'autres secteurs, c'est la nécessité de surmonter des crises qui a poussé à s'associer pour uniformiser les pratiques, ou bien ce sont les gouvernements qui, pour une question d'urgence, ont poussé à la normalisation des pratiques.

Les différentes entrevues que nous avons réalisées nous ont permis d'atteindre les autres objectifs fixés pour notre recherche. Notamment en comprenant les attentes spécifiques des participants interrogés, en identifiant les standardisations qu'ils jugeraient idéales et réalistes, et en déterminant qui, selon eux, devrait initier une telle dynamique. Ainsi, pour l'ensemble des participants, il est primordial d'instaurer une collaboration entre les différents acteurs dès le lancement des projets, tout comme de mettre en œuvre une uniformisation à l'échelle de l'industrie. D'après certains de ces participants, la normalisation de la pratique devrait passer par l'instauration de modules sanitaires standardisés puisque le travail le plus conséquent en matière d'équipements MEP concerne ces installations. Pour d'autres, la collaboration, l'instauration de nouvelles normes vis-à-vis des contrats de construction est primordiale afin de réfléchir à une standardisation technique de la préfabrication modulaire volumétrique.

Nous avons conscience qu'une des limitations de notre recherche est la taille assez faible de notre échantillon de participants. Toutefois, il est crucial de noter qu'il englobe toutes les parties prenantes significatives dans le contexte de la préfabrication modulaire volumétrique. Ainsi pour approfondir notre compréhension et identifier de nouvelles approches de standardisation, la réalisation d'entretiens complémentaires avec d'autres acteurs serait bénéfique. Une autre limite de cette recherche réside dans le fait que la matrice d'analyse utilisée lors des entretiens n'était pas aussi détaillée que celle présentée en Annexe I. Un temps plus conséquent aurait permis de réaliser des deuxièmes entretiens pour approfondir les propos des participants et aller plus loin dans leur perspective.

Par conséquent, afin d'enrichir les données futures, nous recommandons de réaliser un plus grand nombre d'entretiens dans le cadre de la continuité de cette recherche. Il serait également pertinent d'interroger de nouveaux profils de participants, tels que des clients potentiels et des promoteurs publics, pour obtenir leurs avis et suggestions concernant la faisabilité d'implémentation d'une standardisation dans le secteur de la construction. Par ailleurs, nous suggérons vivement d'approfondir l'étude du modèle suédois, perçu comme une référence pour l'industrie québécoise, en recueillant davantage d'informations auprès de cette entreprise. Cette recommandation pourrait également s'intégrer à une future recherche visant à approfondir nos résultats actuels.

Nous proposons comme future piste de recherche la création d'un modèle technique standardisé pour un module sanitaire. Ce modèle conçu par des étudiants par exemple en collaboration avec des architectes, des manufacturiers, des ingénieurs, permettrait à différentes parties prenantes de pouvoir baser la conception de leur projet sur un même module sanitaire standardisé. Dans cette optique d'uniformisation, une future recherche pourrait consister à proposer un plan technique standardisé aux manufacturiers. La validation de ce modèle passerait par un test en module réel, suivi d'une nouvelle consultation des parties prenantes.

ANNEXE I

MATRICE D'ANALYSE DES ENTREREVUES

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues

Contexte / Distinctions						
	Ancienneté	Positionnement économique	Types de contract utilisé	Modèle d'affaire	Adaptation aux modèles proposés	Processus d'accompagnement du client
Manufacturier						
MA1	~5 ans	~PME 2 usines + 1 en construction	Consortium			Business modèle, accompagnement au client, outil de travail, capacité de livraison, prix et qualité apportée
MA2	~65 ans	Grosse entreprise avec 75% en multi	Design-built Consortium	B2C pour uni B2EG pour multi donc comme sous-traitant		Propose un 'catalogue' pour l'unifamilial, donc se charge de faire les plans pour le client
Entrepreneurs généraux						
EG1	~5 ans	~PME pour le modulaire volumétrique depuis les 4 hôpitaux d'urgence pour le Covid	Progressive Design Built Design Built Contrat traditionnel (avec design built caché)	Peu de Design Built donc sous-traitent Partenariat efficace et de confiance avec un manufacturier	Contrat tradi + préfab modulaire = impossible donc essaye de contourner ce contrat mais client dubitatif	Répond aux appels d'offres, donc dépend de ce que demande le client
EG2	~5 ans	~PME pour le modulaire volumétrique depuis les 4 hôpitaux d'urgence pour le Covid	Design Built			

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Approche idéaliste de la standardisation: quelle standardisation faciliterait la production							
Innovations actuelles/ Investissements réalisés	Différence au niveau architecturale	Différence au niveau technique	Productivité/ processus	Implication sur le marché	Code/ Contrats	Design	Connexions
Machinerie  Investissement moyen Utilisation bois massif pour construire plus haut Consortium pour un regroupement entre entreprises efficace	Méthode de transport joue un petit rôle Taux de finition pour le nombre d'éléments standardisés	Pas la capacité pour faire projet multi au complet	Besoin collaboration entre plusieurs entreprises car peut répondre à de plus grands projets, donc + modules, + investissement, +standardisation	Opportunité ≠ demandes, mauvaise demande		Si une plus grande productivité, alors meilleure qualité apportée	
Machinerie  Présence sur plusieurs phases du projet: transport, installation sur- site		Peut répondre aux projets multi.	Optimisation production pour centraliser les efforts pour la production des modules Pas de pb au niveau automatisation juste repensé le besoin main d'oeuvre et experts	Garantir carnet de commande pour multi	Homologation des systèmes Certification à relaire à chaque fois: changer ça	Optimisation typologies pour être réactif / usine	Impossible car changements des méthodes de fabrication pour tous les manu
Une entreprise référente avec autre des responsabilités établi Possède des équipes techniques spécifiques			Repenser les échéances pour concevoir des projets de grande ampleur	Meilleure gestion des risques qui sont encore trop élevés Besoin de maturité face à la ? du modulaire (acceptation, temps, engagement)	Améliorer code = changer mentalité, augmenter projets Clarifier lorsque projet public pour faire modulaire volumétrique	Standardiser grosseur des modules pour gérer MEP (là où enjeux) et donc le manufacturier s'adapte	Enjeux sur les connexions: étanchéité, résistance aux feux, certifications pour ça (si une solution compliquée fonctionne autant la répéter)
Habitudes de travail avec des entreprises de confiance		Plus compliqué de mettre en place préfabrication modulaire volumétrique car client qui n'a pas l'habitude de cette méthode					



Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Approche réaliste de la standardisation: quelle standardisation pourrait être mise en place			Type de gouvernance/facilitateur qui pourrait amener/gérer à la standardisation	
Points de l'interrogé	Matériel	Façon	Types de facilitateur	Conditions à apporter
Besoin de collaboration entre les manufacturiers pour avoir de plus grands projets pour après mettre en place une standardisation			Gouvernement bien mais projet irréaliste qui n'entraîne que des préjugés sur préfab	Devrait faire un PFT Programme fonctionnel et technique plus sensible au modulaire volumétrique pour adapter une pré qualification
		Configurateur pour programmer les méthodes de construction, assemblage, typologie	Gouvernement, donneur d'ouvrage projet public, pas possible de faire sans eux	
Pas possible, industrie trop immature.	Limitations puisque chaque manu fournit # produits			Code pour de plus grands bâtiments Premiers gros investissements pour lancer la roue
Coordination entre manu, conception surtout	Souhait d'une plus grande répétitivité au sein d'un même projet	Réutilisation anciennes conceptions impossible car unicité d'un projet	Réunions entre manu et pro	Travail du manu pour passer de vente d'un service à vente d'un produit

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Contexte / Distinctions						
	Ancienneté	Positionnement économique	Types de contract utilisé	Modèle d'affaire	Adaptation aux modèles proposés	Processus d'accompagnement du client
Architecture						
ARC1	~ 5/15 ans	Jeune firme, souhaite faire du modulaire standardisé le plus possible (projet de l'AOCPÉ qui montre un bon exemple)	Contrat traditionnel (avec public, mais ça ne fonctionne pas) Design-Built, ou consortium mieux	Travail trop comme un sous-traitant, n'est pas assez mis dans la boucle décisionnaire Bon partenariat avec un certain fabricant		Souhait de faire plus des construction-conception pour que ça aille du sens
ARC2	~15 ans	Fait du préfab mais modulaire volumétrique dure à mettre en place	Contrat traditionnel Design built rarement			
Chercheur						
DOC1	~5 ans	Modulaire volumétrique pour le multirésidentiel quasiment inexistant car n'est pas ce qu'offre les manufacturiers ici	Entente gré à gré			

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Innovations actuelles/ Investissements réalisés				Approche idéaliste de la standardisation: quelle standardisation faciliterait la production				
Différence au niveau architecturale		Différence au niveau technique		Productivité/ processus	Implication sur le marché	Code/ Contrats	Design	Connexions
Travail avec un fabricant spécifique: même vision sur la standardisation du modulaire	Toujours réflexion sur standardisation (entonoire inversé) Hybridation panneau/volume	Besoin de ne pas faire du modulaire pour en faire (voir la plus value) Réflexion nécessaire sur les différentes échelles des projets		Problème encore de # entre le souhait de chacun: manu veutent faire rendement rapide, profit ++ concepteur veutent prendre du temps pour standardiser et donc voir profit dans le futur	Problème de maturité du secteur Besoin de devenir concurrent du béton et acier (comme en Suède)	Contrat tradi à design-built (engagement plus tôt des concepteurs x manu) Grande interrogation sur qui devrait décider de la préfabrication ou non d'un projet	Qualité améliorée puisque temps pour repenser les espaces (coulir pas forcément au milieu)	Faire des connexions universelles compliquées sachant que chaque manufacturier est #
De + en + de multi mais peu volumétrique (assemblage de panneaux surtout)	Nécessité d'un meilleur Design intelligent : pour standardisation et montrer la plus value du modulaire volumétrique aux manu. Répétition du design intéressant pour manu: gain de temps + répétitivité = argent + calendrier des commandes	Répétitivité des modules souhaités puisque long travail mais contexte des projets # qui rend difficile						
Propre à chaque manufacturier, chacun propose des modules plus ou moins différents				Attentes #: MA veut marge/profit avec un donc pas assez mature pour faire multi Besoin de changer de mentalité: pas vendre un service mais des produits, accepter la concu mais veut dire moins de bénéfices, faire des produits similaires pour faciliter la mise en place de projet pour Eg, pro et concepteur	Pas un problème de code selon le participant			Projet de doctorat qui propose des systèmes universels de connexion inter module

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Approche réaliste de la standardisation: quelle standardisation pourrait être mise en place				Type de gouvernance/facilitateur qui pourrait amener/gérer à la standardisation
Points de l'interrogé	Matériel	Façon	Types de facilitateur	Conditions à apporter
	Pods sanitaires Panneaux SIP brevetés		Dans le privé: possible facilement car beaucoup sont gagnants Dans le public: équipe de conception/ appels pour que des équipes proposent # solutions qui répondent à la demande	Plus de collaboration
Réflexion sur les décideurs (prise de risques, réponse aux # intérêts des intervenants, ...)	R&D fait par manu donc profit pour eux, pas de réflexion niveau conception	Guide de conception pas catalogue de produits Vision de la préfabrication comme une façon de réaliser pas une innovation	Associations pour harmoniser pratiques et normes et redynamiser secteur pas le bouleverser	Guide de conception pour faciliter manu Vendeur de produit pas de service Besoin d'une démocratisation des principes
	Pod sanitaire (pas besoin d'unicité à chaque fois) Faciliter la décision au EG par les manu pour aller vers le modulaire volumétrique		Pas gouvernement mais surtout association et pro: proposer des modules réutilisables par manu	Place du préfab comme un choix pour la plus value que ça apporte Plus d'offres pour compétitivité Changer contrat (plus bas soumissionnaire doit partir)

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

		Contexte / Distinctions				
	Ancienneté	Positionnement économique	Types de contract utilisé	Modèle d'affaire	Adaptation aux modèles proposés	Processus d'accompagnement du client
Associations						
REP1	~20 ans	Manufacturiers modulaires ou préfabriqués de panneaux qui peuvent exporter aux USA, mais aussi dans le monde (même si avec réglementations compliqué)				Pousser à exportation donc aide manufacturier à pourvoir à plus de projets
REP2	~15/20 ans	130 fabricants divisés en 5 groupes dépendamment ce qu'ils produisent comme produit de bois et savoir s'ils exportent ou non.				Association qui crée des liens entre pro/manu/CNRC pour créer guides (ou proposer plug-in pour faciliter travail archi/manu)

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Innovations actuelles/ Investissements réalisés		Différence au niveau architecturale	Différence au niveau technique	Approche idéaliste de la standardisation: quelle standardisation faciliterait la production				
				Productivité/ processus	Implication sur le marché	Code/ Contrats	Design	Connexions
Hybridation nécessaire Suivre bénéfices 2D et vice-versa Mesures ICC pour certification		Mauvaise implémentation du modulaire (suit automobile mais ne devrait pas)	Problème de préjugés qui est contre productif, mauvaise gestion financière qui ne pousse pas à standardiser	Pousser à faire plus de projets en modulaire volumétrique	Engagement des bonnes personnes plus tôt	Plug-in reliant archi/manu (mais c'est manu qui fournit données)		
En Europe: Utilisation BIM Intérêt pour l'empreinte carbone Automatisation Meilleur lien archi/manu				Assurer carnet de commandes pour manu Assurer volume pour répétition (donc économie et gain de temps)	Changement des mentalités, code qui ne le permet pas encore	Réutilisation design pour rapidité		

Tableau-A I-1 Matrice d'analyse des entrevues (suite)

Approche réaliste de la standardisation: quelle standardisation pourrait être mise en place				Type de gouvernance/facilitateur qui pourrait amener/gérer à la standardisation	
Points de l'interrogé	Matériel	Façon		Types de facilitateur	Conditions à apporter
				Associations aidées du gouvernement	
Initiative gouvernementale à renouveler comme projet inter universités		Répéter des projets déjà réalisés, s'inspirer de ce qui se fait déjà		Associations aidées du gouvernement	

## **ANNEXE II**

### **ARTICLE POUR LA CONFÉRENCE CRC-CSCE 2025**

Esslinger, C., Carbone, C. & Iordanova, I. (2025). Standardization of certain aspects of light-frame wood modular volumetric prefabrication for multi-storey residential buildings

## **Standardization of certain aspects of light-frame wood modular volumetric prefabrication for multi-storey residential buildings**

C. Esslinger<sup>1,2</sup>, C. Carbone<sup>3</sup> and I. Iordanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Construction, École de technologie supérieure, Montreal, QC, Canada

<sup>2</sup> École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, France

<sup>3</sup> École de Design, Université du Québec À Montréal, Montreal, QC, Canada

### **Abstract**

The affordable housing crisis presents a major challenge that requires immediate action. Often affected by inflation and stagnant productivity, this situation highlights the importance of innovation in construction to increase production capacity particularly in light-frame wood prefabrication. Offsite manufacturing in timber construction in Québec offers potential solutions to improve industry productivity while addressing long-standing issues of cost efficiency and environmental impact. After a comprehensive review of the existing literature on light-frame wood prefabrication and on the role of standardization in the modular prefabrication industry, this study will highlight how standardization increased collaboration and productivity in different regions of the world and will identify relevant directions and their local applicability. The objective is to understand why greater standardization in modular volumetric prefabrication has not yet been adopted in this field, to determine what could be standardized (according to interviewed expert stakeholders) and by whom. Semi-structured interviews were conducted with various stakeholders in the prefabrication industry to gather their perspectives and concerns regarding standardization. The collected data was analyzed using an analysis matrix highlighting divergent and convergent views among participants to identify effective methods for introducing a model for greater standardization in the light-frame wood modular volumetric sector.



## **0.1 Introduction**

### **0.1.1 Context**

Housing affordability and accessibility in major urban centers have reached critical levels. In Canada, between 2018 and 2022, housing costs increased by 20%. According to Statistics Canada (2024), nearly 50% of tenants in affordable housing reported facing significant financial strain in 2022, struggling to meet basic obligations. Such trends are not surprising, given that of the 15.5 million Canadian households, 1% are on waiting lists for social and affordable housing (Statistics Canada, 2024). These numbers underscore the pressing need for comprehensive policy solutions.

While this social crisis impacts individuals' daily lives, the construction industry also has to confront its enduring challenges: stagnating productivity and environmental footprint associated with conventional construction. For years, traditional construction has trailed in productivity as compared to other industries, such as manufacturing (McKinsey, 2024). This stagnation in performance has unfortunately persisted. Contributing factors include a shortage of skilled labor, the sector's relative unattractiveness as a career choice, and insufficient investment in innovation and modernization. To address these challenges, the construction industry should undergo a transformation, embracing new methodologies and increasing investment to improve its performance on all levels.

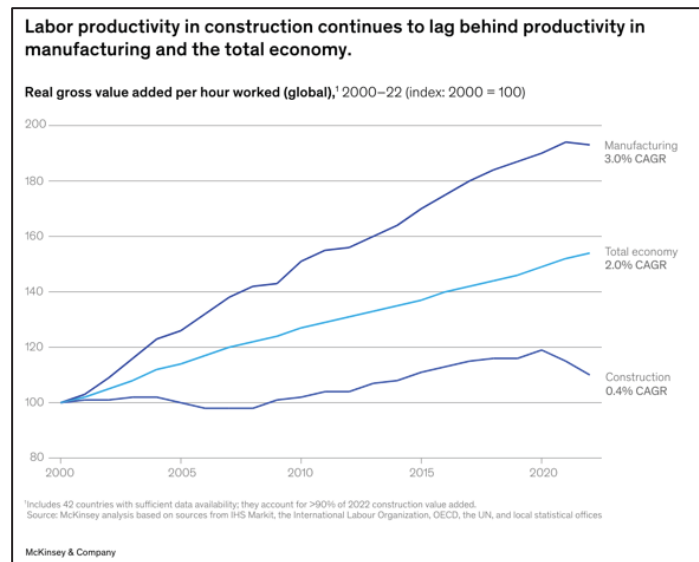


Figure-A II-1 Labour productivity trends in manufacturing and construction over the years taken from (McKinsey, 2024)

One of the key issues addressed by the present research is the productivity deficit within the construction industry. It also shines the light on the environmental implications of the sector. A recent report by the United Nations on the Global Status for Buildings and Construction states that “the building sector [...] is estimated to be responsible for around 21 percent of all global greenhouse gas” (United Nations, 2024). In addition to these extremely high emissions levels, the industry is one of the highest energy consumers worldwide, with “energy demand in buildings account[ing] for around 37 percent of total global energy demand and 37 percent of energy and process-related CO<sub>2</sub> emissions for buildings operation and materials production” (United Nations, 2024). These figures are particularly concerning, especially as environmental awareness begins to gain traction within the construction industry, enhancing the need for urgent and effective interventions.

### 0.2.1 Problem statement

Some of the prevailing challenges confronting affordable housing availability come from the extreme fragmentation of the construction manufacturing sector. Thus, when a multi-storey

residential building has to be built using light-frame wooden prefabricated structure, the manufacturers (usually small family-owned factories) are not able to reply to the bid together, as they have different production processes, and the final products will not be uniform. Thus, this research explores the potential of the standardization of certain elements of light-frame wood prefabrication for multi-storey residential buildings in order to build efficiently bigger projects such as multi-residential ones. The hypothesis is that the standardization of some aspects of the products, or of the production processes, would enhance the productivity by optimizing supply chains, allowing bulk purchasing and crosspollinating manufacturing strategies. A literature review will study the benefits of using prefabricated light-frame wood construction, how its standardization can mirror successful practices from other industries, and how other countries have addressed similar challenges. The objective of this study is to explore the reasons behind the present lack of an existing standardization, to identify the components that should be standardized, to determine who could lead this initiative, and to understand how it can be implemented. Interviews were conducted with various stakeholders to gauge their responses to research questions, in order to direct potential strategies for standardization in connectors, details, processes and supply chains.

### **0.3 Literature review**

#### **0.3.1 Benefits of prefabricated light-frame wood**

This literature review explores the impact of prefabricated light-frame wooden structures from both an environmental and a productivity perspective.

Various scientific studies have highlighted the environmental benefits of prefabrication, particularly when using wood. For instance, Svajlenka et al. (2017) conducted a comparative study showing that prefabricated panelized timber panels when compared to conventional masonry, reduce both embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions. These environmental parameters were assessed using the Life Cycle Assessment (LCA) method, specifically the "Cradle to Gate" approach (Svajlenka et al., 2017). Building on this, Evison et al. (2018) noted that some environmental benefits of Mass Timber Construction (MTC), such as its reduced carbon

footprint, are not yet fully valued by the market. While these studies do not specifically address modular prefabrication with light-frame timber, they provide strong evidence of the environmental advantages of wood-based construction. The use of light-frame wood in prefabrication allows manufacturers to minimize waste through controlled production environments. For example, some companies have repurposed small wood chips from the cutting process to create eco-friendly insulation. Additionally, a 2011 survey by McGraw Hill Construction found that 44% of companies believed construction site waste could be reduced by 5% through prefabrication (Gharbia et al., 2023). Similar benefits have been demonstrated in other industries as a result of a standardization, which was found to reduce variability in options and minimize errors in final products (Smith, 2011). These findings suggest that adopting standardized practices in prefabricated light-frame wooden elements could further enhance their environmental and operational efficiency.

Secondly, the use of prefabricated light-frame wooden building elements is reported to enhance productivity thanks to the relocation of construction in a controlled and protected area. By controlling the production environment in the prefabrication factory, it becomes possible to design, manufacture, assemble, and operate more efficiently. Wood (2021) pointed that “the productivity of factory staff is 80% relative to 20% productivity of on-site workers”, engaging higher productivity and reduced labor expenses. This productivity improvement can be attributed to the implementation of Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) and Design for Deconstruction (DfD), which substantially increase productivity. DfMA allows for a better design, which implies lower work off-site and rework on-site. Numerous studies have demonstrated that, in comparison with conventional construction methods, the implementation of offsite manufacturing, modern methods of construction (MMC), DfMA, and DfD has been shown to "improve quality [...], health and safety [and] productivity" (Abrishami & Martin-Duran, 2021). Prefabrication, in general, has been shown to enhance the safety of the workforce, whose operations have been streamlined: namely, workers, who act as prefabricators, no longer work in outdoor environments where the weather is unpredictable, or at elevated heights, where there is a higher risk of falling - instead, they work in a controlled environment, such as a factory (Wood, 2018).

The implementation of DfMA in the early stages of a project facilitates the optimization of manufacturing processes and of designs; a better design from the very beginning of a project contributes to enhanced cost control. The adoption of offsite construction, particularly in combination with modular prefabrication, has shown a "greater degree of predictability in cost" (Smith, 2016). Using DfMA enables to proactively consider manufacturing and assembly aspects within the project's design phase. This approach has the potential to reduce both time and cost by utilizing standard components, reusing previously designed elements, and employing modular design principles. (Cao et al., 2022).

The above points highlight the advantages of light-frame wood prefabrication in comparison with traditional construction methods. Nevertheless, the extreme fragmentation and the product variability of the industry in this sector (among other factors), prevent these advantages to be systematically achieved.

### **0.3.2 How can we follow the example of other industries**

Enhancing modular light-frame wood prefabrication through standardization may present significant challenges considering how each company has a specific production process. Therefore, it is interesting to examine how other industries have successfully implemented standardization in their production processes to identify applicable methodologies.

The steel construction industry faced a serious need for standardization in the aftermath of World War I because of the lack of inspection continuity. This led to the collaboration of industry leaders, who brought together their expertise to develop a comprehensive set of practices. They needed to “establish[...] a single code authority that would be recognized by building code authorities and designers to eliminate the confusion that then existed in the construction industry, caused by the numerous and different manuals each containing proprietary information” (Galambos, 2016). The establishment of the first AISC Specification in 1923 can be attributed to the collaborative efforts of two professors, two structural engineers, and one architect. These individuals aimed to develop a performance-based specification that

would serve as a unifying standard within the industry. The introduction of this specification can be regarded as a significant milestone (Nyman et al., 1973; Galambos, 2016). Developing such specifications or standards calls for a continuous dialogue among industry stakeholders, with additional actors coming in as the process rolls out. The significance of this development was recognized by the then-Secretary of Commerce, Herbert Hoover, an engineer and later President of the U.S., who commended the AISC in a formal letter (Galambos, 2016). This demonstrates that the convergence of diverse stakeholders, including government representatives, was crucial in promoting the implementation of the specification to address the pressing need for steel construction during that period. This collaborative effort culminated in the establishment of a standard that is currently embraced by most of the industry.

An additional noteworthy example is in light-frame steel prefabrication, where manufacturers advocate for the utilization of "standard sizes" in design and project development. This approach enables them to maintain "materials in stock and utilize standard jigs and machinery settings in production, which shortens the supply lead times" (Gorgolewski, 2009). The aspiration for a uniform fundamental form in the steel industry emanated from manufacturers and fabricators, who recognized the potential benefits of standardization. Repetitive production facilitates the establishment of standards for units, thereby enabling economic efficiencies. This notion was further substantiated by a report published by the Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) in 1999, titled "Adding value to construction projects through standardization and pre-assembly" (Gorgolewski, 2009).

It is evident that the steel construction industry has adopted a standardization approach, encompassing both light-frame and steel structure applications. This standardization has been facilitated by the collaborative efforts of manufacturers, who have exerted pressure to implement standard design and process. In light of this, it is pertinent to question whether light-frame wood modular volumetric prefabrication could be subject to similar standardization measures.

### **0.3.3 What can be learned from other countries?**

In Europe, there is greater understanding of the value of standardization in general, as compared to Canada. Anastasiades et al. (2021) emphasize the potential benefits of standardization for both the construction industry and the environment, as it fosters a circular economy through the utilization of wood and modularity. However, it is crucial for contractors and designers to perceive this type of standardization not as a threat to their work, but as an opportunity for advancement. By standardizing building component dimensions and connections, the demand for these building components will increase, and consequently, their reuse will be enabled and facilitated (Anastasiades et al., 2021). This analysis demonstrates that there is significant ongoing reflection concerning standardization in the global construction industry.

Another perspective has emerged in Sweden, where the light-frame panelized wood prefabrication approach focuses on the conceptualization of subassemblies, thereby achieving a certain degree of design freedom while leveraging the advantages of manufacturing (Smith et al., 2022; Wood, 2018). Moreover, Sweden maintains a competitive edge over other countries through the operation of its extensive, automated factory lines. The integration of robotics within the assembly line has transformed the construction sector, aligning it more closely with the automotive manufacturing industry. This approach, influenced by Toyota's lean production methods, which prioritize minimizing waste and empowering workers to contribute to efficiency gains, has enabled Lindbäcks, a leading Scandinavian manufacturer of modular homes, to enhance its production efficiency and outperform its competitors (Morley, 2017). This example highlights the advanced position of these European leaders.

In Japan, there is also a higher utilization of prefabricated light-frame wood systems. The high cost of land necessitates a rapid return on investment for developers, leading to a preference for modular construction methods due to their rapid construction time (Gorgolewski et al., 2009). Japan's expertise in this modern construction method can be attributed to its long-standing experience, which was initiated by public investments after the Second World War, that promoted the adoption of offsite construction. This was followed by measures to enhance standardization, primarily driven by industry initiatives (Smith et al., 2022). The absence of

prejudices about prefabrication in Japan has contributed to the advancement of modular prefabrication (Smith et al., 2022). Investors in Japan prioritize modular prefabrication due to its reputation for delivering high-quality outcomes (Smith 2011).

As demonstrated by the examples of Europe, Sweden and Japan, there is a considerable potential for enhancement in the prefabrication industry. To maintain competitiveness and a substantial presence in the market in the coming years, Québec must align its efforts with those of its counterparts.

#### **0.4 Research Method**

The objective of this study is to explore the potential for standardization of certain aspects of the light-frame modular volumetric timber construction. As a first step, it is necessary to understand the motivations behind standardization for different stakeholders. To this end, semi-directive interviews were conducted with various stakeholders. This method is intended to facilitate discussion focusing on the investigators' predetermined agenda while permitting the interviewee to articulate their perspectives. To ensure data consistency, an analysis matrix is constructed to systematically compile responses and facilitate reliable comparative analysis.

The matrix is divided into four categories. The first category is the interviewee's background and affiliation. Here, we seek to contextualize the interviewees' answers by examining their experience in the industry, the number of projects they undertake annually, fabrication processes, etc. To ensure a clear comparison between stakeholders, it is essential to understand their differences, client interactions, and business models. The second category is the interviewee's idealistic approach to standardization. In this part, we address the core of our research, namely, their perspectives on standardization. The third category is the interviewee's realistic view of the question. Following an examination of their idealistic notions regarding specific aspects of standardization, we will address the question of the pragmatic feasibility of implementing standardization. We aim to understand, on the one hand, how standardization could facilitate the production of modular prefabricated light-frame wood dwellings, and, on the other hand, which type of standardization could be established. The fourth category is the



interviewee's thoughts on who must drive and engage such an initiative. Here, the potential implementation will be examined, with the aim of understanding which type of governance should be put in place to implement and manage such standardization, according to the interviewees.

Tableau-A II-1 Analysis matrix

Participant	Context/ Distinction	Idealist View	Realistic approach	Leading figures
Domains / Contact	Seniority Business model, contract used, Actual innovation, differences	Process Market involvement Code and contract Design	New process Design	Who How
Manufacturer ...				
General contractor ...				
Architect ...				
Association ...				
Doctorate ...				

For example, for each categories, we asked the participants: “How long have you been on the modular volumetric prefabricated market?”, “What do you see as an idealistic standardization concerning the process of prefabricating modular volumetric?”, “What standardization can be implemented right now and would be beneficial for the industry?”, “Who should lead this initiative of standardization and how?”.

In average two people representing each of the following categories were interviewed: manufacturers, general contractors, architects, associations presidents, and doctoral researchers. The analysis matrix allowed us to direct our enquiries at specific topics while also ensuring that the interviewees have the autonomy to articulate and elaborate on their perspectives. After the transcription of the interviews, a qualitative comparison of the overall data will be undertaken.

The aim of the interviews is to gather as many perspectives as possible concerning the standardization of light-frame modular volumetric wood. Ideally, we would also like to extract some ideas concerning technical solutions that the interviewees would like to see in the future. In general, the objective is to collect the interviewees' perspective to ensure that standard solutions that might be proposed in a future project meet the expectations of different stakeholders.

### **0.3 Findings**

Even if only half of the interviews have been conducted by now, we managed to gather some interesting findings. For example, some contradictory motivations were identified in the interviewees' responses. For instance, when we suggested the idea of a standardization in order to be able to engage in larger-scale projects bidding, manufacturers sought to enhance their market presence by implementing such standardization. However, the family-oriented nature of their business compelled them to withhold their knowledge and processes. In another case, a manufacturer underscored the difficulties in adopting a universal standard for modular prefabrication, noting that each company, as a family-owned entity, operates under unique processes that render standardization impractical. For example, one of the manufacturers explains that in their processes to a project, they are willing to manage to do the transportation and the installation on-site because of their capacity to do so. By interviewing associations, we gained insights into alternative perspectives, as evidenced by the strong conviction in future standardization expressed by two individuals from the same association. The implementation of enhanced digitalization, such as the expanded use of building design software with manufacturer feedback, is poised to give rise to a certain degree of standardization. A notable

finding was the divergence in approach and vision between manufacturers and association directors regarding specific projects, including major initiatives by the government. Manufacturers regarded this initiative as utopian and unrealistic, while association directors advocated for and supported it as a revolutionary endeavour. Moreover, interviewing a general contractor allowed to understand his motivations behind the lack of interest in using modular prefabricated light-frame wood solutions.

## **Conclusions**

To conclude, this study proved, through its literature review, that it is possible to implement a certain standardization in the modular volumetric prefabricated light-frame wood industry. Moreover, it is apparent that the use of modular volumetric light-frame wood is more than beneficial from an environmental, productivity efficiency and cost reduction perspective. The Quebec light-frame wood volumetric prefabrication industry can learn from the standardization process in the steel industry, as well as from the positive experience in other countries like Sweden and Japan.

Based on semi-structured interviews with industry representatives, our research highlighted the divergence in the opinions of the different categories of interviewees on the question of the implementation of a certain level of standardization. It is apparent, based on these interviews, that the respondents adopt a nuanced stance regarding the standardization of certain aspects of light-frame wood modular volumetric prefabrication for affordable housing. A common motivation among them is to develop various standardization types such as standard sanitary pods with the aim of enhancing productivity, increasing volume, and augmenting affordable housing orders. While addressing societal crises necessitates prompt action, it is crucial to recognize the need for a comprehensive transformation, a process that will require time. It should be noted that this research is a part of an on-going Master's research project. Thus, the contribution of this work sought to be the beginning of a larger research concerning this standardization. Having addressed the stakeholders' perceptions of standardization, we plan to propose a standardization process framework in a subsequent work. The limitations of this study stem mainly from the short duration of the Master's research. Thus, the period dedicated

to interviews was limited, hence the need to extend these findings with further interviews. That work should consider all the feedback collected to date and formulate a proposal that will be utilized and accepted by the industry.

## Acknowledgments

The authors would like to personally thank every participant for their availability, and their desire to share their thoughts about our research.

## References

- Abrishami, S. and Martín-Durán, R. 2021. BIM and DfMA: A Paradigm of New Opportunities. *Sustainability* 13, No. 17: 9591. <https://doi.org/10.3390/su13179591>.
- Anastasiades, K., Goffin, J., Rinke, M., Buyle, M., Audenaert, A. and Blom, J. 2021. Standardization: An Essential Enabler for the Circular Reuse of Construction Components? A Trajectory for a Cleaner European Construction Industry. *Journal of Cleaner Production* 298: 126864. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126864>.
- Cao, J., Bucher, D.F., Hall, D.M., and Eggers, M. 2022. A Graph-Based Approach for Module Library Development in Industrialized Construction. *Computers in Industry* 139: 103659. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103659>.
- Evison, D.C., Kremer, P.D. and Guiver, J. 2018. Mass timber construction in Australia and New Zealand—status, and economic and environmental influences on adoption. *Wood and Fibre Science* 50, no Special: 128-38. <https://doi.org/10.22382/wfs-2018-046>.
- Galambos, T. 2016. History of the AISC Specification.
- Gharbia, M., Chang-Richards, A., Xu, X., Höök, M., Stehn, L., Jähne, R., Hall, D., Park, K., Hong, J. and Feng, Y. 2023. Building Code Compliance for Offsite Construction. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction* 15, No. 2: 04522056. <https://doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-856>.
- Gorgolewski, M. T., Grubb P. J. and Lawson, R.M. 2009. Design of Residential Buildings, Modular Construction using Light Steel Framing, The Steel Construction Institute.
- Mischke, J., Stokvis, K. and Vermeltfoort, K. 2024. Delivering on Construction Productivity Is No Longer Optional, McKinsey & Company.

- Morley, J. B., 2017. Production Line: How Sweden Is Pioneering Automated, Prefab Timber Construction, *Architizer Journal*.  
<https://architizer.com/blog/inspiration/industry/swedish-modular-housing/>.
- Nyman, D.J., Fenves, S. J. and Wright, R.N. 1973. Restructuring study of the AISC Specification, civil engineering studies, structural research series, n°393.
- Smith, R.E., Rupnik, I., Schmetterer, T. and Barry, K. 2022. Offsite Construction for Housing: Research Roadmap, U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research.
- Smith, R.E., 2016. Offsite and Modular Construction Explained, National Institute of Building Sciences.
- Smith, R.E., 2011. Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Statistique Canada. 2024. L'abordabilité du logement au Canada, 2022, Le Quotidien, no 11.
- Švajlenka, J., Kozlovská, M. and Spišáková, M. 2017. The Benefits of Modern Method of Construction Based on Wood in the Context of Sustainability, *International Journal of Environmental Science and Technology* 14, No. 8: 1591-1602.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-017-1282-6>.
- United Nations Environment Programme. 2024. 2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond Foundations - Mainstreaming Sustainable Solutions to Cut Emissions from the Buildings Sector. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>.
- Wood, B. 2021. Delivery Platforms for Government Assets Creating a marketplace for manufactured spaces.
- Wood, B. 2018. Platforms Bridging the gap between construction + manufacturing



## BIBLIOGRAPHIE

- Abrishami, S., & Martín-Durán, R. (2021). BIM and DfMA : A Paradigm of New Opportunities. *Sustainability*, 13(17), 9591. <https://doi.org/10.3390/su13179591>
- Anastasiades, K., Dockx, J., Van Den Berg, M., Rinke, M., Blom, J., & Audenaert, A. (2023). Stakeholder perceptions on implementing design for disassembly and standardisation for heterogeneous construction components. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 41(8), 1372-1381. <https://doi.org/10.1177/0734242X231154140>
- Anastasiades, K., Goffin, J., Rinke, M., Buyle, M., Audenaert, A., & Blom, J. (2021). Standardisation : An essential enabler for the circular reuse of construction components? A trajectory for a cleaner European construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126864. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126864>
- Binet, J. (2024). État d’art : Enveloppes préfabriquées en bois au Québec et dans le monde.
- Canada. (2023a). L’état des forêts au Canada RAPPORT ANNUEL 2023.
- Canada, R. naturelles. (2022). Quelle superficie la forêt couvre-t-elle au Canada? Ressources naturelles Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/nos-ressources-naturelles/forets/letat-forets-canada-rapport-annuel/quelle-superficie-foret-couvre-t-elle-canada/17602>
- Canada, R. naturelles. (2023b). Programme de construction verte en bois (CVBois). Ressources naturelles Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/science-et-donnees/financement-et-partenariats/occasions-financement/secteur-forestier/programme-de-construction-verte-en-bois-cvbois/20047>
- Cao, J., Bucher, D. F., Hall, D. M., & Eggers, M. (2022). A graph-based approach for module library development in industrialized construction. *Computers in Industry*, 139, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103659>
- Carre, A. (2011). A Comparative Life Cycle Assessment of Alternative Constructions of a Typical Australian House Design.
- Cecobois. (2019). Guide technique sur la conception de bâtiments à ossature légère en bois.
- Chisholm, A. (2022). The Construction Playbook—Government Guidance on sourcing and contracting public works projects and programmes.
- Connaissance des énergies. (2024). Equivalent CO2 (co2eq) : Définition, gaz à effet de serre. <https://www.connaissancedesenergies.org/questions-et-reponses-energies/gaz-effet-de-serre-quest-ce-que-l-equivalent-co2>

- Durocher, J. (2024). Outil web gratuit visant à faciliter l'estimation et la comparaison des émissions de GES liées à la fabrication des matériaux de structure et d'enveloppe pour différents scénarios de bâtiment.
- Dzhurko, D., Haacke, B., Haberbosch, A., Köhne, L., König, N., Lode, F., Marx, A., Mühlnickel, L., Neunzig, N., Niemann, A., Polewka, H., Schmidtke, L., Von Der Groeben, P. L. M., Wagemann, K., Thoma, F., Bothe, C., & Churkina, G. (2024). Future buildings as carbon sinks: Comparative analysis of timber-based building typologies regarding their carbon emissions and storage. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1330105. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1330105>
- Evison, D. C., Kremer, P. D., & Guiver, J. (2018). MASS TIMBER CONSTRUCTION IN AUSTRALIA AND NEW ZEALAND—STATUS, AND ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL INFLUENCES ON ADOPTION. *Wood and Fiber Science*, 50(Special), 128-138. <https://doi.org/10.22382/wfs-2018-046>
- Formes. (2023). *Formes : Systèmes constructifs Hier à aujourd'hui*. 19(1).
- Galambos, T. (2016). *History of the AISC Specification*.
- Gharbia, M., Chang-Richards, A., Xu, X., Höök, M., Stehn, L., Jähne, R., Hall, D., Park, K., Hong, J., & Feng, Y. (2023). Building Code Compliance for Off-Site Construction. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 15(2), 04522056. <https://doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-856>
- Gibb, A. G. F. (2001). Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. *Construction Management and Economics*, 19(3), 307-315. <https://doi.org/10.1080/01446190010020435>
- Giorgio, B., Blanchet, P., Barlet, A., & Gaudelas, A. (2024). Using prefabricated wood light-frame in multi-storey and non-residential construction projects: Motivations and barriers of professionals in Quebec. *BioResources*, 20(1), 625-671. <https://doi.org/10.15376/biores.20.1.625-671>
- Gorgolewski, M. T., Grubb, P. J., & Lawson, R. M. (2009). *Design of Residential Buildings*.
- Höök, M. (2005). *Timber Volume Element Prefabrication—Production and market aspects*.
- Imbert, G. (2010). L'entretien semi-directif: À la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Recherche en soins infirmiers*, N° 102(3), 23-34. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/rsi.102.0023>
- Jalava, A. (2024). *Platform Design for Manufacture & Assembly (P-DfMA): Optimizing Construction of Manufactured Buildings*.



- Kieran, S., & Timberlake, J. (2004a). *Refabricating architecture : How manufacturing methodologies are poised to transform building construction*. The McGraw-Hill Company.
- Kieran, S., & Timberlake, J. (2004b). *Refabricating architecture : How manufacturing methodologies are poised to transform building construction*. McGraw-Hill.
- Koppelhuber, J., Bauer, B., Wall, J., & Heck, D. (2017). Industrialized Timber Building Systems for an Increased Market Share – a Holistic Approach Targeting Construction Management and Building Economics. *Procedia Engineering*, 171, 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.341>
- Koppelhuber, J., & Bok, M. W. (2020). Adaption of construction management aspects and building economic principles to prevent cost overruns in modern timber construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 800(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/800/1/012030>
- Lupien, P., Boyer-Mercier, P., Carbone, C., Bourgault, M., Perrier, N., Lizarralde, G., Iordanova, I., & Pelletier, L. (2020). ARQ 192 -. 192.
- McFarlane, A., Murray-Parkes, J., Bai, Y., Konstandakos, G., McNiven, B., & Lucchetti, J. (2017). *HANDBOOK FOR THE DESIGN OF MODULAR STRUCTURES*.
- MEEA, & NEEP. (2022). *ICC/MBI Standards 1200 & 1205-2021 for Off-site Construction : A New Tool for State and Local Jurisdictions*.
- Mischke, J., Stokvis, K., & Vermeltfoort, K. (2024). Delivering on construction productivity is no longer optional.
- Mitchell, C. (2021). *The State of Prefabrication in Canada*.
- Morley, J. B. (2017, août 18). *Production Line : How Sweden Is Pioneering Automated, Prefab Timber Construction - Architizer Journal*. <https://architizer.com/blog/inspiration/industry/swedish-modular-housing/>
- Nyman, D. J., Fenves, S. J., & Wright, R. N. (1973). *STRUCTURAL RESEARCH SERIES NO. 393*.
- Page, I., & Norman, D. (2014). *Study report SR312 Prefabrication and standardisation potential in buildings*.
- Pelletier, A., Lessard, N., Gagnon, S., & Dagenais, C. (2022). *Bâtiments de construction massive en bois encapsulé d’au plus 12 étages – Directives et guide explicatif – Version révisée 2022*.

- Russell, A. L. (2012). Modularity : An Interdisciplinary History of an Ordering Concept. *Information & Culture*, 47(3), 257-287. <https://doi.org/10.7560/IC47301>
- Sandberg, M., Johnsson, H., & Larsson, T. (2008). KNOWLEDGE-BASED ENGINEERING IN CONSTRUCTION: THE PREFABRICATED TIMBER HOUSING CASE.
- Smith, R. E. (2016). Off-Site Construction Implementation Resource : Off-Site and Modular Construction Explained. National Institute of Building Sciences.
- Smith, R. E., Rupnik, I., Schmetterer, T., & Barry, K. (2022). Offsite Construction for Housing : Research Roadmap.
- Smith, R. E., & Timberlake, J. (2011). Prefab Architecture : A Guide to Modular Design and Construction. John Wiley & Sons, Inc.
- Švajlenka, J., Kozlovská, M., & Spišáková, M. (2017). The benefits of modern method of construction based on wood in the context of sustainability. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1591-1602. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1282-6>
- Wood, B. (2018). Platforms Bridging the gap between construction + manufacturing.
- Wood, B. (2021). Delivery Platforms for Government Assets Creating a marketplace for manufactured spaces.
- Ximenes, F. A., & Grant, T. (2013). Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(4), 891-908. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0533-5>
- Zhang, Z., Tan, Y., Shi, L., Hou, L., & Zhang, G. (2022). Current State of Using Prefabricated Construction in Australia. *Buildings*, 12(9), 1355. <https://doi.org/10.3390/buildings12091355>